

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
PROGRAMA DE POSGRADO**

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

**Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de**

***MAGISTER SCIENTIAE*
en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas**

Mildred Fabiola Corona Figueroa

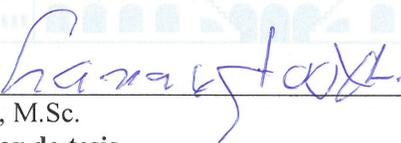
Turrialba, Costa Rica

Abril, 2019

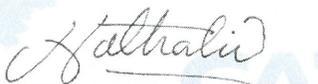
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero de la estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y GESTIÓN INTEGRAL
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

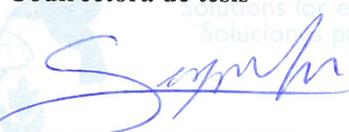
FIRMANTES:



Ney Ríos, M.Sc.
Codirector de tesis



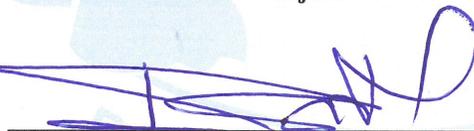
Nataly Castelblanco, Ph.D.
Codirectora de tesis



Sergio Vilchez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Diego Delgado, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.
Decana Escuela de Posgrado



Mildred Fabiola Corona Figueroa
Candidata

ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

A continuación, se expone de forma sintetizada la organización y estructura de la tesis de grado, con el fin de dar un mejor entendimiento de la presentación de los apartados que contiene.

Primero, se aborda una introducción general que pone en contexto la importancia de la tesis y la generación de conocimiento en temas relacionados con la conservación y manejo de la biodiversidad con enfoque de cuencas hidrográficas, y su relación con la visión institucional del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Se incluye, los objetivos de la tesis de grado y las formas de cómo se han enriquecido y mejorado a partir de la comunicación y las exposiciones preliminares ante el gremio científico.

Posteriormente, se presentan los resultados de la tesis cuyo enfoque permitió organizarlos y exponerlos en dos artículos científicos. Éstos, a su vez, siguen la estructura o contenido general que solicita una revista científica: título, introducción, materiales y métodos o metodología, resultados, discusión, consideraciones finales y referencias bibliográficas.

Por último, se presenta un apartado que contiene las conclusiones generales de los resultados obtenidos, tomando en cuenta las observaciones y la información preliminar con el fin de que sean insumos para futuras investigaciones y planes de manejo.

Dedicatoria

A mi Mejor Amigo.

A mi familia, a quien amo: Turito, Michi, JuanPa, Ralf, Gaby y Valentina, quien ya está por nacer.

A Skarlet, por su compañía y por enseñarme a que puedo aprender de nuestros hermanos pequeños.

A los mamíferos acuáticos, en especial a los manatíes, porque a través de su estudio me permiten comprender un poco más sobre la complejidad de los sistemas fluviales y las interacciones que ocurren en este tipo de ecosistemas.



Agradecimientos

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), por el apoyo financiero que me otorgó, a través del Programa Regional de Becas para centroamericanos, para realizar mis estudios de maestría de tiempo completo en el CATIE.

Al CATIE, la Universidad de Quintana Roo (UQRoo), PADI Foundation e IDEA Wild, por el financiamiento otorgado y por los equipos brindados para realizar la fase de campo de mi tesis de maestría.

A toda mi familia en Guatemala, en especial a mis papás, por inspirarme y alentarme a seguir luchando por mis sueños. Agradezco también a mis primos, Romel y Emer y a mis tíos, Otto y Tely, por su apoyo desinteresado cuando lo he necesitado.

A mis directores de tesis, Ney Ríos y Nataly Castelblanco, por su orientación, interés y disposición a compartir sus conocimientos. Ha sido un honor trabajar con ustedes.

A mi comité asesor: Sergio Vílchez, por su paciencia, apoyo y asesoría en los análisis estadísticos; y Diego Delgado, por los aportes oportunos realizados en la ejecución de este trabajo.

Al Dr. Carlos Niño, por darme la oportunidad de realizar esta tesis en el marco del Programa de Monitoreo de Megafauna Acuática del Caribe, en México, por su apoyo en campo y la asesoría brindada.

A María Alejandra Ospina, por apoyarme y guiarme en varios análisis cualitativos; a Christian Brenes, por su apoyo en SIG. Al Dr. Alberto Pereira (UQRoo), por su apoyo en la logística de varias salidas al campo.

A C. Carvalho, B. de Thoisy, V. Dos Reis y GK Arévalo-González, expertos en el uso del sonar de barrido lateral aplicado a la investigación en manatíes, por su apoyo en la evaluación de las imágenes de sonar.

A Daniel González-Socoloske, por las sugerencias y recomendaciones preliminares brindadas para mis estudios de maestría. A Mindy McLarty, por su apoyo en la identificación de los tipos de fondo a través del sonar de barrido lateral.

A mis profesores del CATIE, por compartir sus conocimientos y experiencias sobre diversos temas; agradezco de manera especial al profesor Imbach, por ayudarme a aterrizar y puntualizar las tantas ideas que tenía al comienzo de esta tesis.

A mi nueva familia en CATIE: Jaime, Xime, Luigi, Naty Guti, Gladys, Enya, JuanMa, MaFer y Alejo. Gracias por los momentos compartidos, hicieron que esta maestría fuera una verdadera experiencia de vida.

A Jaime, mi chinito. Qué bonito conocerte. Gracias por el apoyo brindado, por tu paciencia, por las risas compartidas y tantos momentos vividos. ¡Vamos a conquistar el mundo!

A Gladys, la pinche chiquita. Mil gracias por todo el apoyo cuando lo necesité.

A mis compañeros de maestría, Abad, Enya, Jhoan y Natalia, por los trabajos, las giras y los gratos momentos que compartimos durante el periodo de clases en CATIE.

A la comunidad chapina del CATIE con la que coincidí: Andrea y Luis Pedro, Carlos G., Jesúa, Natalia Ruíz (peruana-chapina), Pablo, Chepe, Melvin, Astrid, Carlos R., Cathy, Estefani y Samuel. Buena onda muchá, por su apoyo y los gratos momentos compartidos.

A Roberto Campos, por su apoyo en las cuestiones relacionadas con la tecnología, principalmente en la recuperación de información cuando lo necesité; y a Eduardo Corrales, por su interés y seguimiento en que la información se haya recuperado exitosamente.

A la Escuela de Posgrado, por todas las atenciones y apoyo recibido en cada etapa de esta maestría.

A la Casa de Kiki (Nataly, Seb, Kiki, Sarita, Kata, Natalia y Feli). Mil gracias por haber hecho que me sintiera en casa durante la fase de campo.

A Sarita, por su apoyo en el uso del dron, por los consejos y las risas compartidas. Qué bonito coincidir con gente como tú. “Arigato gozaimasu”.

A Kata, por capacitarme en utilizar el sonar y por su acompañamiento en campo. Gracias por compartir tus conocimientos y amor por los manatíes.

A Diana, Iris, Eva, Rocío, Pedro, Ricardo, Ángel, Angelli y Rosi, con quienes también compartí bonitos momentos en el Laboratorio de Ecología y Biología Molecular de la UQRoo. Gracias por su amistad y acompañamiento en campo.

A las personas locales de la ribera del río Hondo, quienes amablemente compartieron su conocimiento acerca del manatí y el río.

A los lancheros, don Pedrito, don Ángel y don Adrián, por su apoyo en conducir la embarcación durante el trabajo de campo.

A Samanta Orellana, por animarme a continuar con mis sueños. Gracias por tu valiosa amistad.

A usted, por su tiempo e interés en revisar cualquiera de los apartados de esta tesis.

Contenido

I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. ARTÍCULO 1. Factores eco-hidrológicos que influyen en la presencia del manatí antillano (<i>Trichechus manatus manatus</i> , L.) en un río transfronterizo entre México y Belice	4
Resumen.....	4
1. INTRODUCCIÓN	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS	8
2.1. Área de estudio.....	8
2.2. Muestreo de manatíes.....	10
2.3. Factores eco-hidrológicos, climáticos y antrópicos	15
2.4. Análisis de datos	17
3. RESULTADOS.....	20
3.1. Descripción del río Hondo con base en los factores eco-hidrológicos.....	21
3.2. Abundancia relativa y clase etaria de manatíes.....	25
3.3. Estimación del tamaño de la población de manatíes	27
3.4. Predicción de distribución de manatíes	28
3.5. Uso de hábitat.....	32
4. DISCUSIÓN	35
5. CONSIDERACIONES PARA EL MANEJO.....	40
6. CONCLUSIONES	41
Agradecimientos	42
7. REFERENCIAS	43
III. ARTÍCULO 2. Conocimiento local del manatí antillano (Sirenia: <i>Trichechus manatus manatus</i> , L.) y de su hábitat en comunidades mexicanas de la ribera del río Hondo, Quintana Roo.....	48
Resumen.....	48
1. INTRODUCCIÓN	50
2. METODOLOGÍA	52
2.1. Área de estudio.....	52

2.2. Selección de las comunidades mexicanas y tamaño de muestra	53
2.3. Conocimiento y percepción local sobre el manatí y su hábitat	54
3. RESULTADOS	56
3.1. Características de las personas entrevistadas	56
3.2. Análisis del conocimiento y percepción del manatí y su hábitat	56
4. DISCUSIÓN	68
5. CONSIDERACIONES FINALES	73
6. CONCLUSIONES	74
Agradecimientos	75
7. REFERENCIAS	75
IV. ANEXOS	80

Índice de cuadros del Artículo 1

Cuadro 1. Medias, coeficientes de variación (%) y rangos de los factores eco-hidrológicos medidos en el río Hondo, por meses de muestreo.	22
Cuadro 2. Clase etaria de manatíes y rastros (heces) encontrados en los segmentos y puntos fijos, según la época muestreada.	26
Cuadro 3. Índice de abundancia relativa (IAR) según la presencia de manatíes por temporada y tipo de muestreo.	27
Cuadro 4. Estimación del tamaño poblacional y abundancia media de manatíes por segmento en el río Hondo, según los modelos nulo, Poisson y binomial negativa.	27
Cuadro 5. Áreas clasificadas en el río Hondo, Quintana Roo, México, para este estudio.	33

Índice de figuras del Artículo 1

Figura 1. Ubicación del área de estudio, limitada a los primeros 81 km desde la desembocadura del río. Se observan los segmentos asignados, los kilómetros por segmento y los puntos fijos muestreados.	9
Figura 2. Observación del hábitat, evidencias directas e indirectas de manatíes y los métodos implementados en este estudio: a) hocico de un manatí adulto; b) asociación madre-cría; c) manglar ribereño, hábitat típico de la especie en sistemas de agua dulce; d) ondas o estelas sobre el espejo de agua creadas durante la inmersión de un manatí; e) fragmento de heces de manatí; f) utilización del sonar de barrido lateral, g) observación en puntos fijos y h) uso de un dron liviano. Fotografías: MF. Corona-Figueroa, N. Garcés-Cuartas, SS. Landeo-Yauri.	11
Figura 3. 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.	23
Figura 4. Usos de suelo delimitados con un buffer de 400 m y ríos tributarios para los segmentos muestreados en el río Hondo.	24
Figura 5. Observación de manatíes en el río Hondo por método utilizado en este estudio.	25
Figura 6. Probabilidad de detección de manatíes (modelo Poisson) por segmento, según los meses de muestreo.	28
Figura 7. Curva AUC/ROC del modelo de predicción de manatíes generado para el cauce del río Hondo en estudio.	29
Figura 8. Gráfico de importancia de las variables del modelo de random forest.	30
Figura 9. Mapa de predicción de presencia de manatíes en los segmentos del río Hondo, Quintana Roo, México.	31

Figura 10. Biplot para las variables eco-hidrológicas importantes y la relación de la probabilidad de presencia de manatíes (líneas rojas). Los cuadros grises corresponden a las observaciones de ausencias y presencias de manatíes registradas en el río.....	32
Figura 11. Frecuencia de observación de tipos de fondo en las áreas determinadas en el río Hondo.....	34
Figura 12. Análisis de correspondencias para: a) la clase etaria de manatíes y b) los comportamientos registrados en cada tramo determinado en el río Hondo.	35

Índice de tablas del Artículo 2

Tabla 1. Porcentaje de las características de las personas entrevistadas.	57
Tabla 2. Respuestas de los entrevistados para el número de individuos (media y rango) observados por segmento, en el río Hondo, Quintana Roo, México.	64

Índice de figuras del Artículo 2

Fig. 1. Localidades mexicanas visitadas en la ribera del río Hondo.	53
Fig. 2. Entrevistas realizadas en las comunidades mexicanas de la ribera del río Hondo: a) entrevistado de La Unión, b) niña de La Unión mostrando información sobre el manatí; c) entrevistado de San Francisco Botes; d) entrevistado de Rovirosa y e) manatíes madre y cría observados en las orillas de Subteniente López en enero de 2018 (fotografía proporcionada por uno de los entrevistados). Fotografías: G. Hernández-Gómez, SS. Landeo-Yauri y MF. Corona-Figueroa.....	55
Fig. 3. Análisis de correspondencia entre los niveles de la población a la que pertenecen los entrevistados (nativo o inmigrante) y si diferencia el sexo de los manatíes.	58
Fig. 4. Análisis de correspondencia entre la categoría o grupos de edades de los entrevistados (C1: < 40 años, C2: 40-60 años y C3: > 60 años) y la observación de manatíes en grupos.....	59
Fig. 5. Época hidroclimática de observación de manatíes, según los entrevistados de los poblados mexicanos de la ribera del río Hondo.	59
Fig. 6. Análisis de correspondencia entre la categoría o grupos de edades de los entrevistados, la frecuencia de visita en el río y la hora en que han observado manatíes.....	60
Fig. 7. Análisis de correspondencia entre la actividad que realizan los usuarios en el río y la observación de crías.	61
Fig. 8. Gráfico de análisis de correspondencia entre el lugar de observación de manatíes y la observación de crías por los entrevistados. La S con los respectivos números ordinales hace referencia a los segmentos clasificados en el río para este estudio.	61
Fig. 9. Registro de avistamiento de manatíes por parte de los entrevistados.	63

Fig. 10. Variación anual de casos de manatíes vivos y muertos reportados en el río Hondo, según los entrevistados.....	63
Fig. 11. Frecuencia de tamaño de grupo de manatíes reportado por los entrevistados.	64
Fig. 12. Gráfico de análisis de correspondencia entre la observación de grupos y el número de comportamientos reconocidos por los entrevistados.....	65
Fig. 13. Vegetación que forma parte de la dieta del manatí en el río Hondo, según los entrevistados...	66

Lista de acrónimos

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

CV: Coeficiente de Variación

DAAD: Servicio Alemán de Intercambio Académico

ENT: Entrevista

IAR: Índice de Abundancia Relativa

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

PF: Punto Fijo

PROMMAC: Programa de Monitoreo de Megafauna Acuática del Caribe

RH: Red Hidrológica

S: segmento

SSS: sonar de barrido lateral (por sus siglas en inglés)

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

UQRoo: Universidad de Quintana Roo

Dimensionales de las variables cuantitativas utilizadas

°C: grados Celsius o centígrados

m: metros

mm: milímetros

mS/cm: mili siemens por centímetro

h: hora

HP: horse power o caballos de fuerza

kHz: kilohertzio

km: kilómetros

min: minutos

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los ecosistemas de agua dulce proporcionan diversos beneficios para la sociedad y constituyen hábitats fundamentales para la diversidad biológica y para las especies amenazadas (Bucher *et al.* 1997). Para conservar los sistemas de agua dulce, es necesario incluir las interacciones que existen con los sistemas terrestres, así como comprender dónde se encuentran las áreas de importancia biológica y qué tipos de amenazas enfrenta (Bucher 1995). También se hace necesaria la vinculación de los aspectos económicos y sociales con estos procesos, para la planificación y supervisión a largo plazo del uso sostenible de los recursos naturales que ofrecen estos ecosistemas (Bucher *et al.* 1997).

El río Hondo, área donde se realizó el presente estudio, funciona como un corredor biológico y es el único enlace entre las tierras bajas y selvas del noreste de Guatemala y el ambiente estuarino de la Bahía de Chetumal y el Caribe. En la Bahía de Chetumal, el río es uno de los componentes hidrobiológicos que abastece de agua dulce al manatí antillano, un mamífero acuático en peligro de extinción (Self-Sullivan y Mignucci-Giannoni 2008). A partir de 1999, la bahía es catalogada como Santuario del Manatí, por lo que las autoridades y los ciudadanos tienen el compromiso de conservar y mejorar las condiciones que permiten el sostenimiento de la especie para la cual este cuerpo de agua ha sido decretado (Periódico Oficial 2008).

La cuenca hidrográfica es la unidad territorial ideal para la planificación y el ordenamiento territorial con el propósito de lograr el uso sostenible de los recursos naturales; y el agua es el elemento integrador y a la vez, el medio de diagnóstico más práctico para determinar el estado de conservación o deterioro de las cuencas hidrográficas (Aguirre 2011). En este sentido, se sostiene que el abastecimiento del agua en buena calidad y en cantidad suficiente para los alrededores del río Hondo debe pasar por el mantenimiento y mejoramiento de la biodiversidad en toda la cuenca del río, en especial, en su sistema ribereño.

El contexto transfronterizo que presenta el río Hondo hace que se dificulte la problemática de ordenamiento y manejo de la cuenca. Es necesario el trabajo en conjunto, no solo de las instituciones competentes, sino de la población, en investigación, resolución y toma de

decisiones sobre la gestión de agua y el uso de los servicios ecosistémicos, que integran la cuenca.

Conocer cómo una especie determinada utiliza el hábitat donde se encuentra, puede proporcionar información relevante para enfocar esfuerzos de manejo y gestión, en términos de conservación y desarrollo sostenible, de las áreas naturales, en este caso, del área de influencia de la cuenca del río Hondo. El concepto de especie focal se puede definir como aquella que se selecciona individualmente para monitorear los programas de manejo a nivel de ecosistema (Armstrong 2002); se puede considerar, además, como especie sombrilla porque a través de su protección, proporciona una cobertura de protección a otras especies y sus interacciones con el ecosistema (Lambeck 1997).

En este trabajo, se utilizó el concepto de especie focal aplicado al manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*), porque es una especie que naturalmente se distribuye en la región, se encuentra protegida legalmente en México y a nivel internacional y es una especie de interés para la Bahía de Chetumal y la Bahía de Corozal, en Belice. También se incluyó el enfoque eco-hidrológico, el cual propone que para salvaguardar la integridad ecológica de los sistemas fluviales a diferentes escalas, se debe considerar las complejas relaciones de interdependencia de los componentes bióticos y abióticos (Zalewski 2006).

El presente estudio se ajusta a la misión del CATIE que, como institución internacional, impulsa la investigación para la conservación de los recursos naturales. El objetivo general es analizar la incidencia de los factores eco-hidrológicos en la distribución y uso de hábitat de los manatíes en el río Hondo, así como las percepciones antrópicas sobre la especie. Para abordarlo, se plantearon cuatro objetivos específicos: a) estimar la distribución, abundancia relativa y clase etaria (adultos y crías) de manatíes en el área de estudio; b) identificar el uso de hábitat de los manatíes en el río Hondo, según los factores eco-hidrológicos observados en el área; c) determinar los factores eco-hidrológicos que inciden en la distribución, abundancia relativa y clase etaria del manatí en el río Hondo y d) analizar la percepción social y cultural relacionada con el manatí en las comunidades locales del río Hondo.

Los resultados preliminares y la información relacionada con este trabajo se presentaron en dos Congresos Científicos internacionales y un simposio internacional realizados en 2018: 1) XXXVI Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos, Villahermosa, Tabasco, del 27 al 31 de mayo; 2) XII Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Mamíferos Acuáticos – RT 18, Lima, Perú, del 5 al 8 de noviembre; y 3) 3er Simposio Latinoamericano de Manatíes (SILAMA), Lima, Perú, 4 de noviembre. Cabe informar que los comentarios y observaciones realizadas por el gremio científico interesado aportaron, de forma constructiva, en la culminación de este trabajo.

Referencias

- Aguirre, M. 2011. La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. REDESMA 5(1):10-20. Consultado 21 sep 2017 Disponible en http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/cuencas_m_aguirre.pdf
- Armstrong, D. 2002. Focal and surrogate species: getting the language right. Conservation Biology 16(2):285-286. doi 10.1046/j.1523-1739.2002.00109.x
- Bucher, E. 1995. Management for Sustainable Biodiversity. In Heywood, V; Watson, R (eds.). Global Biodiversity Assessment. United States, Cambridge: UNEP, Cambridge University Press. p.
- Bucher, E; Castro, G; Floris, V. 1997. Conservación de ecosistemas de agua dulce: Hacia una estrategia de manejo integrado de recursos hídricos. Washington, Estados Unidos, Inter-American Development Bank. 43 p.
- Lambeck, R. 1997. Focal Species: A Multi-Species Umbrella for Nature Conservation. Conservation Biology 11(4):849-856.
- Periódico Oficial. 2008. Decreto mediante el cual se modifica el similar por el que se declara como Área Natural Protegida la region conocida como Bahía Chetumal, con la categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica, Santuario del Manatí, ubicada en el municipio de Othon P. Blanco, Estado de Quintana Roo. Periódico Oficial, México; 4 abr: Consultado
- Self-Sullivan, C; Mignucci-Giannoni, A. 2008. *Trichechus manatus* ssp. *manatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T22105A9359161. Consultado 01 jul. 2017. Disponible en <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T22105A9359161.en>
- Zalewski, M. 2006. Ecohydrology - an interdisciplinary tool for integrated protection and management of water bodies. Large Rivers (Arch. Hydrobiol. Suppl. 158/4) 16(4):613-622. doi 10.1127/lr/16/2006/613

II. ARTÍCULO 1. Factores eco-hidrológicos que influyen en la presencia del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*, L.) en un río transfronterizo entre México y Belice

Ecohydrology factors that influence on Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) presence at a transboundary river between Mexico and Belize

Mildred Fabiola Corona-Figueroa

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica.

Correspondencia: mildred.corona@catie.ac.cr

Resumen

Los registros de presencia del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en el río Hondo provienen de sondeos aéreos, recorridos acuáticos y preguntas a pescadores locales; sin embargo, esos estudios se concentran sólo en el cauce bajo y la desembocadura, dejando un vacío de información de su presencia y de las características del hábitat en el resto del cauce. El objetivo de este trabajo fue caracterizar y determinar los factores eco-hidrológicos que inciden en la presencia y uso de hábitat de manatíes en el sistema fluvial del río Hondo. Se realizaron 30 recorridos acuáticos, en cinco transectos consecutivos de 15 km cada uno, durante noviembre de 2017 y enero a junio de 2018. Se midieron factores eco-hidrológicos (conductividad, temperatura, profundidad, transparencia, tipo de fondo, distancia a confluencias y uso de suelo), climáticos (precipitación, temperatura mínima y máxima) y antropogénicos (paso de botes con motor). Se utilizó una metodología mixta para la detección de manatíes: sonar de barrido lateral, observación directa (recorridos y puntos fijos) y búsqueda de rastros (heces). El esfuerzo de muestreo fue de 136.5 h (media = 4.13 h por transecto completo). Se observaron 123 manatíes: 47% fueron observaciones durante los recorridos (SSS y avistamiento), 29% fueron en puntos fijos y 24% fueron oportunistas; y se encontraron 10 rastros de heces de manatíes. El primer segmento del río fue el que presentó mayor abundancia relativa para las dos épocas muestreadas (IAR nortes = 0.27 manatíes/km; IAR secas = 0.55 manatíes/km). Se estimó una población de 51 manatíes para el cauce muestreado del río; un modelo random forest, con 26% de error de estimación, sugiere altas

probabilidades de observar manatíes en los primeros segmentos y disminuyen conforme se avanza río arriba. Este mismo modelo indicó que los factores eco-hidrológicos que influyen en la detección de manatíes fueron principalmente la conductividad, la transparencia, la profundidad y la cercanía a la laguna Four Mile. En el tramo bajo identificado en el río, se observan características como alta conductividad, bajas profundidades y cercanía a confluencias, lo cual hace un ambiente propicio para el refugio, descanso y alimentación de los manatíes. Se recomienda realizar esfuerzos de conservación en el tramo bajo, que incluyan su protección y la regulación de la velocidad de embarcaciones con motor que transiten en esa zona.

Palabras clave: Mammalia-Sirenia, río Hondo, conservación, ecosistema fluvial, predicciones.

Abstract

Antillean manatees (*Trichechus manatus manatus*) in the Hondo River have been recorded from aerial surveys, aquatic surveys and interviews to local fishermen; however, these studies have been conducted only in the lower riverbed and the mouth, leaving a gap of information about their presence and the characteristics of the habitat in the rest of the river. The objective of this work was to characterize and determine the eco-hydrological factors influencing the presence and habitat use of manatees in the fluvial system of the Hondo River. Thirty aquatic field trips were conducted, in five consecutive transects of 15 km each, during November of 2017 and January to June of 2018. Eco-hydrological (conductivity, temperature, depth, transparency, type of bottom, distance to confluences and use of land), climatic (precipitation, minimum and maximum temperature) and anthropogenic (number of boats) factors were measured. A mixed methodology was used for the detection of manatees: Side-scan sonar, direct observation (routes and fixed points) and search of feces. The sampling effort was 136.5 h (mean = 4.13 h per complete transect). We observed 123 manatees: 47% were observations during the trips (SSS and sighting), 29% were at fixed points and 24% were opportunistic; additionally, 10 manatee feces were found. The first segment of the river presented the highest relative abundance for the two seasons sampled (IRA windy season = 0.27 manatees/km, IRA dry season = 0.55 manatees/km). The population estimated for the sampled riverbed was equal

to 51 manatees; a random forest model, with a 26% estimation error, suggests high probability of observing manatees in the first segments and decreasing at the upstream. This same model indicated that the eco-hydrological factors influencing the detection of manatees were conductivity, transparency, depth and proximity to the Four Mile lagoon. In the downstream section identified in the river, characteristics such as high conductivity, shallow depths and proximity to confluences are observed, which makes a benign environment for refuge, rest and feeding of manatees. It is recommended to carry out conservation efforts in the downstream section, which include their protection and the regulation of the speed of boats that transit in that area.

Keywords: Mammalia-Sirenia, Hondo River, conservation, fluvial ecosystem, predictions.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las dos subespecies de manatí de las Indias Occidentales es el manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*), el cual se encuentra en la Lista Roja de la UICN como una especie en peligro de extinción (Self-Sullivan y Mignucci-Giannoni 2008) y también se encuentra protegida por la Norma Oficial Mexicana NOM-SEMARNAT-059-2001 (SEMARNAT 2010). La distribución de la subespecie ocurre desde el Golfo de México, la costa este de México, América Central hasta el noreste de Brasil e incluye, también a las islas del Caribe (Lefebvre *et al.* 2001; Quintana-Rizzo y Reynolds III 2010). Entre los hábitats que ofrece Quintana Roo se encuentran los sistemas fluvio-lagunares (Morales-Vela y Olivera-Gómez 1997; Olivera-Gómez y Mellink 2005; Castelblanco-Martínez *et al.* 2013), en el que se incluye el río Hondo (SEMARNAT 2018).

En México, existen dos poblaciones de manatíes distintas genéticamente, las cuales corresponden a la encontrada en los sistemas fluvio-lagunares del Golfo de México y la que se encuentra en las costas del Caribe (Nourisson *et al.* 2011). Para el caso de Belice, los manatíes que se encuentran en las Lagunas del Sur (Southern Lagoon) forman una población genéticamente distinta a la de los cayos de Ciudad de Belice (Hunter *et al.* 2010), mientras que la Bahía de Chetumal y las costas del norte de Belice comparten una sola unidad poblacional (Vianna *et al.* 2006), la cual se estima que está conformada por 90 a 130 individuos (Quintana-

Rizzo y Reynolds III 2010; SEMARNAT 2018). Los manatíes que se desplazan por la línea costera entre la Bahía de Chetumal y las costas de Belice pueden cubrir distancias de 240 o 300 km aprox. (LaCommare *et al.* 2008; Castelblanco-Martínez *et al.* 2013).

El río Hondo es una frontera natural entre México y Belice, el cual desemboca en la Bahía de Chetumal, contribuyendo a su regulación climática e hidrológica al alimentarla con agua dulce (Magnon-Basnier 2002). Varios autores reportan presencia de manatíes en los primeros kilómetros del río Hondo y en la laguna Four Mile, que converge con éste (Campbell y Gicca 1978; Bengtson y Magor 1979; Fuentes Allen y Aguayo Lobo 1989; Colmenero-Rolón y Zárate 1990; O'Shea y Salisbury 1991; Zárate Becerra 1993; Morales-Vela *et al.* 2000; Auil 2004; Castelblanco-Martínez 2010; Quintana-Rizzo *et al.* 2015) y que los manatíes se desplazan entre la Bahía de Chetumal, la desembocadura del río Hondo, la laguna Four Mile y las costas del Belice (Morales-Vela *et al.* 1999; Castelblanco-Martínez *et al.* 2013).

El enfoque eco-hidrológico es un concepto adoptado en los últimos 20 años para el manejo de las cuencas hidrográficas y el recurso hídrico. Según Rodríguez-Iturbe (2000), la eco-hidrología busca describir los mecanismos hidrológicos que subyacen de los patrones y procesos ecológicos; busca comprender de los procesos hidrológicos y su interacción con la biota acuática y terrestre (Zalewski 2010). Analizar de esta forma dichos mecanismos permite salvaguardar la integridad ecológica de los sistemas fluviales a diferentes escalas (Zalewski 2006).

El sonar de barrido lateral ha sido una herramienta utilizada para detectar manatíes en la última década, principalmente en sistemas fluviales y lagunares con aguas turbias y oscuras. Además, proporciona información no solo de la presencia de manatíes, sino de las características eco-hidrológicas del cuerpo de agua, como el tipo de fondo, la profundidad, la temperatura del agua y aspectos biológicos, como la presencia de otra fauna (González-Socoloske *et al.* 2009; González-Socoloske y Olivera-Gómez 2012; McLarty 2017), lo cual contribuye al conocimiento sobre la ecología de esta especie en sistemas de agua dulce.

Los sistemas fluviales poseen características eco-hidrológicas que influyen en la presencia de manatíes, como bajas profundidades, abundante vegetación acuática, aguas transparentes y

cercanía a confluencias (Morales-Vela *et al.* 2000; Jiménez 2005; Olivera-Gómez y Mellink 2005; Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014; Puc-Carrasco *et al.* 2016). Varios estudios han utilizado modelos estadísticos, como las regresiones logísticas binarias, el Bayesiano, modelos lineales generalizados (GLMs, por sus siglas en inglés) y los multivariados (Jiménez 2005; Olivera-Gómez y Mellink 2005; LaCommare *et al.* 2008; Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014; Guzmán y Condit 2017) para estimar la presencia y el tamaño poblacional de manatíes en función de las características del hábitat. Una de las ventajas del modelo random forest, utilizado en el presente estudio, es que evalúa la contribución de cada variable predictora de forma independiente, es decir, sin modificar a las demás (Cutler *et al.* 2007).

El objetivo de este estudio fue caracterizar y determinar los factores eco-hidrológicos que inciden en la presencia y uso de hábitat de manatíes en el sistema fluvial del río Hondo, Quintana Roo, principalmente en los primeros 81 kilómetros de su cauce. Esta información permitirá conocer la manera en que los manatíes utilizan el hábitat del río, sugerir aspectos para el manejo, en términos de conservación y desarrollo sostenible, de un río con fuerte presión ambiental (p. ej. contaminación del agua debido al uso de agroquímicos, cambio de uso del suelo) y optimizar recursos y esfuerzos de futuras investigaciones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El río Hondo se localiza en el estado de Quintana Roo, entre las latitudes 2073907.3 y 333090.1 y longitudes 1960265.4 y 261381.3 (WGS84, UTM Zona 16 N); pertenece a la cuenca de la Bahía de Chetumal y otras (RH33A), en México (INEGI 2017a), y a la cuenca del río Hondo, en Belice (Meerman y Clabaugh 2017) (Figura 1). Este cuerpo de agua nace en Guatemala y fluye entre México y Belice, como frontera natural, hasta desembocar en la Bahía de Chetumal. El río es uno de los principales componentes hidrológicos de Chetumal que influyen en el sur de la bahía, ya que la alimenta anualmente con 1,500 mm³ de agua dulce, con un caudal mínimo de 20 m³/s en marzo y un caudal máximo de 220 m³/s en julio. Sin embargo, desempeña otras funciones como la regulación climática e hidrológica del área, ya

que está interconectado con humedales, lagunas, cenotes y otros cuerpos de agua del lugar (Magnon-Basnier 2002).

El río tiene una profundidad media de 10 m, un ancho promedio de 50 m y una pendiente media de 5°; la mayor parte del territorio alrededor del río es homogéneo en relieve, pero alberga una falla geológica sobre su cauce. El clima es cálido subhúmedo con lluvias de verano, temperatura media de 26 °C y precipitación media de 1,550 mm, pero es más frío y seco en la región aguas arriba (24 °C, 1,000 mm) y más cálido y húmedo cerca de la desembocadura (28 °C, 1,500 mm) (Magnon-Basnier 2002). La vegetación ribereña se caracteriza por presentar varios tipos de selvas: mediana subcaducifolia, baja perennifolia, baja inundable, sabana, cañaveral, pastizal cultivado y manglar ribereño (Granados-Sánchez *et al.* 1998; INEGI 2017b; Meerman y Clabaugh 2017).

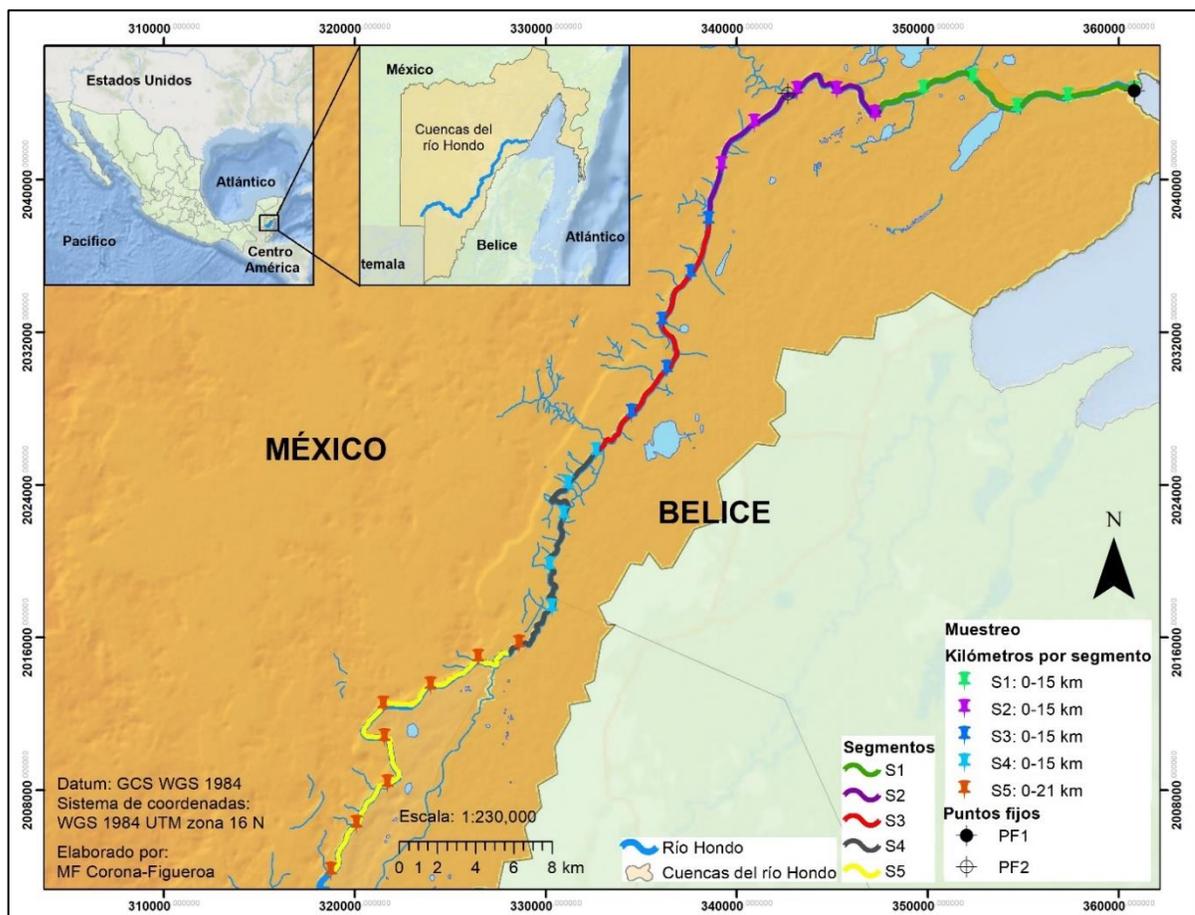


Figura 1. Ubicación del área de estudio, limitada a los primeros 81 km desde la desembocadura del río. Se observan los segmentos asignados, los kilómetros por segmento y los puntos fijos muestreados.

A partir de la información obtenida en la literatura, más el conocimiento local¹ previo y por razones de logística y de presupuesto, el área de estudio se delimitó a solamente los primeros 81 kilómetros desde la desembocadura del río, es decir, a la altura de la localidad de San Francisco Botes (Figura 1).

2.2. Muestreo de manatíes

En este estudio, se utilizaron metodologías directas para observar manatíes (observaciones en bote, detecciones con sonar de barrido lateral y avistamientos en puntos fijos) e indirectas (búsqueda de rastros), durante noviembre de 2017 y de enero a junio de 2018, abarcando dos temporadas hidroclimáticas (nortes y secas).

2.2.1. Metodologías de detección

a. Sonar de barrido lateral y avistamientos

Se realizaron recorridos acuáticos por segmentos ($n = 5$) en una embarcación con motor fuera de borda de cuatro tiempos y 60 HP, a una velocidad entre 7.0 y 8.0 km/h. Los segmentos fueron de 15 km de largo (excepto el segmento cinco, que tiene 21 km) ubicados en el centro y a lo largo del cauce que se ubica en las áreas baja y central del río Hondo (Magnon-Basnier 2002) (Figura 1). Cada segmento se muestreó en días distintos, salvo los dos primeros, que se muestrearon en un solo día, una vez al mes durante el período de estudio. En cada recorrido, la embarcación se dirigió en dirección sureste, es decir, río arriba. El ángulo de la trayectoria completa (desde el punto de zarpe hasta el kilómetro 21 del segmento 5) fue de 62.8° ; la trayectoria completa mensual fue de 167 km, tomando en cuenta el regreso de la embarcación.

La embarcación estuvo equipada con una unidad de sonar de barrido lateral (GARMIN echomap 74sv, de 500 W de potencia), se utilizó un ancho lateral de 30 m y una frecuencia de 260 kHz. La tripulación de la embarcación constó de un motorista y al menos dos

¹ A finales de agosto de 2017, personas de la localidad de San Francisco Botes avistaron un grupo de cinco manatíes, el cual se publicó en las redes sociales. (<https://www.facebook.com/ChetumalOficial/posts/1157730960994168>)

observadores. Un observador se encargó de utilizar el sonar durante los recorridos, mientras que el otro observador se encargó de avistar manatíes, confirmar visualmente las detecciones del sonar y en buscar rastros. Con el sonar de barrido lateral se registró la distribución mediante la presencia de manatíes a lo largo de los segmentos, el número de individuos y la clase etaria (crías y adultos) (Figura 2). Al detectar una forma que se asemejara a la de un animal de gran porte, se procedió a pasar dos veces por el mismo sitio para confirmar si el objeto detectado correspondía a un manatí (Arriaga-Hernández 2013).

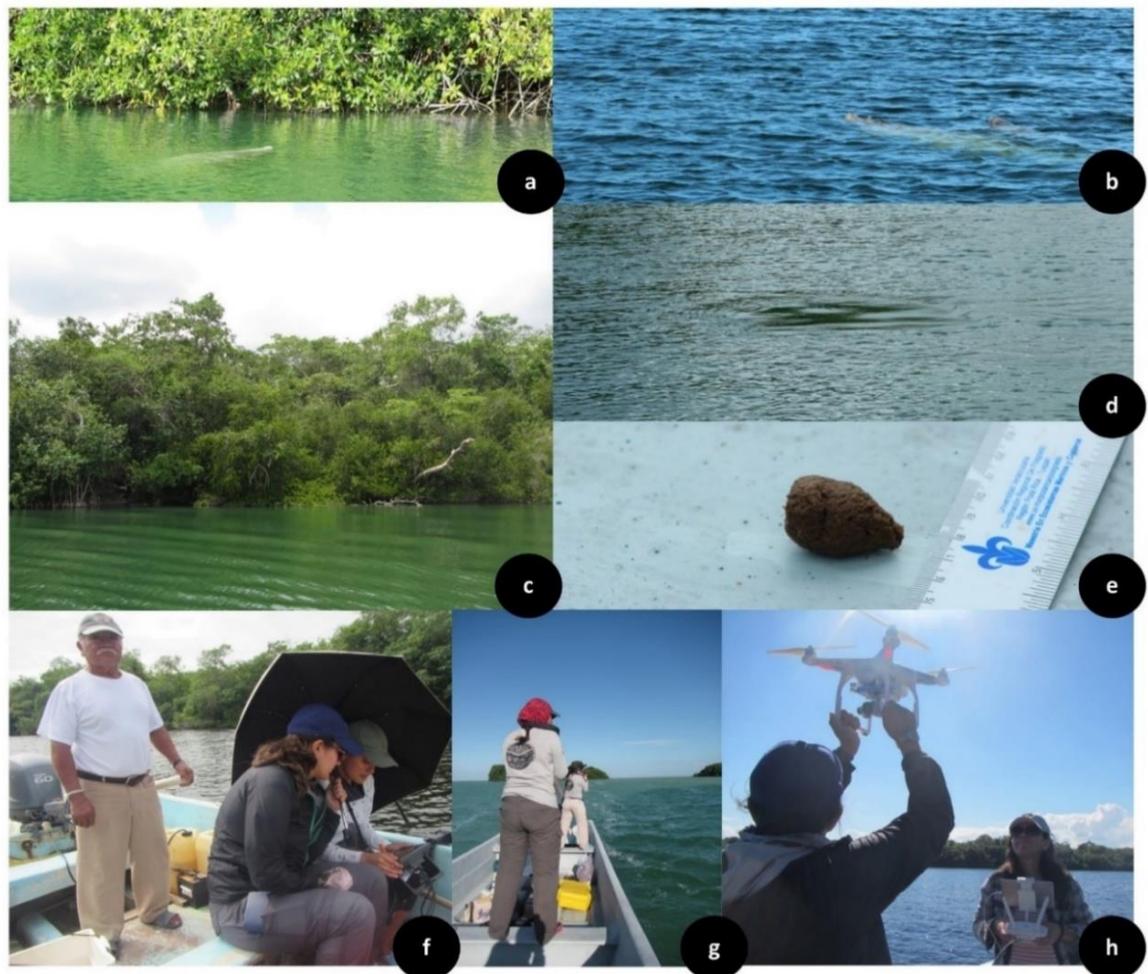


Figura 2. Observación del hábitat, evidencias directas e indirectas de manatíes y los métodos implementados en este estudio: a) hocico de un manatí adulto; b) asociación madre-cría; c) manglar ribereño, hábitat típico de la especie en sistemas de agua dulce; d) ondas o estelas sobre el espejo de agua creadas durante la inmersión de un manatí; e) fragmento de heces de manatí; f) utilización del sonar de barrido lateral, g) observación en puntos fijos y h) uso de un dron liviano. Fotografías: MF. Corona-Figueroa, N. Garcés-Cuartas, SS. Landeo-Yauri.

La confirmación de los individuos se obtuvo por medio de rastros directos, es decir, observación del lomo, cola u hocico al momento que sale a respirar a la superficie; e indirectos, como burbujas, sedimento en suspensión por los movimientos de la cola y aletas, y formación de estelas en la superficie (Figura 2). De cada observación, confirmada o no, se tomó una captura de pantalla con el sonar para registrar la información y el porte del objeto; además, todos los recorridos fueron grabados para ser analizados posteriormente. Con el sonar de barrido lateral también se registraron los datos de dirección del trayecto, día, mes, hora, sitio (coordenada), profundidad del río (m) y tipo de fondo, en cada recorrido (Arriaga-Hernández 2013).

Se midieron factores eco-hidrológicos y antrópicos en cada evento de detección de manatíes durante los recorridos acuáticos; los factores también se midieron cada tres kilómetros a lo largo de cada segmento para incluir información en ausencia de manatíes (Figura 1); a cada kilómetro se le asignó un nombre de acuerdo con el segmento², por ejemplo, S1Km3 corresponde al kilómetro tres del primer segmento. Las observaciones de manatíes ajenas del segmento en muestreo también fueron registradas, así como la medición de los factores (Anexo 1.1). Estas observaciones se consideraron como oportunistas.

Evaluación de imágenes del sonar de barrido lateral

Durante los recorridos acuáticos, hubo ocasiones en las que no se observó rastro directo o indirecto de la presencia de manatí, aunque el sonar mostrara algún objeto con la apariencia del animal, por lo que se procedió a capturar las imágenes. Se realizó una primera revisión de las imágenes capturadas y las grabaciones de cada recorrido y se seleccionaron aquellas que cumplieran los estándares del perfil, forma y tamaño de un manatí. La revisión de imágenes se realizó mediante un visor de imágenes y las grabaciones, por medio del programa HomePort (Garmin). A continuación, se compararon con imágenes de manatíes capturadas con sonar en otros estudios (González-Socoloske y Olivera-Gómez 2012; Castelblanco-Martínez 2014) y se eliminaron aquellas donde se observó el mismo objeto (p. ej. troncos, rocas, agujeros en el sedimento) en todos los recorridos. Las imágenes seleccionadas se clasificaron por mes y por segmento y se organizaron en un catálogo.

² Los kilómetros para cada segmento se asignaron de 0 a 15 (o 21 km, en el caso del quinto segmento). El kilómetro 15 de cada segmento es el mismo kilómetro 0 para el segmento que le sigue.

Se capturó un total de 515 imágenes, de las cuales 12 fueron confirmadas visualmente en campo y 341 contenían al menos un objeto considerado como un animal. De éstas, se seleccionaron aquellas imágenes que presentaran el perfil y el tamaño estándar de un manatí: 8 fueron corroboradas con la literatura y 146 se organizaron en un catálogo para una evaluación por expertos en el uso del sonar aplicado a la investigación en manatíes (Anexo 1.2).

De acuerdo con el análisis de los valores de confiabilidad, siguiendo la metodología de Castelblanco-Martínez (2014), 17 imágenes fueron aprobadas por los expertos. Algunos ejemplos de las imágenes que corresponden a las detecciones de manatíes confirmadas en campo, imágenes corroboradas con la literatura y por consulta a expertos, e imágenes con objetos que pueden confundirse con manatíes (p. ej., troncos, rocas) pueden apreciarse en el Anexo 1.3.

b. Observación en puntos fijos

Se realizaron observaciones desde dos puntos fijos georreferenciados, los cuales se asignaron de acuerdo con las observaciones reportadas en la literatura (Morales-Vela *et al.* 1999; Castelblanco-Martínez 2010; Castelblanco-Martínez *et al.* 2013; Quintana-Rizzo *et al.* 2015), para el caso del punto fijo de la desembocadura (PF1), y con la información obtenida a partir de entrevistas³, para el caso del punto fijo asignado en la confluencia entre los ríos Ucum y Hondo (PF2) (Figura 1); las observaciones del PF2 sólo se realizaron en época de secas. Para realizar estas observaciones, se aprovecharon los recorridos acuáticos y la embarcación, con el motor apagado, se ubicaba en lugares despejados para facilitar la visibilidad a lo largo y ancho del río, según lo recomendado por Morales-García (2013).

En cada punto de observación se realizó una espera silenciosa de 20 min., aproximadamente; se consideró como avistamiento efectivo aquel en el cual se observó el lomo, la cola o el hocico del individuo. Cuando las condiciones lo permitieron, se realizó un sobrevuelo con un dron liviano (modelo Phantom 3, con GPS integrado y cámara de 12.4 MP) como metodología auxiliar para verificar el tamaño de los individuos y, de ser posible, el

³ Los resultados de las entrevistas se presentan en el segundo artículo: “Conocimiento local del manatí antillano (*Sirenia: Trichechus manatus manatus*, L.) y su hábitat en comunidades mexicanas de la ribera del río Hondo, Quintana Roo”.

comportamiento de éstos, como información complementaria (Figura 2). Los sobrevuelos se efectuaron a una altura menor de 50 m y anchos de banda variables, pues sólo fueron para confirmar los avistamientos y realizar conteo de individuos (Landeo-Yauri *et al.* 2017; Ramos *et al.* 2017). Posterior a la observación de individuos, se procedió a medir los factores ecohidrológicos y antrópicos; estas mediciones también se realizaron cuando no se registraron observaciones.

c. Búsqueda de rastros

Como complemento de las detecciones de manatíes, se utilizó el método indirecto mediante la búsqueda de rastros, principalmente heces, realizado por uno de los observadores. Para esto, se aprovechó cada recorrido cuando el sonar estaba en uso y en las esperas silenciosas en los puntos fijos. Cada rastro encontrado se consideró como un individuo indeterminado. Las heces fueron colectadas y almacenadas en el Laboratorio de Biología y Ecología Molecular de la Universidad de Quintana Roo (Figura 2). Más información sobre las heces colectadas puede consultarse en el trabajo de Arévalo-González (s. f.), de próxima publicación.

2.2.2. Registro de clase etaria y comportamiento de manatíes

La clase etaria se diferenció cuando se observaron individuos solitarios o agrupados: cría, cuando el individuo tuvo un tamaño menor a 2.0 m, y se encontrara acompañado de su madre; y adulto, cuando presentó un tamaño mayor a 2.0 m (Morales-Vela *et al.* 2000). Cuando las condiciones lo permitieron, también se diferenciaron crías y adultos a partir de las imágenes del sonar de barrido lateral, por el contraste en los tamaños entre los individuos que se encontraron durante el avistamiento (González-Socoloske *et al.* 2009). Aquellos individuos que no se les pudo determinar la clase etaria se clasificaron como indeterminados, y esta clasificación también se consideró para las heces.

En cada avistamiento efectivo, se esperó alrededor de diez minutos para registrar la actividad o comportamiento de los individuos, cuando éste fue fácilmente evidente, tanto en los recorridos acuáticos como en los puntos fijos. Los comportamientos registrados fueron

clasificados de acuerdo con Hartman (1979): a) desplazamiento: inicialmente el manatí se encontraba en movimiento y, luego del momento de espera, se desplazó de la zona sin ser observado nuevamente; b) sumergidos: se determinó cuando los manatíes se observaron por medio del sonar; los individuos permanecieron sumergidos durante el momento de espera; c) alimentación: los manatíes se encontraban sumergidos en áreas con fondo de pastos densos; eventualmente se observaron restos de vegetación flotando en la superficie (Anexo 1.4), por lo que podrían considerarse rastros de alimento; y d) crianza: cuando se observaron manatíes en pareja, cuyos individuos diferían en tamaños y permanecían muy cercanos uno de otro.

2.3. Factores eco-hidrológicos, climáticos y antrópicos

Se seleccionaron 13 factores, entre estos eco-hidrológicos, climáticos y antrópicos, los cuales han influido en la distribución del manatí en otras regiones del Caribe, según la literatura (Hartman 1979; Axis-Arroyo *et al.* 1998; Olivera-Gómez y Mellink 2005). Los factores son: a) eco-hidrológicos: temperatura (°C), conductividad (mS/cm), transparencia (m), profundidad (m), tipo de fondo (sustrato limoso, pastos densos, pastos dispersos, sustrato de manglar; de acuerdo con González-Socoloske y Olivera-Gómez (2012) y McLarty (2017)), distancia al río más cercano (m), distancia a la desembocadura (m), distancia al uso de suelo (m) y cobertura vegetal de las orillas (%); b) climáticas: precipitación (mm), temperatura atmosférica mínima y máxima (°C); y c) antrópicos: número de embarcaciones con motor que se encontraran transitando en ese momento.

Las mediciones de temperatura y conductividad se realizaron mediante una sonda multiparamétrica; la transparencia, mediante un disco Secchi. La profundidad y el tipo de fondo del río se midieron con el sonar de barrido lateral. El uso del suelo se determinó en las orillas de las áreas baja y central del río Hondo, específicamente en los sitios donde se localizaron los segmentos, para lo cual se utilizó una zona buffer o área de amortiguamiento de 400 m medido desde el cauce del río; las categorías son: manglar, vegetación de selva mediana subperennifolia, vegetación de selva baja subperennifolia, tular, sabana, agricultura de temporal anual y semipermanente, pastos cultivados y asentamientos. Las capas de información de los usos de suelo se obtuvieron en formato vectorial para el año 2017, a partir

de las plataformas en línea del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)⁴, en el caso de México, y Biodiversity & Environmental Resource Data System of Belize⁵, para Belice.

Las lagunas o ríos tributarios principales, ubicados en el área de estudio, y la desembocadura fueron georreferenciados a partir de la capa de información base que proporciona el programa ArcMap 10.3, la cual está vinculada a la información satelital que proporciona Google Earth. A cada cuerpo de agua seleccionado se le asignó un nombre, de acuerdo con la nomenclatura de la red hídrica de México (INEGI 2017a) o, en su defecto, por la localidad más cercana y las referencias de los entrevistados²: Boca (desembocadura), Four Mile, López (Subteniente López), Chac (Estero Chac), Ucum, Diablo (río de la Curva del Diablo) y Román (río de la aldea de San Román).

La cobertura vegetal se determinó en ambas orillas como porcentaje total y se clasificó de acuerdo con las especies vegetales dominantes: manglar (*Rhizophora mangle*), otros mangles (*Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*), cortadera (pasto de orilla: *Cladium jamaicense*), palma chi (*Acoelorrhaphe wrightii*), otros (vegetación de selva mediana y selva baja subperennifolia) y sin vegetación (sitios urbanos). Los nombres científicos de la vegetación de la ribera se determinaron mediante literatura (Granados-Sánchez *et al.* 1998). En cuanto a los factores climáticos, la información fue recopilada por las estaciones climatológicas de Chetumal, Quintana Roo (CHOQR) y La Unión, la cual fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional, de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en México.

2.3.1. Procesamiento de las variables

En los análisis se tomaron en cuenta solamente los factores eco-hidrológicos, ya que las variables climáticas no mostraron variabilidad entre los meses de muestreo y, además, presentaron datos atípicos; también se excluyeron las variables de cobertura vegetal de las orillas, debido a la redundancia de información con respecto al uso de suelo y las antrópicas, porque el número de embarcaciones, en promedio, fue igual a cero.

⁴ <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>

⁵ <http://www.biodiversity.bz/>

Para fines analíticos, los factores eco-hidrológicos se clasificaron de acuerdo con la variabilidad temporal, como factores temporales y no temporales. Dentro del primer grupo se encuentra la temperatura, la conductividad y la transparencia. Los factores no temporales o que mostraron poca variación entre sí durante los meses de muestreo fueron la profundidad, el tipo de fondo, la cobertura vegetal y las distancias hacia los usos de suelo, ríos y desembocadura.

A partir de los datos de profundidad, se construyó una capa de información en formato vector, con el programa ArcMap 10.3. Con esta información, más la delimitación del cauce del río y el modelo de elevación digital de la cuenca, se calculó la profundidad de todo el cauce en estudio y se elaboró una capa de profundidades en formato ráster. Las capas de información, en formato vector, del uso de suelo y la georreferenciación de los ríos y la desembocadura se transformaron a formato ráster para calcular las distancias (m) entre los muestreos de manatíes y la información proporcionada por las capas, para un tamaño de píxel de 30 m.

2.4. Análisis de datos

2.4.1. Clase etaria y abundancia relativa

La clase etaria (adultos, crías e indeterminados) se analizó como el número de individuos avistados durante los recorridos acuáticos y por puntos fijos, para ambas épocas de muestreo. Se utilizó el índice de abundancia relativa (IAR) como un indicador del uso del área de estudio por los manatíes (Castelblanco-Martínez *et al.* 2017) y se calculó como la sumatoria de todas las evidencias encontradas (observaciones directas, incluyendo registros oportunistas, e indirectas) en cada segmento (total de km recorridos) y por tiempo de espera (min), en el caso de los puntos fijos; para ambos casos, el IAR se calculó por época de muestreo.

2.4.2. Estimación de la población de manatíes

Para estimar el tamaño de la población de manatíes en el río Hondo, se ajustó el N-modelos de mezcla (N-mixture model) para replicaciones espaciales propuesto por Royle (2004); se utilizó la función pcount (segmento-especifico) de la librería unmarket (Fiske y

Chandler 2011) en el programa R (RCoreTeam 2018). El modelo fue parametrizado con base en el diseño de muestreo de los recorridos acuáticos (modelo segmento-específico); cada segmento (15 km) se asumió como una réplica espacial, y los conteos mensuales se utilizaron para estimar la detectabilidad (la tabla de conteo tiene dimensiones 5 x 7).

Las variables de temperatura, transparencia y conductividad fueron transformadas a través de un análisis de componentes principales para evitar la colinealidad en el modelo. Los componentes fueron incluidos como variables explicativas para modelar la probabilidad de detección. La abundancia solamente fue modelada en función del intercepto. Se ajustaron modelos con distribución de Poisson y binomial negativa que considera la sobre dispersión. El parámetro k de integración usado es igual al número de segmentos multiplicado por los muestreos temporales ($k=35$). El tamaño de la población fue estimado como la suma de las abundancias estimadas por segmento.

2.4.3. Distribución espacial de manatíes e importancia de los factores eco-hidrológicos

Debido a que el modelo de estimación de poblaciones está basado en los cinco segmentos y determinado por variables que modelan solamente la probabilidad de detección, no es posible utilizarlo para evaluar la importancia relativa de los factores eco-hidrológicos y generar mapas de distribución de presencias de manatíes. Como variables predictoras ($p = 21$) del modelo de estimación de presencia de manatíes, se utilizaron sólo los factores eco-hidrológicos (cada uno con sus niveles): transparencia, profundidad, temperatura, conductividad, distancia a ríos, distancia a la desembocadura, distancia a los usos de suelo; la ubicación (Coordenadas X y Y) también se incluyó en el modelo. El tipo de fondo no fue tomado en cuenta en este modelo debido a que, en este estudio, no explicó la detección de manatíes.

Para identificar la importancia relativa de los factores eco-hidrológicos se ajustó un modelo de clasificación ordinal (0 a 4 manatíes) con el método random forest, usando la función randomForest (Liaw y Wiener 2002) del programa R. Random Forest es un algoritmo de clasificación y regresión muy potente, flexible y de fácil parametrización. Genera n -número de árboles de manera aleatoria a través del remuestreo de los datos y los ensambla, para luego

usarlos en la predicción a través de votos, permitiendo de esta forma reducir la varianza. La selección de las variables de inicio en cada árbol ensamblado se realiza aleatoriamente (Strobl *et al.* 2009). De esta manera, el algoritmo es competente para evaluar la contribución y el comportamiento de cada variable predictora, así como las relaciones no lineales y tiene, además, un gran potencial para evitar el sobre ajuste (Cutler *et al.* 2007).

El modelo se generó con 500 árboles de clasificación y la cantidad de variables, seleccionadas en cada partición fue de cuatro. Se utilizó el índice de Gini para evaluar la contribución de las variables predictoras e identificar las variables con mayor poder predictivo (más importantes).

La calidad o robustez de este modelo se evaluó con el estadístico AUC (Area Under the Curve) o área bajo la curva ROC (Receiver Operating Characteristics), el cual representa gráficamente la relación entre el porcentaje de presencia correctamente predicha (sensibilidad, casos positivos) y uno menos el porcentaje de ausencias correctamente predichas (especificidad, falsos positivos); en otras palabras, el AUC evalúa la capacidad del modelo para clasificar correctamente a una especie como presente o ausente (pseudoausencia) (Hanley y McNeil 1982). El valor de AUC se encuentra entre 0 y 1 (0 a 100%) y, de acuerdo con Peterson *et al.* (2011), valores entre 0.7 y 0.9 corresponden a modelos buenos y aquellos con valores mayores a 0.90, como modelos muy buenos. La curva fue contrastada entre ausencias y presencias, siendo presente aquellos conteos con valores iguales o mayores a 1. La curva ROC se realizó con el paquete pROC (Robin *et al.* 2011) en el programa R.

Es importante aclarar que, tanto para la estimación de la población como para la predicción de la presencia de manatíes, los conteos provienen de las metodologías directas (observaciones y detecciones con sonar y observaciones en puntos fijos). En el caso del modelo de distribución, los datos utilizados fueron basados en los 268 registros de ausencia de manatíes y avistamientos (entre 1 y 4 manatíes) en los siete meses de muestreo; es decir, las observaciones se consideraron como registros independientes. El modelo de random forest no fue utilizado para estimar el tamaño de la población de manatíes, dado que el uso de este modelo podría sobreestimar la población.

a. Mapa de distribución

Para crear el mapa de distribución de probabilidades de presencia de manatíes para el cauce muestreado, se generaron mapas continuos en formato ráster, para todos los factores eco-hidrológicos (temporales y no temporales) usados en el modelo random forest. El algoritmo random forest también se utilizó para la construcción de los mapas continuos a través de interpolación y, en este caso, las variables predictoras fueron las coordenadas geográficas. Para el mapa de profundidad se incluyeron, además de las coordenadas, los usos de suelo y para el tipo de fondo se consideraron la profundidad y el uso de suelo. Las categorías de los tipos de fondo se codificaron de la siguiente manera: mangle (1), pastos densos (2), pastos dispersos (3) y sustrato limoso (4). A los mapas de las variables eco-hidrológicas temporales (conductividad, la temperatura y la transparencia) se les incluyó la variable del mes como factor y otras influyentes como la precipitación, el tipo de fondo, la profundidad, el uso de suelo y a la distancia a los ríos tributarios.

2.4.4. Clasificación y uso del hábitat

A partir de las variables importantes determinadas por el modelo de predicción de la presencia de manatíes, se realizó un análisis de componentes principales para caracterizar los segmentos del río; posteriormente, se relacionó el espacio bidimensional del componente con la probabilidad de presencia, con el fin de describir sitios o segmentos del río con mayor presencia de manatíes y condiciones ambientales favorables. Por último, para observar la relación de los segmentos identificados con la clase etaria y los comportamientos de manatíes, se realizó un análisis de correspondencias, el cual fue realizado en el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2018).

3. RESULTADOS

El esfuerzo total de muestreo fue de 136.50 horas, aproximadamente 4.13 h por segmento completo. El esfuerzo de operación del sonar de barrido lateral, en kilómetros recorridos por mes, fue de 15 km para cada segmento, excepto el último que fueron 21 km.

3.1. Descripción del río Hondo con base en los factores eco-hidrológicos

Para los factores eco-hidrológicos medidos en el río (Cuadro 1), las temperaturas más altas se registraron en los meses secos, principalmente en mayo, con un máximo de 32 °C; las más bajas se reportaron en enero, durante la época de nortes, y la mínima fue de 24 °C. Los valores de conductividad oscilaron entre 1.01 y 2.23 mS/cm y los valores más altos se registraron en todos los meses, principalmente en junio. En cuanto a la transparencia, los meses que mostraron aguas más turbias fueron noviembre, febrero y marzo. La profundidad fue bastante similar en todos los meses; no obstante, la profundidad más baja registrada fue de 2.30 m y la más alta fue de 12.70 m.

En el río se determinaron cuatro tipos de fondo (Figura 3), siendo el más frecuente el sustrato limoso (44%), seguido por el sustrato de manglar (29%), los pastos dispersos (21%) y los pastos densos (6%). Entre los usos de suelo, indicado en porcentaje de hectáreas para un buffer de 400 m alrededor del cauce de muestreo, el más representado es el de tipo tular (53%), seguido por el bosque de mangle (17%), la vegetación de selva baja subperennifolia (10%) y la agricultura (8%); el menos representado fue el pasto cultivado (Figura 4).

Todo el cauce muestreado del río Hondo presenta ríos tributarios o lagunas adyacentes; los más cercanos a la desembocadura, es decir, los que se encuentran en el primer segmento, son la laguna Four Mile y el río cercano al poblado de Subteniente López. En el segundo segmento se ubican el Estero Chac y el río Ucum; y en el cuarto y quinto segmentos se encuentran los ríos de la Curva del Diablo y San Román (río Azul), respectivamente (Figura 4). El tercer segmento también presenta ríos tributarios; sin embargo, no fueron considerados en este estudio.

Cuadro 1. Medias, coeficientes de variación (%) y rangos de los factores eco-hidrológicos medidos en el río Hondo, por meses de muestreo.

Época	Mes/Año	Temperatura (°C)				Conductividad (mS/cm)				Transparencia (m)				Profundidad (m)			
		\bar{x}	CV	Mín.	Máx.	\bar{x}	CV	Mín.	Máx.	\bar{x}	CV	Mín.	Máx.	\bar{x}	CV	Mín.	Máx.
Nortes	Nov17	27.85	3.21	26.80	29.60	2.09	35.57	1.48	3.25	1.70	20.56	1.15	2.30	7.47	29.55	3.30	11.30
	Ene18	26.01	2.54	24.26	27.60	2.00	33.45	1.40	3.29	2.43	45.24	1.02	4.93	7.41	24.43	4.00	10.50
	Feb18	27.08	2.13	25.20	28.40	1.44	26.23	1.16	2.52	1.71	44.93	0.87	3.43	7.17	34.60	2.30	11.90
Seca	Mar18	28.11	2.69	25.64	29.70	1.01	17.32	0.84	1.29	1.51	35.66	0.86	2.64	7.26	28.85	2.50	11.40
	Abr18	29.49	1.95	27.40	30.60	1.71	15.77	1.08	2.28	2.80	32.15	1.24	4.33	7.18	29.44	2.50	11.60
	May18	31.18	2.43	28.98	32.40	2.00	28.75	1.63	5.10	2.14	54.32	0.36	5.33	7.57	24.68	3.10	12.20
	Jun18	30.76	2.10	28.88	32.00	2.23	38.07	1.63	4.44	2.40	34.98	0.82	4.31	7.75	23.01	3.70	12.70

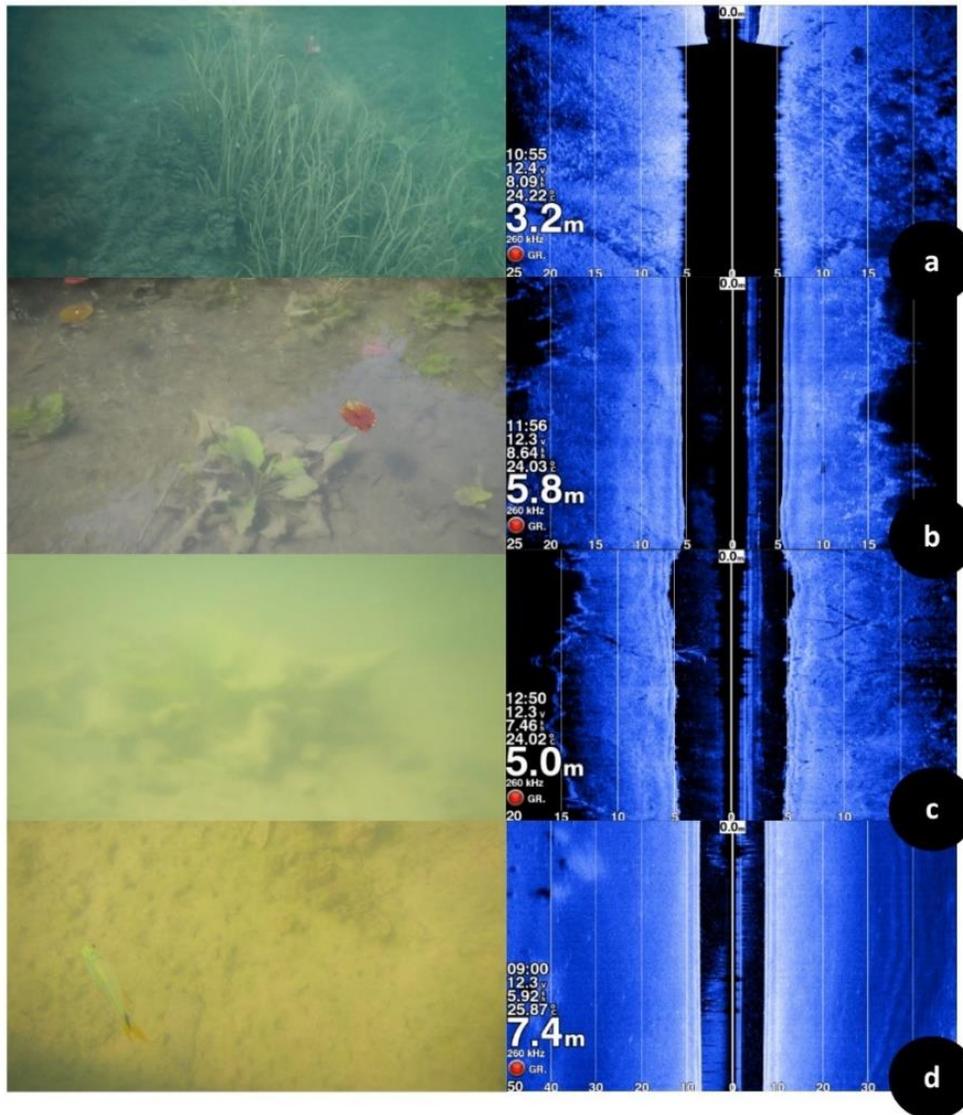


Figura 3. Tipos de fondo determinados en los segmentos muestreados del río Hondo: a) pastos densos, b) pastos dispersos, c) sustrato de manglar y d) sustrato limoso. Fotografías: GK Arévalo-González y MF Corona-Figueroa.

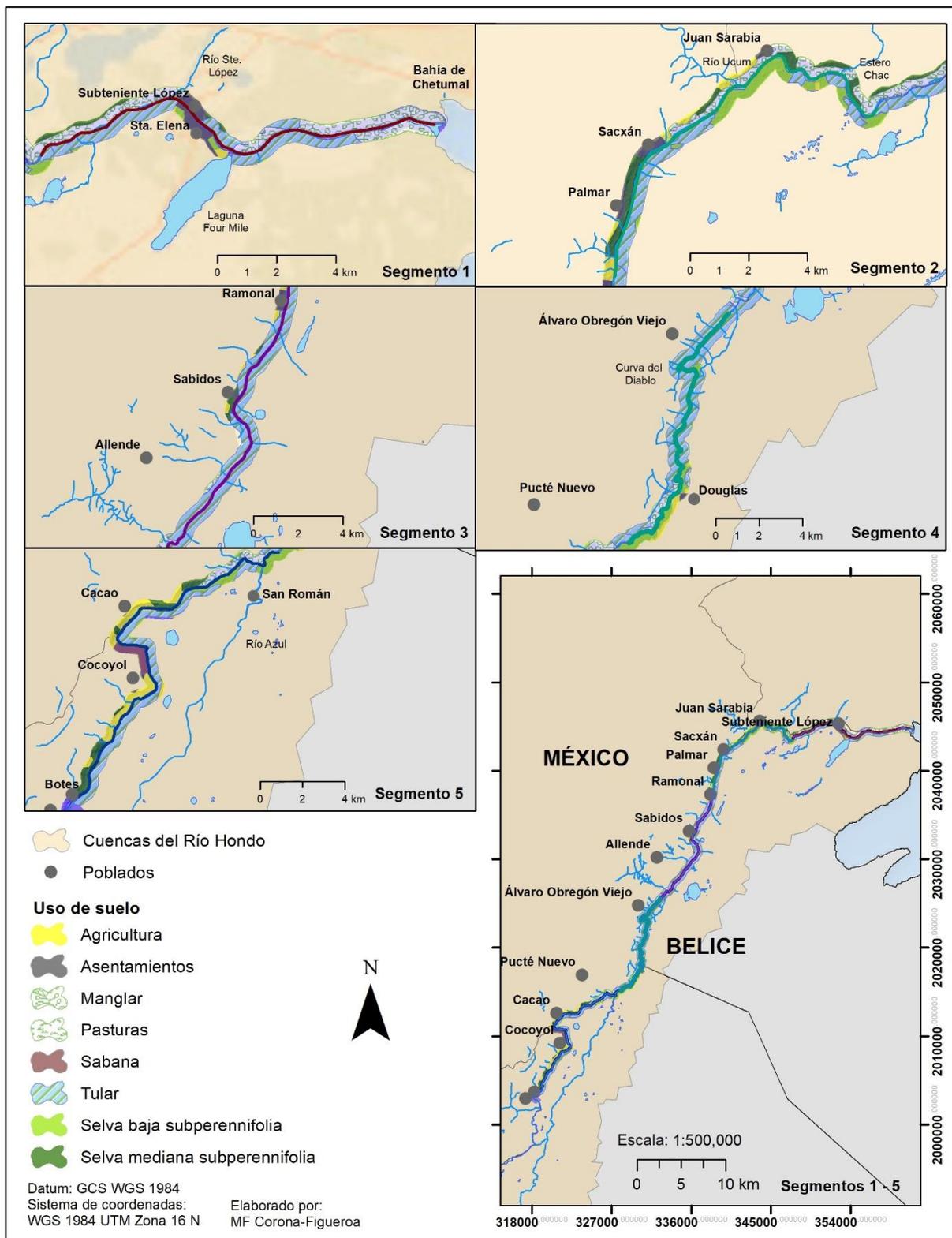


Figura 4. Usos de suelo delimitados con un buffer de 400 m y ríos tributarios para los segmentos muestreados en el río Hondo.

3.2. Abundancia relativa y clase etaria de manatíes

Se avistaron 123 manatíes mediante observaciones directas, en los meses de estudio y en los segmentos abarcados; de éstos un 47% corresponden a observaciones durante los recorridos y 29% a puntos fijos; el 24% restante corresponde a observaciones oportunísticas (Figura 5). En cuanto a las observaciones indirectas, se hallaron 10 rastros de heces de manatí en todos los segmentos muestreados, principalmente en los primeros dos (Figura 5).

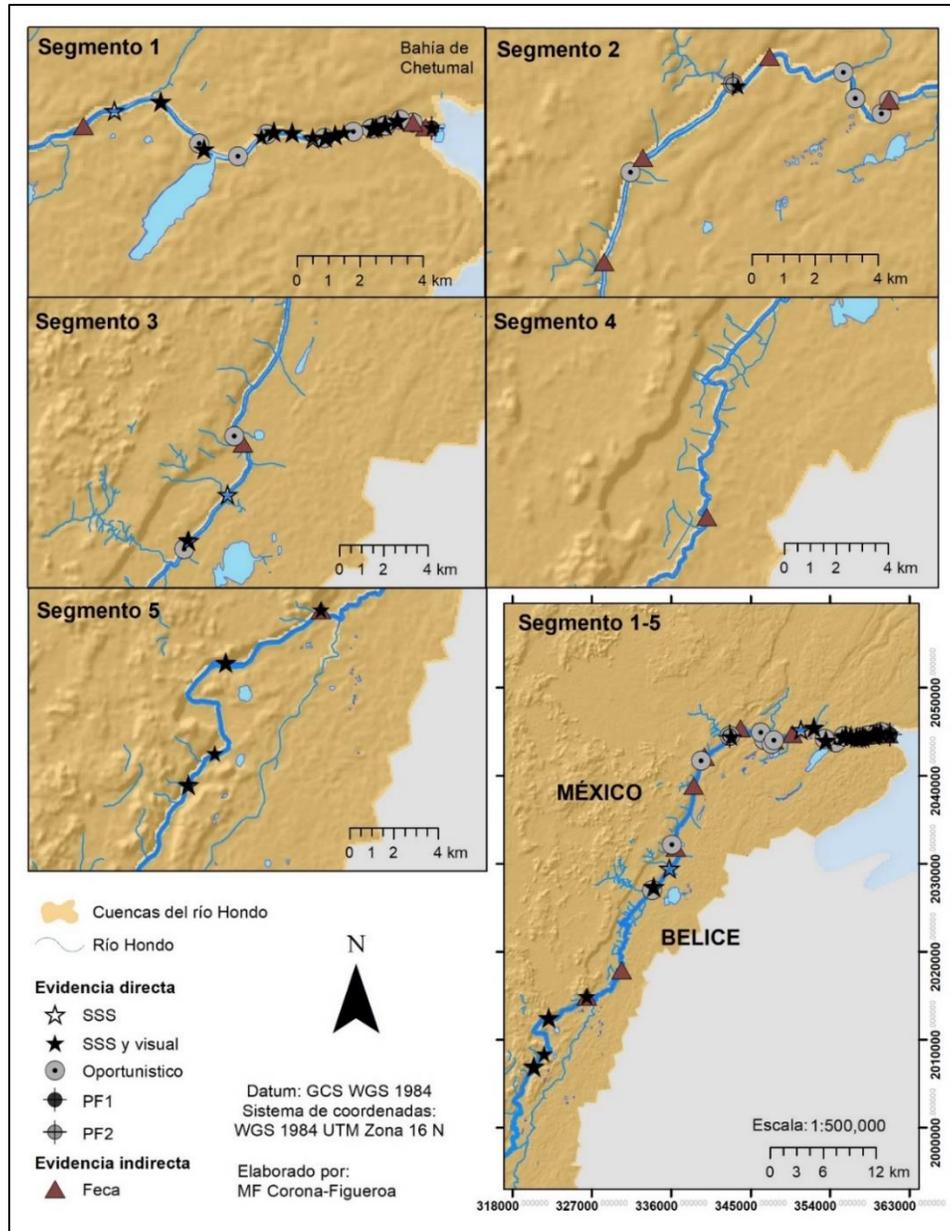


Figura 5. Observación de manatíes en el río Hondo por método utilizado en este estudio.

De los 133 manatíes avistados, 45% corresponde a adultos, 16% a crías y 39% a indeterminados (incluyendo los 10 rastros encontrados) (Cuadro 2). Se observaron individuos adultos e indeterminados en todos los segmentos del río (a excepción del cuarto), principalmente en la época seca; en cambio, las crías sólo se observaron en los primeros tres segmentos. De los 83 eventos registrados (Anexo 1.5), 45% corresponde a observaciones con sonar de barrido lateral (SSS), 46% a método visual y 13%, a rastros. En cuanto a la observación de individuos solitarios o grupos, excluyendo los eventos de rastro, las frecuencias observadas fueron: solitarios 51%, parejas 34% y grupos de tres o cuatro individuos, 11% y 4%, respectivamente.

La época con mayor abundancia relativa de manatíes fue la seca; el primer segmento del río fue el que presentó mayor abundancia relativa para ambas épocas. El segmento cuatro fue el que mostró menor presencia de manatíes para ambas épocas. En cuanto a los puntos fijos, la abundancia relativa en la desembocadura fue mayor en época seca. La media del IAR para los segmentos en la época de nortes y de secas fue de 0.07 y 0.16, respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 2. Clase etaria de manatíes y rastros (heces) encontrados en los segmentos y puntos fijos, según la época muestreada.

Época	Nortes					Secas					Total	
	Muestreo	Adultos	Crías	Indet.	Rastros	Total	Adultos	Crías	Indet.	Rastros		Total
Segmento1		13	3	4	2	22	21	7	19	2	49	71
Segmento2		0	0	0	0	0	3	2	3	3	11	11
Segmento3		0	0	3	0	3	1	1	2	1	5	8
Segmento4		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Segmento5		2	0	0	0	2	1	0	2	1	4	6
PF1		4	2	1	0	7	13	6	7	0	26	33
PF2		---	---	---	---	---	2	0	1	0	3	3
Total		19	5	8	2	34	41	16	34	8	99	133

Indet. = individuos indeterminados.

Cuadro 3. Índice de abundancia relativa (IAR) según la presencia de manatíes por temporada y tipo de muestreo.

Época	Nortes				Secas				
	Muestreo	Esfuerzo*	Presencias	IAR	# Ind. Est.	Esfuerzo*	Presencias	IAR	# Ind. Est.
Segmento1		45.00	12	0.27	3	60.00	33	0.55	18
Segmento2		45.00	0	0.00	0	60.00	8	0.13	1
Segmento3		45.00	2	0.04	0	60.00	3	0.05	0
Segmento4		30.00	0	0.00	0	60.00	1	0.02	0
Segmento5		42.00	2	0.05	0	84.00	3	0.04	0
PF1		220.00	5	0.02	0	340.00	11	0.03	0
PF2		---	---	---	---	260.00	3	0.01	0
Media (S1-S5)		41.40	3	0.07	1	64.80	10	0.16	2
Media (PF)		220.00	5	0.02	0	300.00	7	0.02	0

(*) El esfuerzo de muestreo, en el caso de los segmentos, es por kilómetros recorridos; para el caso de los puntos fijos, por tiempo de espera (min).

Ind. Est. = Número de individuos estimados.

3.3. Estimación del tamaño de la población de manatíes

El tamaño poblacional de manatíes estimado para el cauce muestreado, según el mejor ajuste (AIC = 151), es de 51 individuos (Cuadro 4). La abundancia media de manatíes es mayor en el primer segmento, para los tres modelos comparados, y disminuye en los segmentos más alejados de la desembocadura. El segmento 4 es donde se estimó menor abundancia de manatíes, según los tres modelos.

Cuadro 4. Estimación del tamaño poblacional y abundancia media de manatíes por segmento en el río Hondo, según los modelos nulo, Poisson y binomial negativa.

Segmento	Nulo AIC: 273.68			Poisson AIC: 151.22			B. negativa AIC: 183.26		
	Media	LI	LS	Media	LI	LS	Media	LI	LS
Segmento1	34	32	35	34	32	35	34	31	35
Segmento2	11	10	13	11	10	12	13	10	16
Segmento3	5	3	7	4	3	7	12	7	18
Segmento4	1	0	3	0	0	1	6	2	11
Segmento5	3	2	6	2	2	4	12	7	18
Total	54			51			77		

Hay un efecto positivo de los componentes principales 1 ($B= 0.72$, $p < 0.0001$) y 2 ($B=0.70$, $p<0.0001$) con la detección del modelo, indicando que a medida que aumentan la conductividad y la transparencia en el componente uno, aumenta la probabilidad de detectar manatíes. Mientras que, a medida que aumenta la temperatura en el componente dos, aumenta la probabilidad de detección (Anexo 1.6). Se observa que la probabilidad de detección tiende a aumentar en los meses de mayo y junio, siendo el segmento 1 el que registra la mayor probabilidad de detección de manatíes (Figura 6).

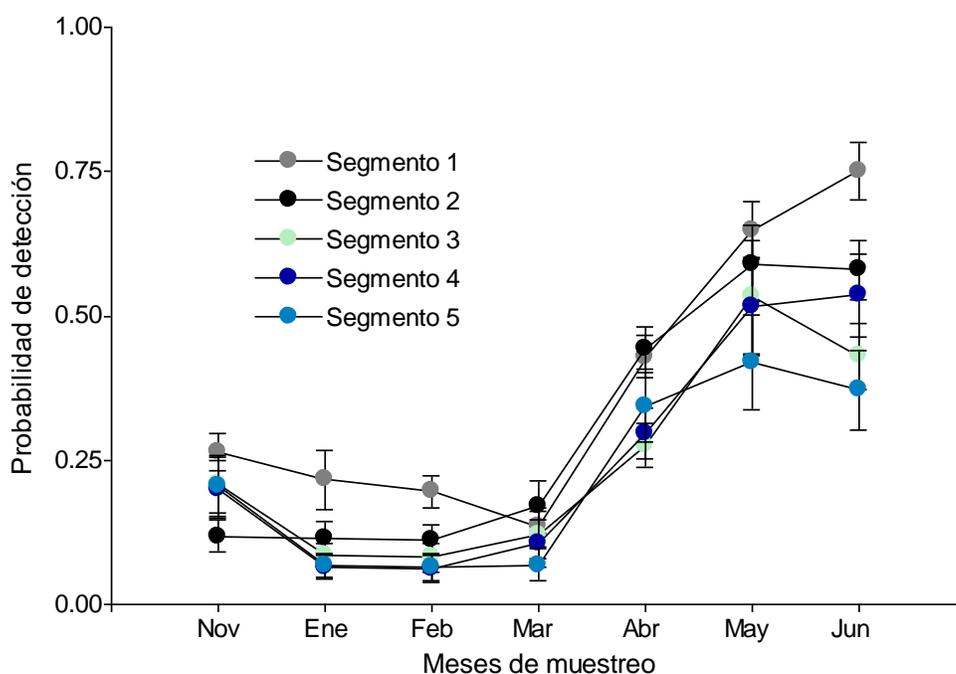


Figura 6. Probabilidad de detección de manatíes (modelo Poisson) por segmento, según los meses de muestreo.

3.4. Predicción de distribución de manatíes

Para el modelo de random forest determinó una tasa de error estimada (OOB) de 26% aprox. Del total de los registros utilizados ($n = 268$), el modelo clasificó incorrectamente 69 registros (Anexo 1.7). El modelo generado muestra que la eficiencia de predecir presencias o ausencias de manatíes se encuentran en el intervalo de AUC (curva ROC) de 0.76 a 0.97 (Figura 7) y, como valor específico, $AUC = 0.9257$, el cual indica que la precisión del modelo es muy bueno, según Peterson *et al.* (2011).

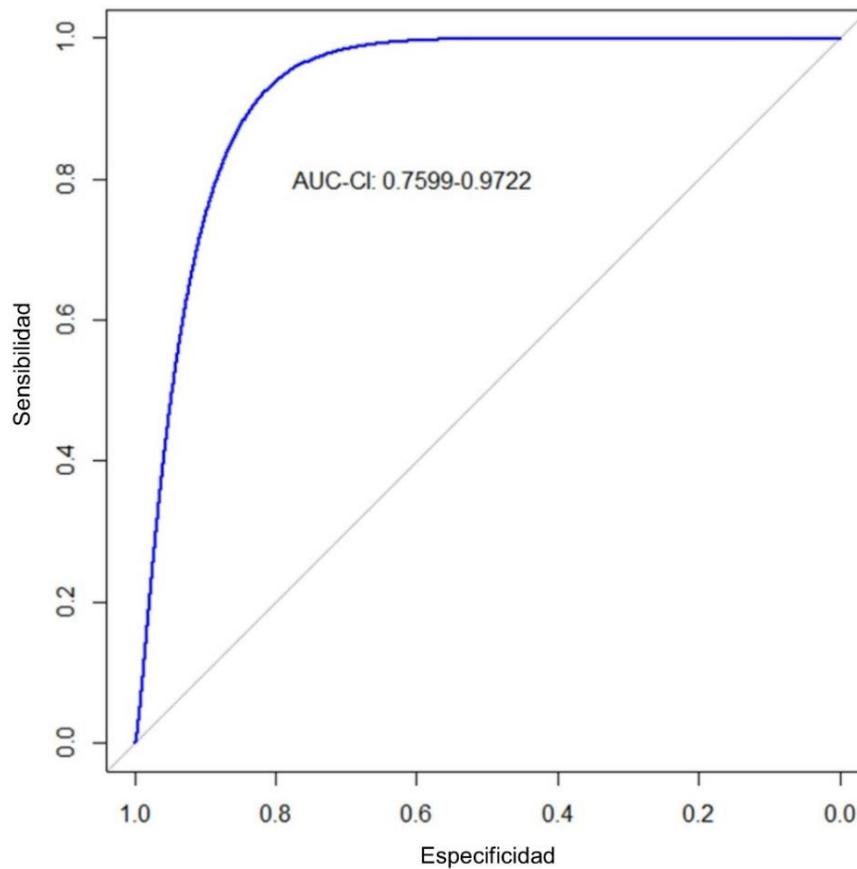


Figura 7. Curva AUC/ROC del modelo de predicción de manatíes generado para el cauce del río Hondo en estudio.

Las variables eco-hidrológicas con mayor poder predictivo, según el índice de Gini, son la conductividad, la temperatura y la profundidad (Figura 8); las menos importantes fueron la distancia a los ríos Subteniente López y Ucum y la distancia a la selva mediana subperennifolia.

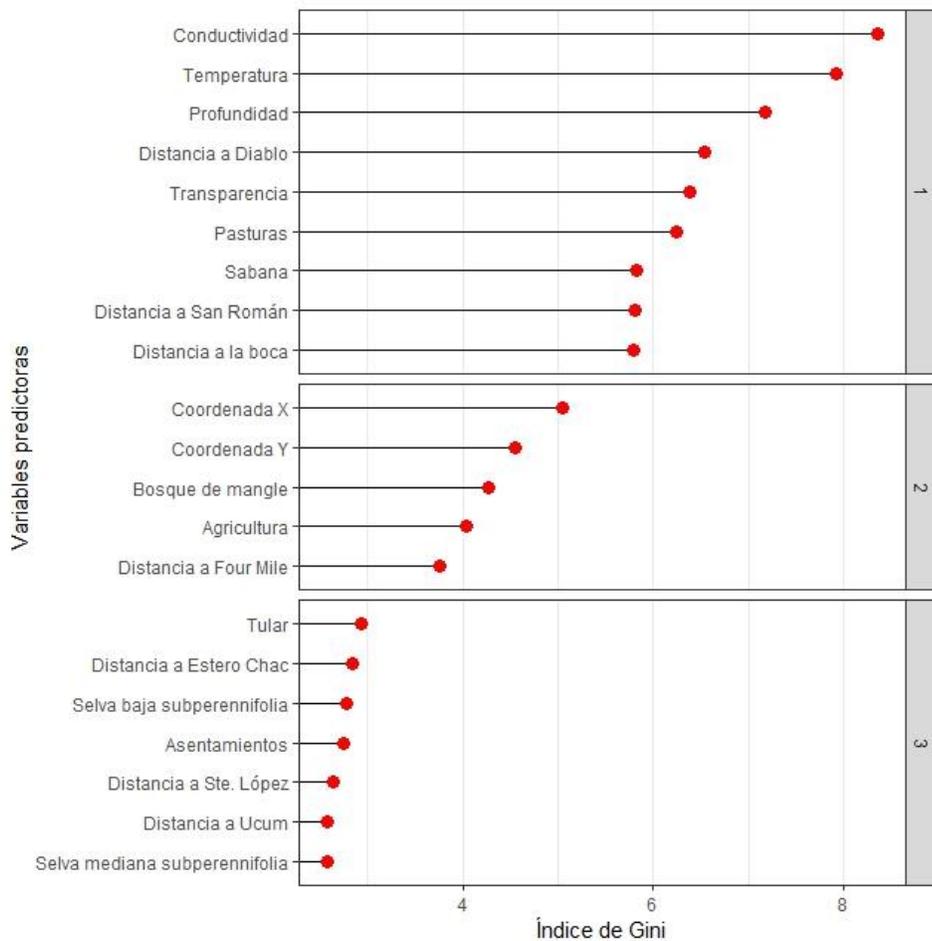


Figura 8. Gráfico de importancia de las variables del modelo de random forest.

La mayor probabilidad de presencia de manatíes ocurre en el segmento 1 y disminuye conforme se aleja de la desembocadura. Sin embargo, en los segmentos 2, 3 y 5 se encuentran condiciones en ciertas áreas que potencialmente son propicias para los manatíes. El segmento 4 es el que el modelo predice con menor probabilidad de presencia de manatíes (Figura 9).

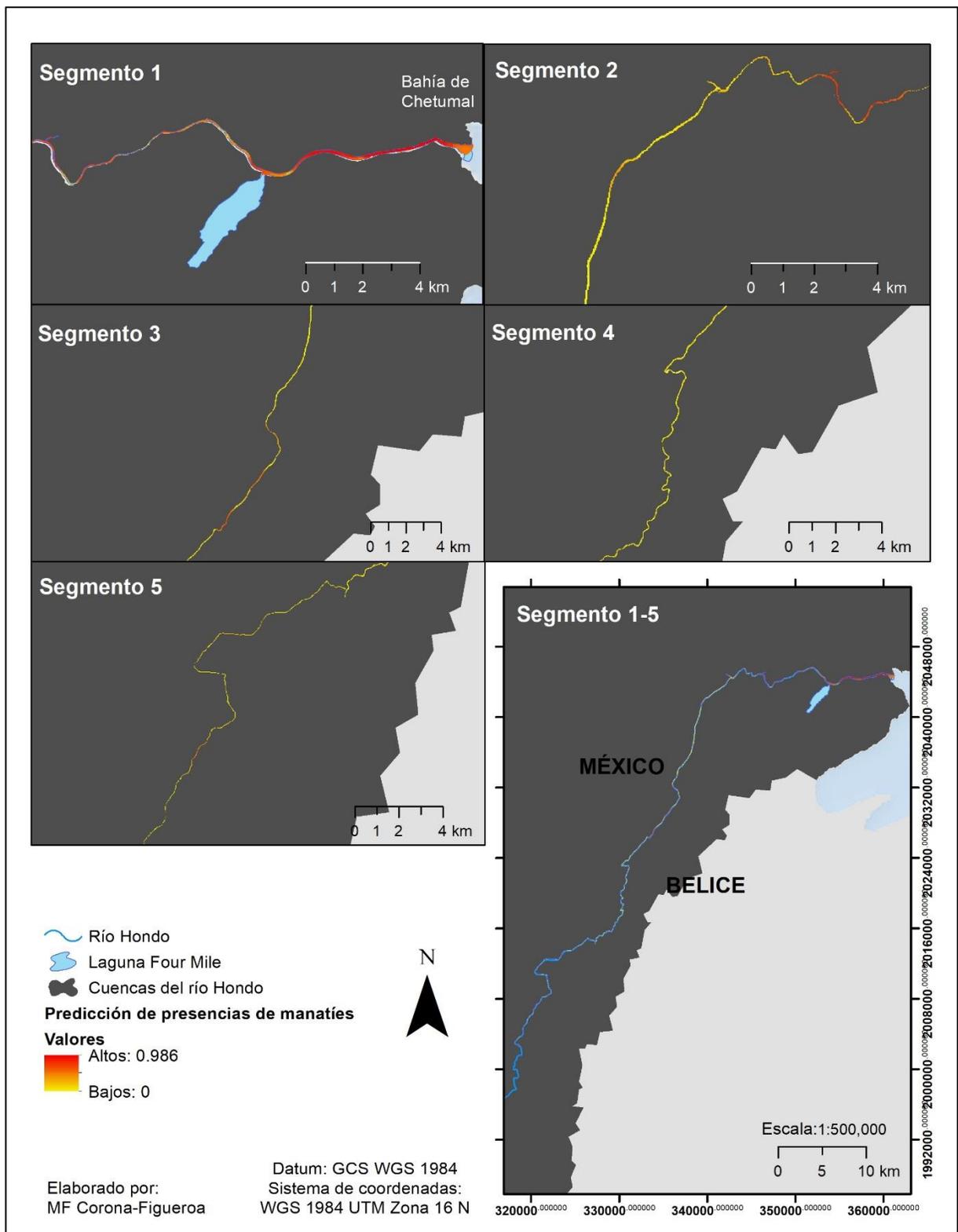


Figura 9. Mapa de predicción de presencia de manatíes en los segmentos del río Hondo, Quintana Roo, México.

3.5. Uso de hábitat

El análisis de componentes principales muestra que el primer componente (CP1) separa la conductividad, la transparencia, la distancia hacia la boca, la laguna Four Mile y el bosque de mangle de las distancias a los ríos San Román y la Curva del Diablo, la sabana y las pasturas (Figura 10); el componente dos separa las variables de profundidad y la distancia hacia el suelo agrícola. Ambos componentes (CP1 y CP2) explican el 71% de la variabilidad total de las variables eco-hidrológicas. Así, valores altos de conductividad y transparencia y menores distancias hacia la boca, la laguna Four Mile y el bosque de mangle están asociados con las probabilidades más altas de presencia de manatíes, mientras que la cercanía a los ríos de la Curva del Diablo y San Román y a las pasturas, sabana y agricultura son condiciones más asociadas con la ausencia de manatíes. Se observa también que mayores profundidades en el río se asocian con la ausencia de manatíes; la temperatura no mostró asociación con la presencia ni con la ausencia de manatíes en estos dos primeros ejes.

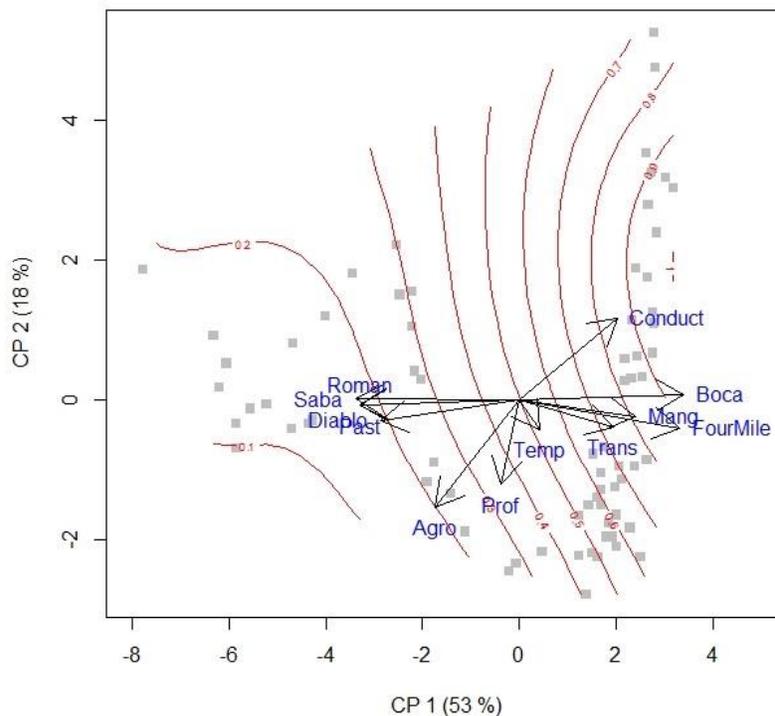


Figura 10. Biplot para las variables eco-hidrológicas importantes y la relación de la probabilidad de presencia de manatíes (líneas rojas). Los cuadros grises corresponden a las observaciones de ausencias y presencias de manatíes registradas en el río.

A partir de las variables importantes agrupadas de acuerdo con los componentes principales, se describen tres áreas dentro del hábitat del río Hondo, las cuales se definen por la distancia a la desembocadura (tramos bajo, intermedio y alto) y los usos de suelo (Cuadro 5); también se presentan de forma gráfica las frecuencias de los tipos de fondo encontrados en cada tramo (Figura 11).

Cuadro 5. Áreas clasificadas en el río Hondo, Quintana Roo, México, para este estudio.

Área	Descripción	Segmentos
Tramo bajo	Predomina el manglar como cobertura vegetal de la ribera y, más adelante, se distinguen pasturas, sabana, agricultura, selva baja subperennifolia y bosque de mangle. Predominan los pastos densos en el fondo, principalmente en la desembocadura. Se encuentran asentamientos humanos en ambos lados de la ribera: Subteniente López, Santa Elena, Juan Sarabia, Sacxán y Palmar. Los cuerpos de agua de Four Mile, Ste. López, Estero Chac y el río Ucum confluyen en este tramo del río.	1 y 2
Tramo intermedio	El tipo de cobertura predominante es el tular, una comunidad de plantas acuáticas que forman un solo estrato herbáceo de 80 cm hasta 2.5 m de altura. Predomina el de fondo limoso. Los poblados más cercanos a la ribera en este tramo son Ramonal y Sabidos.	3
Tramo alto	Aunque predomina el tular, este tramo es el más diverso en usos de suelo y, por lo tanto, el más intervenido: pasturas, sabana, agricultura, selvas mediana y baja subperennifolias y el bosque de mangle. Los tipos de fondo que dominan son los pastos dispersos y el sustrato de manglar. Se encuentran los poblados Douglas, Cacao, Cocoyol y San Francisco Botes. El río de la Curva del Diablo y el del poblado San Román (río Azul) convergen con en este tramo del río Hondo.	4 y 5

Fuente: descripciones basadas en (INEGI (2015)) y en observaciones en campo.

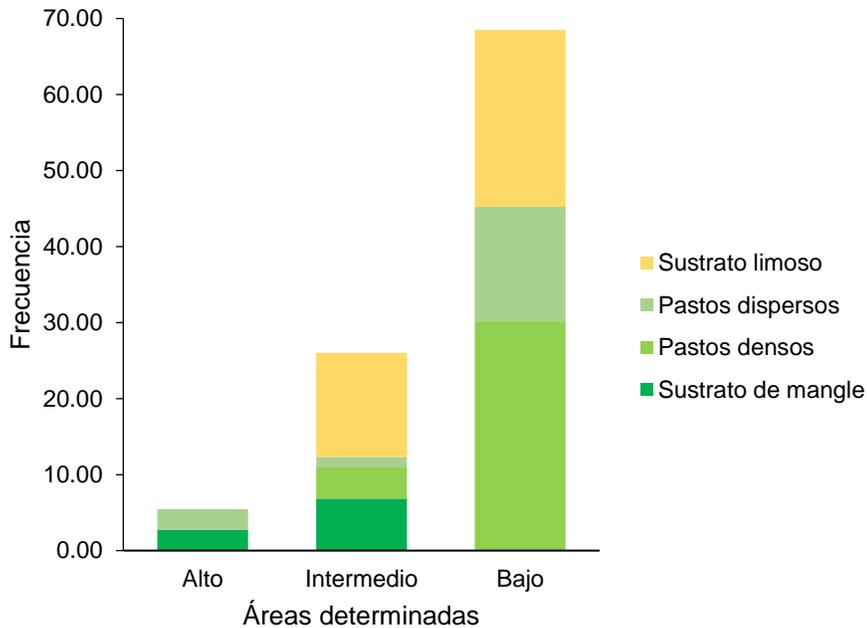


Figura 11. Frecuencia de observación de tipos de fondo en las áreas determinadas en el río Hondo.

Los ejes relacionados con el análisis de correspondencia entre la clase etaria de manatíes (adultos y crías) y los tramos del río explican una inercia acumulada de 100% (Anexo 1.8.1). Se observa que las crías de manatí se encuentran preferiblemente en los tramos bajo e intermedio, mientras que los adultos y los individuos indeterminados en los tres tramos del río (Figura 12a). En cuanto al comportamiento registrado, los ejes explican una inercia de 100% (Figura 12b; Anexo 1.8.2) y sugieren que la mayoría de los comportamientos (crianza, desplazamiento y sumergidos) se registraron principalmente en los tramos bajo e intermedio; la alimentación se registró principalmente en el tramo alto.

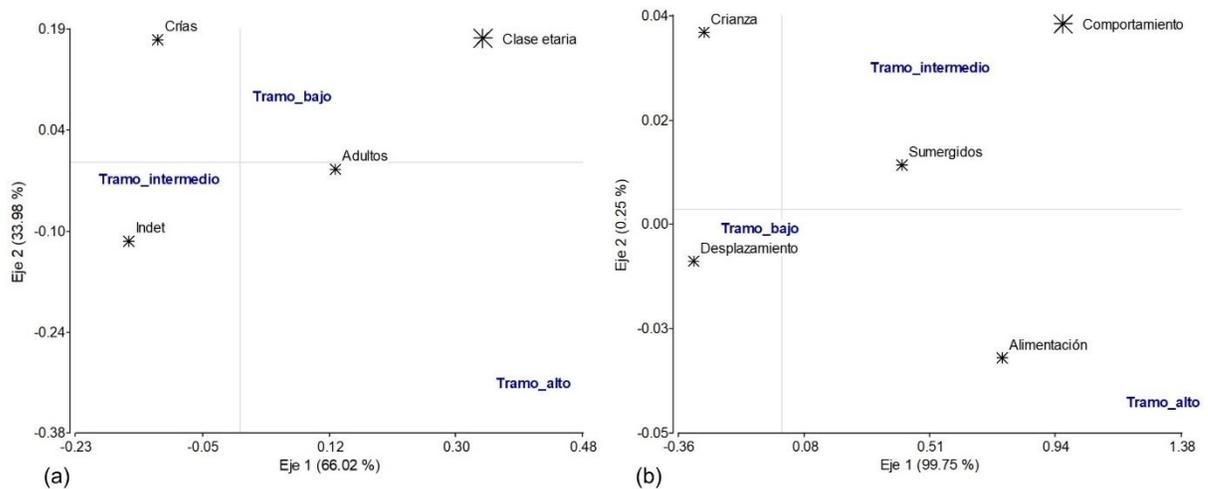


Figura 12. Análisis de correspondencias para: a) la clase etaria de manatíes y b) los comportamientos registrados en cada tramo determinado en el río Hondo.

4. DISCUSIÓN

Para observar manatíes en aguas continentales con transparencia baja, como sucede en ciertas áreas del río Hondo, es más eficiente y productivo utilizar todas las evidencias provenientes de los métodos utilizados para detectarlos (Castelblanco-Martínez *et al.* 2017). Individuos solitarios fueron observados en todos los segmentos del río, pero en el cuarto segmento sólo se encontraron evidencias indirectas (heces); la observación madre-cría fue más frecuente en los primeros segmentos, como se reporta en los estudios de Campbell y Gicca (1978), Bengtson y Magor (1979), Fuentes Allen y Aguayo Lobo (1989), Colmenero-Rolón y Zárata (1990), O'Shea y Salisbury (1991), Zárata Becerra (1993) y Auil (2004), en el río Hondo.

El IAR, en este estudio, refleja que el mayor registro de observaciones de manatíes ocurrió en los segmentos más cercanos a la desembocadura y las observaciones fueron menores conforme se avanzaba hacia los segmentos más lejanos. Varios estudios indican abundancias relativas mayores en los sistemas de agua semiabierto que en las costas (Axis-Arroyo *et al.* 1998) o en sitios con hábitats más complejos o heterogéneos, que presentan confluencias entre sistemas fluvio-lagunares, que en sitios homogéneos (Morales-Vela *et al.* 2000; Auil 2004; Puc-Carrasco *et al.* 2016).

La estimación del tamaño poblacional de manatíes en el río es proporcionalmente parecida a otros sistemas de agua que presentan condiciones similares, como en Tabasco, con 28 manatíes para un sistema fluvio-lagunar de alrededor de 14 km (Puc-Carrasco *et al.* 2017) y 18 manatíes para un río de 18 km en Bocas del Toro, Panamá (Guzmán y Condit 2017). La población estimada en este estudio fue basada bajo el supuesto de una población cerrada; sin embargo, se debe considerar que se trata de una población abierta, puesto que existe evidencia de desplazamiento de manatíes en los alrededores de la Bahía de Chetumal, la Bahía de Corozal y las costas de Belice (Morales-Vela *et al.* 1999; Castelblanco-Martínez *et al.* 2013), y que presentan una tasa diaria de movimiento de 0.13 km (Castelblanco-Martínez 2010). No obstante, los manatíes, particularmente las hembras con cría, suelen tener patrones de fidelidad a encontrarse en ciertos sitios (Powell y Rathbun 1984; Rathbun *et al.* 1990; Morales-Vela *et al.* 1999; Deutsch *et al.* 2003; Gannon *et al.* 2007) y los resultados de este estudio indican que estos sitios se encuentran en los primeros segmentos del río Hondo.

Los picos de las observaciones de manatíes ocurrieron en la época seca, principalmente en mayo y en junio, no solo en los primeros segmentos, sino en los que se encuentran más alejados de la desembocadura. Resultados similares se reportan en Belice (Auil 2004) y en Guyana Francesa (Castelblanco-Martínez *et al.* 2017). En contraste, Morales-Vela *et al.* (2000) reportaron abundancia baja de manatíes en ríos y en lagunas durante la época seca, mientras que en la bahía la abundancia fue mayor. Sin embargo, lo que se evidencia en este estudio podría deberse a que los manatíes que habitan en ambientes salinos se desplazan hacia aguas continentales para cubrir su necesidad de agua dulce (Powell *et al.* 1981). En este sentido, los manatíes que se desplazan en los alrededores de la Bahía de Chetumal o el norte de la zona costera de Belice pueden cubrir esta necesidad en los primeros segmentos del río, pero en época seca, se desplazan a los próximos segmentos, donde la salinidad es más baja o nula. Para los manatíes es ventajoso, en términos de costo energético, mantenerse en áreas cercanas a fuentes de agua dulce (Olivera-Gómez y Mellink 2005).

Es claro que el hábitat del río Hondo muestra condiciones apropiadas para que los manatíes se distribuyan espacial y temporalmente en él. Los factores eco-hidrológicos de mayor importancia para la predicción de manatíes fueron las variables relacionadas con las características del río (conductividad, temperatura, profundidad y transparencia), por lo que se

caracterizó el hábitat en áreas específicas que los manatíes eventualmente utilizan. El río Hondo tiene varios ríos tributarios a lo largo de su cauce que difieren entre sí en longitud, anchura y profundidad, a parte de los referenciados en este estudio. En los tres tramos clasificados se encuentran varias de estas confluencias, por lo que ofrecen condiciones heterogéneas que favorecen la presencia de manatíes (Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014; Puc-Carrasco *et al.* 2016).

El modelo estimó probabilidades, aunque bajas, de presencia de manatíes en los segmentos 3 al 5 (tramos intermedio y alto). El cuarto segmento fue el que presentó los valores de probabilidad más bajos, lo que puede deberse a que las condiciones ambientales que este segmento presenta son menos propicias para la presencia de los manatíes (profundidades mayores, transparencias bajas), además que es el más homogéneo (presencia de tular como uso de suelo dominante), en comparación a los otros segmentos del río.

Las características del tramo bajo están relacionadas con la presencia de bosque de manglar, pastos densos en el fondo, cercanía a la laguna Four Mile, aguas claras y con valores altos de conductividad y profundidades relativamente bajas, las cuales permiten que dicho tramo sea atractivo para los manatíes. En efecto, estas condiciones ofrecen refugio, alimento y descanso, y están claramente evidenciados en otros estudios (Fuentes Allen y Aguayo Lobo 1989; Morales-Vela y Olivera-Gómez 1997; Morales-Vela *et al.* 2000; Olivera-Gómez y Mellink 2005; Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014; Puc-Carrasco *et al.* 2016; Puc-Carrasco *et al.* 2017).

La presencia de agujeros de descanso es una característica fuertemente evidenciada como una variable que explica la probabilidad de ocurrencia de manatíes, porque ofrecen resguardo y descanso (LaCommare *et al.* 2008; Bacchus *et al.* 2009). Castelblanco-Martínez *et al.* (2013), sugieren que en la Bahía de Chetumal se puede hallar este tipo de agujeros, ya que presenta lugares someros y con sustrato arenoso. Características similares a las de la Bahía se observaron en la desembocadura del río y en el tramo bajo, por lo que se sugiere la presencia potencial de agujeros de descanso en estas áreas.

La conductividad del agua mostró valores más altos en el tramo bajo del río y esto puede estar explicado por la cercanía a la desembocadura. La salinidad del agua, variable relacionada con la conductividad (CWT 2004), es un factor que puede influir en la distribución del manatí (Hartman 1979; Colmenero-Rolón y Zárate 1990). Existe evidencia de correlación positiva entre la biomasa o la cobertura de plantas, en hábitats mesohalinos, y la conductividad o salinidad del agua (Olivera-Gómez y Mellink 2005; Olivera-Gómez y Mellink 2013).

En este estudio no se midió la biomasa de vegetación acuática; no obstante, en el tramo bajo el bosque de manglar es el uso de suelo que predomina y los pastos densos fueron el tipo de fondo con mayor frecuencia, los cuales son evidencia directa de la disponibilidad de alimento para manatíes, como *Rhizophora mangle*, *Ruppia maritima*, *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme*, *Najas marina*, *Chara* sp., *Batophora* sp., entre otras especies que se encuentran en el río (Zárate Becerra 1993; Espinoza-Ávalos 1996; LaCommare *et al.* 2008; Espinoza-Ávalos *et al.* 2009; Arévalo-González s. f.) y que forman parte de la dieta del manatí (Etheridge *et al.* 1985; Mignucci-Giannoni 1998; Castelblanco-Martínez *et al.* 2009).

El modelo indicó también que la transparencia influye en la presencia de manatíes, hallazgo similar reportado por Jiménez (2005). En otro estudio se reportó que la transparencia influye en otras variables; además, muestra correlación positiva con la presencia de vegetación acuática y se atribuye a que les favorece en los procesos de crecimiento (Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014). Aunque en otros estudios se indica que la transparencia del agua no influye de forma importante en la presencia del manatí (Hartman 1979; Auil 2004), sí lo es para la detección de individuos de forma visual por parte de los observadores.

Si bien la temperatura del agua fue una de las variables importantes para el modelo, no mostró un comportamiento claro en relación con la probabilidad de observar manatíes. Sin embargo, existen hallazgos que en aguas tropicales la temperatura no es un factor determinante en la distribución de manatíes (Jiménez 2005; Olivera-Gómez y Mellink 2005).

Aunque los manatíes muestren cierta preferencia por el tramo bajo, es evidente que también utilizan los otros tramos. De hecho, varios hallazgos de rastros se encontraron río

arriba, lo cual indica de forma indirecta que los manatíes también se alimentan del recurso vegetal que ofrecen estos lugares. Por lo tanto, cabe preguntarse, si acaso los individuos adultos solitarios que se observaron en estos segmentos, ¿se desplazan desde la bahía hacia río arriba? ¿Lo harán por temporadas? ¿Se internarán en otros ríos tributarios, como Ucum, San Román (río Azul) y Bravo (Booth's River)? ¿Los manatíes que se desplazan a estos lugares serán machos en búsqueda de hembras? ¿Los individuos pertenecen a una población de manatíes aislada en la parte alta del cauce? Estas y otras preguntas relacionadas pueden responderse en futuros estudios.

El sonar de barrido lateral es una herramienta de detección de manatíes utilizada en sistemas fluviales y lagunares con transparencia baja (González-Socoloske *et al.* 2009; González-Socoloske y Olivera-Gómez 2012). En este estudio, el sonar fue bastante eficiente en las detecciones; sin embargo, debe ir acompañado con las observaciones desde la embarcación, como complemento (Arévalo-González *et al.* 2014); es decir, al menos dos personas (sin contar al motorista) deben estar presentes para aplicar estas metodologías.

Varias observaciones desde la embarcación no fueron evidenciadas con el sonar, lo cual podría deberse a que los manatíes se encontraban fuera del rango de detección que esta herramienta presenta al momento del muestreo. Además, se observó comportamiento esquivo hacia la embarcación, principalmente en una hembra con cría, al nadar hacia las orillas o entre los manglares y sumergirse a lo profundo del río, como se reporta en González-Socoloske y Olivera-Gómez (2012). Aunque en varias ocasiones, principalmente en el tramo alto, también se evidenció que los manatíes permanecieron sumergidos y en la misma posición después de pasar varias veces sobre ellos. Este comportamiento también fue observado en el estudio de Puc-Carrasco *et al.* (2017).

En el río Hondo también se distribuye otra fauna de tamaño mediano o grande, como los cocodrilos (*Crocodylus acutus* y *C. moreletii*) y el sábalo (*Megalops atlanticus*) (Cedeño-Vázquez *et al.* 2006; López-Vila *et al.* 2014), por lo que se pueden confundir con un manatí al observarse desde el sonar y generar errores en el conteo. En este sentido, se recomienda utilizar la consulta a expertos que utilicen el sonar en zonas similares como una herramienta de decisión para al menos disminuir este tipo de errores (Castelblanco-Martínez *et al.* 2017).

Por otro lado, debido a la ausencia de una estandarización de la metodología del sonar en la región, se recomienda que se estandarice específicamente para el río Hondo, dividiendo el cauce en segmentos de longitudes similares, con el fin de que puedan ser comparables con este estudio.

5. CONSIDERACIONES PARA EL MANEJO

La heterogeneidad de condiciones que puede ofrecer el río Hondo, debido a la presencia de ríos adyacentes y lagunas, favorece la salud de la población de manatíes (Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014), por lo que el río Hondo podría funcionar además como un corredor para el desplazamiento de los manatíes hacia estos cuerpos de agua, como sucede con los manatíes en Florida (Packard y Wetterqvist 1986). La presencia de crías sugiere que los manatíes utilizan el tramo bajo como refugio (Hartman 1979; Olivera-Gómez y Mellink 2005; Castelblanco-Martínez *et al.* 2013); el comportamiento de alimentación y el de sumergido, los rastros encontrados y la observación de grupos de hasta cuatro individuos indican que los manatíes también recurren al tramo bajo en busca de alimento.

El río Hondo es un cuerpo de agua contaminado por metales pesados y compuestos organoclorados derivados principalmente de los agroquímicos y pesticidas que se utilizan en los cultivos de caña que dominan en la zona (Buenfil-Rojas y Flores-Cuevas 2007; González Bucio *et al.* 2013; Tun-Canto *et al.* 2017). Es necesario incluir un enfoque eco-hidrológico en las políticas de manejo de la ribera del río Hondo y, de ser posible, a nivel de cuenca, para asegurar la sostenibilidad a largo plazo del ecosistema fluvio-lagunar, el cual considera que los recursos hídricos forman parte de los sistemas funcionales y de complejas interrelaciones de todos sus componentes y niveles (Zalewski 2006). Además, incluir a especies focales, como el manatí, en el diseño, planeación y manejo, permitirá mantener las condiciones ecológicas del ecosistema fluvio-lagunar del río Hondo (Lambeck 1997; Armstrong 2002).

Es necesario realizar esfuerzos para incluir el tramo bajo a las áreas protegidas Santuario del Manatí, en México, y el Santuario de Vida Silvestre Bahía de Corozal, en Belice, como zona adyacente a estas; o, en su defecto, los primeros seis kilómetros del río, donde se encuentra la primera confluencia con la laguna Four Mile. Aunque en este estudio no se

evidenció el paso de botes con motor en el río, esto es una amenaza potencial para los manatíes. Existen reportes de manatíes muertos en el tramo bajo del río y, aunque muchas de las causas son desconocidas, se sugiere que el golpe provocado por las embarcaciones con motor que transitan en él podría ser una de estas (Castelblanco-Martínez *et al.* 2018). Por estas razones, dentro de las acciones de manejo se debe considerar la regulación de la velocidad de las embarcaciones que transitan no solo en el tramo bajo, sino en el resto del cauce del río.

Se sugiere que el Programa de Monitoreo de Megafauna Acuática del Caribe (PROMMAC) u otros programas académicos similares, implementen observaciones de manatíes con las metodologías complementarias, en el resto del cauce. El dron liviano, como una herramienta innovadora de observación de manatíes (Landeo-Yauri *et al.* 2017) también puede ser utilizado en los segmentos que no se muestrearon en este estudio. Las confluencias del río (Estero Chac, Ucum, la Curva del Diablo) pueden ser estratégicas para asignar puntos fijos de observación de manatíes. Además, se debe considerar el trabajo en conjunto con instituciones académicas de Belice para realizar también observaciones en el río Azul y en Booth's River. Más adelante, con esta información, se podrán realizar estudios de telemetría de posibles manatíes hallados río arriba, para conocer su desplazamiento en el río y si se trata de una población aislada o que forma parte de una sola con la de Belice y la Bahía de Chetumal.

Se recomienda utilizar el modelo Poisson, con el diseño de muestreo de este estudio, para que las estimaciones poblacionales de manatíes en el futuro puedan ser comparables con la que se presenta en este estudio.

6. CONCLUSIONES

- Se estima que la población de manatíes en el río Hondo es de 51 individuos, según el modelo de Poisson. Los manatíes de esta población, posiblemente abierta, se distribuyen principalmente en el tramo bajo del río, el cual se caracteriza por presentar bosque de manglar, fondos con pastos densos, profundidades bajas y conductividad alta por su cercanía a la desembocadura.

- Los factores eco-hidrológicos de mayor importancia, según el modelo random forest, fueron la conductividad, la temperatura, la profundidad del río y la transparencia del agua, lo cual coincide con otros estudios relacionados. Con el desarrollo de este modelo se logró clasificar el hábitat del manatí y también determinar potencialmente su uso en segmentos ubicados río arriba, que presenten condiciones similares. La probabilidad de observar manatíes es mayor en el tramo bajo del río y disminuye en los próximos tramos.
- La abundancia relativa de manatíes fue mayor principalmente en la época seca y se observaron manatíes no solo en el tramo bajo, sino en el intermedio y alto. Se sugiere que este comportamiento de desplazamiento hacia río adentro se encuentra relacionado con el incremento de la pluma de salinidad en el tramo bajo, por lo que los manatíes se internan en el río para suplir las necesidades de agua dulce en esta época.
- La observación de asociación madre-cría en el tramo bajo del río sugiere que es un área de resguardo, alimentación y descanso para los manatíes.
- Los ríos tributarios a lo largo de su cauce muestreado ofrecen condiciones heterogéneas que favorecen la presencia de manatíes.

Agradecimientos

Este trabajo no se hubiese realizado sin el financiamiento del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y PADI Foundation y el equipo de campo otorgado por IDEA Wild. También se agradece a la Universidad de Quintana Roo (UQRoo) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el préstamo del equipo a través del Programa de Monitoreo de Megafauna Acuática del Caribe (PROMMAC). Agradecemos enormemente a GK Arévalo-González por la capacitación y su asistencia en el uso del sonar de barrido lateral y a SS Landeo-Yauri, en el uso del dron. A todas las personas que colaboraron en las jornadas de campo y a C. Carvalho, B. de Thoisy, V. Dos Reis y GK Arévalo-González por su apoyo en la evaluación de las imágenes de sonar.

7. REFERENCIAS

- Arévalo-González, G; Castelblanco-Martínez, D; Sánchez-Palomino, P; López-Arévalo, H; Marmontel, M. 2014. Complementary methods to estimate population size of Antillean manatees (Sirenia: Trichechidae) at Ciénaga de Paredes, Santander, Colombia. *Journal of Threatened Taxa* 6(6):5830-5837. doi 10.11609/JoTT.o3156.5830-7
- Arévalo-González, G. s. f. Aspectos de la ecología y fisiología alimenticia del Manatí Antillano. Tesis Maestría. Veracruz, México, Universidad de Veracruz. De próxima publicación.
- Armstrong, D. 2002. Focal and surrogate species: getting the language right. *Conservation Biology* 16(2):285-286. doi 10.1046/j.1523-1739.2002.00109.x
- Arriaga-Hernández, S. 2013. Variabilidad en conteos del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) realizados mediante sonar de barrido lateral de imágenes en evaluaciones de la presencia estacional en el estado de Tabasco. Tesis Licenciatura. Tabasco, México, Universidad Nacional Autónoma de México. 48 p.
- Auil, N. 2004. Abundance and distribution trends of the West Indian Manatee in the Coastal Zone of Belize: Implications for conservation. Tesis Master of Science. United States, Texas A&M University. 82 p.
- Axis-Arroyo, J; Morales-Vela, J; Torruco-Gómez, D; Vega-Cendejas, M. 1998. Variables asociadas con el uso de hábitat del manatí del Caribe (*Trichechus manatus*), en Quintana Roo, México (Mammalia). *Rev. Biol. Trop.* 46(3):791-803.
- Bacchus, M; Dunbar, S; Self-Sullivan, C. 2009. Characterization of resting holes and their use by the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) in the Drowned Cayes, Belize. *Aquatic Mammals* 35:62-71. doi 10.1578/AM.35.1.2009.62
- Bengtson, J; Magor, D. 1979. A survey of manatees in Belize. *Journal of Mammalogy* 60(1):230-232.
- Buenfil-Rojas, M; Flores-Cuevas, N. 2007. Determinación de metales pesados (As, Cd, Hg y Pb) presentes en el río Hondo, Quintana Roo. VI Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales 2007, Chihuahua, México). Chihuahua, México. 435-439 p.
- Campbell, H; Gicca, D. 1978. Reseña preliminar del estado actual y distribución del manatí (*Trichechus manatus*) en México. *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. (Zoología)* 49(1):257-264.
- Castelblanco-Martínez, D; Morales-Vela, J; Hernández-Arana, H; Padilla-Saldívar, J. 2009. Diet of the manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Chetumal Bay, Mexico. *Lat. Am. Aquat. Mamm.* 7(1-2):39-46.
- Castelblanco-Martínez, D. 2010. Ecología, comportamiento y uso de hábitat de manatíes en la Bahía de Chetumal. Tesis Doctorado. Chetumal, México, El Colegio de la Frontera Sur. 190 p.
- Castelblanco-Martínez, D; Padilla-Saldívar, J; Hernández-Arana, H. 2013. Movement patterns of Antillean manatees in Chetumal Bay (Mexico) and coastal Belize: A challenge for regional conservation. *Marine Mammal Science* 29(2):E166-E182. doi 10.1111/j.1748-7692.2012.00602.x
- Castelblanco-Martínez, D. 2014. Population size, distribution and conservation aspects of the manatee *Trichechus manatus manatus* in French Guiana. *Parc National de la Guadeloupe*, 41 p.
- 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 (Fauna & Flora International)*:1-11. doi 10.1017/S0030605316000922
- Castelblanco-Martínez, D; Gálves, J; Ramos, E; Searle, L; Niño-Torres, C; Padilla-Saldívar, J; Anderson, D. 2018. High levels of mortality threaten the Antillean manatee along the Caribbean coast of Belize and Mexico. *In* 3 Simposio Latinoamericano de Manatíes - XII Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Mamíferos Acuáticos – RT 18 2018, Lima, Perú). Quintana Roo, México, p. 11.
- Cedeño-Vázquez, J; Ross, J; Calmé, S. 2006. Population status and distribution of *Crocodylus acutus* and *C. moreletii* in southeastern Quintana Roo *Herpetol. Nat. Hist.* 10(1):17-30.

- Colmenero-Rolón, L; Zárate, B. 1990. Distribution, status and conservation of the West Indian Manatee in Quintana Roo, Mexico. *Biological Conservation* 52:27-35.
- Cutler, D; Edwards Jr., T; Beard, K; Cutler, A; Hess, K; Gibson, J; Lawler, J. 2007. Random forest for classification in ecology. *Ecology* 88(11):2783-2792.
- CWT, (Clean Water Team). 2004. Electrical conductivity/salinity Fact Sheet, FS-3.1.3.0(EC). *In* The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment. . United States, Division of Water Quality, California State Water Resources Control Board (SWRCB). p. 1-5.
- Deutsch, C; Reid, J; Bonde, R; Easton, D; Kochman, H; O'Shea, T. 2003. Seasonal movements, migratory behavior and site fidelity of West Indian manatees along the Atlantic Coast of the United States. *Wildlife Monographs* 151:1-77.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; González, L; Tablada, M; Robledo, C. 2018. InfoStat versión 2018. Argentina, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Espinoza-Ávalos, J. 1996. Distribution of seagrasses in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Bulletine of Marine Science* 59(3):449-454.
- Espinoza-Ávalos, J; Hernández-Arana, H; Álvarez-Legorreta, T; Quan-Young, L; Oliva-Rivera, J; Valdez-Hernández, M; Zavala-Mendoza, A; Cruz-Piñón, G; López, C; Sepúlveda-Lozada, A; Worum-Ference, P; Villegas-Castillo, A; van Tussenbroek, B. 2009. Vegetación acuática sumergida. *In* Espinoza-Ávalos, J; Islebe, G; Hernández-Arana, H (eds.). *El sistema ecológico de la Bahía de Chetumal/Corozal: Costa occidental del mar Caribe*. Quintana Roo, México, El Colegio de la Frontera Sur. p. 148-158.
- Etheridge, K; Rathbun, G; Powell, J; Kochman, H. 1985. Consumption of aquatic plants by the West Indian manatee. *J. Aquat. Plant Manage.* 23:21-25.
- Fiske, I; Chandler, R. 2011. unmarked: An R Package for Fitting Hierarchical Models of Wildlife Occurrence and Abundance. *Journal of Statistical Software* 43(10):1-23. Disponible en <http://www.jstatsoft.org/v43/i10/>
- Fuentes Allen, I; Aguayo Lobo, A. 1989. La distribución del manatí *Trichechus manatus*, en el estado de Quintana Roo, México. VI Simposio sobre fauna silvestre México, UNAM, FMVZ. 464-474 p.
- Gannon, J; Scolardi, K; Reynolds III, J; Koelsch, J; Kessenich, T. 2007. Habitat selection by manatees in Sarasota Bay, Florida. *Marine Mammal Science* 23:133-143.
- González-Socoloske, D; Olivera-Gómez, L; Ford, R. 2009. Detection of free-ranging West Indian manatees *Trichechus manatus* using side-scan sonar. *Endang. Species Res.* 8:249-257. doi 10.3354/esr00232
- González-Socoloske, D; Olivera-Gómez, L. 2012. Gentle Giants in Dark Waters: using Side-Scan Sonar for manatee research. *The Open Remote Sensing Journal* 5:1-14.
- González Bucio, J; Carrión Jiménez, J; Delgado Blas, V; Rivero Rodríguez, J; Yam Gamboa, J; Pérez Vargas, J; Calva Calva, G. 2013. Evaluación de la acumulación de Hg, Pb, Cd y Zn en sedimentos y lirio acuático (*Nymphaea ampla*) en el río Hondo de Quintana Roo. *Tecnocultura* 11(30):24-32.
- Granados-Sánchez, D; López-Ríos, G; Martínez-V, FdJ; Martínez-Castillo, J. 1998. Los manglares de Quintana Roo *Revista Chapingo (Ciencias Forestales y del Ambiente)* 4(2):253-265.
- Guzmán, H; Condit, R. 2017. Abundance of Manatees in Panama Estimated from Side-scan Sonar. *Wildlife Society Bulletin*:1-10. doi 10.1002/wsb.793
- Hanley, J; McNeil, B. 1982. The meaning and use of the Area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve *Radiology* 143(1):29-36.
- Hartman, D. 1979. Ecology and behavior of the manatee (*Trichechus manatus*) in Florida. New York, United State, The American Society of Mammalogist. 153 p.
- Hunter, M; Auil-Gomez, N; Tucker, K; Bonde, R; Powell, J; McGuire, P. 2010. Low genetic variation and evidence of limited dispersal in the regionally important Belize manatee *Animal Conservation*:1-11. doi 10.1111/j.1469-1795.2010.00383.x

- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2017a. Hidrología. México, Consultado 4 enero 2019. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/hidrologia/>
- INEGI, INdEyG. 2015. Guía para la interpretación de cartografía. Uso de suelo y vegetación. Escala 1:250,000. México, INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 195 p. (V).
- INEGI, INdEyG. 2017b. Uso de suelo y vegetación. México, Consultado 27 ene. 2019. Disponible en <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>
- Jiménez-Domínguez, D; Olivera-Gómez, L. 2014. Características del hábitat del Manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en sistemas fluviolagunares del sur del Golfo de México. *Therya* 5(2):601-614. doi 10.12933/therya-14-205
- Jiménez, I. 2005. Development of predictive models to explain the distribution of the West Indian manatee *Trichechus manatus* in tropical watercourses. *Biological Conservation* 125:491-503. doi 10.1016/j.biocon.2005.04.012
- LaCommare, K; Self-Sullivan, C; Brault, S. 2008. Distribution and habitat use of Antillean Manatees (*Trichechus manatus manatus*) in the Drowned Cayes Area of Belize, Central America *Aquatic Mammals* 34(1):35-43. doi 10.1578/AM.34.1.2008.35
- Lambeck, R. 1997. Focal Species: A Multi-Species Umbrella for Nature Conservation. *Conservation Biology* 11(4):849-856.
- Landeo-Yauri, S; Ramos, E; Niño-Torres, C; Castelblanco-Martínez, D. 2017. Explorando nuevas herramientas de investigación: uso de drones para la detección de manatíes en el Caribe mexicano. (In IV Simposio RECORECOS (Red para el Conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste, México). 2017, Quintana Roo, México). Quintana Roo, México,
- Lefebvre, L; Marmontel, M; Reid, J; Rathbun, G; Domming, D. 2001. Status and biogeography of the West-Indian manatee. In Woods, C; Sergile, F (eds.). *Biogeography of the West Indies: Past, Present, and Future*. 2nd ed. Florida, United States, CRC Press. p. 425-474.
- Liaw, A; Wiener, M. 2002. Classification and regression by random forest. *R news: the newsletter of the R project*. 2(3):18-22. Consultado 6 mar. 2019 Disponible en https://www.r-project.org/doc/Rnews/Rnews_2002-3.pdf
- López-Vila, J; Valdéz-Moreno, M; Schmitter-Soto, J; Mendoza-Carranza, M; Herrera-Pavón, R. 2014. Composición y estructura de la ictiofauna del río Hondo, México-Belice, con base en el uso del arpón *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:866-874. doi 10.7550/rmb.35806
- Magnon-Basnier, C. 2002. El río Hondo como componente hidrológico de la Bahía de Chetumal y como corredor biológico compartido amenazado. In Rosado-May, F; Romero Mayo, R; De Jesús Navarrete, A (eds.). *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su zona de influencia*. Quintana Roo, México, Universidad de Quintana Roo. p. 23-32.
- McLarty, M. 2017. West Indian Manatee (*Trichechus manatus*) Habitat characterization using Side-Scan-Sonar. Tesis Master in Science. Michigan, United States, Andrews University. 98 p.
- Meerman, J; Clabaugh, J. 2017. Biodiversity and Environmental Resource Data System of Belize. Belize, Consultado 4 enero 2019. Disponible en <http://www.biodiversity.bz>
- Mignucci-Giannoni, A. 1998. The diet of the manatee (*Trichechus manatus*) in Puerto Rico. *Marine Mammal Science* 14(2):394-397.
- Morales-García, N. 2013. Distribución y uso de hábitat del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en un tributario del río Coatzacoalcos, Veracruz, México. Tesis Licenciatura Veracruz, México, Universidad Veracruzana. 53 p.
- Morales-Vela, J; Olivera-Gómez, L. 1997. Distribución del manatí (*Trichechus manatus*) en la costa norte y centro-norte del estado de Quintana Roo, México. *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. (Ser. Zool.)* 68(1):153-164.
- Morales-Vela, J; Ortega-Argueta, A; Padilla-Saldívar, J; Bonde, R. 1999. Monitoreo de manatíes marcados con radiotransmisores en Quintana Roo. In Morales-Vela, J; Medrano-González, L (eds.). *Variación genética del manatí (*Trichechus manatus*), en el sureste de México y monitoreo con radio-transmisores en Quintana Roo*. México, SNIB-CONABIO. p. 39-82.

- Morales-Vela, J; Olivera-Gómez, L; Reynolds III, J; Rathbun, G. 2000. Distribution and habitat use by manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Belize and Chetumal Bay, Mexico. *Biological Conservation* 95:67-75.
- Nourisson, C; Morales-Vela, J; Padilla-Saldívar, J; Pause Tucker, K; Clark, A; Olivera-Gómez, L; Bonde, R; McGuire, P. 2011. Evidence of two genetic clusters of manatees with low genetic diversity in Mexico and implications for their conservation *Genetica* 139:833-842. doi 10.1007/s10709-011-9583-z
- O'Shea, T; Salisbury, C. 1991. Belize—a last stronghold for manatees in the Caribbean. *Oryx* 25(3):156-164.
- Olivera-Gómez, L; Mellink, E. 2005. Distribution of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) as a function of habitat characteristics, in Bahía de Chetumal, Mexico. *Biological Conservation* 121:127-133. doi 10.1016/j.biocon.2004.02.023
- Olivera-Gómez, L; Mellink, E. 2013. Aquatic macrophytes within a mesohaline bay, sanctuary for manatees (*Trichechus manatus*), on the Caribbean coast of Mexico. *The Southwestern Naturalist* 58(2):216-222. doi 10.1894/0038-4909-58.2.216
- Packard, J; Wetterqvist, O. 1986. Evaluation of manatee habitat systems on the northwestern Florida coast. *Coastal Zone Management Journal* 14:279-310.
- Peterson, A; Soberón, J; Pearson, R; Anderson, R; Martínez-Meyer, E; Nakamura, M; Araújo, M. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Levin, S; Horn, H (eds.). New Jersey, Princeton University Press, Princeton. 316 p.
- Powell, J; Belitsky, D; Rathbun, G. 1981. Status of the West Indian manatee (*Trichechus manatus*) in Puerto Rico. *Journal of Mammalogy* 62:642-646.
- Powell, J; Rathbun, G. 1984. Distribution and abundance of manatees along the northern coast of the Gulf of Mexico. *Northeast Gulf Science* 7:1-28.
- Puc-Carrasco, G; Olivera-Gómez, L; 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. doi 10.7773/cm.v42i4.2678
- Puc-Carrasco, G; Morales-Vela, J; Olivera-Gómez, L; González-Solís, D. 2017. First field-based estimate of Antillean manatee abundance in the San Pedro River system suggests large errors in current estimates for Mexico. *Ciencias Marinas* 43(4):285-299. doi 10.7773/cm.v43i4.2704
- Quintana-Rizzo, E; Reynolds III, J. 2010. Regional management plan for the West Indian manatee (*Trichechus manatus*). PNUMA. UNEP. 168 p. No. CEP Technical Report 48.
- Quintana-Rizzo, E; Castelblanco-Martínez, D; Edwards, H; Morales-Vela, J; Ubeda, A; Walker, Z. 2015. First regional aerial survey of Antillean manatees (*Trichechus manatus manatus*) in The Mexico-Belize-Guatemala region of Central America. *The Seventh International Sirenian Symposium San Francisco, United States*. San Francisco, United States. 1 p.
- Ramos, E; Castelblanco-Martínez, D; Landeo-Yauri, S; Niño-Torres, C; Magnasco, M; Reiss, D. 2017. Small drones: a tool to study, monitor, and manage free-ranging Antillean manatees in Belize and Mexico. *Sirenews, United States; abr:67:13-16*. Consultado
- Rathbun, G; Reid, J; Carowan, G. 1990. Distribution and movement patterns of manatees (*Trichechus manatus*) in northwestern peninsular Florida. *Florida Marine Research Publication* 48:1-33.
- RCoreTeam. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, Disponible en <https://www.R-project.org/>
- Robin, X; Turck, N; Hainard, A; Tiberti, N; Lisacek, F; J-C, S; Müller, M. 2011. pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves *BMC Bioinformatics*:12-77. doi 10.1186/1471-2105-12-77
- Rodriguez-Iturbe, I. 2000. Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Water Resources Research* 36(1):3-9.
- Royle, J. 2004. N-Mixture Models for Estimating Population Size from Spatially Replicated Counts. *Biometrics* 60:108-105.
- Self-Sullivan, C; Mignucci-Giannoni, A. 2008. *Trichechus manatus* ssp. *manatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T22105A9359161. Consultado 01 jul. 2017. Disponible en <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T22105A9359161.en>

- SEMARNAT, (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. NOM-059, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.78 p.
- SEMARNAT, SdMAyRN. 2018. Programa de Acción para la Conservación de la Especie Manatí (*Trichechus manatus manatus*). México, SEMARNAT/CONANP. 62 p.
- Strobl, C; Malley, J; Tutz, G. 2009. An introduction to recursive partitioning: rationale, application and characteristics of classification and regression trees. *Psychological Methods* 14(4):323-348.
- Tun-Canto, G; Álvarez-Legorreta, T; Zapata-Buenfil, G; Sosa-Cordero, E. 2017. Metales pesados en suelos y sedimentos de la zona cañera del sur de Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 34(3):157-169. doi 10.22201/cgeo.20072902e.2017.3.433
- Vianna, J; Bonde, R; Caballero, S; Giraldo, J; Lima, R; Clark, A; Marmontel, M; Morales-Vela, J; De Souza, M; Parr, L; Rodríguez-López, M; Mignucci-Giannoni, A; Powell, J; Santos, F. 2006. Phylogeography, phylogeny and hybridization in trichechid sirenians: implications for manatee conservation *Molecular Ecology* 15:433-447. doi 10.1111/j.1365-294X.2005.02771.x
- Zalewski, M. 2006. Ecohydrology - an interdisciplinary tool for integrated protection and management of water bodies. *Large Rivers (Arch. Hydrobiol. Suppl.* 158/4) 16(4):613-622. doi 10.1127/lr/16/2006/613
- Zalewski, M. 2010. Ecohydrology for compensation of Global Change. *Braz. J. Biol.* 70(3):689-695.
- Zárate Becerra, E. 1993. Distribución del manatí (*Trichechus manatus*) en la porción sur de Quintana Roo, México. *Rev. Inv. Cient.* 1(1):1-11.

III. ARTÍCULO 2. Conocimiento local del manatí antillano (*Sirenia: Trichechus manatus manatus*, L.) y de su hábitat en comunidades mexicanas de la ribera del río Hondo, Quintana Roo

Local knowledge of the Antillean manatee (*Sirenia: Trichechus manatus manatus*, L.) and its habitat in Mexican communities on the riverside of the Hondo River, Quintana Roo

Mildred Fabiola Corona-Figueroa

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica.

Correspondencia: mildred.corona@catie.ac.cr

Resumen

El río Hondo es un río fronterizo entre México y Belice, que hace parte de la distribución del manatí antillano *Trichechus manatus manatus*, una especie en peligro de extinción según la UICN. Actualmente, el río Hondo no tiene una protección especial, aunque influye de manera importante en la hidrología de la Bahía de Chetumal, Santuario del Manatí. El objetivo de este estudio es analizar la percepción social relacionada con el manatí y su hábitat en las comunidades de la ribera. Durante febrero a abril de 2018, se realizaron 50 entrevistas semiestructuradas a usuarios del río (pescadores, lancheros, guías de turismo), en 16 comunidades mexicanas, distribuidas en seis segmentos a lo largo del cauce. Los resultados indican que 82% de los entrevistados realiza pesca por consumo como actividad principal en el río y 100% reconoce a la especie como parte del ecosistema fluvial. La mayor parte de avistamientos de manatí, actuales e históricos, fueron reportados en los segmentos 1, 2, 5 y 6 clasificados en el río y en los tributarios del cauce, que suelen ser someros y con vegetación acuática disponible. Sin embargo, 48% indicó que ha observado menos manatíes actualmente que hace 10 años, y mencionaron la contaminación del agua del río, relacionada con las prácticas de cultivo de caña, el paso de embarcaciones con motor y la presencia de redes de pesca como las principales causas. Este estudio brinda evidencia del conocimiento local acerca del manatí y su hábitat e identifica que la especie tiene un potencial turístico. Es necesario el involucramiento de instituciones competentes, la academia y de la población de ambos países en el manejo del área, enfocado en la salud ecológica, medios de vida de las comunidades,

implementación de buenas prácticas en los cultivos y de métodos que reduzcan la contaminación del río y el desarrollo de campañas educativas efectivas y constantes.

Palabras clave: sirenas, percepción social, conservación, ecosistema fluvial.

Abstract

The Hondo River is the natural border between Mexico and Belize, and it is part of the distribution area of the Antillean manatee *Trichechus manatus manatus*, an Endangered species according to the IUCN. Currently, although the Hondo River has a strong influence on the hydrology of the Chetumal Bay, Manatee Sanctuary, it does not have any special protection. The objective of this study was to analyze the social perception related to the manatee and its habitat in the riverside communities. Between February and April 2018, 50 semi-structured interviews were carried out with river users (fishermen, boatmen, tour guides), in 16 Mexican communities, distributed in six segments along the riverbed. The results indicate that 82% of the interviewees carry out fishing as the main activity in the river and 100% recognize the species. Most of the current and historical manatee sightings were reported in segments 1, 2, 5 and 6 of the main watercourse, but also in small tributaries, which are usually shallow and rich in aquatic vegetation. However, 48% of the interviewees claimed that nowadays the number of sighted manatees is less than that observed 10 years ago. The responders associated the manatee decrease to the water pollution caused by cane cultivation practices, motorized vessels traffic and the presence of fishing nets. This study provides evidence of local knowledge about the manatee and its habitat and identifies that the species has potential for tourism. It is necessary the involvement of competent institutions, the academy and the population of both countries in the management of the area, focused on ecological health, communities livelihoods, implementation of good agricultural practices, and water pollution control. Awareness and educational campaigns are also needed.

Keywords: sirens, social perception, conservation, fluvial ecosystem.

1. INTRODUCCIÓN

El río Hondo es un cuerpo de agua tripartito que se extiende desde el noreste de Guatemala hacia el norte de Belice y sur de México; al desembocar en la Bahía de Chetumal constituye un componente hidrológico importante para la misma, pues representa su mayor aporte de agua dulce; además juega un papel importante en la regulación climática e hidrológica de la bahía, al estar interconectado con humedales, lagunas y cenotes (Magnon-Basnier 2002). Sin embargo, varios estudios evidencian la presencia de residuos tóxicos por el uso de productos agroquímicos y pesticidas provenientes de los cultivos extensivos de caña que se encuentran en México y Belice (Buenfil-Rojas y Flores-Cuevas 2007; González Bucio *et al.* 2013; Tun-Canto *et al.* 2017).

La ribera del río Hondo está conformada por 20 poblados sólo en el lado mexicano: a) el área baja está abarcada por Subteniente López y la desembocadura del río; b) el área central por Huay-Pix, Ucum, Juan Sarabia, Carlos Madrazo, Sacxán, Palmar, Ramonal, Allende, Sabidos, Álvaro Obregón Viejo, Álvaro Obregón (unidad agrícola), Javier Rojo Gómez, Cacao, Cocoyol, San Francisco Botes y José Roviroso; y c) el área alta por Esteban Calderón, Nueva Revolución y La Unión (Magnon-Basnier 2002). Actualmente, en la ribera domina la industria cañera, tanto en territorio mexicano como en el beliceño y existe un historial de intercambio de mano de obra, tecnologías y conocimiento entre las fronteras (García-Ortega 2013). Las personas en estos poblados mexicanos trabajan como jornaleros en la cosecha de caña, durante el período de zafra y alternan este medio de vida con otras actividades, en las que el río Hondo juega un papel importante, como la pesca por consumo, el transporte de mercancías y personas entre fronteras y el turismo.

El manatí Antillano (*Trichechus manatus manatus*) es una subespecie de mamífero acuático, que pertenece al Orden Sirenia y a la Familia Trichechidae, hoy día clasificado en la categoría En Peligro (EN) de la Lista Roja de la UICN (Self-Sullivan y Mignucci-Giannoni 2008). En México, la protección de los manatíes inició en 1921, cuando la caza se declaró ilegal según la Ley de Pesca y, en 1981, se prohibió la comercialización de productos provenientes del manatí (Quintana-Rizzo y Reynolds III 2010). El manatí está catalogado

como una especie en peligro de extinción por la Norma Oficial Mexicana (NOM-SEMARNAT-059-2001) (SEMARNAT 2010).

En México, los manatíes se distribuyen en las costas del Golfo de México, desde el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA), ubicado en Veracruz, hasta el sur de Quintana Roo; se encuentran en los humedales de Veracruz, Tabasco, Chiapas y Campeche (Colmenero-Rolón 1991; Serrano *et al.* 2017) y en las bahías y zonas costeras de Quintana Roo (Morales-Vela *et al.* 2000). La Bahía de Chetumal es la zona con mayor número de manatíes en el estado de Quintana Roo, según datos reportados por recorridos aéreos (Morales-Vela y Olivera-Gómez 1997; Morales-Vela *et al.* 2000).

Varios estudios reportan la presencia de manatíes en la desembocadura del río Hondo, en los primeros kilómetros río adentro y en la Laguna Four Mile, en Belice (Campbell y Gicca 1978; Bengtson y Magor 1979; Fuentes Allen y Aguayo Lobo 1989; Colmenero-Rolón y Zárate 1990; O'Shea y Salisbury 1991; Zárate Becerra 1993; Morales-Vela *et al.* 1999; Morales-Vela *et al.* 2000; Auil 2004; Castelblanco-Martínez 2010; Castelblanco-Martínez *et al.* 2013; Quintana-Rizzo *et al.* 2015). También existen reportes de varamiento y muertes de manatíes en los primeros kilómetros del río, que han sido atendidos por las redes de varamiento de la región (Red de Mamíferos Acuáticos de Chetumal y Río Hondo, Red de Atención a Varamientos de Mamíferos Marinos de las costas del Estado de Quintana Roo y Red de Varamientos de Mamíferos Marinos de Belice) (Castelblanco-Martínez *et al.* 2018; Padilla-Saldívar *et al.* 2018); sin embargo, la causa de muerte no fue determinada para ninguno de los casos. De algunos ejemplares se pudo recuperar material biológico, que actualmente se encuentra en la Universidad de Quintana Roo y en el Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal⁶.

Considerando que: 1) el río Hondo influye hidrológicamente en dos áreas protegidas, el Santuario del Manatí en Chetumal, en México (Gobierno del Estado de Quintana Roo 1996) y el Santuario de Vida Silvestre Bahía de Corozal, en Belice (National Park System 1998), 2) el manatí es una especie carismática que puede ser usada como especie bandera (Daniel-Rentería *et al.* 2010), y 3) que parte de su distribución la conforma un río que se encuentra degradado

⁶ Castelblanco-Martínez, DN. 25 ene. 2019. Varamiento de manatíes en río Hondo (correo electrónico). Quintana Roo, México. UQRoo.

ambientalmente, el objetivo de este trabajo fue analizar la percepción social y cultural que las comunidades mexicanas de la ribera del río Hondo tienen acerca del manatí y su hábitat. Además, a partir de dicho análisis, se conocerán los lugares de avistamiento de manatíes, las perspectivas del manejo y conservación de la especie, así como las condiciones de su hábitat.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

El río Hondo se localiza en la Península de Yucatán, principalmente en el estado de Quintana Roo, entre las latitudes 2073907.3 y 333090.1 y longitudes 1960265.4 y 261381.3 (WGS84, UTM Zona 16 N). Tiene un cauce de 145 km, que inicia en el noreste de Guatemala y desemboca en la Bahía de Chetumal, por lo que forma una frontera natural entre México y Belice (Fig. 1). Su delimitación política y administrativa es compleja, pertenece a la red hidrológica de Yucatán este (RH33), abarcando las subcuencas de la Bahía de Chetumal (RH33Ac), el río Hondo (RH33Ad) y el río Escondido (RH33Ae), en el lado mexicano (INEGI 2017a), y a la cuenca del río Hondo en el lado beliceño (Meerman y Clabaugh 2017); cubre un área total aproximada de 13,465 km² (Colmenero-Rolón y Zárate 1990; Zárate Becerra 1993; Magnon-Basnier 2002)⁷.

La región se caracteriza por el clima cálido subhúmedo con lluvias de verano, temperatura media de 26°C y precipitación media de 1,550 mm (Magnon-Basnier 2002). Las selvas mediana subcaducifolia, baja perennifolia y baja inundable, las sabana, los cañaverales, el pastizal cultivado y el manglar ribereño son los tipos de vegetación que predominan en esta zona (Granados-Sánchez *et al.* 1998; INEGI 2017b; Meerman y Clabaugh 2017). El río es uno de los principales componentes hidrobiológicos de Chetumal; contribuye en la regulación del clima e hidrología del área, por su interconexión con los humedales, lagunas, cenotes y otros cuerpos de agua del lugar (Magnon-Basnier 2002).

⁷ De acuerdo con el cálculo del área a partir de las capas proporcionadas, el área proyectada para la cuenca es de 15,910 km², tomando en cuenta la información de ambos países.

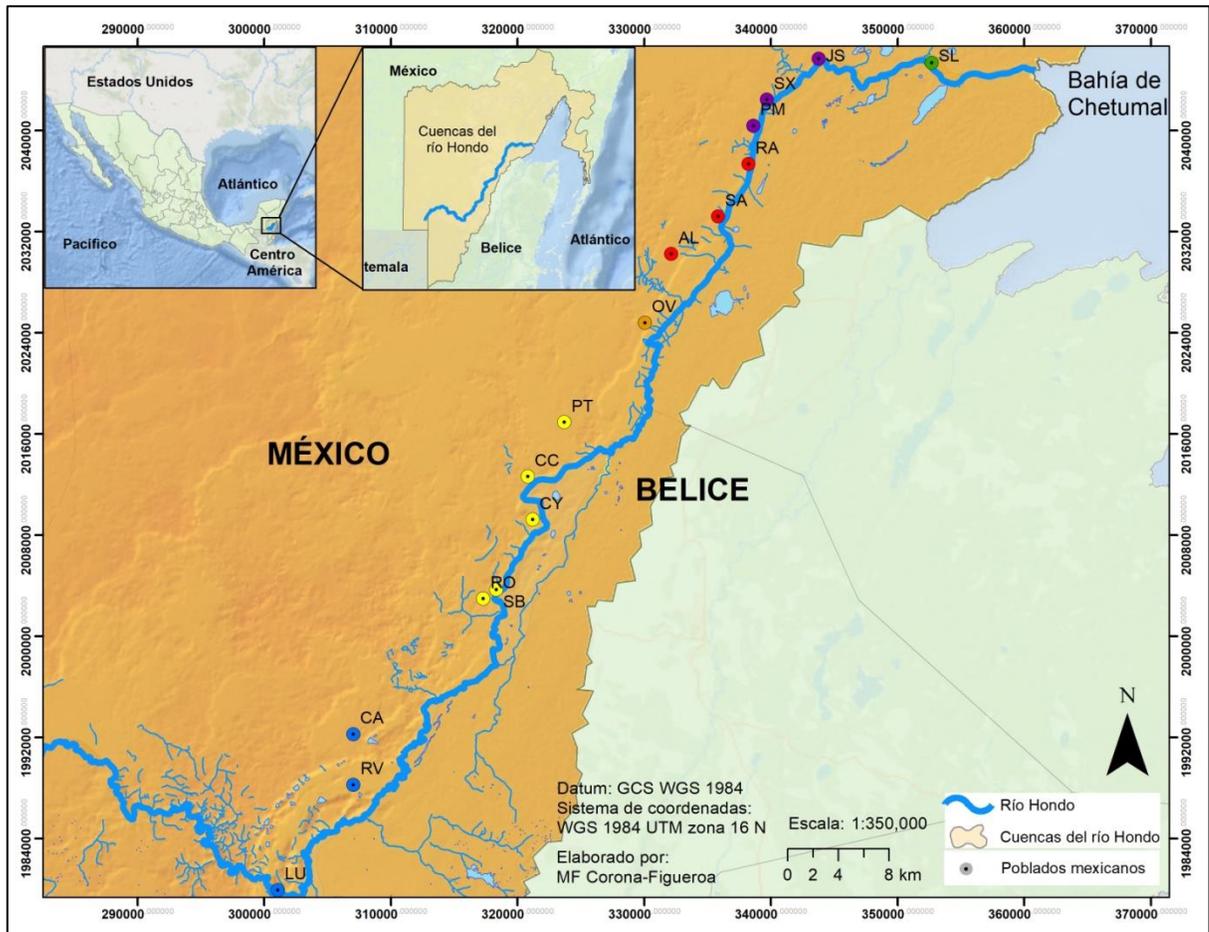


Fig. 1. Localidades mexicanas visitadas en la ribera del río Hondo.

Nota: el círculo en verde corresponde a las localidades del segmento 1 (área inferior), los círculos morados, rojos, anaranjados, amarillos y azules, a los segmentos 2, 3, 4, 5 (área central) y 6 (área superior), respectivamente. SL: Subteniente López, JS: Juan Sarabia, SX: Sacxán, PM: Palmar, RA: Ramonal, SA: Sabidos, AL: Allende, OV: Obregón Viejo, PT: Pucté, CC: Cacao, CY: Cocoyol, SB: San Francisco Botes, RO: Rovirosa, CA: Calderón, RV: Revolución y LU: La Unión.

2.2. Selección de las comunidades mexicanas y tamaño de muestra

El cauce del río Hondo se clasificó en cinco segmentos para realizar recorridos acuáticos y avistamiento de manatíes, como otro de los objetivos de un estudio simultáneo. Dichos segmentos corresponden a las áreas del cauce del río, de acuerdo con Magnon-Basnier (2002): inferior (S1), central (S2-S5) y superior (S6). A partir de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth® 2017, se seleccionaron aquellas comunidades encontradas en la ribera del cauce del río, o las más cercanas a esta, ubicadas en los seis segmentos mencionados, totalizando 16 comunidades (Fig. 1).

Se realizó un muestreo no probabilístico mediante cadena de referencia o bola de nieve (Martínez-Salgado 2012), ya que no se contaba con un listado previo de los usuarios del río, que potencialmente pudieran ser entrevistados. El grupo objeto de estudio fueron hombres o mujeres mayores a 17 años que realizaran alguna actividad en el río Hondo o en su ribera (pescadores, lancheros, guías de turismo, comerciantes, recreación), de forma constante o por temporadas. Se consideró el criterio de saturación, en estudios cualitativos, para determinar el tamaño de muestra ($n = 50$), el cual consiste en realizar un número de entrevistas hasta el punto en que ya no se obtenga información relevante para la investigación y empiece a ser redundante (Newing 2011).

2.3. Conocimiento y percepción local sobre el manatí y su hábitat

Para analizar el conocimiento y la percepción general que las personas tienen sobre el manatí, su hábitat y su conservación, se realizó una combinación de encuesta con entrevista semiestructurada a los usuarios del río (Fig. 2). Se tomaron en cuenta preguntas de varios formatos de entrevistas de estudios similares (Mou Sue y Chen David 1990; Del Valle 2000; Castelblanco-Martínez 2004; Castelblanco-Martínez 2014; Carvalho-Crema *et al.* 2017), entre las cuales figuraban: localidad, grado de escolaridad (secundaria, diversificado, universitario), ocupación (medio de vida principal), actividad que realiza en el río y la edad de las personas entrevistadas, así como la información sobre el conocimiento general del manatí, características del hábitat y las posibles causas del aumento o disminución de manatíes en el río. A cada entrevista se le asignó un código de referencia (Fig. 1) que indica el número de entrevista realizada en la localidad de estudio (ENT00-código de localidad), por ejemplo, ENT01-SL es la entrevista No. 1 de la localidad Subteniente López.

Se determinaron los ítems que hacen parte de la dieta de los manatíes a partir del conocimiento local; los nombres comunes de las plantas fueron proporcionados por los entrevistados; posteriormente, se consultaron los nombres científicos de la vegetación del área en la literatura (Zárate Becerra 1993; Espinoza-Ávalos 1996; LaCommare *et al.* 2008; Espinoza-Ávalos *et al.* 2009; Bonilla-Barbosa y Santamaría 2013; Arévalo-González s. f.) y

también por medio de la consulta a expertos en plantas acuáticas⁸. Con esta información se calculó el porcentaje de mención de cada ítem alimenticio reconocido por los usuarios para determinar su importancia y se calculó como el número de entrevistados que mencionó la planta *i* entre el total de respuestas obtenidas, tomando como base lo sugerido por (Magnon-Basnier 2002).



Fig. 2. Entrevistas realizadas en las comunidades mexicanas de la ribera del río Hondo: a) entrevistado de La Unión, b) niña de La Unión mostrando información sobre el manatí; c) entrevistado de San Francisco Botes; d) entrevistado de Rovirosa y e) manatíes madre y cría observados en las orillas de Subteniente López en enero de 2018 (fotografía proporcionada por uno de los entrevistados). Fotografías: G. Hernández-Gómez, SS. Landeo-Yauri y MF. Corona-Figueroa.

⁸ Bonilla-Barbosa, JR. 11 nov. 2018. Consulta sobre plantas acuáticas de México (correo electrónico). Morelos, México. UAEM.

Asimismo, se determinó la distribución actual e histórica del manatí. Cuando fue posible, se solicitó al entrevistado que indicara en un mapa de la localidad los lugares donde ha observado manatíes o sus rastros (heces, comederos).

Las respuestas obtenidas fueron analizadas mediante estadística descriptiva y tablas de contingencia (Anexo 2.1). A fin de determinar asociaciones entre las variables categorizadas, se desarrolló un análisis estadístico chi cuadrado máximo verosimilitud, con un nivel de confianza de 90% o p valor = 0.10. Para representar visualmente las asociaciones entre las variables, se realizó un análisis de correspondencia canónica (Anexo 2.2) mediante el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2018).

3. RESULTADOS

3.1. Características de las personas entrevistadas

Entre febrero y abril de 2018, se realizaron 50 entrevistas en 16 localidades mexicanas ubicadas en la ribera del río Hondo (Fig. 1), distribuidas así (el número entre paréntesis indica el número de entrevistados): a) S1 (5), b) S2 (11), c) S3 (7), d) S4 (3), e) S5 (16) y f) S6 (8). La diferencia en el número de entrevistas por segmento se debió a que varios entrevistados se encontraban en jornada de trabajo, en la cosecha de caña. La mayoría de entrevistados fueron nativos de la región de Quintana Roo y el resto, inmigrantes, provenientes de otros estados de México, Belice y Guatemala. La edad promedio fue de 49 años (rango entre 17 y 74 años); la mayoría de entrevistados fueron hombres, con grado de escolaridad primario. La mayoría indicó visitar el río diariamente o más de cuatro veces al mes y manifestaron realizar pesca por subsistencia como actividad principal en el río Hondo (Tabla 1); sin embargo, el 60% indicó que alterna dicha actividad por el trabajo de jornalero en la cosecha de caña, durante los meses de noviembre a junio.

3.2. Análisis del conocimiento y percepción del manatí y su hábitat

Todos los entrevistados aseguraron conocer al manatí, aunque algunos lo reconocieron con otros nombres: vaca marina, bufeo o sirena. El 74% indicó que es complicado diferenciar

el sexo de los manatíes, sobre esto algunos comentaron: “Es difícil diferenciar, yo sólo he visto hocicos y lomos. Entonces no se logra apreciar si son hembras o machos” (ENT01-SX); “Los he visto en grupos, pero no sé cómo diferenciarlos. Se mantienen sumergidos” (ENT02-PT). El resto de entrevistados comentó diferenciarlos: “Las hembras son más pequeñas y cubren a sus crías con sus aletas. Los machos son más grandes” (ENT04-JS); “Cuando andan en grupo, en la brama, los machos andan detrás de las hembras” (ENT02-SB). La mayoría (80%) mencionó haber observado grupos de manatíes en al menos en una ocasión, de los cuales el 57.5% indicó observar grupos de 2 a 4 individuos, el 27.5% de 5 a 7 individuos y el resto, más de 8 individuos por grupo. Sólo el 46% de los entrevistados comentó reconocer a las crías: “Son pequeños, como de un metro. Van pegaditos a la mamá” (ENT02-CC).

Tabla 1. Porcentaje de las características de las personas entrevistadas.

Variable	Nivel	%	Variable	Nivel	%
Género	Hombres	96	Escolaridad	Primaria	54
	Mujeres	4		Secundaria	26
Población	Nativa	66		Bachillerato	10
	Inmigrante	34		Otros	10
Actividad en el río	Pesca	41	Frecuencia de visita (veces al mes)	Diariamente	34
	Transporte	4		1 a 2	16
	Guía de turismo	2		3 a 4	20
	Otros	3		Más de 4	30

La prueba de chi-cuadrado determinó asociación ($p = 0.0843$, Anexo 2.1.1) entre los niveles de la población de los entrevistados (nativos o inmigrantes) y la capacidad de diferenciar el sexo de los manatíes: los entrevistados inmigrantes no logran observar diferencias, mientras que los nativos sí distinguen diferencias (Fig. 3; Anexo 2.2.1). Existe asociación ($p = 0.0170$, Anexo 2.1.2) entre la categoría de edad en que se clasifica el entrevistado (C1: < 40 años, C2: 40-60 años y C3: > 60 años) y la observación de manatíes en grupo: los entrevistados que se encuentran en las categorías C2 y C3 han observado manatíes en grupos, mientras que los más jóvenes (categoría C1) sólo han observado individuos solitarios (Fig. 4, Anexo 2.2.2).

La época hidroclimática en la que más observan más manatíes, incluyendo a las crías, es la seca (Fig. 5); la mayoría (34%) comentó que los observan más por las tardes, seguido por la mañana (32%), a cualquier hora (24%) y al mediodía (10%). Cabe aclarar que la hora de observación de manatíes está altamente relacionada con la hora en que los usuarios realizan sus actividades en el río. Se observa asociación entre la categoría de edad del entrevistado, la frecuencia en que visita el río y la hora en que han observado manatíes ($p = 0.0473$ y $p = 0.0362$, respectivamente; Anexos 2.1.3 y 2.1.4).

Se observa una relación entre la edad de los entrevistados y la hora en que observan manatíes. Los usuarios más jóvenes (C1) visitan el río diariamente o más de cuatro veces al mes y suelen observar manatíes en la tarde; los que se encuentran en edades intermedias (C2) visitan el río entre tres y cuatro veces al mes y suelen observar manatíes en la mañana; los más ancianos (C3) visitan el río diariamente y han observado manatíes en la tarde (Fig. 6; Anexo 2.2.3).

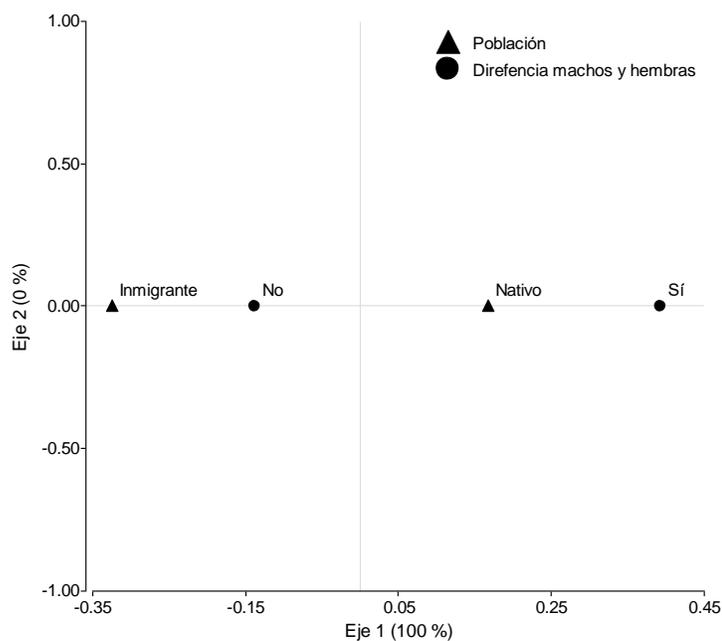


Fig. 3. Análisis de correspondencia entre los niveles de la población a la que pertenecen los entrevistados (nativo o inmigrante) y si diferencia el sexo de los manatíes.

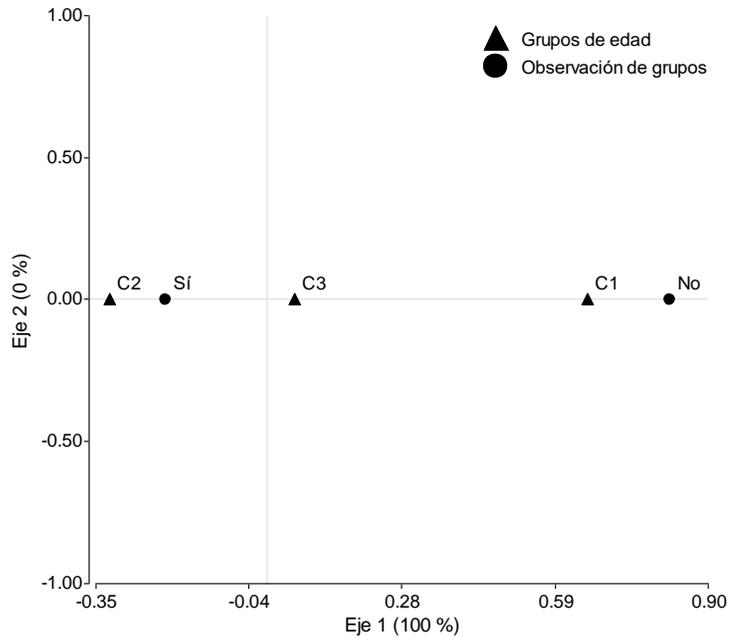


Fig. 4. Análisis de correspondencia entre la categoría o grupos de edades de los entrevistados (C1: < 40 años, C2: 40-60 años y C3: > 60 años) y la observación de manatíes en grupos.

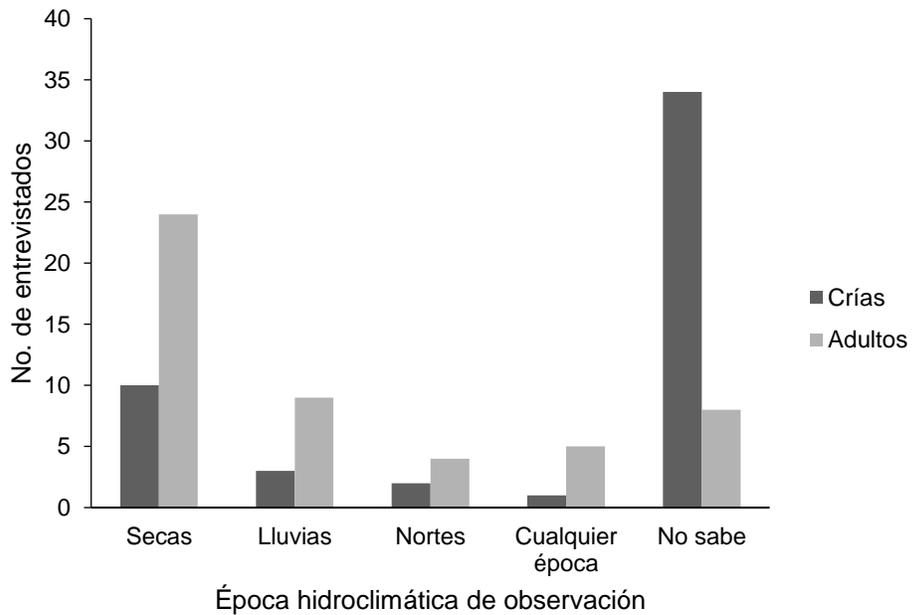


Fig. 5. Época hidroclimática de observación de manatíes, según los entrevistados de los poblados mexicanos de la ribera del río Hondo.

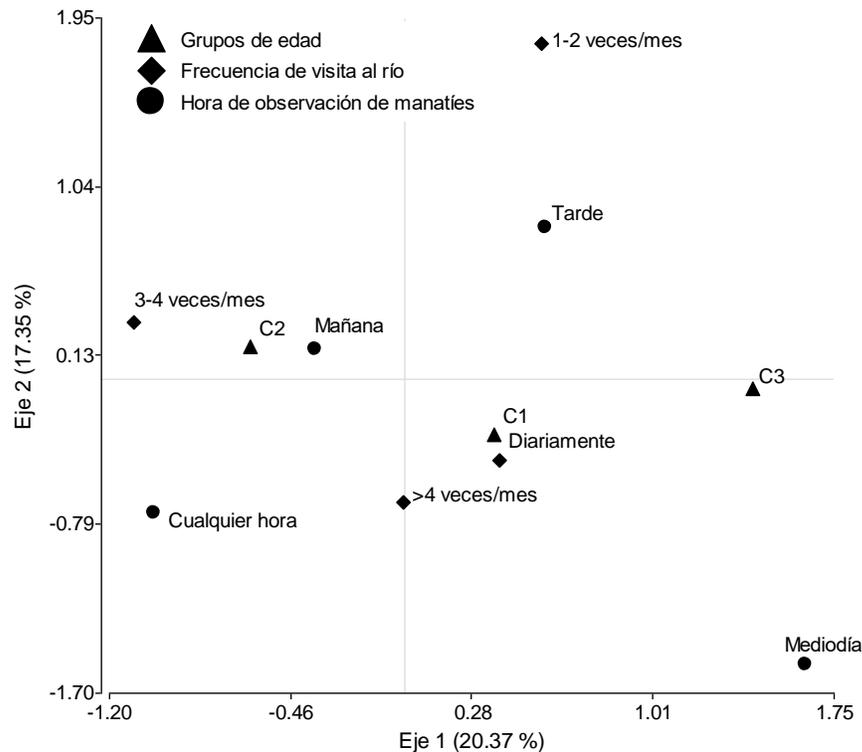


Fig. 6. Análisis de correspondencia entre la categoría o grupos de edades de los entrevistados, la frecuencia de visita en el río y la hora en que han observado manatíes.

Existe asociación ($p = 0.0068$, Anexo 2.1.5) entre la actividad que realizan los usuarios en el río y la observación de crías de manatí: los pescadores y guías de turismo han observado crías, mientras que los usuarios que transportan gente y/o mercancías entre orillas o que realizan otro tipo de actividades (p. ej. Comercio, recreación, patrullaje) no han observado crías (Fig. 7, Anexo 2.2.4). También se observó asociación ($p = 0.0018$, Anexo 2.1.6) entre los sitios de observación indicados por los usuarios y la observación de crías (Fig. 8). Las crías suelen observarse en los primeros segmentos del río (S1 y S2) y, según algunos entrevistados, en todo el río, sin distinción de segmentos (ver resultados en Anexo 2.2.5). Los individuos adultos y de edades indeterminadas se observan en los segmentos que se encuentran río arriba (S3-S6 y en los creeks o ríos tributarios).

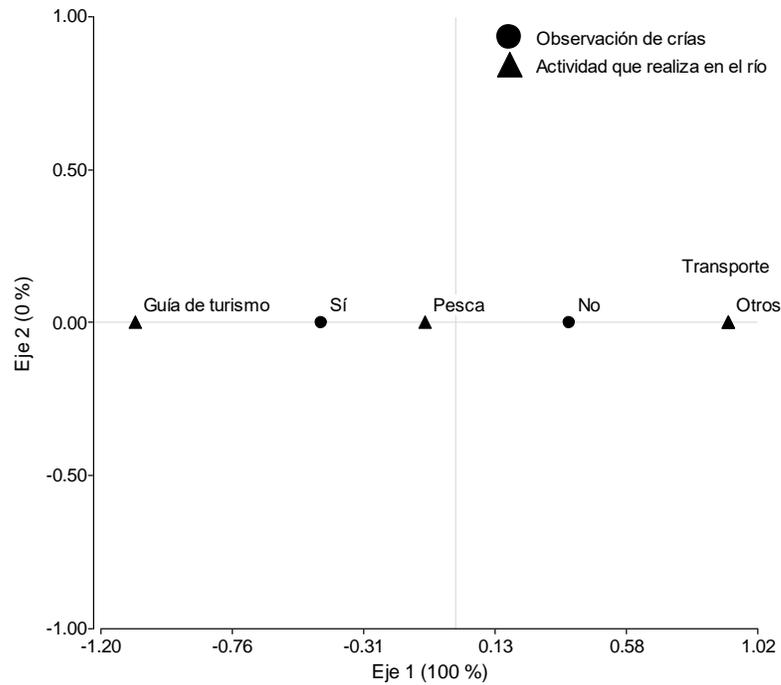


Fig. 7. Análisis de correspondencia entre la actividad que realizan los usuarios en el río y la observación de crías.

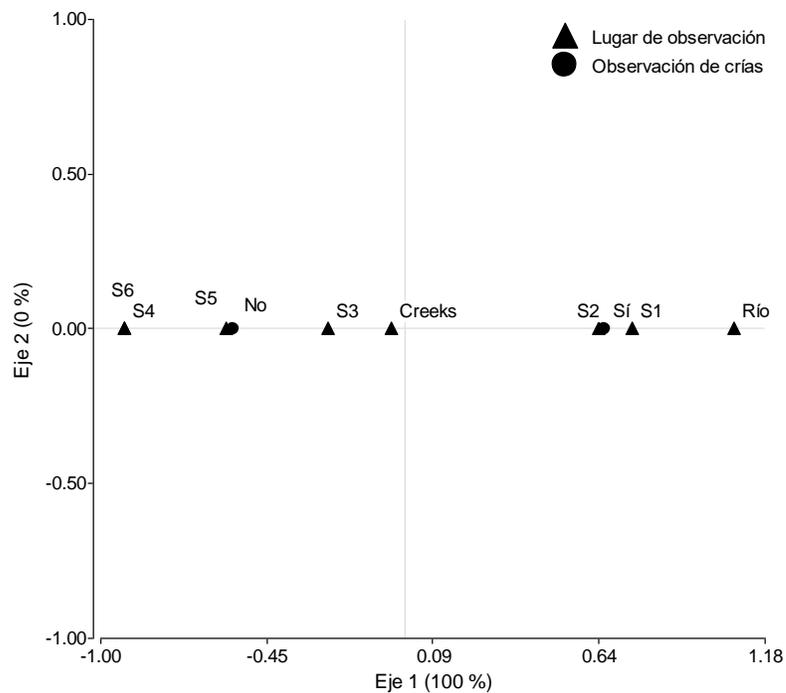


Fig. 8. Gráfico de análisis de correspondencia entre el lugar de observación de manatíes y la observación de crías por los entrevistados. La S con los respectivos números ordinales hace referencia a los segmentos clasificados en el río para este estudio.

De manera general, los usuarios del río han observado manatíes frente a los muelles de las localidades donde viven o donde realizan sus actividades. Un 32% indicó observarlos en los creeks o ríos tributarios que confluyen con el río Hondo, como el río Azul, Booth's River, Estero Chac; el 30% indicó observarlos en las localidades ubicadas en los segmentos 1 y 2, así como en la desembocadura y en la confluencia del río Ucum, referenciado por ellos como "El Islote". Un 20% los observó en las localidades de los segmentos 3, 4 y 5 y el 14% comentó que ha observado manatíes en el área superior del cauce (S6). Sólo el 4% indicó observar manatíes en todo el río y uno de los usuarios comentó: "Los manatíes se ven más río abajo. El río es como una guarida para ellos. En los creeks angostos no se ven porque son bajitos. Llegan hasta Botes. Pero están en todo el río" (ENT02-CY).

Se registraron avistamientos específicos, tanto históricos (desde 1988) como recientes (2018) (Fig. 9). Hay 89 casos registrados: 75 son registros de manatíes vivos, de los cuales 3 presentaban heridas; ocho de los casos corresponden a manatíes muertos; y sólo seis de los entrevistados indicaron haber observado rastros alimenticios. Las carcasas de los individuos muertos reportados fueron registradas en los segmentos 1 y 2, cercanos a la desembocadura del río Hondo. Los años con mayor observación de manatíes vivos fueron entre 2016 y 2018, seguidos de los años entre 2011 y 2015; sin embargo, existen varios reportes sin fecha (Fig. 10); en el caso de manatíes muertos, los años con mayor reporte fueron entre 2011 y 2015.

Aunque los registros de manatíes son de años distintos, todos los meses están representados, excepto noviembre; sin embargo, mayo y junio fueron los más representativos, los cuales corresponden a la época seca. En cuanto al número de manatíes vivos, el 24.0% correspondieron a solitarios, 41.3% a parejas, 12.0% a grupos de tres individuos y 22.7% a grupos de más de cuatro individuos (Fig. 11). El número máximo de individuos por grupo observado fue de 15 manatíes, reportado en el segmento 5, seguido por el segmento 6 donde reportaron 10 manatíes en grupo (Tabla 2).

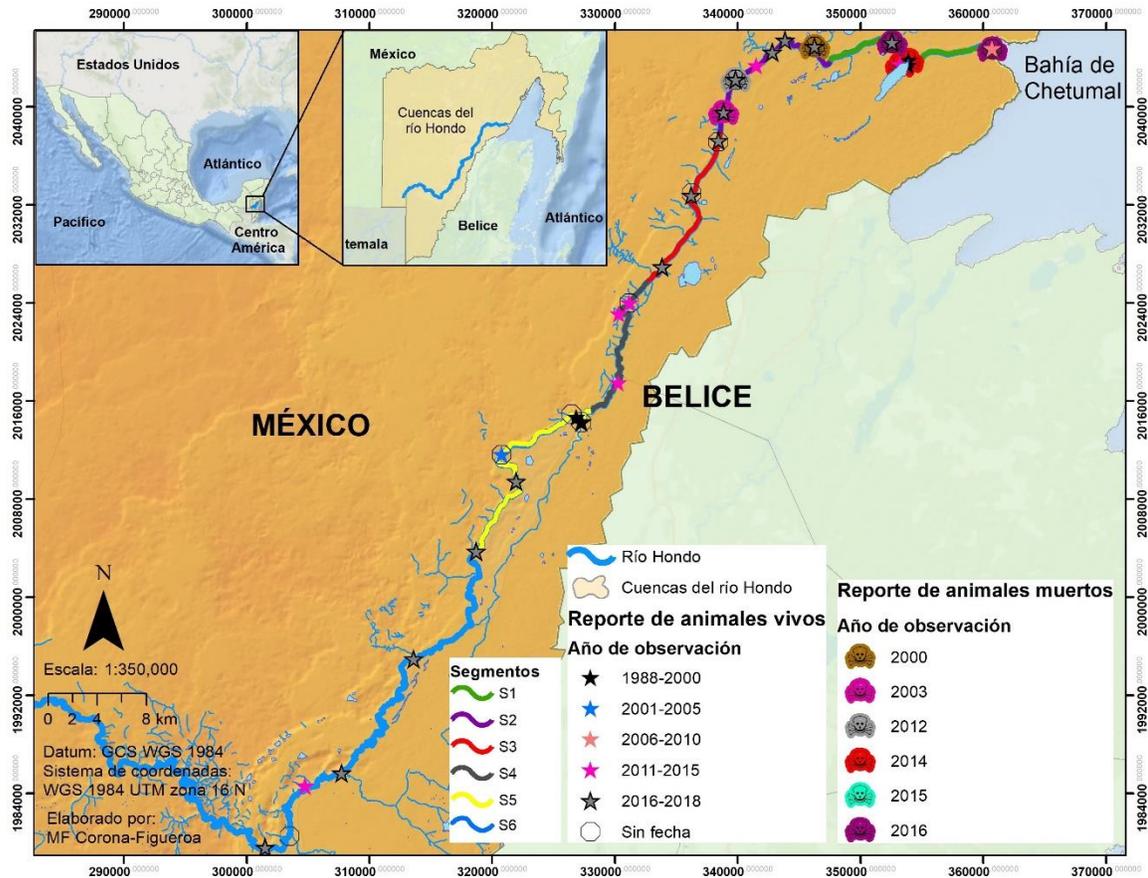


Fig. 9. Registro de avistamiento de manatíes por parte de los entrevistados.

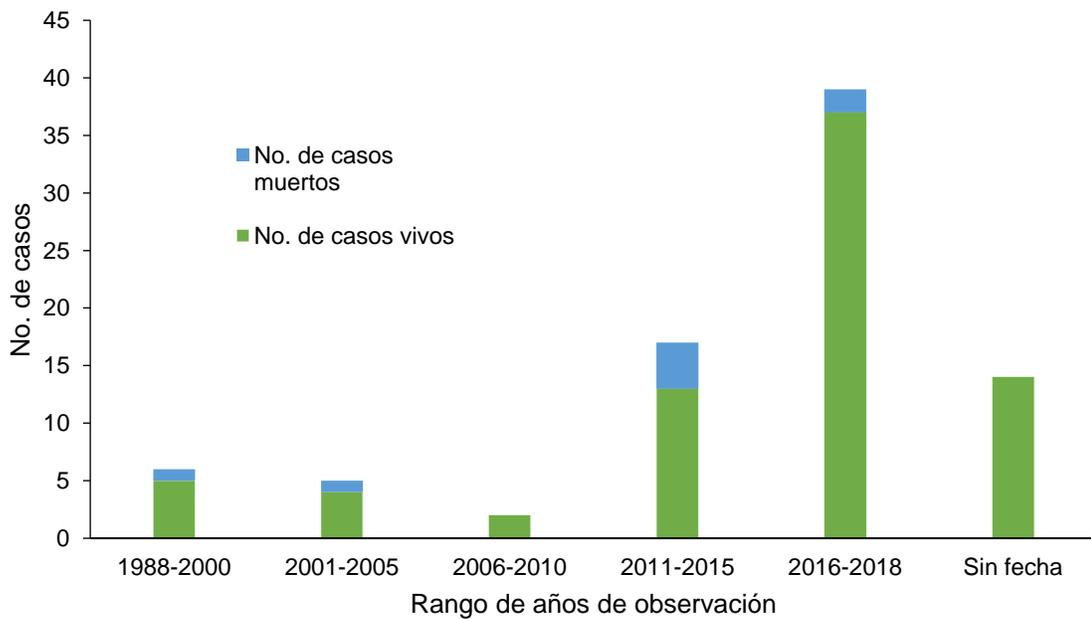


Fig. 10. Variación anual de casos de manatíes vivos y muertos reportados en el río Hondo, según los entrevistados.

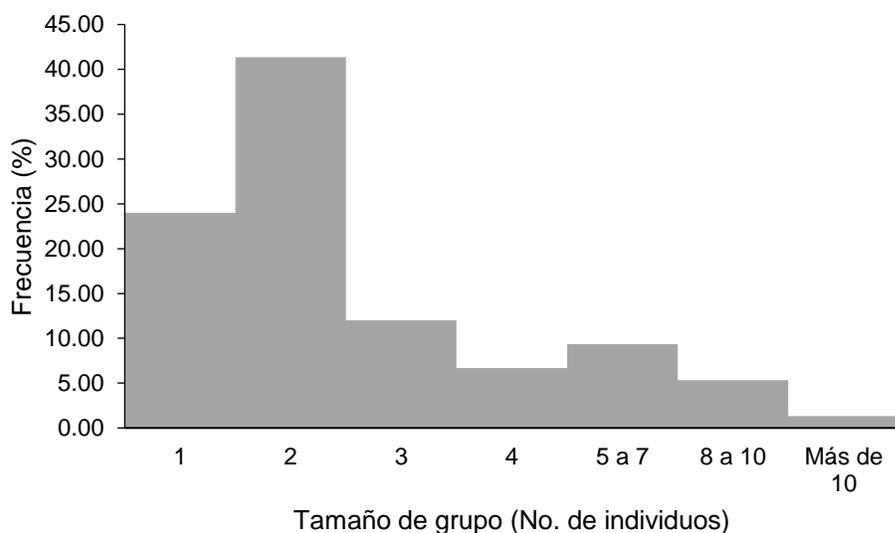


Fig. 11. Frecuencia de tamaño de grupo de manatíes reportado por los entrevistados.

Tabla 2. Respuestas de los entrevistados para el número de individuos (media y rango) observados por segmento, en el río Hondo, Quintana Roo, México.

Lugar de observación de manatíes	No. de entrevistados informantes	No. de respuestas	No. de manatíes observados		
			Media	Min.	Máx.
S1	8	9	2	1	4
S2	11	17	2	1	5
S3	6	9	3	1	8
S4	4	4	2	1	5
S5	16	24	4	1	15
S6	9	12	2	1	10

Entre las características del río que influyen en la presencia del manatí, según los entrevistados, están la presencia de vegetación (36%) y las profundidades bajas (52%), los cuales están bastante relacionados, por ejemplo, entre los comentarios se destacan: “El Islote es un comedero, hay árboles caídos, ahí crecen algas y ahí llegan los manatíes” (ENT02-JS); “Si no hay vegetación, no se arriman” (ENT02-PT); “Donde se está bajo⁹, ahí es donde comen. Luego se van a lo profundo para nadar” (ENT01-CC); “En el Islote se observan los manatíes porque ahí está bajo, se acercan a comer. Hay vegetación en la parte baja” (ENT01-JS).

⁹ En este contexto, “bajo” se refiere a poco profundo.

Se observa que existe asociación entre la observación de grupos de manatí y el número de comportamientos observados ($p = 0.0367$, Anexo 2.1.7), indicando que los usuarios que han observado manatíes agrupados son los que reconocen más comportamientos, que los que sólo han observado individuos solitarios (Fig. 12, Anexo 2.2.6). Entre los comportamientos de manatí reconocidos por los entrevistados están el desplazamiento (74%), la respiración (72%), la alimentación (60%) y la reproducción (20%).

El 84% indicó que los manatíes se alimentan de plantas acuáticas o de las orillas del río: sargazo o zacate¹⁰ (*Vallisneria americana*, *Cabomba* sp., *Ruppia maritima*, *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme*, *Najas marina*), hoja de lagarto (*Nymphaea ampla*), mangle (*Rhizophora mangle*), cortadera (*Cladium jamaicense*), icaco (*Chrysobalanus icaco*), jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), tun (*Pistia stratiotes*) y algas (*Chara* sp., *Batophora* spp.). Entre las más mencionadas se encuentra el zacate, la hoja de lagarto y el mangle; las menos mencionadas fueron el tun y el jacinto de agua (Fig. 13).

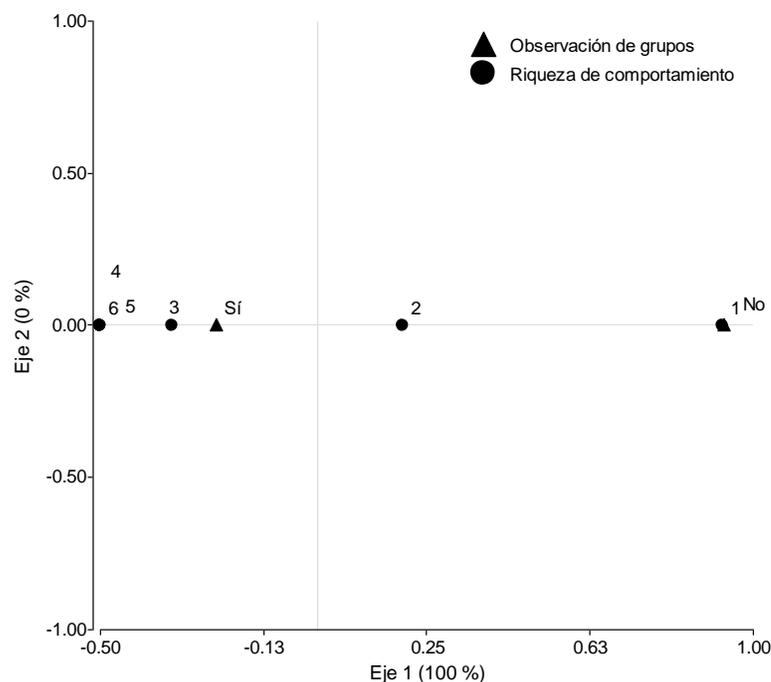


Fig. 12. Gráfico de análisis de correspondencia entre la observación de grupos y el número de comportamientos reconocidos por los entrevistados.

¹⁰ Por lo general, así le llaman comúnmente a cualquier especie de planta sumergida.

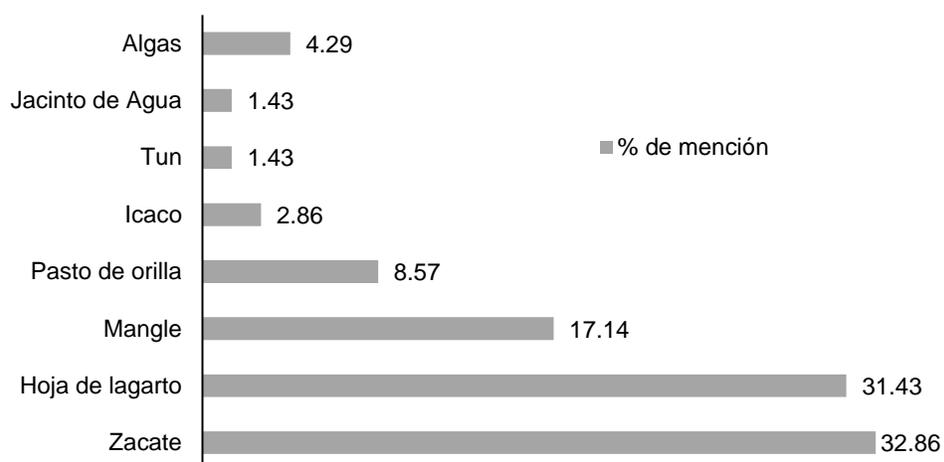


Fig. 13. Vegetación que forma parte de la dieta del manatí en el río Hondo, según los entrevistados.

Respecto al cuestionamiento relacionado con el estado poblacional actual de manatíes en comparación con la de hace diez años, el 48% indicó que hay menos manatíes, el 30% comentó que hay más y el 14% que la población se ha mantenido igual; por ejemplo, algunos usuarios comentaron: “Hay menos, ya mermó. Ya no se escucha sobre eso. Antes, los veía todos los días que salía a pescar” (ENT02-PT); “Ha de haber más, porque siempre se ven parejas y crías” (ENT02-CY); “La población está igual. No entran muchos al río, pero se ha mantenido el número. Aunque no sé si son los mismos todo el tiempo” (ENT03-SB).

Entre las causas de la disminución de la población de manatíes, reconocidas por los entrevistados, están la contaminación del río, el tránsito de embarcaciones, la presencia de redes de pesca y la escasez de alimento. Asimismo, los entrevistados indicaron como principales amenazas para el manatí las redes de pesca (56%), el tránsito de embarcaciones (52%) y la contaminación del río (48%). El 100% de los entrevistados indicó que la cacería no es amenaza para la especie, ya que nadie la practica y no se ha escuchado alguna eventualidad en la región del río Hondo.

A pesar de lo anterior, 18% de los entrevistados comentó haber encontrado, al menos en una ocasión, algún manatí muerto en el río (Fig. 9), aunque las causas de la muerte fueron

desconocidas. Cabe mencionar que el 64% desconoce la existencia de algún procedimiento para reportar varamiento de manatíes: “Como no ha sucedido, no se reporta” (ENT02-PT); “Sólo se reporta en la Bahía (de Chetumal). En el río, no se le presta atención” (ENT03-SL); y 30% indicó que, si se diera el caso, avisarían a las autoridades (Marina mexicana o subdelegado): “Personalmente le avisaría al delegado para que de aviso a quien corresponde. Además, no ha habido casos aquí, no hay peligro para ellos (los manatíes) acá” (ENT01-LU). Relacionado con la pregunta de si reconocen a alguna institución que vele por la conservación del manatí y del río Hondo, más de la mitad de los entrevistados (54%) indicó desconocimiento. No obstante, los que indicaron reconocen la participación institucional en este ámbito, mencionaron la colaboración de entidades federales, la academia e iniciativas privadas. En cuanto a la participación comunitaria en la conservación del manatí y su hábitat, el 56% comentó que es indiferente; sin embargo, las comunidades que sí cooperan lo hacen mediante faenas de limpieza, por lo general cada seis meses, en el río.

En cuanto a la conservación y posibles usos del manatí, el 96% mencionó estar de acuerdo con la conservación de la especie, algunos comentaron: “Hay que seguir conservándolo para que no se extinga” (ENT01-PT); “Es raro verlo y hay que cuidarlo para que nuestras futuras generaciones lo conozcan” (ENT01-RA); “Se deben conservar porque toda especie tiene derecho a vivir y ser respetada. Todos tienen una función en el planeta” (ENT03-OV); “Son parte del río, son como guardianes, cuidadores” (ENT01-SX); el 92% indicó que la especie podría ser un atractivo turístico para sus comunidades: “Se debe proteger a los manatíes porque no son dañinos; me da gusto que la gente no les haga daño. Si continúan, eso le daría vida al pueblo, porque serviría como un atractivo para los turistas” (ENT01-JS); “Es una especie atractiva e inofensiva, no perjudica a nadie” (ENT02-SB, ENT03-SX).

Por otro lado, existen varios mitos reconocidos por los entrevistados, el más común fue el que tiene relación con la alimentación, por ejemplo, que han escuchado que la carne de manatí tiene tres sabores: pescado, puerco y res. Entre otros mitos se encuentran los siguientes: a) por las características anatómicas en sus dientes: “Los huesos tienen marfil, como los elefantes” (ENT02-SL, ENT01-OV); b) por el nombre del Orden al que pertenecen (Sirenia): “Son descendientes de las sirenas” (ENT04-SL, ENT02-CC, ENT01-LU, ENT02-LU); c) relacionado con la suerte o el augurio: “Para la gente de antes (los mayas) era un dios o algo

especial. Era de buen augurio ver un manatí” (ENT02-JS); d) relacionado con la flotabilidad del animal: “Dicen que ayuda a las personas” (ENT04-SX, ENT02-RA), “El manatí rescata personas ahogadas. Las acerca a la orilla hasta que llegue alguien” (ENT02-PT, ENT05-PT, ENT03-CC, ENT01-CY) y e) por su parecido con el comportamiento humano: “Los manatíes amamantan a sus crías como los humanos” (ENT03-SB, ENT01-RV), “Hay una leyenda relacionada con la fertilidad y la crianza” (ENT01-OV); “Tienen senos como mujer” (ENT02-RO).

4. DISCUSIÓN

Las personas entrevistadas reflejan la forma de vida de la población de una región fronteriza, influenciada por el cultivo de caña (García-Ortega 2013) y la presencia de un río del cual aprovechan los servicios que ofrece (pesca, transporte, turismo, comercio, recreación). El tipo de población (nativa o inmigrante) a la que pertenecen los usuarios, la edad, la actividad que realizan en el río (principalmente pesca y turismo) y la frecuencia en que lo visitan son aspectos que se asocian al conocimiento del manatí, como la diferenciación entre machos y hembras y la observación de crías y de grupos. Sin embargo, la diferenciación del sexo se debe particularmente al comportamiento que han observado en los manatíes cuando se encuentran en estro o en crianza, pero no por las características físicas de la especie. Los usuarios que pescan con anzuelo o con arpón están más atentos a su alrededor, así como los guías de turismo; es decir, el nivel de interacción que tienen con el río es mayor que los que realizan las otras actividades (transporte, patrullaje, comerciantes).

Existen observaciones históricas de manatíes a lo largo del río Hondo, lo cual concuerda con los hallazgos de Campbell y Gicca (1978), Fuentes Allen y Aguayo Lobo (1989), Colmenero-Rolón y Zárate (1990) y Zárate Becerra (1993). Los entrevistados han observado manatíes, tanto adultos como crías, principalmente en época seca, seguida por la de lluvias, estos resultados coinciden con Colmenero-Rolón y Zárate (1990), Zárate Becerra (1993) y Auil (2004), que reportan mayor avistamiento en temporadas similares en el río y, a diferencia de Fuentes Allen y Aguayo Lobo (1989), que reportaron manatíes en todas las épocas del año.

La mayor parte de los avistamientos de manatí, incluyendo a los grupos, se reportó en los segmentos 1, 2, 5 y 6. Sin embargo, esto puede deberse a que en el segmento 5 se encuentran asentadas la mayor cantidad de comunidades mexicanas visitadas y, por lo tanto, la mayor cantidad de entrevistados. Los hallazgos de los primeros segmentos coinciden con los estudios realizados en la Bahía de Chetumal y en Belice, donde los primeros segmentos del río Hondo fueron muestreados para avistar manatíes: desde la desembocadura hasta 6 km (Bengtson y Magor 1979; O'Shea y Salisbury 1991; Morales-Vela *et al.* 1999; Morales-Vela *et al.* 2000; Auil 2004; Castelblanco-Martínez 2010; Castelblanco-Martínez *et al.* 2013; Quintana-Rizzo *et al.* 2015), 20 km (Colmenero-Rolón y Zárate 1990; Zárate Becerra 1993), 30 km (Campbell y Gicca 1978) y hasta 50 km río adentro (Fuentes Allen y Aguayo Lobo 1989).

La observación de manatíes en las confluencias de los ríos que tributan en el río Hondo, como el río Azul, Booth's River o río Bravo, Estero Chac y el arroyo Sabidos concuerda con el estudio de Fuentes Allen y Aguayo Lobo (1989), que reportaron manatíes en el río Ucum. La ocurrencia y preferencia de manatíes en áreas de confluencia entre cuerpos de agua está reportada en el sur del Golfo de México, en los ríos Usumacinta, Grijalva y San Pedro (Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014; Puc-Carrasco *et al.* 2016; Puc-Carrasco *et al.* 2017), entre sistemas lagunares de Belice (Auil 2004) y en el sureste de Nicaragua y Noreste de Costa Rica (Jiménez 2005). Los manatíes se movilizan entre los cursos de agua adyacentes al río, según atestiguan los entrevistados y las confluencias ofrecen sitios para refugio y descanso (Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014).

El Islote y la desembocadura del río son áreas con poca profundidad ($\bar{x} = 5$ m y 6 m, respectivamente) y con vegetación, según los entrevistados. La biomasa de la vegetación acuática y la cobertura vegetal de las orillas son características del hábitat que influye en la presencia de manatíes; la presencia de estas características y aguas someras son propicias para el refugio y forrajeo de manatíes (Hartman 1979; O'Shea y Salisbury 1991; Zárate Becerra 1993; Jiménez 2005; Olivera-Gómez y Mellink 2005).

A excepción de *C. jamaicense* y *C. icaco*, las plantas o algas mencionadas por los entrevistados han sido reportadas como parte de la dieta del manatí (Etheridge *et al.* 1985; Mignucci-Giannoni 1998; Castelblanco-Martínez *et al.* 2005; Castelblanco-Martínez *et al.*

2009; González-Socoloske 2013) y también para el manatí del Amazonas (*T. inunguis*) (Carvalho-Crema *et al.* 2017); sin embargo, se sugiere que son parte de su dieta potencial. Pocos entrevistados, principalmente de los poblados más lejanos al casco urbano (Ciudad de Chetumal), fueron los que desconocieron el hábito alimenticio del manatí o indicaron que la especie se alimenta de peces. Este mismo hallazgo se presentó en los estudios de Rodas-Trejo *et al.* (2012), en las comunidades de Catazajá-La Libertad (México), y Silva *et al.* (2014), en Loreto (Perú). La lejanía y la falta de medios de comunicación en las localidades podrían contribuir al desconocimiento sobre las generalidades de la especie y de su hábitat (Silva *et al.* 2014).

En este estudio, se evidencia que los usuarios reconocen más comportamientos de manatíes cuando los observan agrupados. Referente al comportamiento de reproducción, varios mencionaron haber observado más de ocho manatíes en celo en diferentes sitios del río, ubicados en el quinto segmento. En contraste, la crianza solo fue reportada en los primeros segmentos, lo cual coincide con los estudios de Colmenero-Rolón y Zárate (1990), Zárate Becerra (1993) y Auil (2004). Los manatíes necesitan áreas para la alimentación con acceso a agua dulce y refugio para sus crías (Castelblanco-Martínez *et al.* 2013) y se recalca que el río Hondo y sus afluentes ofrecen estas características.

De acuerdo con los entrevistados, la disminución de manatíes se debe principalmente a la contaminación del agua. Varios estudios reportan la presencia de metales pesados (Hg, Cd, Cu y Fe) y compuestos organoclorados en el río Hondo, mediante análisis de calidad de agua, suelo y sedimentos (Buenfil-Rojas y Flores-Cuevas 2007; González Bucio *et al.* 2013; Tun-Canto *et al.* 2017); por otro lado, también existen evidencia de presencia de metales pesados y metalotioneínas en ejemplares de manatí (Rojas-Mingüer y Morales-Vela 2002; Romero Calderón 2014), en cocodrilo (*Crocodylus moreletii*) (Buenfil-Rojas *et al.* 2014) y en bagres (*Ariopsis assimilis*) (García-Ríos y Gold-Bouchot 2002).

Aunque no hay evidencia de que las muertes de manatí reportadas en la Bahía de Chetumal o en el río Hondo se deban a la presencia de metales pesados, podría ser una causa potencial que se manifiesta a largo plazo, que provoque infecciones o enfermedades (Rojas-Mingüer y Morales-Vela 2002), o que exista bioacumulación en la biota del río que pueda

magnificar los efectos cuando los metales se incorporan a la cadena trófica de algún ciclo biológico (González Bucio *et al.* 2013). Mayores estudios son requeridos para saber la afectación real de la polución de las aguas en la población de manatí del río Hondo.

El paso de embarcaciones es otra de las amenazas reconocidas, principalmente aquellas conducidas por las Marinas de México y de Belice. En cuanto a las redes de pesca, mencionaron que el manatí es demasiado grande y que las puede romper fácilmente, por lo que no es tan relevante. Por otro lado, la cacería no fue reconocida como amenaza, ya que indicaron que dicha actividad no ha ocurrido en la actualidad, ni en años anteriores. Este hallazgo difiere del estudio de Colmenero-Rolón y Zárate (1990), en el cual reportaron cinco eventos de cacería de manatí en el río, pero recalcan el declive de la actividad en el período de 1960, debido al poco número de individuos y por la legislación de conservación de la especie, la cual se difundió en esa década (SEMARNAT 2010). Podría ser que la respuesta de negación de que ocurran eventos de cacería de manatí, por parte de los entrevistados, esté sesgada y que se deba al temor de que se les relacione con la realización de la actividad (Rodas-Trejo *et al.* 2012).

Los ocho casos de muertes de manatíes en el río Hondo, mencionados por los entrevistados, los registraron principalmente en los primeros dos segmentos, aunque las causas fueron indeterminadas debido al estado de descomposición en la que se encontraban los individuos. Además, mencionaron que no los reportaron ante las redes de varamientos. De acuerdo con Castelblanco-Martínez *et al.* (2018), existen reportes de mortalidad de manatí ubicados en el río, principalmente a áreas cercanas a su desembocadura; no obstante, las causas fueron indeterminadas, a excepción de lo ocurrido con una cría, cuya muerte fue considerada como perinatal.

Los casos de manatíes muertos registrados en el río por los entrevistados se compararon con los registros de las redes de varamientos (Anexo 2.2.7) y algunos de estos coinciden en año, mas no en ubicación, por lo que podría ser que se traten de eventos diferentes. Sin embargo, la información de los años en que ocurrieron estos eventos, según los entrevistados, podría estar sesgada por razones de memoria. Además, aunque las carcacas de los individuos muertos se reportaron en segmentos cercanos a la desembocadura, se considera que no

necesariamente son los lugares donde ocurrió la muerte del manatí. Los cuerpos hallados sin vida en estado avanzado de descomposición podrían indicar que derivan de segmentos más arriba y que la corriente del agua los puede transportar hasta la desembocadura¹¹.

El hecho de que las personas no reportan los acontecimientos de varamiento o muerte de manatíes ante las autoridades puede deberse a dos causas: la primera, porque desconocen acerca del procedimiento a seguir, y la segunda, porque temen ser implicados en las causas. Conjuntamente, existe desconocimiento de la existencia de instituciones y su quehacer en el tema de conservación del río, su diversidad biológica y los recursos que ofrece; y la participación de las comunidades en estos temas, si es que la tienen, se enfoca nada más que en la limpieza del río.

Es claro que el manatí es percibido por los locales como un atractivo para el turismo y que es una especie que requiere conservarse. Las percepciones de conservación que poseen las personas entrevistadas se explican por el valor de no uso, principalmente por el valor de existencia y de herencia (Pearce y Watford 1993; Perni y Martínez-Paz 2012). Es decir, el valor que el manatí posee en el río Hondo se percibe porque consideran que es una especie más en la naturaleza y que, aunque desconocen su función en el ecosistema fluvial, es importante para el río, además que la consideran como una especie noble e inofensiva para las personas; y por la posibilidad de que las generaciones futuras puedan apreciarlo. Resultados similares también se encuentran en Rodas-Trejo *et al.* (2012) y en Kendall y Orozco (2003). La percepción local de conservación también se debe al conocimiento de la ley de su conservación y el estatus de protección que puede tener el área o sus cercanías (Pablo-Rodríguez y Olivera-Gómez 2012; Rodas-Trejo *et al.* 2012; Silva *et al.* 2014).

Los mitos o leyendas locales que las personas conocen sobre el manatí coinciden con las encontradas en otros estudios, siendo la más representativa la de los múltiples sabores de su carne, por la que es muy codiciada (Ruiz Valladares *et al.* 2008). Entre los otros mitos están aquellos relacionados con el parecido al comportamiento humano y ese conocimiento local también se compara con otros lugares de México (Romero Berny y Rodas-Trejo 2006; Rodas-Trejo *et al.* 2012) y en Guatemala (Ruiz Valladares *et al.* 2008), y también con el manatí

¹¹ Castelblanco-Martínez, DN. 3 abr. 2019. Información sobre varamientos de manatíes en el río Hondo (Skype). Quintana Roo, México. UQRoo.

amazónico, en Colombia (Kendall y Orozco 2003) y en Brasil (Calvimontes 2009). Respecto al mito de que el manatí auxilia a las personas ahogadas, podría ser que los entrevistados lo relacionen con la leyenda del hombre-pepe (Romero Berny y Rodas-Trejo 2006) y a otras leyendas que asocian al manatí con la figura humana (Kendall y Orozco 2003). Cabe mencionar que varios entrevistados mencionaron que la especie es importante para el ecosistema, porque perciben la *habilidad* que la especie posee de auxiliar a las personas ahogadas.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Las referencias de los avistamientos de manatíes en el río Hondo confirman la distribución de la especie, tanto histórica como actual, desde la desembocadura del río hasta las cercanías de La Unión. También se reconocen las confluencias entre ríos como áreas potenciales de distribución del manatí, por lo que se sugiere enfocar investigaciones futuras en estas áreas.

La percepción de las personas respecto a la disminución de la población de manatíes en el río está acuñada con la contaminación del río. Se recomienda incluir estudios sobre la afectación de la contaminación de las aguas en la población de manatíes en el río Hondo.

Se puede apreciar una actitud de respeto de los usuarios del río hacia los manatíes, acuñada por la normatividad y por sus creencias y el fuerte potencial como atractivo turístico. En este sentido, se puede aprovechar la disposición de los pobladores en que se involucren en actividades de conservación del hábitat fluvial, utilizando al manatí como especie focal. Sin embargo, es necesaria la iniciativa de las instituciones académicas y estatales en incluir a los pobladores que habitan más allá del casco urbano de Chetumal, en las actividades de educación ambiental.

La actitud positiva mostrada por los usuarios del río puede ser de potencial utilidad para implementar proyectos de ciencia ciudadana, donde sean los pobladores locales quienes realicen el monitoreo y colecta de información de la especie, por medio de la tecnología de comunicación, con el asesoramiento de instituciones académicas. Se recomienda recabar información sobre la perspectiva que las personas beliceñas puedan tener acerca del manatí y

su hábitat, como información complementaria para implementar acciones futuras en educación ambiental y para el manejo integrado de la cuenca.

Dado que el río Hondo se encuentra en una cuenca compartida, es esencial realizar actividades de saneamiento y de conservación en la ribera del río, en conjunto con las entidades competentes de Belice, las personas que viven en los poblados ribereños de ambas fronteras, así como a otros actores clave del área de influencia (*e. g.* dueños de los grandes cultivos de caña). Se sugiere que las instituciones competentes informen acerca de los procedimientos necesarios que se deben realizar ante casos de varamiento o muertes de manatí que ocurran en el río, enfatizando el aporte de quienes realizan el reporte de los acontecimientos. Por último, se propone informar, por medio de vallas o boyas en el río, sobre los límites de velocidad a las que deben navegar las embarcaciones que transiten en el cauce del río y sus confluencias.

6. CONCLUSIONES

- Se evidencia, de forma empírica, la presencia actual e histórica de manatíes en el río Hondo, desde la desembocadura hasta el poblado mexicano más alejado de ésta.
- Los usuarios del río Hondo reconocen las confluencias de los ríos como áreas importantes para observar manatíes, principalmente la laguna Four Mile, el Estero Chac, el río Ucum, San Román (río Azul) y río Bravo (Booth's River).
- Las personas reconocen la contaminación del río Hondo y el paso de embarcaciones como amenazas principales para los manatíes que se encuentran en el río. Además, indican que para lograr la conservación de la especie se debe trabajar de forma conjunta, pero con la iniciativa de las instituciones competentes. Todos los entrevistados mencionaron la inexistencia de eventos de cacería de manatíes en la ribera.
- Se reconocieron eventos de manatíes muertos en el río por parte de los entrevistados, aunque las causas fueron desconocidas. Atestiguaron desconocer algún protocolo a

seguir en estos casos. Algunos mencionaron, además, que no le prestan importancia o seguimiento por el temor a que se les asocie como los causantes de estas acciones.

- Se reconoce que el manatí presenta un potencial de turismo para la zona ribereña del río Hondo, por lo que proyectos futuros se pueden abordar para incluir actividades de turismo como medios de vida de la gente local.
- La percepción que las personas tienen del manatí está relacionada con la similitud que observan en las características físicas del manatí (en el caso de las hembras) y su comportamiento con las del ser humano.

Agradecimientos

Este trabajo no se hubiese realizado sin el financiamiento del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y PADI Foundation. Este trabajo forma parte del Programa de Monitoreo de Megafauna Acuática del Caribe (PROMMAC), de la Universidad de Quintana Roo (UQRoo) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Se agradece a los pobladores de las comunidades que participaron en el estudio; a SS Landeo-Yauri por su apoyo como asistente durante las entrevistas y a JA Cifuentes-Espinosa por sus sugerencias y en la revisión previa del manuscrito.

7. REFERENCIAS

- Arévalo-González, G. s. f. Aspectos de la ecología y fisiología alimenticia del Manatí Antillano. Tesis Maestría. Veracruz, México, Universidad de Veracruz. De próxima publicación.
- Auil, N. 2004. Abundance and distribution trends of the West Indian Manatee in the Coastal Zone of Belize: Implications for conservation. Tesis Master of Science. United States, Texas A&M University. 82 p.
- Bengtson, J; Magor, D. 1979. A survey of manatees in Belize. *Journal of Mammalogy* 60(1):230-232.
- Bonilla-Barbosa, J; Santamaría, B. 2013. Plantas acuáticas exóticas y traslocadas invasoras. *In* Mendoza, R; Koleff, P (eds.). *Especies acuáticas invasoras en México*. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. p. 223-247.
- Buenfil-Rojas, A; Álvarez-Legorreta, T; Cedeño-Vázquez, J. 2014. Metals and metallothioneins in Morelet's crocodile (*Crocodylus moreletii*) from a transboundary river between México and Belize. *Arch Environ Contam Toxicol*:1-9. doi 10.1007/s00244-014-0088-5
- Buenfil-Rojas, M; Flores-Cuevas, N. 2007. Determinación de metales pesados (As, Cd, Hg y Pb) presentes en el río Hondo, Quintana Roo. VI Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales 2007, Chihuahua, México). Chihuahua, México. 435-439 p.

- Calvimontes, J. 2009. Etnoconocimiento, uso y conservación del manatí amazónico *Trichechus inunguis* en la reserva de desarrollo sostenible Amanã Brasil. Tesis Especialidad en Conservación de Recursos Forestales. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 210 p.
- Campbell, H; Gicca, D. 1978. Reseña preliminar del estado actual y distribución del manatí (*Trichechus manatus*) en México. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. (Zoología) 49(1):257-264.
- Carvalho-Crema, L; Ferreira da Silva, V; Fernandez Piedade, T. 2017. Riverine people knowledge of the endangered Amazonian Manatee (*Trichechus inunguis*) in protected areas. Oryx:1-33. Enviado.
- Castelblanco-Martínez, D. 2004. Peixe-Boi *Trichechus manatus manatus* na Orinoquia colombiana: status de conservação e uso de hábitat na época seca. Tesis Maestrado. Manaus, Brasil, Universidade Federal Do Amazonas (UFAM). 164 p.
- Castelblanco-Martínez, D; Gómez-Camelo, I; Bermúdez, A. 2005. Ecología y conservación del manatí antillano *Trichechus mamatus manatus* en la zona comprendida entre Puerto Carreño, Colombia y Puerto Ayacucho, Venezuela. Colombia, Sirenian International. 44 p.
- Castelblanco-Martínez, D; Morales-Vela, J; Hernández-Arana, H; Padilla-Saldívar, J. 2009. Diet of the manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Chetumal Bay, Mexico. Lat. Am. Aquat. Mamm. 7(1-2):39-46.
- Castelblanco-Martínez, D. 2010. Ecología, comportamiento y uso de hábitat de manatíes en la Bahía de Chetumal. Tesis Doctorado. Chetumal, México, El Colegio de la Frontera Sur. 190 p.
- Castelblanco-Martínez, D; Padilla-Saldívar, J; Hernández-Arana, H. 2013. Movement patterns of Antillean manatees in Chetumal Bay (Mexico) and coastal Belize: A challenge for regional conservation. Marine Mammal Science 29(2):E166-E182. doi 10.1111/j.1748-7692.2012.00602.x
- Castelblanco-Martínez, D. 2014. Population size, distribution and conservation aspects of the manatee *Trichechus manatus manatus* in French Guiana. Parc National de la Guadeloupe, 41 p.
- Castelblanco-Martínez, D; Gálves, J; Ramos, E; Searle, L; Niño-Torres, C; Padilla-Saldívar, J; Anderson, D. 2018. High levels of mortality threaten the Antillean manatee along the Caribbean coast of Belize and Mexico. In 3 Simposio Latinoamericano de Manatíes - XII Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Mamíferos Acuáticos – RT 18 2018, Lima, Perú). Quintana Roo, México, p. 11.
- Colmenero-Rolón, L; Zárate, B. 1990. Distribution, status and conservation of the West Indian Manatee in Quintana Roo, Mexico. Biological Conservation 52:27-35.
- Colmenero-Rolón, L. 1991. Proposal of the recovery plan for the Mexican manatee *Trichechus manatus*. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. (62 Ser. Zool.) 2:203-218.
- Daniel-Rentería, I; Serrano, A; Sánchez-Rojas, G. 2010. El manatí (*Trichechus manatus manatus* Linnaeus, 1758) (Sirenia) una especie sombrilla, para el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz. Cuadernos de Biodiversidad(33):16-23.
- Del Valle, F. 2000. Evaluación del área de distribución de la población de manatí (*Trichechus manatus* L.) Trichechidae-Sirenia en Guatemala y sus principales amenazas. Tesis Licenciatura en Biología. Guatemala, Universidad de San Carlos (USAC). 44 p.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; González, L; Tablada, M; Robledo, C. 2018. InfoStat versión 2018. Argentina, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Espinoza-Ávalos, J. 1996. Distribution of seagrasses in the Yucatan Peninsula, Mexico. Bulletin of Marine Science 59(3):449-454.
- Espinoza-Ávalos, J; Hernández-Arana, H; Álvarez-Legorreta, T; Quan-Young, L; Oliva-Rivera, J; Valdez-Hernández, M; Zavala-Mendoza, A; Cruz-Piñón, G; López, C; Sepúlveda-Lozada, A; Worum-Ference, P; Villegas-Castillo, A; van Tussenbroek, B. 2009. Vegetación acuática sumergida. In Espinoza-Ávalos, J; Islebe, G; Hernández-Arana, H (eds.). El sistema ecológico de la Bahía de Chetumal/Corozal: Costa occidental del mar Caribe. Quintana Roo, México, El Colegio de la Frontera Sur. p. 148-158.

- Etheridge, K; Rathbun, G; Powell, J; Kochman, H. 1985. Consumption of aquatic plants by the West Indian manatee. *J. Aquat. Plant Manage.* 23:21-25.
- Fuentes Allen, I; Aguayo Lobo, A. 1989. La distribución del manatí *Trichechus manatus*, en el estado de Quintana Roo, México. VI Simposio sobre fauna silvestre México, UNAM, FMVZ. 464-474 p.
- García-Ortega, M. 2013. Migraciones laborales, derechos humanos y cooperación internacional. Cortadores de caña centroamericanos en la frontera México-Belice. *TRACE* 63:7-23.
- García-Ríos, V; Gold-Bouchot, G. 2002. Especiación de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, y la acumulación en el tejido muscular de bagres (*Ariopsis assimilis*). In Rosado-May, F; Romero Mayo, R; De Jesús Navarrete, A (eds.). Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia. Quintana Roo, México, Universidad de Quintana Roo. p. 143-148.
- González-Socoloske, D. 2013. Aspects of the feeding ecology of the Antillean Manatee (*Trichechus manatus manatus*) in the Wetlands of Tabasco, Mexico. Tesis Doctor of Philosophy. United States, Duke University. 188 p.
- González Bucio, J; Carrión Jiménez, J; Delgado Blas, V; Rivero Rodríguez, J; Yam Gamboa, J; Pérez Vargas, J; Calva Calva, G. 2013. Evaluación de la acumulación de Hg, Pb, Cd y Zn en sedimentos y lirio acuático (*Nymphaea ampla*) en el río Hondo de Quintana Roo. *Tecnocultura* 11(30):24-32.
- Granados-Sánchez, D; López-Ríos, G; Martínez-V, FdJ; Martínez-Castillo, J. 1998. Los manglares de Quintana Roo *Revista Chapingo (Ciencias Forestales y del Ambiente)* 4(2):253-265.
- Hartman, D. 1979. Ecology and behavior of the manatee (*Trichechus manatus*) in Florida. New York, United State, The American Society of Mammalogist. 153 p.
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2017a. Hidrología. México, Consultado 4 enero 2019. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/hidrologia/>
- INEGI, INdEyG. 2017b. Uso de suelo y vegetación. México, Consultado 27 ene. 2019. Disponible en <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>
- Jiménez-Domínguez, D; Olivera-Gómez, L. 2014. Características del hábitat del Manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en sistemas fluviolagunares del sur del Golfo de México. *Therya* 5(2):601-614. doi 10.12933/therya-14-205
- Jiménez, I. 2005. Development of predictive models to explain the distribution of the West Indian manatee *Trichechus manatus* in tropical watercourses. *Biological Conservation* 125:491-503. doi 10.1016/j.biocon.2005.04.012
- Kendall, S; Orozco, D. 2003. El árbol de los manatíes: caza, concertación y conservación en la amazonia colombiana. In Campos-Rozo C, C; Ulloa, A (eds.). Fauna socializada: tendencias en el manejo participativo de la fauna en América Latina. Bogotá, Colombia, Fundación Natura, MacArthur Foundation & Instituto Colombiano de Antropología e Historia. p. 215-237.
- LaCommare, K; Self-Sullivan, C; Brault, S. 2008. Distribution and habitat use of Antillean Manatees (*Trichechus manatus manatus*) in the Drowned Cayes Area of Belize, Central America *Aquatic Mammals* 34(1):35-43. doi 10.1578/AM.34.1.2008.35
- Magnon-Basnier, C. 2002. El río Hondo como componente hidrológico de la Bahía de Chetumal y como corredor biológico compartido amenazado. In Rosado-May, F; Romero Mayo, R; De Jesús Navarrete, A (eds.). Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su zona de influencia. Quintana Roo, México, Universidad de Quintana Roo. p. 23-32.
- Martínez-Salgado, C. 2012. El muestreo en investigación cualitativa. Principios básicos y algunas controversias. *Ciência & Saúde Coletiva* 17(3):613-619.
- Meerman, J; Clabaugh, J. 2017. Biodiversity and Environmental Resource Data System of Belize. Belize, Consultado 4 enero 2019. Disponible en <http://www.biodiversity.bz>
- Mignucci-Giannoni, A. 1998. The diet of the manatee (*Trichechus manatus*) in Puerto Rico. *Marine Mammal Science* 14(2):394-397.

- Morales-Vela, J; Olivera-Gómez, L. 1997. Distribución del manatí (*Trichechus manatus*) en la costa norte y centro-norte del estado de Quintana Roo, México. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. (Ser. Zool.) 68(1):153-164.
- Morales-Vela, J; Ortega-Argueta, A; Padilla-Saldívar, J; Bonde, R. 1999. Monitoreo de manatíes marcados con radiotransmisores en Quintana Roo. In Morales-Vela, J; Medrano-González, L (eds.). Variación genética del manatí (*Trichechus manatus*), en el sureste de México y monitoreo con radio-transmisores en Quintana Roo. México, SNIB-CONABIO. p. 39-82.
- Morales-Vela, J; Olivera-Gómez, L; Reynolds III, J; Rathbun, G. 2000. Distribution and habitat use by manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Belize and Chetumal Bay, Mexico. Biological Conservation 95:67-75.
- Mou Sue, L; Chen David, H. 1990. Estado actual y distribución de la población de manatí (*Trichechus manatus*) en Panamá, con énfasis en la provincia de Bocas del Toro. Rovinski, Y (ed.) Costa Rica, UICN/ORCA. 59 p. (Bocas del Toro).
- Newing, H. 2011. Sampling. In Conducting Research in Conservation. A Social Science Perspective. Routledge. p. 65-82.
- O'Shea, T; Salisbury, C. 1991. Belize—a last stronghold for manatees in the Caribbean. Oryx 25(3):156-164.
- Olivera-Gómez, L; Mellink, E. 2005. Distribution of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) as a function of habitat characteristics, in Bahía de Chetumal, Mexico. Biological Conservation 121:127-133. doi 10.1016/j.biocon.2004.02.023
- Pablo-Rodríguez, N; Olivera-Gómez, L. 2012. Situación de una población aislada de manatíes *Trichechus manatus* (Mammalia: Sirenia: Trichechidae) y conocimiento de la gente, en una laguna urbana, en Tabasco, México. Universidad y Ciencia 28(1):15-26.
- Padilla-Saldívar, J; Morales-Vela, J; Castelblanco-Martínez, D; Niño-Torres, C; Hernández, V; Pérez Flores, J; García Rivas, M; Gómez López, A; Flores Rodríguez, J. 2018. Varamientos de mamíferos marinos en el sur de Quintana Roo (2006-2015). Reporte Técnico de la Red de Varamientos de Mamíferos Acuáticos para la Bahía de Chetumal y Río Hondo. El Colegio de la Frontera Sur, Universidad de Quintana Roo, Secretaría de Ecología y Medio Ambiente de Quintana Roo, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Chetumal, Quintana Roo, México, 36 p.
- Pearce, D; Watford, J. 1993. World without end: Economics, environment and sustainable development. New York, Oxford University.
- Perni, A; Martínez-Paz, J. 2012. Valoración económica de los beneficios ambientales de la recuperación del río Segura (España). Semestre Económico 15(32):15-40.
- Puc-Carrasco, G; Olivera-Gómez, L; 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. doi 10.7773/cm.v42i4.2678
- Puc-Carrasco, G; Morales-Vela, J; Olivera-Gómez, L; González-Solís, D. 2017. First field-based estimate of Antillean manatee abundance in the San Pedro River system suggests large errors in current estimates for Mexico. Ciencias Marinas 43(4):285-299. doi 10.7773/cm.v43i4.2704
- Quintana-Rizzo, E; Reynolds III, J. 2010. Regional management plan for the West Indian manatee (*Trichechus manatus*). PNUMA. UNEP. 168 p. No. CEP Technical Report 48.
- Quintana-Rizzo, E; Castelblanco-Martínez, D; Edwards, H; Morales-Vela, J; Ubeda, A; Walker, Z. 2015. First regional aerial survey of Antillean manatees (*Trichechus manatus manatus*) in The Mexico-Belize-Guatemala region of Central America. The Seventh International Sirenian Symposium San Francisco, United States). San Francisco, United States. 1 p.
- Rodas-Trejo, J; Romero-Berny, E; Moreno-Molina, E. 2012. Conocimiento biológico, usos y actitudes hacia el manatí (*Trichechus manatus manatus*) por los pobladores del sistema de humedales Catazajá-La Libertad, Chiapas, México. LACONDONIA 6(2):91-99.
- Rojas-Mingüer, A; Morales-Vela, J. 2002. Metales en hueso y sangre de manatíes (*Trichechus manatus manatus*) de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. In Rosado-May, F; Romero Mayo, R; De Jesús Navarrete, A (eds.). Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la

- Bahía de Chetumal y su área de influencia. Quintana Roo, México, Universidad de Quintana Roo. p. 133-142.
- Romero Berny, E; Rodas-Trejo, J. 2006. El manatí: emblema vivo del patrimonio de Catazajá. Barum. Biodiversidad de Chiapas(4):3-6.
- Romero Calderón, A. 2014. Evaluación de la concentración de metales en tejido óseo de manatíes (*Trichechus manatus manatus*) en dos regiones de México. Tesis Maestra en Ciencias. Quintana Roo, México, El Colegio de la Frontera Sur. 72 p.
- Ruiz Valladares, I; Cajas Castillo, M; Chicas Zea, J; Cajas Castillo, M. 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*). Guatemala, Defensores de la Naturaleza. 68 p.
- Self-Sullivan, C; Mignucci-Giannoni, A. 2008. *Trichechus manatus* ssp. *manatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T22105A9359161. Consultado 01 jul. 2017. Disponible en <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T22105A9359161.en>
- SEMARNAT, (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. NOM-059, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.78 p.
- Serrano, A; Daniel-Rentería, I; Hernández-Cabrera, T; Sánchez-Rojas, G; Cuervo-López, L; Basáñez-Muñoz, A. 2017. Is the West Indian manatee (*Trichechus manatus*) at the brink of extinction in the state of Veracruz, Mexico? Aquatic Mammals 43(201-207):
- Silva, J; Montes, D; Elías, R. 2014. Conocimientos, conservación y avistamiento del manatí amazónico (*Trichechus inunguis*), según los pobladores de la cuenca del río Ucayali (Loreto, Perú). Salud tecnol. vet. 2:32-38.
- Tun-Canto, G; Álvarez-Legorreta, T; Zapata-Buenfil, G; Sosa-Cordero, E. 2017. Metales pesados en suelos y sedimentos de la zona cañera del sur de Quintana Roo, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 34(3):157-169. doi 10.22201/cgeo.20072902e.2017.3.433
- Zárate Becerra, E. 1993. Distribución del manatí (*Trichechus manatus*) en la porción sur de Quintana Roo, México. Rev. Inv. Cient. 1(1):1-11.

IV. ANEXOS

1. Artículo No. 1.

Anexo 1.1. Formato de registro de manatíes y mediciones de los factores ecohidrológicos.

1.1.1. Formato de esfuerzo de muestreo.



ANEXO 1. FORMATO DE ESFUERZO DE MUESTREO DE MANATÍ

Fecha: _____ Localidad: _____ Segmento: _____ Investigadores: _____

Conductor: _____ Embarcación: _____

Información de posición					Método (Punto fijo/ recorrido en bote/ SSS)	Velocidad de la embar- cación	Información ambiental			
Hora	CE	Latitud	Longitud	Punto GPS			Estado del agua/Mar	Nubosidad	Lluvia	Velocidad del viento

Código de información de esfuerzo y datos ambientales

Código de evento (CE) Pp = partida de puerto Lp = llegada a puerto Ie = inicio de esfuerzo Fe = fin de esfuerzo Id = inicio de detección Fd = fin de detección Cm = captura manatí	Ca = cambios ambientales/climáticos Is = Inicio de observaciones subacuáticas Fs = fin de obs. Subacuáticas SSS = ecosonda	Estado del agua 0 = espejo, en calma 1 = olas pequeñas (ondulaciones) 2 = olas medianas 3 = algunas olas con espuma 4 = olas pequeñas, frecuentemente con espuma 5 = olas medianas, muchas con espuma 6 = todas las olas con espuma, rocío 7 = olas rompientes	Nubosidad CL = claro (<5% nubes) CC = casi claro (5-40% nubes) PC = parcialmente cubierto (40-60% nubes) MC = mayormente cubierto (60-95% nubes) TN = totalmente nublado (>95% nubes)
--	---	---	---

1.1.2. Formato de muestreo de manatíes (resumen de muestreo).






ANEXO 2. FORMATO DE MUESTREO DE MANATÍ (RESUMEN DE MUESTREO)

Fecha: _____ Localidad: _____ Segmento: _____ Investigadores: _____

Conductor: _____ Embarcación: _____

No. muestreo (PF/SSS)	Segmento	Punto inicial		Punto final		Hora		Evidencias		
		Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Inicio	Final	No. de detecciones	No. de rastro alimenticio	No. de fecas

1.1.3. Formato de detecciones de manatí con SSS.






ANEXO 3. FORMATO DE DETECCIONES DE MANATÍ CON SSS

Fecha: _____ Localidad: _____ Segmento: _____ Investigadores: _____

Conductor: _____ Embarcación: _____ Velocidad: _____

No. de detección con SSS	Hora	Punto GPS (Lat./ Long.)	No. de individuos	No. de foto SSS	No. de video SSS	Profundidad (m)	Tipo de fondo	Distancia de la orilla	Confirmación con observación directa

Código de información de tipo de fondo

Tipo de fondo PADen = Pastos acuáticos densos PADisp = Pastos acuáticos dispersos SM = Suelo de manglar SMR = Suelo de manglar con roca A = Arena	Otros
---	----------------------

Observaciones

Anexo 1.2. Formulario de evaluación en línea de 146 imágenes de posibles manatíes capturadas con el sonar de barrido lateral, para expertos en el uso del sonar aplicado a investigaciones relacionadas con manatíes. Formato modificado de Castelblanco-Martínez (2014).

Side-Scan Sonar images evaluation

Thank you for accepting our invitation to participate in this evaluation.

At this moment we are in the process of analyzing data from our project on manatee distribution in the Hondo River, Quintana Roo, Mexico. We use Side-Scan Sonar (SSS) as a tool to detect manatees. As you know, detection by this method is difficult and sometimes even ambiguous, depending on the experience of the researcher. Due to your high experience in using this tool, you have been invited to participate as reviewers to quantify the uncertainty of manatee detections with the SSS.

The data were collected in five 15 km transects along the river, from the mouth to the 81 km upstream, throughout a boat with outboard motor, at a speed of 7-8 km/h. Every time we observed possible manatees with the SSS, we captured the image (blue images in the catalog), we returned to the point trying to maintain the trajectory and the speed to discard objects that could resemble the manatee. If the object moved or changed its position, we considered it a possible manatee presence. The 100% positive detections were those that we confirmed when observing any evidence of manatee (back, tail, snout, track) at that time. We also record all the trips made (orange images in the catalog). All the images and recordings were analyzed a posteriori to detect manatees according to the shape, size and position. After several filters made by the authors, 146 images were placed in the catalog. Note that some "manatee" detections have several image captures and/or recording captures, hence several images of the same object are presented in a single slide. This evaluation is being shared with several international experts in SSS applied to manatee research.

Thanks again for your time (:3)

***Obligatorio**

1, Name *

2. Organization

3. Country

4. Would you like to remain anonymous? *

Marca solo un óvalo.

Yes

No

5. Where have you used SSS? (Country, State, Municipality, River, etc.)

6. Type of ecosystems where you have used SSS

Marca solo un óvalo.

- Estuary
- Rivers
- Sea
- Lagoons
- Floodplains
- Otro: _____

7. Years of experience with SSS *

Marca solo un óvalo.

- <1
- 1-3
- 4-6
- >6

8. SSS images scoring *

Please, evaluate each image found in the attached document, using the scale from 1 to 5. 1= I am totally certain of manatee ABSENCE, 2= I do not know, but probably NOT, 3= I do not know, 4= I do not know, but probably YES, 5= I am totally certain of manatee PRESENCE. The rows number corresponds to the number of slides number (N=146). Note that some "manatee" detections have several image captures and/or recording captures, hence several images of the same object are presented in a single slide.

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5
1	<input type="radio"/>				
2	<input type="radio"/>				
3	<input type="radio"/>				
4	<input type="radio"/>				
5	<input type="radio"/>				
6	<input type="radio"/>				
7	<input type="radio"/>				
8	<input type="radio"/>				
9	<input type="radio"/>				
10	<input type="radio"/>				
11	<input type="radio"/>				
12	<input type="radio"/>				
13	<input type="radio"/>				
14	<input type="radio"/>				
15	<input type="radio"/>				
16	<input type="radio"/>				
17	<input type="radio"/>				
18	<input type="radio"/>				
19	<input type="radio"/>				
20	<input type="radio"/>				
21	<input type="radio"/>				
22	<input type="radio"/>				
23	<input type="radio"/>				
24	<input type="radio"/>				
25	<input type="radio"/>				

(...)

(...)

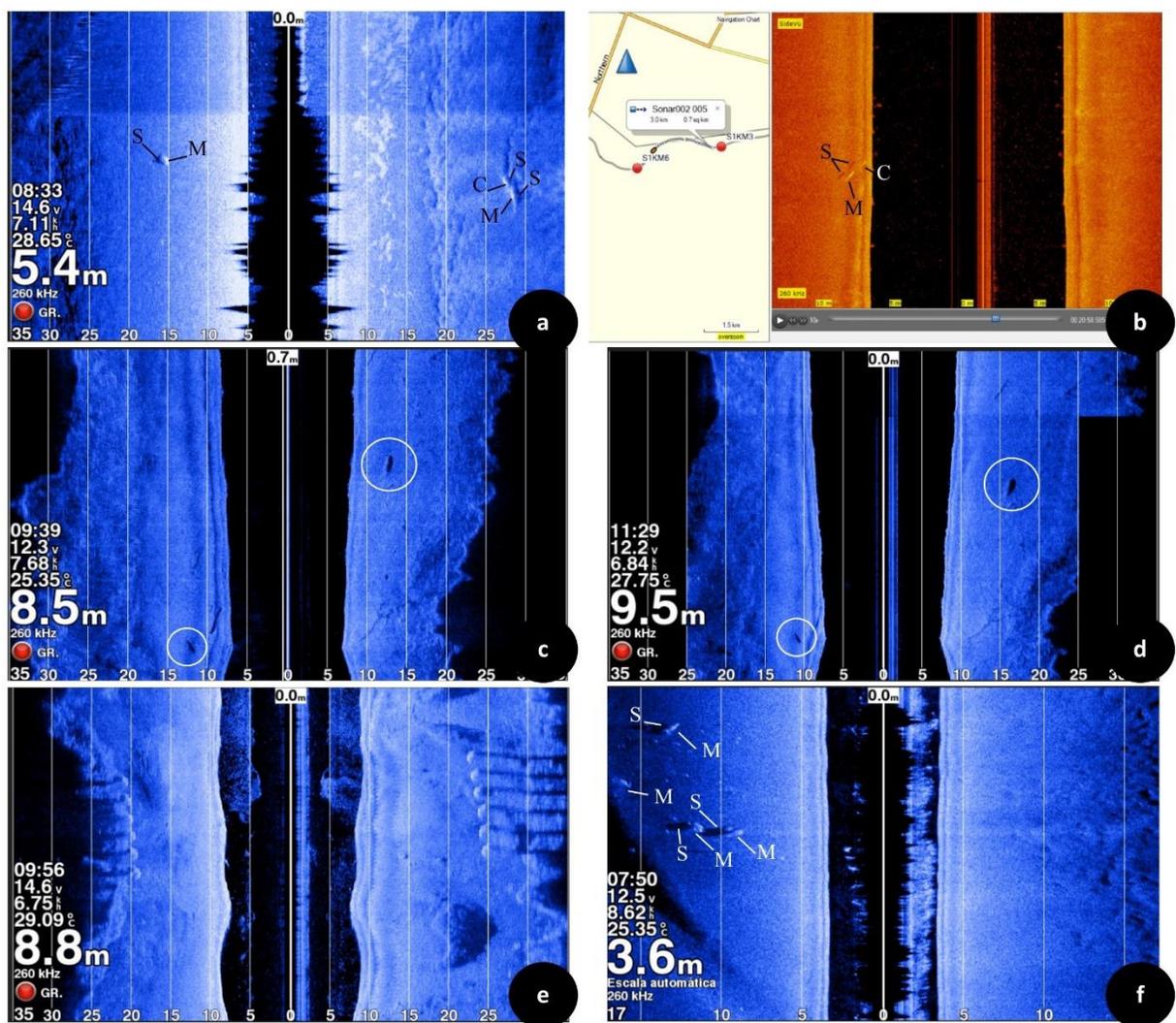
	1	2	3	4	5
143	<input type="checkbox"/>				
144	<input type="checkbox"/>				
145	<input type="checkbox"/>				
146	<input type="checkbox"/>				

9, Any observations?



Con la tecnologia de
 Google Forms

Anexo 1.3. Método directo de detección de manatíes por medio del sonar de barrido lateral. Símbolos de las imágenes: manatí (M), cría de manatí (C), sombra (S). Se muestran: a) observación confirmada de tres manatíes en el S1Km0 (desembocadura del río Hondo), en junio de 2018; b) observación de dos manatíes mediante la revisión de las grabaciones de los recorridos, en el S1Km3-6, en marzo de 2018; c y d) observación de troncos con apariencia de manatí, observados en noviembre de 2017 y abril de 2018, respectivamente, en el S2Km5; e) observación de las columnas del Puente Internacional Subteniente López, S1Km6-9; y f) observación de cuatro manatíes en el S1Km0, febrero 2018, confirmados mediante consulta a expertos.



Anexo 1.4. Restos vegetales flotando en la superficie, rastro potencial de alimentación de manatíes. En esta ocasión, el rastro se observó en el punto fijo 2 (PF2) el 13 de mayo de 2018, luego de observar a una pareja de manatíes (madre y cría).



Anexo 1.4. Registro de observaciones de manatí en el río Hondo, Quintana Roo, México, durante noviembre de 2017 y enero a junio de 2018.

No.	Tipo de evidencia	Segmento	Muestreo	Método de observación	Lat.	Long.	Fecha	Adultos	Crías	Indet.	Rastro	Total
1	Directa	1	Segmento	SSS confirmado en campo	360840.4031	2044660.708	20/11/2017	1	0	0		1
2	Directa	1	Segmento	SSS confirmado en campo	357359.9224	2044321.2	20/11/2017	2	0	0		2
3	Indirecta	1	Segmento	Rastro	347670.3726	2043987.84	20/11/2017	0	0	1	Feca_RH_1	1
4	Indirecta	1	Segmento	Rastro	349773.255	2044716.692	20/11/2017	0	0	1	Feca_RH_3	1
5	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	21/11/2017	1	0	0		1
6	Directa	3	Segmento	SSS*	335846.7038	2029480.511	22/11/2017	0	0	2		2
7	Directa	1	Oportunistico	Visual	360236.7516	2044821.598	22/11/2017	0	0	2		2
8	Directa	3	Oportunistico	Visual	333880.4838	2026991.992	22/11/2017	0	0	1		1
9	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	22/11/2017	0	0	1		1
10	Directa	1	Segmento	SSS confirmado en campo	360840.4031	2044660.708	25/01/2018	1	0	1		2
11	Directa	1	Segmento	SSS confirmado en campo	357359.9224	2044321.2	25/01/2018	1	1	0		2
12	Directa	1	Segmento	SSS**	359350.7208	2044754.331	25/01/2018	1	0	0		1
13	Directa	1	Segmento	SSS**	359059.7341	2044673.475	25/01/2018	2	0	1		3
14	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	25/01/2018	1	0	0		1
15	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	26/01/2018	1	1	0		2
16	Directa	5	Segmento	SSS**	326491.4727	2014893.822	28/01/2018	1	0	0		1
17	Directa	5	Segmento	SSS**	322165.8409	2012532.375	13/02/2018	1	0	0		1

18	Directa	1	Oportunistico	Visual	354679.2258	2043753.325	14/02/2018	1	1	0		2
19	Directa	1	Segmento	SSS**	360840.4031	2044660.708	16/02/2018	3	1	0		4
20	Directa	1	Segmento	SSS**	352229.2507	2045500.513	16/02/2018	1	0	0		1
21	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	16/02/2018	1	1	0		2
22	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	05/03/2018	1	0	0		1
23	Indirecta	5	Segmento	Rastro	326493.8229	2014893.801	05/03/2018	0	0	1	Feca_RH_5	1
24	Directa	1	Segmento	confirmado en campo	360840.4031	2044660.708	08/03/2018	1	0	0		1
25	Directa	1	Segmento	SSS*	350749.0307	2045222.444	08/03/2018	0	0	1		1
26	Directa	1	Segmento	SSS**	356396.3194	2044515.037	08/03/2018	0	0	2		2
27	Directa	1	Segmento	SSS**	355815.6847	2044536.018	08/03/2018	0	0	1		1
28	Directa	1	Segmento	SSS**	353599.262	2043999.53	08/03/2018	1	0	0		1
29	Directa	1	Segmento	SSS*	355095.6359	2044082.793	08/03/2018	1	1	0		2
30	Directa	1	Segmento	SSS*	350748.1992	2045228.598	08/03/2018	0	0	1		1
31	Indirecta	2	Segmento	Rastro	343867.8499	2045373.47	08/03/2018	0	0	1	Feca_RH_6	1
32	Indirecta	2	Segmento	Rastro	339844.415	2042152.831	17/04/2018	0	0	1	Feca_RH_13	1
33	Directa	5	Segmento	confirmado en campo	321719.4065	2008300.261	19/04/2018	0	0	2		2
34	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	19/04/2018	0	0	3		3
35	Directa	1	Segmento	confirmado en campo	357359.9224	2044321.2	20/04/2018	0	0	2		2
36	Directa	1	Segmento	SSS**	358962.8058	2044655.746	20/04/2018	1	0	0		1
37	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	20/04/2018	1	1	1		3
38	Directa	1	Segmento	SSS*	358291.573	2044522.997	20/04/2018	1	0	0		1
39	Directa	1	Segmento	SSS*	355959.5554	2044515.563	20/04/2018	0	0	1		1
40	Directa	5	Segmento	SSS**	320481.5077	2006977.877	08/05/2018	1	0	0		1
41	Directa	1	Oportunistico	Visual	358339.2309	2044541.703	08/05/2018	1	1	0		2
42	Directa	1	Oportunistico	Visual	347675.3344	2043984.725	08/05/2018	1	0	0		1

43	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	08/05/2018	1	0	0		1
44	Directa	1	Oportunistico	Visual	359844.7619	2044925.924	11/05/2018	1	2	0		3
45	Directa	2	Oportunistico	Visual	339460.2883	2041689.354	11/05/2018	1	0	0		1
46	Directa	3	Oportunistico	Visual	336157.0518	2032134.209	11/05/2018	1	1	0		2
47	Directa	2	PF2	Visual	342707.8944	2044506.177	11/05/2018	1	0	0		1
48	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	11/05/2018	1	0	0		1
49	Directa	2	Oportunistico	Visual	346599.8287	2044047.144	12/05/2018	0	0	2		2
50	Directa	2	PF2	Visual	342707.8944	2044506.177	12/05/2018	0	0	1		1
51	Directa	2	Oportunistico	Visual	346217.7907	2044872.001	12/05/2018	0	0	1		1
52	Directa	1	Oportunistico	Visual	347428.1679	2043560.286	12/05/2018	0	0	1		1
53	Directa	1	Oportunistico	Visual	353449.1199	2044158.7	12/05/2018	1	0	0		1
54	Directa	1	Oportunistico	Visual	355596.5513	2044456.515	12/05/2018	2	1	0		3
55	Directa	1	Oportunistico	Visual	359319.4324	2044727.816	12/05/2018	1	0	0		1
56	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	12/05/2018	2	1	0		3
57	Indirecta	4	Segmento	Rastro	330430.3733	2017906.404	12/05/2018	0	0	1	Feca_RH_14	1
58	Directa	1	Segmento	confirmado en campo SSS	360840.4031	2044660.708	13/05/2018	1	0	0		1
59	Directa	1	Segmento	confirmado en campo SSS	352397.5708	2045343.035	13/05/2018	1	1	0		2
60	Directa	1	Segmento	SSS**	357761.4999	2044440.248	13/05/2018	0	0	1		1
61	Directa	1	Segmento	SSS**	357449.9915	2044362.643	13/05/2018	1	0	0		1
62	Directa	1	Segmento	confirmado en campo SSS	355429.1432	2044390.149	13/05/2018	1	0	0		1
63	Directa	2	Segmento	confirmado en campo SSS	342874.0201	2044435.954	13/05/2018	1	1	0		2
64	Directa	2	Oportunistico	Visual	346599.8287	2044047.144	13/05/2018	1	1	0		2
65	Directa	1	Oportunistico	Visual	358912.8072	2044637.67	13/05/2018	1	1	0		2

66	Directa	1	Segmento	SSS*	358425.46	2044540.447	13/05/2018	0	0	2		2
67	Directa	2	PF2	Visual	342707.8944	2044506.177	09/06/2018	1	0	0		1
68	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	09/06/2018	2	1	0		3
69	Directa	1	Oportunistico	Visual	357423.3864	2044335.174	10/06/2018	1	0	0		1
70	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	10/06/2018	0	0	2		2
71	Directa	3	Segmento	SSS**	334085.2794	2027382.532	11/06/2018	0	0	2		2
72	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	11/06/2018	2	1	1		4
73	Indirecta	1	Segmento	Rastro	360636.1102	2044681.567	11/06/2018	0	0	1	Feca_RH_17	1
74	Indirecta	3	Segmento	Rastro	336552.7986	2031794.796	11/06/2018	0	0	1	Feca_RH_19	1
75	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	12/06/2018	1	1	0		2
76	Indirecta	2	Segmento	Rastro	338612.9552	2038838.775	12/06/2018	0	0	1	Feca_RH_18	1
77	Directa	1	Segmento	SSS*	360840.4031	2044660.708	13/06/2018	0	0	4		4
78	Directa	1	Oportunistico	SSS confirmado en campo	358049.5408	2044518.033	13/06/2018	1	0	0		1
79	Directa	1	Segmento	SSS**	359741.3346	2044901.476	13/06/2018	0	0	2		2
80	Directa	1	Segmento	SSS**	357050.4883	2044325.36	13/06/2018	1	0	1		2
81	Directa	1	Oportunistico	SSS**	359372.2662	2044732.652	13/06/2018	1	0	0		1
82	Directa	1	PF1	Visual	360840.4031	2044660.708	13/06/2018	2	1	0		3
83	Indirecta	1	Segmento	Rastro	360236.7516	2044821.598	13/06/2018	0	0	1	Feca_RH_16	1

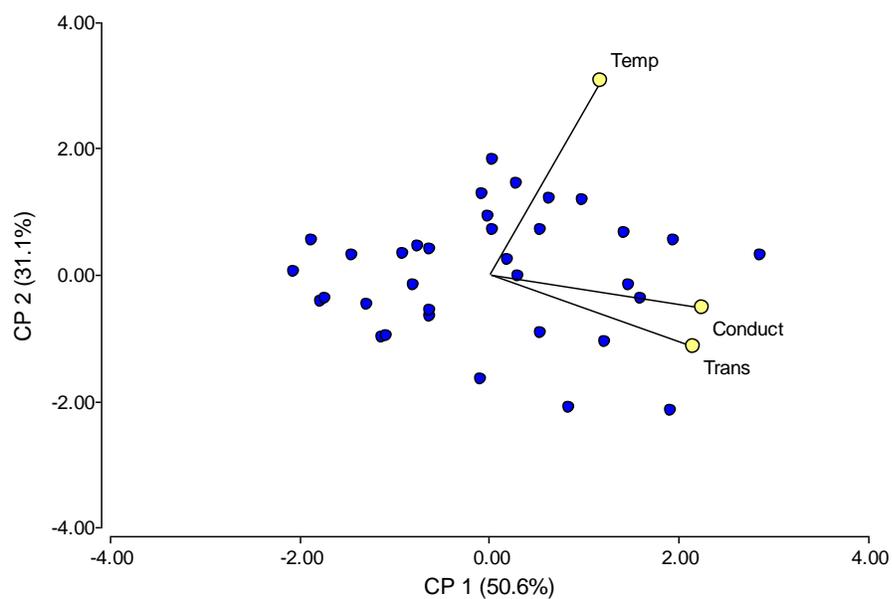
SSS confirmado en campo = confirmación en campo por medio de observación directa o rastros.

PF = Punto fijo.

* Imágenes de manatíes confirmadas con otros estudios.

** Imágenes de manatíes confirmadas por consulta a expertos.

1.6. Análisis de componentes principales para las variables explicativas (temperatura, conductividad y transparencia) y la probabilidad de detección.



1.7. Matriz de confusión del modelo random forest que predice la presencia de manatíes en el río Hondo.

	Censos: ausencias y presencias (número de individuos)					Clase de error
	0	1	2	3	4	
0	186	6	3	0	0	0.05
1	20	9	4	3	0	0.75
2	12	6	4	3	0	0.84
3	2	3	3	0	1	1.00
4	2	0	1	0	0	1.00

1.8. Análisis de correspondencias.

1.8.1. Clase etaria de manatíes vs. Tramos.

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi-Cuadrado	(%)	% acumulado
1	0.14	0.02	1.86	66.02	66.02
2	0.10	0.01	0.96	33.98	100.00

Coordenadas fila

	Eje 1	Eje 2
Tramo_intermedio	-0.20	-0.10
Tramo_alto	0.45	-0.36
Tramo_boca	0.04	0.05

Coordenadas columna

	Eje 1	Eje 2
Adultos	0.13	-0.01
Crías	-0.12	0.17
Indet	-0.16	-0.11

1.8.2. Comportamiento de manatíes vs. Tramos.

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi-Cuadrado	(%)	% acumulado
1	0.39	0.15	10.83	99.75	99.75
2	0.02	3.8E-04	0.03	0.25	100.00

Coordenadas fila

	Eje 1	Eje 2
Crianza	-0.27	0.04
Alimentación	0.76	-0.03
Desplazamiento	-0.30	-0.01
Sumergidos	0.42	0.01

Coordenadas columna

	Eje 1	Eje 2
Tramo_intermedio	0.30	0.03
Tramo_alto	1.30	-0.05
Tramo_boca	-0.22	-0.01

5. ¿Ha observado manatíes? Si los ha observado, ¿en qué situación? (Vivo, herido, muerto). Si los ha observado muertos, ¿conoce las causas de las muertes? (Varado y atrapado en una red de pesca, lastimado por embarcación, varado, cazado, otros: _____, No sabe).

6. En general, ¿dónde ha observado manatíes?

Presencia en el río Hondo

7. ¿Hay manatíes en el río Hondo? Si hay manatíes, ¿dónde los ha observado? (En todo el río, en la desembocadura, en otros ríos tributarios, otros: _____). ¿Cuál es el punto más alejado de la boca del río Hondo donde cree que lleguen los manatíes?

8. Defina la frecuencia de observaciones en cada localidad del río (Común: una vez al mes; Raro: una vez cada seis meses; Muy raro: una vez al año; Ausente: nunca; NS/NR: no sabe o no quiere responder).

Localidad	Común	Raro	Muy raro	Ausente	NS/NR
Boca del río					
Santa Elena					
Juan Sarabia					
Sacxán					
Ramonal					
Cocoyol					
San Francisco Botes					
La Unión					

9. ¿Cuántos manatíes calcula que hay en el río Hondo?

10. ¿Ha observado manatíes en grupo? De ser afirmativa su respuesta, ¿cuántos manatíes se encuentran normalmente en un mismo grupo? (2, 3, 4, más _____).

11. ¿Ha observado madres con cría? (Cuándo: _____ Dónde: _____)
¿Hay alguna temporada donde se observen más crías? Comente.

12. ¿Durante qué época del año se observan manatíes en el río Hondo?
Lluvias Secas Nortes En ninguna época particular NS/NR

13. ¿A qué hora del día se ven más manatíes?
Mañana Mediodía Tarde Al anochecer Cualquier hora

14. ¿Reconoce heces, rastros alimenticios, huesos?

15. ¿Ha observado manatíes o evidencias de su presencia en el río Hondo?
Si la respuesta es positiva, proporcione algunos detalles.

Fecha	Lugar	Tipo de evidencia	Edad/tamaño	Estructura (solo, grupo)	Duración del encuentro	Observaciones

Ecología

16. ¿Considera que el manatí se ve afectado por características del hábitat? Por ejemplo, tipo de orilla, presencia de vegetación, turbidez, profundidad, presencia de botes, otros:

17. ¿Reconoce algún comportamiento del manatí? (Alimentación, desplazamiento, vocalizaciones, descanso, reproducción, otros: _____).

18. ¿De qué se alimentan los manatíes? ¿Sabe de qué plantas se alimentan en el río Hondo? ¿Podría mencionar el nombre de las plantas?

¿De qué partes de cada planta se alimenta el manatí? (Todo, hojas, tallo, raíz, flores, frutos, semillas, barro).

¿El manatí se alimenta de las mismas plantas no importando la época del año? Explique.

19. ¿Ha escuchado casos de manatíes que han muerto por alimentarse de plantas tóxicas? ¿Qué plantas son las tóxicas?

20. ¿Qué animales comen manatí? Comente.

Mortalidad y riesgos

21. Comparando la situación hace 10 años con la actual, ¿ahora hay más manatíes, hay menos, no ha cambiado, NS/NR?

¿Cuál piensa usted que fue la causa principal de la disminución? (Cacería, enredo con redes de pesca, golpes con botes con motor, contaminación del agua, pérdida de hábitat, otros: _____)

22. ¿Cuáles piensa usted que son los principales peligros para los manatíes en la actualidad?

23. ¿Sabe usted si se practica la caza de manatí? ¿Y anteriormente? ¿Cómo los cazaban? ¿Cuántos manatíes cazaban en el río Hondo por año? ¿En dónde los cazaban?

24. ¿Cuándo fue la última vez que usted escuchó que un manatí fue cazado? (Este año, el año pasado, hace más de dos años, fecha exacta: _____)

25. Si realizaban cacería de manatíes, ¿por qué la realizaban? (Alimento, trueques, comercio).

26. ¿Sabe qué es lo que se extrae del manatí cuando lo cazan? (Carne, piel, aceite, otros).

27. ¿Ha encontrado manatíes muertos en la zona? ¿Cuántas veces en el año? Si ha encontrado manatíes muertos, por favor, describa:

Fecha	Lugar	Sexo	Edad/tamaño	Causa de muerte	Estado de descomposición	Fue atendido por la red de varamientos

28. ¿Ha notado más embarcaciones en el río? ¿Desde cuándo?
 ¿Sabe de algún caso de choque de cayucos o lanchas con manatíes? Describa.
 ¿Cuántos accidentes con manatíes ocurren por año cerca de la comunidad?

29. Realizan algún procedimiento cuando encuentran manatíes muertos en la zona (comunicación con guarda parques o algunas instituciones, entierro de cadáver, recuperación de huesos, otros: _____).

Conservación

30. ¿Conoce alguna institución que se dedique en mejorar las condiciones del hábitat para la conservación del manatí? ¿Cuáles, qué hacen?

31. ¿La comunidad donde usted vive realiza alguna acción para disminuir las muertes de los manatíes y recuperar el hábitat? Ejemplifique.

32. ¿Podría comentar por qué se debe conservar el manatí y su hábitat?

33. ¿Sabe usted cuándo se celebra el Día Nacional del Manatí en México? Indique.

34. ¿Considera que el manatí podría servir como un atractivo turístico para el río Hondo? Explique.

Percepción

35. ¿Qué usos se le da al manatí en la comunidad? (Comida, medicina, joyería, atractivo turístico, otros).

36. ¿Cuál es su opinión sobre el manatí?

37. ¿Cree que es necesario proteger a los manatíes? Explique.

38. ¿Tiene alguna creencia o reconoce algún mito o historia sobre el manatí? Describa.

39. Comente qué importancia tiene el manatí para la región y para su comunidad.

40. ¿Podría indicarme una localidad en donde usted crea que se pueden observar manatíes en el río Hondo?

41. ¿Conoce si alguna persona tiene huesos de manatí? ¿Podría indicarme quién es y dónde puedo encontrarla?

Otros

42. ¿Quiere agregar algo más?

43. ¿Desea preguntar algo?

Cierre de la entrevista

Agradezco su tiempo destinado a la entrevista.

Anexo 2.2. Tablas de contingencia.

A continuación, se presentan los análisis para las variables que fueron significativas, con un valor $p = 0.10$.

Anexo 2.1.1. Tabla de contingencia para los niveles de la población a la que pertenecen los entrevistados (nativo o inmigrante) vs si diferencia manatíes machos y hembras.

Frecuencias absolutas

En columnas:Población

Diferencia M y H	Inmigrante	Nativo	Total
No	15	22	37
Si	2	11	13
Total	17	33	50

Frecuencias relativas por filas

En columnas:Población

Diferencia M y H	Inmigrante	Nativo	Total
No	0.41	0.59	1.00
Si	0.15	0.85	1.00
Total	0.34	0.66	1.00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	2.71	1	0.0995
Chi Cuadrado MV-G2	2.98	1	0.0843
Irwin-Fisher bilateral	0.25		0.1729
Coef.Conting.Cramer	0.16		
Kappa (Cohen)	0.17		
Coef.Conting.Pearson	0.23		
Coeficiente Phi	0.23		

Cocientes de chance (odds ratio)

Estadístico	Estim	LI 95%	LS 95%
Odds Ratio 1/2	3.75	0.83	17.03
Odds Ratio 2/1	0.27	0.06	1.21

Anexo 2.1.2. Tabla de contingencia para la categoría de edad del entrevistado (C1: < 40 años, C2: 40-60 años y C3: > 60 años) vs si ha observado manatíes en grupo.

Frecuencias absolutas

En columnas: CATEdad

Grupos	C1	C2	C3	Total
No	6	2	2	10
Si	7	26	7	40
Total	13	28	9	50

Frecuencias relativas por filas

En columnas: CATEdad

Grupos	C1	C2	C3	Total
No	0.60	0.20	0.20	1.00
Si	0.18	0.65	0.18	1.00
Total	0.26	0.56	0.18	1.00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	8.48	2	0.0144
Chi Cuadrado MV-G2	8.15	2	0.0170
Coef. Conting. Cramer	0.29		
Coef. Conting. Pearson	0.38		

Anexo 2.1.3. Tabla de contingencia para la categoría de edad del entrevistado (C1: < 40 años, C2: 40-60 años y C3: > 60 años) vs la hora de observación de manatíes.

Frecuencias absolutas

En columnas: CATEdad

Hora obs	C1	C2	C3	Total
Cualquier hora	2	10	0	12
Mañana	4	10	2	16
Mediodía	1	1	3	5
Tarde	6	7	4	17
Total	13	28	9	50

Frecuencias relativas por filas

En columnas: CATEdad

Hora obs	C1	C2	C3	Total
Cualquier hora	0.17	0.83	0.00	1.00
Mañana	0.25	0.63	0.13	1.00
Mediodía	0.20	0.20	0.60	1.00
Tarde	0.35	0.41	0.24	1.00
Total	0.26	0.56	0.18	1.00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	12.21	6	0.0575
Chi Cuadrado MV-G2	12.74	6	0.0473
Coef. Conting. Cramer	0.29		
Coef. Conting. Pearson	0.44		

Anexo 2.1.4. Tabla de contingencia para la frecuencia de visita al río por los entrevistados (1 a 2 veces al mes, 3 a 4 veces al mes, más de 4 veces al mes y diariamente) vs la hora de observación de manatíes.

Frecuencias absolutas
En columnas:Frecuencia_visita

Hora obs	>4 veces/mes	1-2 veces/mes	3-4 veces/mes	Diariamente	Total
Cualquier hora	6	0	3	3	12
Mañana	2	2	5	7	16
Mediodía	2	0	0	3	5
Tarde	5	6	2	4	17
Total	15	8	10	17	50

Frecuencias relativas por filas
En columnas:Frecuencia_visita

Hora obs	>4 veces/mes	1-2 veces/mes	3-4 veces/mes	Diariamente	Total
Cualquier hora	0.50	0.00	0.25	0.25	1.00
Mañana	0.13	0.13	0.31	0.44	1.00
Mediodía	0.40	0.00	0.00	0.60	1.00
Tarde	0.29	0.35	0.12	0.24	1.00
Total	0.30	0.16	0.20	0.34	1.00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	15.21	9	0.0852
Chi Cuadrado MV-G2	17.91	9	0.0362
Coef.Conting.Cramer	0.28		
Kappa (Cohen)	-0.03		
Coef.Conting.Pearson	0.48		

Anexo 2.1.5. Tabla de contingencia para el tipo de actividad que realizan los entrevistados en el río (pesca, transporte, guía turístico y otros) vs si ha observado crías de manatí.

Frecuencias absolutas
En columnas:Actividad_río

Obs crías	Guía de turismo	Otros	Pesca	Transporte	Total
No	0	3	20	4	27
Sí	2	0	21	0	23
Total	2	3	41	4	50

Frecuencias relativas por filas
En columnas:Actividad_río

Obs crías	Guía de turismo	Otros	Pesca	Transporte	Total
No	0.00	0.11	0.74	0.15	1.00
Sí	0.09	0.00	0.91	0.00	1.00
Total	0.04	0.06	0.82	0.08	1.00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	8.76	3	0.0327
Chi Cuadrado MV-G2	12.18	3	0.0068
Coef.Conting.Cramer	0.30		
Coef.Conting.Pearson	0.39		

Anexo 2.1.6. Tabla de contingencia para el lugar de observación (creeks, río, S1, S2, S3, S4, S5 y S6) vs la observación de crías de manatí por los entrevistados.

Frecuencias absolutas

En columnas:Lugar_observación

Obs crías	Creeks	Río	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Total
No	9	0	1	2	2	1	5	7	27
Sí	7	2	5	7	1	0	1	0	23
Total	16	2	6	9	3	1	6	7	50

Frecuencias relativas por filas

En columnas:Lugar_observación

Obs crías	Creeks	Río	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Total
No	0.33	0.00	0.04	0.07	0.07	0.04	0.19	0.26	1.00
Sí	0.30	0.09	0.22	0.30	0.04	0.00	0.04	0.00	1.00
Total	0.32	0.04	0.12	0.18	0.06	0.02	0.12	0.14	1.00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	18.49	7	0.0099
Chi Cuadrado MV-G2	22.90	7	0.0018
Coef.Conting.Cramer	0.43		
Coef.Conting.Pearson	0.52		

Anexo 2.1.7. Tabla de contingencia para la observación de manatíes en grupo vs la riqueza de comportamiento (número de comportamientos de los manatíes reconocidos por los entrevistados).

Frecuencias absolutas

En columnas:Grupos

Riq comport	No	Sí	Total
1	4	3	7
2	5	13	18
3	1	14	15
4	0	5	5
5	0	4	4
6	0	1	1
Total	10	40	50

Frecuencias relativas por filas

En columnas:Grupos

Riq comport	No	Sí	Total
1	0.57	0.43	1.00
2	0.28	0.72	1.00
3	0.07	0.93	1.00
4	0.00	1.00	1.00
5	0.00	1.00	1.00
6	0.00	1.00	1.00
Total	0.20	0.80	1.00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	10.88	5	0.0538
Chi Cuadrado MV-G2	11.86	5	0.0367
Coef.Conting.Cramer	0.33		
Coef.Conting.Pearson	0.42		

Anexo 2.2. Análisis de correspondencias

Anexo 2.2.1. Análisis de correspondencia entre los niveles de la población a la que pertenecen los entrevistados (nativo o inmigrante) y si diferencia los manatíes machos de las hembras.

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi-Cuadrado	(%)	% acumulado
1	0.23	0.05	2.71	100.00	100.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Anexo 2.2.2. Análisis de correspondencia entre la categoría o grupos de edades de los entrevistados (C1: < 40 años, C2: 40-60 años y C3: > 60 años) y la observación de manatíes en grupos.

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi-Cuadrado	(%)	% acumulado
1	0.41	0.17	8.48	100.00	100.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Anexo 2.2.3. Análisis de correspondencia entre la categoría o grupos de edades de los entrevistados (C1: < 40 años, C2: 40-60 años y C3: > 60 años), la frecuencia de visita en el río (diariamente, > 4 veces al mes; 3-4 veces al mes, 1-2 veces al mes) y la hora en que han observado manatíes (mañana, mediodía, tarde y cualquier hora).

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi-Cuadrado	(%)	% acumulado
1	0.74	0.54	94.85	20.37	20.37
2	0.68	0.46	80.77	17.35	37.72

Anexo 2.2.4. Análisis de correspondencia entre la actividad que realizan los usuarios en el río y la observación de crías.

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi-Cuadrado	(%)	% acumulado
1	0.42	0.18	8.76	100.00	100.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Anexo 2.2.5. Análisis de correspondencia entre la observación de crías y el lugar de observación en los segmentos o ríos tributarios.

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi-Cuadrado	(%)	% acumulado
1	0.61	0.37	18.49	100.00	100.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Anexo 2.2.6. Análisis de correspondencia entre la observación de grupos y el número de comportamientos reconocidos por los entrevistados.

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi-Cuadrado	(%)	% acumulado
1	0.47	0.22	10.88	100.00	100.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Anexo 2.2.7. Comparación entre los registros de varamiento de manatíes en el río Hondo consultados en la base de datos de las redes de varamiento oficiales y la información proporcionada por los entrevistados.

ID	Lat.	Long.	Método	Fecha	Sexo	Edad
Tm/02102009	360400.08	2044814.56	Red de varamientos	02/10/2009	Macho	Subadulto
Tm/28022010	352263.21	2045491.64	Red de varamientos	28/02/2010	Hembra	Subadulto
Tm/19122010	358249.22	2044547.29	Red de varamientos	19/12/2010	Macho	Cría
Tm/23022011	352399.46	2045359.31	Red de varamientos	23/02/2011	Macho	Adulto
Tm/28042011	362049.63	2045088.46	Red de varamientos	28/04/2011	Hembra	Subadulto
Tm/22012012	359577.55	2044847.04	Red de varamientos	22/01/2012	Hembra	Subadulto
Tm/02022012	360400.08	2044814.56	Red de varamientos	02/02/2012	Hembra	Subadulto
Tm/17122012	360104	2044815.99	Red de varamientos	17/12/2012	Macho	Adulto
ENT02-SL	353920.09	2043789.04	Entrevista	01/05/2000	Desconocido	Adulto
ENT03-SL	353222.41	2043437.36	Entrevista	01/06/2015	Desconocido	Desconocido
ENT04-SL	360717.14	2044723.41	Entrevista	01/05/2014	Desconocido	Subadulto
ENT01-JS	346273.28	2044901.21	Entrevista	01/06/2012	Desconocido	Desconocido
ENT02-JS	352571.82	2045220.81	Entrevista	01/01/2016	Desconocido	Desconocido
ENT03-JS	352571.82	2045220.81	Entrevista	01/05/2014	Desconocido	Cría
ENT05-JS	338852.56	2039545.64	Entrevista	08/06/2016	Desconocido	Adulto
ENT02-SX	339833.17	2042217.97	Entrevista	25/06/2003	Desconocido	Desconocido

Nota: las fechas indicadas por los entrevistados son aproximadas.

Fuente: observaciones en campo y base de datos de la Red de Varamientos de Mamíferos Acuáticos para la Bahía de Chetumal y Río Hondo.