



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
Región Poza Rica - Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

**Aspectos de la ecología y fisiología alimentaria de
manatí Antillano (*Trichechus manatus manatus*)**

TESIS

Que para obtener el título de:
**MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y
COSTEROS**

P R E S E N T A:

Gloria Katerin Arévalo González

Directora:

Dra. Nataly Castelblanco Martínez

Co-director:

Dr. Arturo Serrano Solís

Asesor:

Dr. Alberto Pereira Corona

Tuxpan, Veracruz

2020

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, a 1 de noviembre de 2019

El Presente Proyecto titulado “**Aspectos de la ecología y fisiología alimentaria de manatí Antillano (*Trichechus manatus manatus*)**” realizado por la C. Gloria Katerin Arévalo González, bajo la Dirección de la Dra. Delma Nataly Castelblanco Martínez ha sido aprobado y aceptado para poder llevar a cabo la solicitud de dictamen de liberación del documento:



Dra. Delma Nataly Castelblanco Martínez

DIRECTOR



Dr. Arturo Serrano Solis

CO-DIRECTOR



Dr. Alberto Pereira Corona

ASESOR

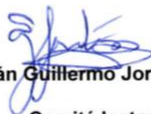
Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, a 5 de noviembre de 2019

El Presente Proyecto titulado "**Aspectos de la ecología y fisiología alimentaria de manatí Antillano (*Trichechus manatus manatus*)**" realizado por la C. Gloria Katerin Arévalo González, bajo la Dirección de la Dra. Delma Nataly Castelblanco Martínez, la Codirección del Dr. Arturo Serrano Solís y la Asesoría del Dr. Alberto Pereira Corona, ha sido aprobado y aceptado para poder llevar a cabo la solicitud de dictamen de liberación del documento:



Dra. Celina Naval Ávila

Comité lector



Dr. Adán Guillermo Jordán Garza

Comité lector



Dr. León David Olivera Gómez

Comité Lector

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos aquellos que pusieron su granito de arena para esta investigación. Gracias al Lowry Park Zoo, Riu Hotels & Resorts, Dolphin Discovery y Experiencias Xcaret por el apoyo económico y logístico. Muchas gracias a quienes creyeron en este proyecto, los donantes de la campaña de crowdfunding, sin su ayuda esto no hubiera podido comenzar: Gloria González, Martha González, Leidy Africano, Paola Cipagauta, Astrid Santamaría, Ximena Ardila, Jennifer Rey, Catalina Osorio, Paola Prieto, Juliana Vasquez, Cielo Mena, Dalía Barragán, Otoniel Bolaños, Eduardo Morteo, Flia Cadena Gonzalez, Flia Gonzalez Restrepo y donantes anónimos.

Infinitas gracias a mi directora, Nataly Castelblanco Martínez, por siempre sacar lo mejor de mi, por ser una guía incondicional y paciente, con toda humildad perdón por todo aquello que no logré. Gracias a mi codirector Dr. Arturo Serrano y mi asesor Dr. Alberto Pereira, sin ustedes esto no hubiera sido posible. Gracias todo el equipo de la Universidad Veracruzana, de mi maestría y la Universidad de Quintana Roo, docentes y estudiantes, siempre prestos a aportar. Al Dr. William Cetzal y Iremar Fernández por la identificación en el material encontrado en las heces. Al comité lector, Dr. León David Olviera Gómez, Dra. Celina Naval Ávila y Dr. Adán Guillermo Jordán Garza por sus comentarios y sugerencias siempre contribuyendo a mejorar todo el proceso y documento final. A mis compañeras de aventuras, Natalia Garcés, Fabiola Corona, Sarah Landeo.

Gracias a mi esposo Felipe Ardila Santamaría, has sido el mejor compañero para esta aventura en la que nos embarcamos para cumplir sueños, gracias por ser mi amor y el mejor papa peludo. Gracias, mamá y tata, ustedes son mi motor en la distancia, a Chepe y todos los Ardigatos por ser ángeles para nosotros. Lina, que sería de mi sin ti? Gracias familia, directa y extendida, ¡su apoyo siempre llego en los momentos más necesarios! A mi familia en México, la casa de Kiki!!!

Gracias a Lina Escobar, Alejandra Neira, Silvia Vasquez, Paola Cipagauta, Andrea Zárate, Jenifer Rey, Dalia Barragán, Lesly Cabrias, Angela Alvis, Carlos Garzón gracias por su cariño, su hermandad, por luchar por sus sueños, alentarme a cumplir los míos y ser seres de luz que admiro. Gracias a Cabildo Verde, James Murillo, Cristina Palencia, Elmer Rentería y todo el Proyecto Vida Silvestre por su apoyo, porque me mantienen conectada con mi tierra y mis sirenas magdalenenses.

Gracias al Programa de Monitoreo de Megafauna del Caribe de la Universidad Veracruzana y al Dr. Antonio Mignucci junto con su equipo del Centro de Rehabilitación de Manatíes en Puerto Rico por recibirme en las estancias realizadas, espero que esta información sea útil para ustedes y el gran trabajo que se realiza en ambas partes del Caribe.

¡Gracias México! ¡Me has enseñado tanto! ¡Gracias por ser la plataforma para cumplir mis sueños!

DEDICATORIA

Madre y Tata, son mi luz, son el amor mas puro y eterno. Sus sacrificios son mi mayor aliciente para no desfallecer.

No tengo tu sangre, pero eso nunca te importo para hacerme sentir como hija tuya, a ti y tu amor por tu familia y por la naturaleza, por ser aliado de mis sueños,
tío Álvaro.

A Maja y Juank, porque merecen ver en la naturaleza el amor infinito, y espero que la vida les dé la oportunidad de encontrar su pasión para vvir al máximo,
luchando por sus sueños y su felicidad.

A los manatíes, las sirenas reales, su magia se ha robado mi corazón, y sigue hipnotizándome y llevándome por una pasión extrema que no quiero perder.

ÍNDICE GENERAL

GLOSARIO	xiv
I. RESUMEN	xvi
II. INTRODUCCIÓN	18
III. ANTECEDENTES	22
IV. OBJETIVOS	4
IV. I. Objetivo General	4
IV. II. Objetivos Específicos	4
V. ÁREA DE ESTUDIO	5
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	9
VI. I. Fase de campo	9
VI.II. I. Cautiverio	9
VI.II. II. Vida libre	10
VI. II. Pruebas de laboratorio	13
VI.II. I. Eficiencia digestiva en cautiverio.....	13
VI.II. II. Bromatología de la dieta en vida libre	14
VI.II. III. Presencia de semillas en heces y contenidos digestivos.....	15

VI. III.	Análisis de datos	16
VII.	RESULTADOS	17
VII. I.	Etapa de campo.....	17
VII. I. I.	Cautiverio	17
VII. I. II.	Vida libre	18
VII. II.	Pruebas de laboratorio	22
VII. II. I.	Eficiencia digestiva en cautiverio.....	22
VII. II. II.	Bromatología de la dieta en vida libre	27
VII. II. III.	Presencia de semillas en heces y contenidos digestivos.....	36
VII. II. III.	Presencia de elementos orgánicos e inorgánicos en heces y contenidos digestivos	38
VIII.	DISCUSIÓN	45
VIII. I.	Eficiencia digestiva en cautiverio.....	45
VIII. II.	Bromatología de la dieta en vida libre	50
VIII. III.	Presencia de semillas en heces y contenidos digestivos	55
VIII. IV.	Presencia de elementos orgánicos e inorgánicos en heces y contenidos digestivos	56
IX.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
IX.I.	Conclusiones.....	58

IX.II. Recomendaciones	60
X. Aplicaciones Prácticas del Trabajo	63
XI. BIBLIOGRAFÍA	65
XII. ANEXOS	90

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Eficiencias digestivas (materia seca) para herbívoros monogásticos con dietas en cautiverio	25
Cuadro 2. Manatíes antillanos en cautividad en el Caribe mexicano usados para este estudio.....	9
Cuadro 3. Muestras de heces recolectadas en centros de cautividad de manatíes en Quintana Roo.....	17
Cuadro 4. Esfuerzo de muestreo y material colectado en tres diferentes zonas del manatí antillano en el Caribe mexicano.....	19
Cuadro 5. Especies vegetales colectadas en tres diferentes zonas del manatí antillano en el Caribe mexicano.....	19
Cuadro 6. Muestras disponibles provenientes de varamientos para determinación de eficiencia digestiva.....	21
Cuadro 7. Concentraciones de manganeso $[Mn^{+2}]$ (mg/L) en cada elemento alimenticio de los manatíes en centros de cautividad de Quintana Roo.....	22
Cuadro 8. Concentraciones de manganeso $[Mn^{+2}]$ (mg/L) en la dieta ofrecida a los manatíes para cada individuo en centros de cautividad de Quintana Roo.....	23
Cuadro 9. Concentración de manganeso $[Mn^{2+}]$ en heces de manatíes en cautiverio.....	25
Cuadro 10. Eficiencia digestiva de manatíes cautivos con dieta conocida en Quintana Roo.....	26

Cuadro 11. Valores bromatológicos porcentuales (X) en peso seco y su desviación estándar (DE) para plantas de consumo potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano.....	28
Cuadro 12. Prueba Tukey para valores de proteína cruda en plantas de consumo reportado o potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano	30
Cuadro 13. Prueba Tukey para valores de cenizas totales en plantas de consumo reportado o potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano.....	32
Cuadro 14. Prueba Tukey para valores de fibra cruda en plantas de consumo reportado o potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano.....	33
Cuadro 15. Prueba Tukey para valores de total de nutrientes digestibles en plantas de consumo reportado o potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano. ..	36
Cuadro 16. Porcentajes de proteína y fibra consumidos por manatíes en dos centros de cautividad en México.....	49
Cuadro 17. Rangos de valores nutricionales reportados para especies vegetales en diferentes áreas de distribución de <i>Trichechus manatus</i>	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio en el estado de Quintana Roo, México. Amarillo: área marina; naranja: área estuarina; rojo: área dulceacuícola.	8
Figura 2. Recolección de heces en centros de cautiverio.	10
Figura 3. Colecta manual de heces de manatí y vegetación en Río Hondo, Quintana Roo.	11
Figura 4. Fotografías ejemplo de heces de manatíes antillanos <i>Trichechus manatus manatus</i>	13
Figura 5. Proporción en peso húmedo de los componentes estimados según el total de la dieta ofrecida a manatíes en cautiverio en Quintana Roo, México.....	18
Figura 6. Muestras de heces de manatí colectadas entre noviembre de 2017 y enero 2019.	20
Figura 7. Heces de manatíes colectadas en vida libre. A. Río Hondo. B. Desembocadura del Río Belice, Belice.	21
Figura 8. Concentraciones de manganeso en dietas de manatíes en dos centros de cautiverio en el Caribe mexicano.	24
Figura 9. Eficiencia digestiva de manatíes cautivos en el Caribe mexicano según clases etáreas y centros de cautividad.	26
Figura 10. Porcentajes de proteína cruda en plantas de consumo reportado o potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano.	29

Figura 11. Porcentajes de extracto etéreo y cenizas totales en plantas de consumo potencial o reportado del manatí antillano en el Caribe mexicano.	31
Figura 12. Porcentajes de fibra cruda en plantas de consumo potencial o reportado del manatí antillano en el Caribe mexicano.	33
Figura 13. Porcentajes de total de nutrientes digestibles y energía digestible en plantas de consumo potencial o reportado del manatí antillano en el Caribe mexicano.....	35
Figura 14. Morfotipos de semillas completas encontrados en heces de manatí antillano . A= Morfo1; B= <i>Coccoloba uvifera</i> ; C=Morfo7; D=Morfo2; E= Morfo3; F=Morfo8; G=Morfo13.....	38
Figura 15. Flores y frutos detectados en heces de manatíes antillanos. A= <i>Ruppia maritima</i> ; B=Morfo10; C=Morfo16; D= <i>Conocarpus erectus</i> ; E=Morfo6.....	39
Figura 16. Esponja marina encontrada en heces de manatíes antillanos en la desembocadura del Rio Belice.....	40
Figura 17. Moluscos hallados en heces y contenido digestivo de manatíes antillanos. A=morfo1; B=morfo2; C=morfo3.	41
Figura 18. Agrupaciones de algas encontradas en heces de manatíes antillanos.	41
Figura 19. Material orgánico sin identificar detectado en heces de manatí antillano. A= Fragmentos macroscópicos; B=4x; C=20x; D=40x.....	42
Figura 20. Adulto del parásito <i>Heterocheilus tunicatus</i> hallado en contenidos digestivos de manatíes antillanos.	42
Figura 21. Tejidos animales registrados en heces de manatíes antillanos.	43

Figura 22. Fragmentos de plástico encontrados en heces de manatíes antillanos.	44
Figura 23. Elementos inorgánicos hallados en heces y contenidos estomacales de manatíes. A y B= Rocas; C=vidrio, D= tela.	44
Figura 24. Plástico encontrado en heces de manatí antillano en cautividad en el Caribe mexicano.	45

GLOSARIO

Análisis proximal: combinación de procedimientos analíticos que se utilizan para cuantificar el contenido de proteínas, lípidos, materia seca, cenizas y glúcidos (extracto libre de nitrógeno) de los alimentos, tejidos animales o excretas. Sinónimo: pruebas bromatológicas.

Eficiencia digestiva: es la relación (expresada como un porcentaje) entre la materia seca, energía o un nutriente y su ingesta, es decir, lo que no ha sido eliminado en las heces, por lo tanto se asume absorbido. Sinónimos: capacidad de absorción, eficiencia de absorción, eficiencia de extracción, coeficiente de masa asimilable, eficiencia de utilización, digestibilidad, coeficiente de digestión.

Energía digestible: Energía contenida en los compuestos orgánicos de los alimentos y que serán digeridos por el animal, por lo cual no aparecen en las heces.

Extracto etéreo: fracción de un alimento o tejido animal que es soluble en un disolvente de grasa, tal como el éter etílico, y que se elimina por medio de la extracción durante el análisis proximal.

Extracto libre de nitrógeno: consiste principalmente de los glúcidos que se encuentran fácilmente disponibles, tales como los azúcares y almidones, pero puede contener hemicelulosa y lignina.

Fibra cruda: elementos orgánicos de los alimentos de alto peso molecular, como la celulosa, hemicelulosa y/o lignina.

Metabolismo basal: gasto energético del cuerpo en reposo, bajo condiciones ambientales confortables y durante el periodo posterior a la absorción (12 horas después de la ingestión de alimento).

Proteína cruda: o proteína bruta, hace referencia al porcentaje de proteína contenido en determinado elemento de una dieta. En este término se incluyen la mayoría de los compuestos que contienen nitrógeno, como proteínas y ácidos nucleicos.

I. RESUMEN

Los manatíes (Orden: Sirenia) son mamíferos acuáticos muy importantes en ecosistemas fluviales, salobres y salinos. Aunque existe información sobre la ecofisiología alimenticia del manatí de la Florida (*Trichechus manatus latirostris*), es poco lo que se conoce al respecto para la subespecie antillana (*T. m. manatus*). Este estudio planteó determinar la eficiencia digestiva en cautiverio, la composición bromatológica de la dieta en vida libre y la presencia de semillas viables en heces y contenidos digestivos del manatí antillano en el Caribe mexicano y Beliceño. La eficiencia digestiva fue estimada a partir de mediciones de la concentración de manganeso tanto en heces como en dieta por espectrofotometría, encontrándose un valor promedio de 77.29% para los individuos en cautiverio. Los ensayos de bromatología para la dieta del manatí en vida libre fueron realizados en ejemplares de 15 especies vegetales, obteniendo valores de proteína cruda (3.95 - 11.58%), extracto etéreo (2.98 - 26.43%), cenizas totales (5.13 - 75.66%) y fibra cruda (4.28 - 23.62%); con lo cual se determinó el total de nutrientes digestibles (22.08 - 95.59%) y la energía digestible (0.97 - 4.21%). Por otro lado, fueron encontradas semillas en el 31.1% de material revisado sin viabilidad para germinación, junto con moluscos (11.11%), poríferos (13.3%), algas unicelulares (17.8%), plásticos (6.7%), vidrio (2.2%) y tela (2.2%). La información producida en esta investigación será útil para contribuir en procesos de rehabilitación de manatíes, así como su bienestar en cautiverio y estrategias de conservación de su hábitat.

Palabras clave: alimentación, cautividad, digestibilidad, dispersor, manatí, monogástrico, nutrición, *Trichechus manatus*.

II. INTRODUCCIÓN

El orden Sirenia representa al grupo de mamíferos acuáticos herbívoros, con dos familias. La familia Dugongidae tiene una sola especie viviente, el dugón *Dugong dugon*, habitando en aguas tropicales y subtropicales del Indopacífico y restringido a ambientes marino-costeros. Por otro lado, la familia Trichechidae está compuesta por tres especies, el manatí amazónico *Trichechus inunguis* restringido a las aguas dulces de la cuenca del Río Amazonas y sus tributarios, el manatí Africano *Trichechus senegalensis* el cual habita en los ecosistemas costeros y cuerpos de agua dulce de costa atlántica Africana desde el río Senegal hasta el río Longa de Angola, y por último el manatí de las Indias Occidentales *Trichechus manatus* (Linnaeus, 1758), que habita en Norte, Centro y Sur América. Esta especie presenta discontinuidades morfológicas y divergencias cromosómicas (Domning, 2005; Domning, 1994; Domning y Hayek, 1986; Kellogg, 2008), reconociéndose así dos subespecies: el manatí de la Florida *T. m. latirostris* (Harlan, 1824) el cual habita en los Estados Unidos (desde el estado de Virginia hasta Louisiana), las Bahamas e incluso Cuba (Deutsch y Reynolds II, 2012); y el manatí antillano *T. m. manatus* (Linnaeus, 1758) que vive desde el norte de México, islas del Caribe y en las costas del Centro y Suramérica hasta la zona noreste de Brasil (Self-Sullivan y Mignucci-Giannoni, 2012).

El manatí antillano se encuentra catalogado como “En Peligro” (EN) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – (UICN) a nivel internacional (Self-Sullivan y Mignucci-Giannoni, 2008) y en todos los países de su distribución a nivel nacional (UNEP, 2010). En el caso de México, esta especie se encuentra en la NOM-059-SEMARNAT-2010, catalogado como “En Peligro de Extinción (P)” (Diario Oficial de la Federación, 2010). Esta clasificación se basa en la disminución de sus poblaciones en toda su área de distribución, probablemente debido a actividades antrópicas que han generado la degradación y pérdida de su hábitat (UNEP, 2010), el aumento en actividades pesqueras con artes ilegales, los patrones climáticos severos y la cacería de subsistencia (Morales-Vela, Padilla-Saldivar y Mignucci-Giannoni, 2003). Además, algunas características biológicas intrínsecas de la especie como su baja tasa de reproducción (Kendall *et al.*, 2004; Runge, Langtimm y Kendall, 2004), hacen que sea más susceptible a los cambios en su hábitat.

Gran parte de la importancia ecológica que se le atribuye a los sirenios en los ecosistemas acuáticos se debe principalmente a sus hábitos alimenticios, dado que son megaherbívoros con altos requerimientos energéticos en comparación a otros herbívoros marinos (Aragones *et al.*, 2012). El manatí juega un rol importante en el reciclaje de nutrientes del ecosistema, pues gracias a su gran tamaño y alta eficiencia digestiva aporta una gran biomasa relativa y una relación alta en consumo/biomasa (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2012b). Se ha evidenciado que los manatíes mediante defecación reincorporan al medio como material directamente

utilizable, aproximadamente el 40% del material vegetal que consumen (Best, 1981) realizando una importante tarea en el reciclado de nutrientes en el agua tanto horizontal como verticalmente (Doughty *et al.*, 2016).

En las últimas décadas se ha explorado la ecología alimentaria del manatí antillano específicamente identificando las especies vegetales consumidas en varios puntos de su distribución en el norte del Caribe (Allen *et al.*, 2018; Borges *et al.*, 2008b; Castelblanco-Martínez *et al.*, 2009; Navarro, Álvarez y Castelblanco-Martínez, 2014; Ponce-García, Olivera-Gómez y Solano, 2017), sin embargo, es poco lo que se conoce sobre la fisiología alimentaria de esta subespecie, por lo que no se pueden hacer predicciones directas de sus condiciones nutricionales. Esta información es cada vez más relevante dada la necesidad de evaluar y mejorar los programas de rehabilitación, liberación y conservación en cautiverio de manatíes en México y Belice, para los cuales los aspectos nutricionales son fundamentales.

Se ha demostrado que grandes herbívoros terrestres fermentadores colónicos (como lo es el manatí), tales como elefantes, rinocerontes, tapires y tortugas, juegan un papel fundamental en la formación y estructura de los ecosistemas donde habitan (Blake *et al.*, 2012; Campos-Arceiz y Blake, 2011; Campos-Arceiz *et al.*, 2012; Dinerstein, 1991). Estos herbívoros terrestres, gracias a su área de ocupación extensa, gran tamaño corporal, y largo tránsito digestivo, al consumir una alta diversidad de frutos, son capaces de dispersar semillas vía heces favoreciendo la

movilidad y viabilidad de estas estructuras vegetales (Campos-Arceiz y Blake, 2011; O'Farrill, Galetti y Campos-Arceiz, 2013). Se conoce que dugones y manatíes incentivan la reproducción vegetativa y la dispersión de semillas principalmente por la fragmentación al ramonear, enterrando o desenterrando estructuras de reproducción, también estimulando la productividad (Aragones *et al.*, 2006; Hall, Hanisak y Virnstein, 2006 ; Peterken y Conacher, 1997; Phillips y Meñez, 1988). Sin embargo, es poco lo que se ha estudiado sobre el papel de los manatíes como agentes facilitadores de la reproducción de estas especies vegetales (Domning, 2001) mediante dispersión de semillas.

Las estrategias de conservación desarrolladas específicamente para sirenios, como en el manatí de la Florida o el dugón, han utilizado información científica básica sobre la ecología y fisiología alimentaria de estas especies, pero pueden no ser aplicables para el manatí antillano dadas las diferencias intraespecíficas en cuanto al hábitat, comportamiento, y problemática de conservación (Self-Sullivan y Mignucci-Giannoni, 2012). El objetivo de este trabajo fue describir aspectos de la ecología y fisiología alimentaria de *T. m. manatus* en el Caribe mexicano, específicamente la composición nutricional de su dieta, su eficiencia digestiva y su papel como posible dispersor de semillas.

III. ANTECEDENTES

Una nutrición adecuada asegura a los individuos la energía y nutrientes necesarios para efectuar procesos vitales como crecimiento, mantenimiento, reproducción, lactancia, entre otros, y depende de la selección de una dieta que aporte los elementos para satisfacer las necesidades básicas del organismo como agua, energía combustible, constituyentes estructurales y regulación metabólica (Church, Pond y Pond, 2004). Varias herramientas son usadas en la investigación en nutrición para tener un panorama completo de la nutrición animal, como la bromatología y la eficiencia digestiva (Church, Pond y Pond, 2004).

Los manatíes son monogástricos, fermentadores del intestino posterior, con adaptaciones para la herbivoría en ecosistemas acuáticos (Reynolds III y Rommel, 1996). Otras especies que presentan una fermentación posgástrica, colónica o “hindgut fermentation” son los caballos, tapires, rinocerontes, elefantes, uombats, y algunos primates como babuinos, macacos, gorilas y chimpancés, entre otros. La dieta del manatí antillano está relativamente bien conocida, siendo reportada una gran diversidad de componentes como algas, pastos marinos, plantas vasculares terrestres, esponjas, hidrozooos e invertebrados (Allen *et al.*, 2018; Borges *et al.*, 2008b; Castelblanco-Martínez *et al.*, 2009; Flores-Cascante *et al.*, 2013; Navarro, Álvarez y Castelblanco-Martínez, 2014; Ponce-García, Olivera-Gómez y Solano, 2017). Esto está relacionado con la heterogeneidad de ambientes que ocupa, pues

puede habitar ecosistemas dulceacuícolas, salinos o salobres, mostrando tolerancia a un alto espectro de salinidad (Marsh, O'Shea y Reynolds, 2011).

La cantidad relativa de nutrientes presentes en un alimento que puede ser aprovechada en el tracto digestivo de una especie determinada, es conocida como digestibilidad (Bondi, 1988; Church, Pond y Pond, 2004). En el caso de la digestibilidad aparente, se toman en cuenta tanto los residuos de alimento no absorbidos como los componentes de las heces que son de origen endógeno como células que se desprenden de la mucosa intestinal y secreciones digestivas (Church, Pond y Pond, 2004). Esta digestibilidad aparente, que mide los nutrientes en los alimentos y las heces como un medio para determinar la eficiencia, es un parámetro comunmente estimado en la investigación nutricional (Harshaw, 2012). La eficiencia digestiva, también conocida como digestibilidad y/o eficiencia de asimilación (Hume, 2005), puede servir para estimar el tiempo y esfuerzo que dedica un individuo de determinada especie para obtener los alimentos suficientes que satisfagan sus necesidades nutricionales y, en última instancia, cuánta energía está disponible en el ecosistema para su mantenimiento básico y reproductivo (Brown y Downs, 2003; Downs, 2008; Levey y Karasov, 1992 ; Worthy y Worthy, 2014).

Varias técnicas para conocer mejor algunos parámetros de la fisiología alimentaria han sido desarrolladas con manatíes en cautividad, usando pruebas de digestión tradicionales, que involucran la medición de la ingesta y recolección total de heces (López *et al.*, 2000), así como el uso de indicadores internos (Clauss *et al.*, 2003;

Fadely, Worthy y Costa, 1990). La eficiencia digestiva del manatí amazónico se ha reportado entre el 44 y el 68% para una dieta estrictamente dulceacuícola (Best, 1981). En el caso del manatí de la Florida, la digestibilidad varía de 68 a 91% para alimentos como lechuga, jacinto de agua, y plantas del medio silvestre (Burn, 1986; Harshaw, 2012; Lomolino y Ewel, 1984), mientras que para el manatí antillano oscila entre 93.4 y 94.6% en materia seca (Jiménez-Domínguez, 2006). En 2014, Worthy y Worthy evaluaron la eficiencia digestiva utilizando manganeso (Mn^{2+}) como marcador natural poco asimilable en manatíes de la Florida, encontrando que las mayores eficiencias se presentan en manatíes que consumen plantas dulceacuícolas y lechuga, sugiriendo que los individuos que comen pastos marinos requieren una mayor biomasa para satisfacer sus necesidades nutricionales. La eficiencia digestiva calculada para otros herbívoros monogásticos con dietas en cautiverio ha presentado valores entre el 25 y el 96.6% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Eficiencias digestivas (materia seca) para herbívoros monogásticos con dietas en cautiverio

Tipo de fermentador	Especie		Eficiencia Digestiva (%)	Autor
	Nombre vernáculo	Nombre científico		
Fermentación posterior cecal (caecum)	Koala	<i>Phascolarctos cinereus</i>	54-70	Ullrey, Robinson y Whetter (1981)
	Hipopótamo común	<i>Hippopotamus amphibius</i>	43-64	Clauss <i>et al.</i> (2004)
Fermentación anterior (foregut)	Hipopótamo pigmeo	<i>Hexaprotodon liberiensis</i>	33-77	Clauss <i>et al.</i> (2004)
	Perezoso	<i>Choloepus didactylus</i>	93.4-96.6	Vendl <i>et al.</i> (2016)
Fermentación posterior o colonica o intestino grueso (hindgut)	Caballo	<i>Equus caballus</i>	40-60	Miraglia <i>et al.</i> (1999); Bergero <i>et al.</i> (2004)
	Pony	<i>Equus caballus</i>	34-58	Pearson, Archibald y Muirhead (2001); Müller <i>et al.</i> (2013)
	Burro		43-63	Pearson, Archibald y Muirhead (2001)
	Gorila	<i>Gorilla gorilla</i>	77.3-86.5	Remis y Dierenfeld (2004)
	Macaco japones	<i>Macaca fuscata</i>	53.9 - 85.1	Sawada, Sakaguchi y Hanya (2011)
	Orangutan	<i>Pongo abelii</i>	68-81	Schmidt <i>et al.</i> (2005)
	Danta	<i>Tapirus terrestris</i>	41-92	Clauss <i>et al.</i> (2009)
	Tapir malayo	<i>Tapirus indicus</i>	46-73	Clauss <i>et al.</i> (2009)
	Elefante africano	<i>Loxodonta africana</i>	35 – 38	Pendlebury <i>et al.</i> (2005)
	Elefante asiático	<i>Elephas maximus</i>	25 – 59.6	Clauss <i>et al.</i> (2003); Romain <i>et al.</i> (2014)
	Rinoceronte negro	<i>Diceros bicornis</i>	27-72	Clauss <i>et al.</i> (2006)
	Uombat Común	<i>Vombatus ursinus</i>	43.1-60	Barboza (1993)
	Uombat	<i>Lasiorhinus latifron</i>	41.3-57	Barboza (1993)
	Dugón	<i>Dugong dugon</i>	71-95	Aketa (2003)
	Dugón	<i>Dugong dugon</i>	>90	Goto <i>et al.</i> (2004)
	Manatí amazónico	<i>Trichechus inunguis</i>	44-68	Best (1981)
Manatí de la Florida	<i>Trichechus manatus latirostris</i>	83	Lomolino y Ewel (1984)	

Manatí de la Florida	<i>Trichechus manatus latirostris</i>	91	Lomolino y Ewel (1984)
Manatí de la Florida	<i>Trichechus manatus latirostris</i>	68-82	Harshaw (2012)
Manatí de la Florida	<i>Trichechus manatus latirostris</i>	73.6-90.6	Worthy y Worthy (2014)
Manatí antillano	<i>Trichechus manatus manatus</i>	93.5-94.6	Jiménez-Domínguez (2006)

Dentro de los factores que afectan la eficiencia digestiva se encuentran, por un lado, algunos propios de los alimentos pues la composición nutricional varía según factores intrínsecos de la especie vegetal, especialmente en lo relativo a contenidos de fibra. Por otro lado, se encuentran los factores relacionados con las especies consumidoras, como el tiempo de retención del alimento, el tamaño de las piezas consumidas (relacionado con la masticación), la capacidad del tracto digestivo, la capacidad de consumo de alimentos, las características morfológicas que separan y/o retardan el flujo de la digesta, la actividad enzimática hidrolítica, y la capacidad de absorción (Clauss y Hummel, 2005; Hume, 2005; Karasov, Martínez del Río y Caviedes-Vidal, 2011).

Se ha determinado la composición nutricional de 35 especies vegetales en estudios específicos de ecología alimenticia de manatíes antillanos en zonas costeras de Brasil y Estados Unidos, encontrando porcentajes de materia seca de: humedad 54.6-93.7%, proteína 2.7-29.6%, extracto etéreo 0.4-2.6%, cenizas totales 7.5-65.4% (Barros, 2017; Rodrigues, 2018; Siegal-Willott *et al.*, 2010). Estos valores presentan diferencias con lo reportado en la dieta de los manatíes en centros de cautiverio en Florida (proteína cruda 15.8-18.1%, grasa cruda 6.3-8.7%, cenizas totales 8.2-9.0% y 48.5-52.0% de carbohidratos no estructurales) (Harshaw, 2012).

Muy pocos estudios han prestado importancia a la presencia de semillas en las heces en sirenios. Estudios realizados a contenidos estomacales y heces de manatí

amazónico han revelado la presencia de estas estructuras reproductivas, mencionando además que el 75% se encontraban rotas, pero sin evaluar la viabilidad de las que se encontraban completas (Colares y Colares, 2002; Guterres-Pazin, Rosas y Marmontel, 2012). Cabe destacar, que estudios realizados con dugones verificaron la ingesta de semillas, las cuales pueden ser transportadas a grandes distancias para posteriormente ser devueltas al ecosistema en condiciones adecuadas para germinar (Tol *et al.*, 2017). Es importante revisar si realmente los grandes herbívoros, como los manatíes, consumen semillas que vienen mezcladas con el follaje de las plantas (Janzen, 1984), más allá de un consumo de frutos como en el caso de los megaherbívoros terrestres, siendo interesante evaluar si se presenta una relación antagonista (consumo de semillas) o mutualista (dispersión).

Una de las subpoblaciones más importantes de los manatíes en el Caribe es la que se encuentra en México y Belice (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2012c). Ésta presenta una alta conectividad demostrada mediante estudios de patrones de movimiento (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2013; Castelblanco Martínez *et al.*, 2013; Morales-Vela *et al.*, 2000) y genéticos (Hunter *et al.*, 2010; Nourisson *et al.*, 2011; Vianna *et al.*, 2006), habitando en una heterogeneidad de ecosistemas acuáticos donde encuentran áreas con abundante vegetación para su alimentación, fuentes de agua dulce y zonas someras para su descanso. Si bien no se cuenta con la estimación reciente del tamaño poblacional, se calcula que en la Bahía de Chetumal habitan entre 51 y 130 manatíes (Morales-Vela y Olivera-Gómez, 1994; Quintana *et*

al., 2015), en río Hondo se ha estimado la presencia de 51 individuos (Corona-Figueroa, 2019) y para las costas de Belice se han estimado entre 700 y 1000 individuos (Barrera, 2018; Castelblanco-Martínez *et al.*, 2012a; LaCommare, 2011).

Con esta información, se plantearon las siguientes hipótesis para la presente investigación:

- 1) Los alimentos que el manatí antillano consume en vida libre, presentan mayor fibra en zonas dulceacuícolas y mayor proteína en zonas marinas. Los manatíes silvestres complementan su dieta con diversas especies que le permiten obtener la cantidad de nutrientes óptima para su mantenimiento en los diferentes ecosistemas que habita en el Caribe mexicano;
- 2) La eficiencia digestiva de individuos en cautiverio se encuentra entre el 80 y 90%, donde los individuos con una dieta suplementada (vegetales y galletas de mono) presentan mayor eficiencia digestiva que sus pares alimentados únicamente con vegetales;
- 3) Las heces de manatíes antillanos del Caribe mexicano en vida libre presentan semillas, siendo la mayoría viables para germinar, convirtiendo al manatí en potencial dispersor de la vegetación asociada a ecosistemas acuáticos.

IV.OBJETIVOS

IV. I. Objetivo General

Describir aspectos de la ecología y fisiología alimentaria del manatí antillano *Trichechus manatus manatus* en el Caribe mexicano

IV. II. Objetivos Específicos

- ✓ Determinar la eficiencia digestiva del manatí antillano *Trichechus manatus manatus* en cautiverio
- ✓ Identificar la composición bromatológica de los componentes alimentarios del manatí antillano en el Caribe mexicano en vida libre
- ✓ Estimar la proporción y diversidad de semillas presentes en heces de manatí antillano en vida libre

V. ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio se desarrolló en el Caribe mexicano y beliceño con manatíes en vida libre y también con individuos en cautiverio (Figura 1). La zona costera del estado de Quintana Roo al suroeste de México y del distrito de Corozal al noreste de Belice, corresponde a costas de mares marginales, de erosión terrestre, calcárea, deposición marina, playas de barrera y arrecifes coralinos (De la Lanza, 2004). El clima es cálido subhúmedo, con algunos episodios de tormentas tropicales y huracanes presentándose tres temporadas climáticas al año: el periodo de menor precipitación o “secas” que se presenta entre febrero y mayo, “lluvias” o época de mayor precipitación entre junio y octubre, y finalmente la época de menor temperatura o “nortes” entre noviembre y enero (De La Lanza, Pérez y Pérez., 2013).

En esta área, al norte del estado de Quintana Roo, encuentran dos empresas privadas, Dolphin Discovery y Experiencias Xcaret, que resguardan, al tiempo de escritura de este documento, 17 manatíes en cautiverio, distribuidos en seis centros (Ortega-Argueta y Castelblanco-Martínez, 2018), las cuales cumplen con los estándares técnicos requeridos, cuentan con personal capacitado y siguen la normatividad ambiental, apoyando actividades de investigación de la especie (Ochoa, 2012). Los lugares de cautividad donde se llevó a cabo la presente investigación serán denominados instalaciones A y B.

Para el desarrollo de las actividades en vida libre, se seleccionaron tres zonas con diferencias ecológicas marcadas de importancia en la distribución del manatí antillano como lo son la zona marina, estuarina y dulceacuícola.

Zona marina: el área costera de Mahahual y Xcalak está ubicada en la provincia geográfica de la costa baja de Quintana Roo, al sur del Estado. Las primeras poblaciones fueron confirmadas por comunidades de pescadores en sus playas, y en la actualidad se ha impulsado el desarrollo turístico gracias a la presencia de una gran diversidad de ecosistemas en sus cálidas aguas (Castillo *et al.*, 2014). Las playas arenosas son de pendientes variables, y tanto en ellas como en la laguna arrecifal se presentan praderas de pastos marinos como *Halodule wrightii*, *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme* (Rodríguez, 2011).

Zona estuarina: La Bahía de Chetumal es un área costera binacional de baja productividad que abarca aproximadamente 2450 km², una profundidad somera entre 1 y 7 m con una media de 3 m, y presenta zonas de mayor profundidad denominadas “pozas”; tiene varios afluentes de agua dulce incluyendo el Río Hondo, el Río Nuevo y la Laguna Guerrero (Carrillo *et al.*, 2009; Morales-Vela *et al.*, 2000). La temperatura media de la zona está sobre los 26.5°C, una humedad relativa de 78% y una precipitación promedio de 1244.7 mm (Carrillo *et al.*, 2009). Esta área se encuentra protegida por los dos países, dentro de la Reserva Estatal “Santuario del Manatí de México” decretada en 1996, la cual cuenta con 277734 Ha

(INEGI, 2017) y como el “Santuario de Vida Silvestre Bahía de Corozal” (National Park System, 1998). En su costa este se localiza la ciudad de Chetumal, capital del estado de Quintana Roo, con una población de 151243 habitantes para 2010 (INEGI, 2010). Al noreste de la Bahía se encuentra el Complejo Lagunar Bacalar, el cual comprende un sistema de canales de 15 km² donde se destaca la Laguna Guerrero (Camarena y Salazar, 1991).

Por otro lado, siguiendo la línea costera hacia el sur en territorio de Belice se encuentra el Rio Belice, mayor proveedor de agua dulce para el país con 6543 km² de drenaje, desembocando en la Ciudad de Belice. Es el río con mayor tasa de deforestación del país entre 2010-2012. Su desembocadura representa un área estuarina fundamental para la zona costera, pues es la transición ente el Rio Belice y los ecosistemas marinos de arrecifes de coral, praderas de pastos marinos, bosques de manglar y cayos que conforman una red de áreas declaradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO (Coastal Zone Management Authority & Institute, 2014).

Zona dulceacuícola: Esta zona está representada por el Río Hondo, el cual es un cuerpo de agua transfronterizo con nacimiento en Guatemala (conocido allí como río Azul) y con una longitud aproximada de 160 km. Su ancho varía entre los 30-50 m en sus últimos 50 km, y su profundidad entre 7 y 10 m, desembocando en la Bahía de Chetumal. Por sus características de relieve y alta permeabilidad de los suelos, se le considera una falla geológica. Sus aguas son de gran transparencia la

cual se pierde en época de lluvias tornándose café rojizas, gracias a los aportes de taninos de la vegetación de sus orillas, dominada por manglar rojo y blanco con algunas regiones de pastizales y tazistales (Flores, 2012).

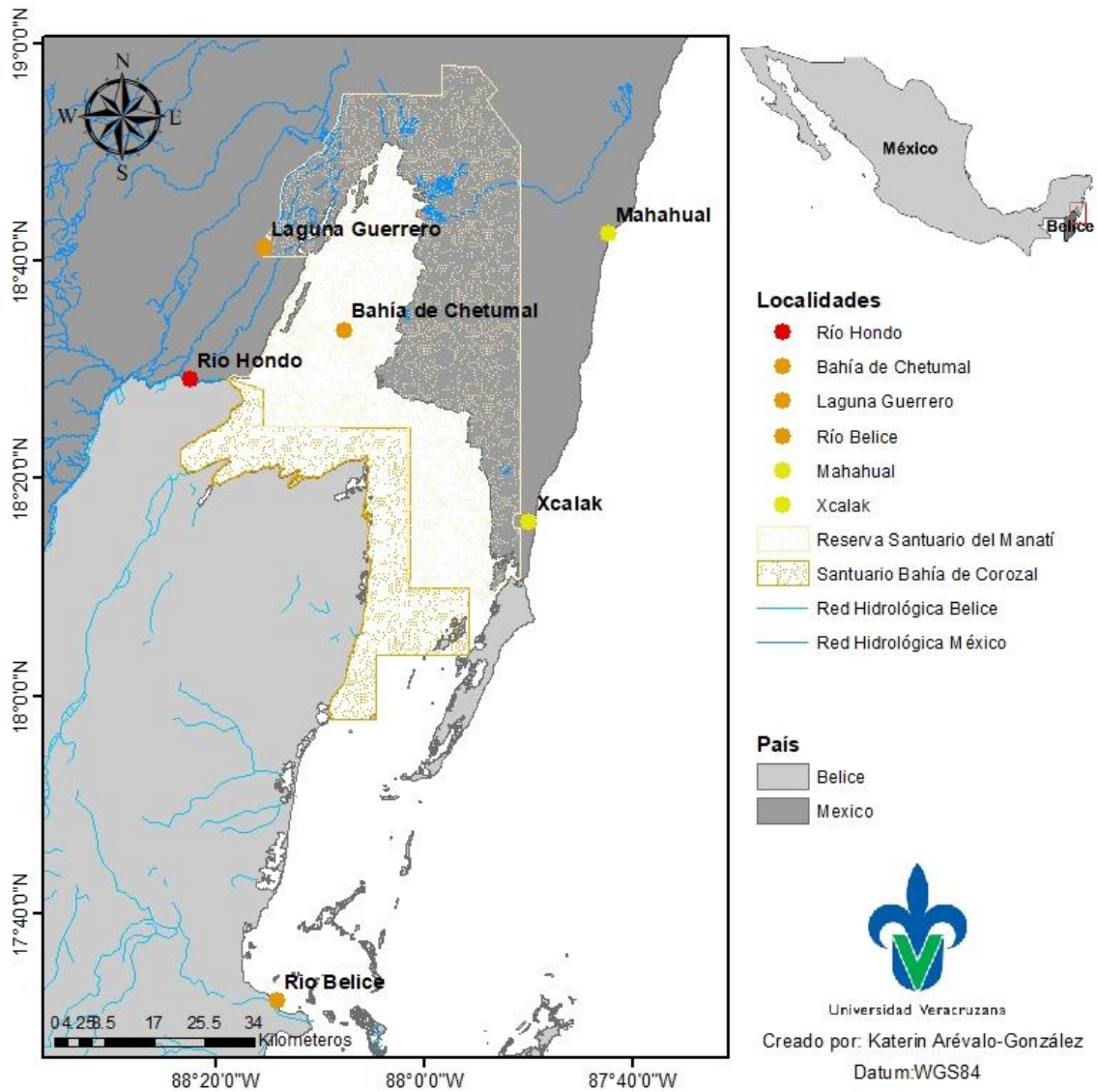


Figura 1. Localización del área de estudio en el estado de Quintana Roo, México.

Amarillo: área marina; naranja: área estuarina; rojo: área dulceacuícola.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

VI. I. Fase de campo

VI.II. I. *Cautiverio*

Se colectaron muestras de la dieta y las heces de manatíes bajo cuidado humano en las instalaciones A y B (Cuadro 2). Se seleccionaron aquellos individuos de ambos sexos que presentaron un historial de salud óptima, que no presentaron ninguna patología al momento de la toma de muestras y cuya dieta no hubiera sido modificada en los dos últimos meses.

Cuadro 2. Manatíes antillanos en cautividad en el Caribe mexicano usados para este estudio.

Centro de cautividad	Individuo	Sexo	Clase etárea	Orgien
Instalación A	DHA1	Hembra	Adulto	Vida libre
	DHA2	Hembra	Adulto	Vida libre
	DMA1	Macho	Adulto	Vida libre
	DMA2	Macho	Adulto	Cautiverio
	DHJ1	Hembra	Juvenil	Cautiverio
	DHJ2	Hembra	Juvenil	Cautiverio
	DMJ1	Macho	Juvenil	Cautiverio
Instalación B	XHA1	Hembra	Adulto	Vida libre
	XHA2	Hembra	Adulto	Vida libre
	XHA3	Hembra	Adulto	Vida libre
	XMA1	Macho	Adulto	Vida libre
	XMA2	Macho	Adulto	Cautiverio
	XMA3	Macho	Adulto	Vida libre

Durante cinco días en el mes de junio de 2018 se recolectaron muestras de heces de cada manatí con una red fina aprovechando la flotabilidad de las mismas (Figura 2). Adicionalmente fueron colectadas réplicas de la dieta ofrecida, registrando el peso exacto suministrado a cada individuo.



Fotos: Felipe Ardila/Xenia Juárez.

Figura 2. Recolección de heces en centros de cautiverio.

VI.II. II. *Vida libre*

Determinación de la composición de la dieta: Para determinar las especies vegetales de potencial consumo de manatíes en cada zona del área de estudio, fue realizada una revisión de literatura sobre dieta de *T.m.manatus* en el Caribe mexicano y beliceño incluyendo estudios a partir de microhistología (Allen *et al.*, 2018; Castelblanco-Martínez *et al.*, 2009; Flores-Cascante *et al.*, 2013; Olivera-Gómez y Mellink, 2013) e información indirecta recabada mediante entrevistas (Corona-Figueroa, 2019). Finalmente, teniendo en cuenta que la especie es generalista-oportunista (Allen *et al.*, 2018; Borges *et al.*, 2008b; Castelblanco-

Martínez *et al.*, 2009; Flores-Cascante *et al.*, 2013; Navarro, Álvarez y Castelblanco-Martínez, 2014; Ponce-García, Olivera-Gómez y Solano, 2017; Reep y Bonde, 2006), se incluyeron especies más abundantes en las zonas de estudio basados en publicaciones sobre flora (Blanco y Cho-Rickets, 2015; Espinoza-Ávalos *et al.*, 2009; Gischler, 2003; McKee y Faulkner, 2000; Rejmankova *et al.*, 1995; Rützler *et al.*, 2004). Adicionalmente se incluyeron especies encontradas mediante revisión macrohistológica realizada a las heces colectadas en este estudio.

Colecta de vegetación: La recolección de muestras vegetales se llevó a cabo manualmente durante los recorridos por los cuerpos de agua (Figura 3), procurando obtener tres submuestras por cada especie observada. El material obtenido fue etiquetado y transportado en bolsas de sello hermético, posteriormente fueron secadas en horno a 60° por 24 h.



Fotos: Natalia Garces-Cuartas.

Figura 3. Colecta manual de heces de manatí y vegetación en Rio Hondo, Quintana Roo.

Colecta de heces: La búsqueda de heces se realizó mediante transectos en bote con motor fuera de borda a velocidad promedio de 7 km/h o por medio de nado libre cercano a la costa. Una vez detectado un fragmento, se colectó con la ayuda de una red fina y se georreferenció. Cada muestra se depositó en un frasco plástico seco, el cual se etiquetó. Las heces (Figura 4) fueron identificadas como provenientes de manatí de acuerdo a las siguientes características: poseen forma cilíndrica, sus extremos tienden a ser redondos o en algunos casos uno de ellos puntiagudo. Sus medidas son variables, sin embargo, el diámetro oscila entre 2 y 5 cm, y largo entre 2.5 y 19 cm. Los fragmentos son compactos, pero según sea su contenido pueden ser de textura suave (barrosas) o duras con fibras vegetales grandes, variando también su coloración entre verde oscuro y café. Se pueden encontrar en fragmentos únicos o varias unidades en un mismo lugar flotando en la superficie del agua o sumergidas reposando en el sustrato. En el caso de ecosistemas costeros, pueden presentar fragmentos de bivalvos y esponjas marinas.



Heces de manatíes con dieta marina/estuarina



Heces de manatíes con dieta dulceacuícola

Fotos: Katerin Arévalo-González.

Figura 4. Fotografías ejemplo de heces de manatíes antillanos *Trichechus manatus manatus*.

Adicionalmente se contó con muestras de contenido estomacal, intestinal, del ciego y recto colectadas durante necropsias de manatíes por la Red de Varamientos de Bahía de Chetumal y Rio Hondo (operativa hasta 2014) y la Red de Atención a Varamientos de Mamíferos Marinos de Quintana Roo entre 2015 y 2019.

VI. II. Pruebas de laboratorio

VI.II. I. *Eficiencia digestiva en cautiverio*

La eficiencia digestiva (E_d) fue calculada con base al aumento de la concentración de un marcador natural poco asimilable como el manganeso (Mn^{2+}) en las heces, comparado con el de los alimentos que componen su dieta (Ecuación 1)

(Fadely, Worthy y Costa, 1990; Kleiber, 1975; Rosen y Trites, 2000; Worthy y Worthy, 2014).

$$Ed = \left(1 - \frac{Ci}{Ch}\right) \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: C es la concentración (expresada sobre la materia seca) de manganeso en la ingesta (*i*) o en las heces (*h*).

Como preparación para la medición de la concentración de manganeso, se llevó a cabo una digestión ácida (Environmental Protection Agency, 2007) para cada muestra, utilizando un sistema de microondas CEM MARSX (Anexo 1). El manganeso se midió por medio de espectrofotometría de absorción atómica de llama (FLAA) usando el espectrofotómetro Thermo Scientific iCE 3000 series, en el Laboratorio de Ecología y Ordenamiento Territorial de la Universidad de Quintana Roo. Se utilizaron concentraciones de 1,2,3,4 y 5 mg/L para la curva de calibración junto con un blanco, repitiendo la generación de esta curva cada lectura de 10 muestras. Cada concentración se determinó por triplicado, y se expresó en mg/L.

VI.II. II. Bromatología de la dieta en vida libre

En el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Veracruzana se llevó a cabo la medición de proteína cruda, fibra cruda, ceniza y extracto etéreo (Díaz, 2017) (Anexo 2 al Anexo 8) siguiendo las instrucciones de calidad de la AOAC 2016

(Latimer Jr., 2016). Los resultados fueron calculados por ingrediente en base seca al 100% permitiendo posteriormente determinar el total de nutrientes digestibles (porción que será degradada y absorbida por el organismo) y la energía digestible (Díaz, 2017).

VI.II. III. Presencia de semillas en heces y contenidos digestivos

Se realizó una revisión microhistológica a 4x y 10x de las heces de manatíes colectados en vida libre y los contenidos digestivos de manatíes muertos disponibles para este estudio, a partir de la cual fueron seleccionadas y separadas las estructuras reproductivas vegetales encontradas en las muestras. Se tomaron en cuenta la ausencia o presencia de cáscara (ectodermo), y estados iniciales de germinación pues esto indicaría el buen estado de las semillas y/o su viabilidad (Tol *et al.*, 2017). Para determinar la viabilidad de las semillas, éstas fueron expuestas a solución de Tetrazolidina (0.5% y 1.0%) por 12, 24 y 48 hrs, esperando encontrar la tinción rosa del cotiledón indicadora de la vitalidad de las células (Conacher *et al.*, 1994; Hosomi *et al.*, 2017; Tol *et al.*, 2017). Adicionalmente fueron anotadas, examinadas, descritas y cuantificadas todas aquellas estructuras diferentes a tejidos vegetales, tanto orgánicas como inorgánicas. Tanto semillas como otras estructuras fueron medidas por medio del software ImageJ V1.52n (Schneider, Rasband y Eliceiri, 2012).

VI. III. Análisis de datos

Los resultados son reportados como promedios o medias con su respectiva desviación estándar. Los resultados de composición bromatológica de las especies de flora que componen la dieta de manatíes en vida libre, así como la eficiencia digestiva en cautiverio fueron agrupados por centro de cautividad, por clases etáreas y por sexo. Los supuestos de las pruebas paramétricas fueron verificados por medio de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de la varianza con la prueba de Levene (Zar, 2010). Para el análisis de comparaciones entre dos grupos se utilizaron pruebas t cuando los datos cumplían los supuestos paramétricos y Mann-Whitney en caso contrario, mientras que diferencias entre tres o más grupos se determinaron con la prueba ANOVA y posteriormente con las comparaciones múltiples de Tukey, en caso de no cumplirse los supuestos de las pruebas paramétricas se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis con comparaciones múltiples de Mann-Whitney con corrección de Bonferroni. Dado el menor poder de la prueba de Kruskal-Wallis en comparación a la prueba paramétrica (Zar, 2010), en caso de no encontrar diferencias significativas contundentes en las comparaciones múltiples, se procedió a la transformación por rangos de los datos (Brownie y Boos, 1994).

VII. RESULTADOS

VII. I. Etapa de campo

VII. I. I. *Cautiverio*

Se colectó un total de 58 muestras de heces provenientes de 13 individuos en los dos instalaciones de cautividad (hembras n=32, machos n=26) (Cuadro 3), cada uno con un peso superior a 50 gr.

Cuadro 3. Muestras de heces recolectadas en centros de cautividad de manatíes en Quintana Roo.

Locación	Clase etárea	Sexo			
		Hembras		Machos	
		Número de individuos	Número de muestras	Número de individuos	Número de muestras
Instalación A	Juvenil	2	6	1	2
	Adulto	2	12	2	6
Instalación B	Adulto	3	14	3	18

Conjuntamente, fueron recolectadas muestras en triplicado de la dieta de los manatíes en cada centro de cautividad, con un total de 18 vegetales y un suplemento dietario (Figura 5 y Anexo 10). La lechuga romana es el único componente que se utiliza en los dos centros de cautividad, siendo de gran importancia porcentual para todos los individuos.

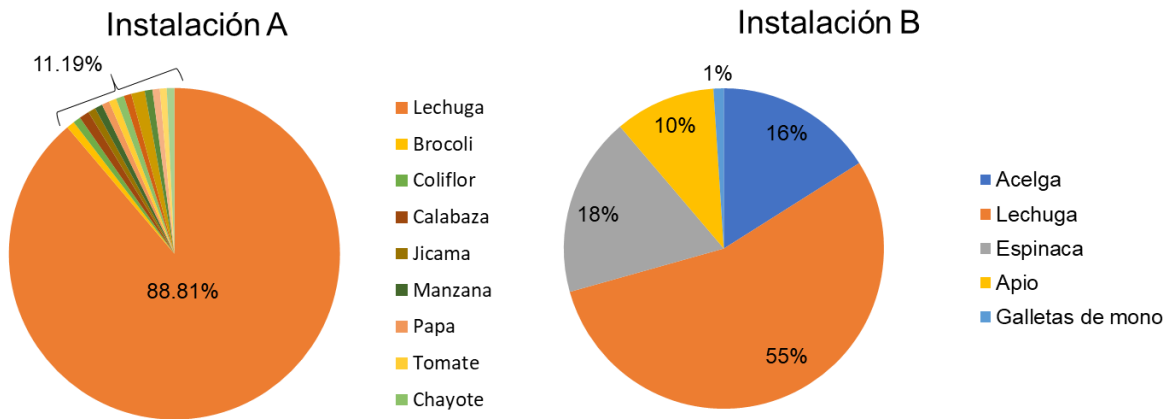


Figura 5. Proporción en peso húmedo de los componentes estimados según el total de la dieta ofrecida a manatíes en cautiverio en Quintana Roo, México.

VII. I. II. Vida libre

Entre noviembre de 2017 y enero de 2019 se realizaron 43 salidas de campo a las tres zonas establecidas al sur de México y norte de Belice, con un esfuerzo total de muestreo de 137.2 hrs en 773.7 km (Cuadro 4). Se colectó un total de 60 muestras de vegetación pertenecientes a 12 especies (Cuadro 5) cada una con 2 a 12 réplicas y 30 heces de manatíes en vida libre (Figura 6, Anexo 9). Las muestras colectadas en la boca del Rio Belice se consideraron como provenientes de animales que se alimentan en aguas salobres, dado a la presencia de fragmentos de elementos marinos como poríferos y moluscos.

Cuadro 4. Esfuerzo de muestreo y material colectado en tres diferentes zonas del manatí antillano en el Caribe mexicano.

Zona	Lugar	Salidas de Campo	Esfuerzo de muestreo		Colecta de vegetación		# muestras fecales
			Km	Hr	# de especies	# de muestras	
Marina	Mahahual	2	0.12	3.4	3	9	0
	Xcalak	1	0.09	0.67	1	4	0
Estuarina	Bahía de Chetumal	7	269.1	42.2	4	10	3
	Laguna Guerrero	3	0.1	0.83	3	8	3
	Rio Belice	3	3.2	6.8	0	0	14
Dulceacuícola	Rio Hondo	27	501	83.3	9	37	10
TOTAL		43	773.7	137.2	12	60	30

Cuadro 5. Especies vegetales colectadas en tres diferentes zonas del manatí antillano en el Caribe mexicano.

Hábito	Especie	Nombre vernáculo
Sumergida	<i>Cabomba palaeformis</i>	
	<i>Batophora</i> sp.	batófora
	<i>Halodule wrightii</i>	pasto marino
	<i>Syringodium filiforme</i>	pasto manatí
	<i>Thalassia testudinum</i>	pasto tortuga
	<i>Vallisneria</i> sp.	
Flotante	<i>Eichhornia crassipes</i>	lirio acuático
Emergente	<i>Nymphaea ampla</i>	flor de agua
Terrestre	<i>Conocarpus erectus</i>	mangle botoncillo
	<i>Chrysobalanus icaco</i>	icaco
	<i>Rizophora mangle</i>	mangle rojo
	<i>Cladium jamaicense</i>	cortadera

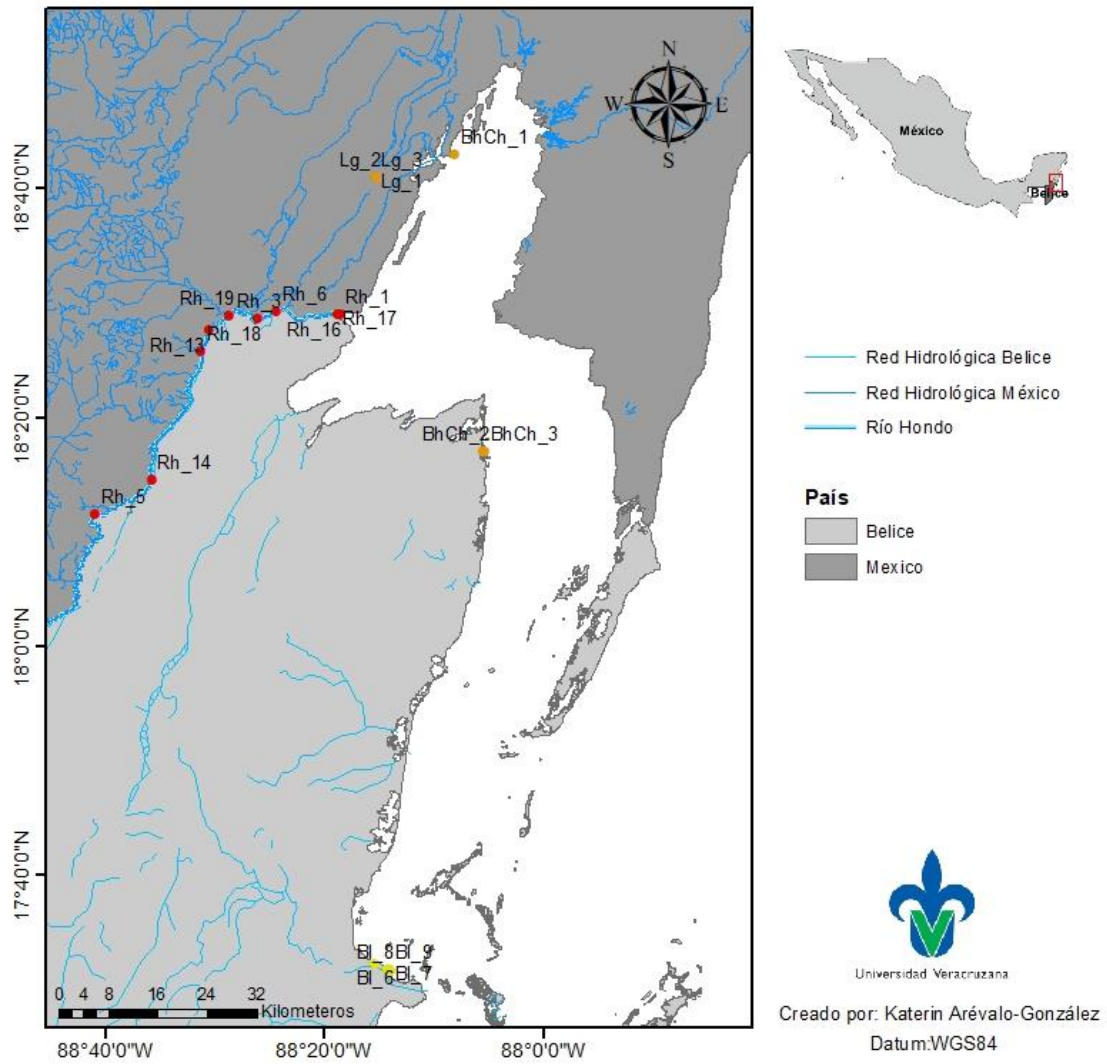
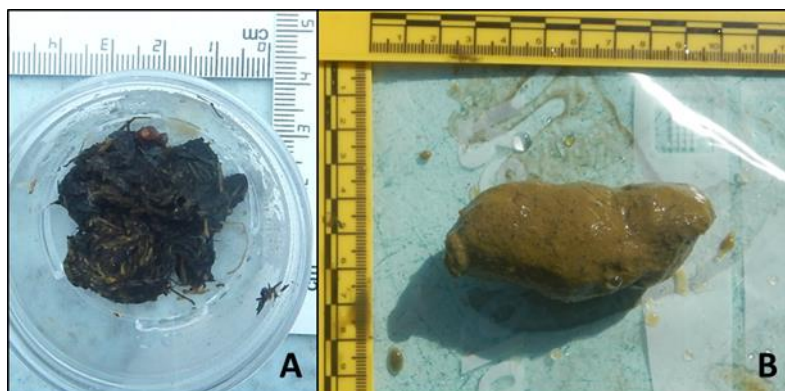


Figura 6. Muestras de heces de manatí colectadas entre noviembre de 2017 y enero 2019.



Fotos: Katerin Arévalo-González.

Figura 7. Heces de manatíes colectadas en vida libre. A. Río Hondo. B. Desembocadura del Rio Belice, Belice.

Adicionalmente a estas muestras, se contó con 13 muestras de la Colección de Vertebrados de la Universidad de Quintana Roo, provenientes de 6 manatíes y que corresponden a varamientos ocurridos entre 2012 y 2019 en la Bahía de Chetumal (Cuadro 6).

Cuadro 6. Muestras disponibles provenientes de varamientos para determinación de eficiencia digestiva.

Tipo de muestra	Clave	Sexo	Clase etaria	Fecha de colecta
Cont. Estomacal	Tm/18072012	Macho	Juvenil	18/07/2012
Cont. Intestinal				
Cont. Recto	Tm/17122012	Macho	Adulto	17/12/2012
Cont. Ciego	Tm/25022013	-	-	25/02/13
Cont. Estomacal				
Cont. Recto				

Cont. Ciego	Tm/03032015	Hembra	Adulto	3/03/2015
Cont. Intestinal				
Cont. Estomacal	Tm/14042018	Hembra	Cría	14/04/2018
Cont. Ciego				
Cont. Intestinal				
Cont. Intestinal	Tm/14022019	Hembra	Adulto	14/02/2018
Cont. Estomacal				

VII. II. Pruebas de laboratorio

VII. II. I. *Eficiencia digestiva en cautiverio*

Concentración de manganeso

Dieta

Fueron determinadas las concentraciones de manganeso [Mn^{+2}] en los 19 componentes de la dieta de manatíes en cautiverio (n=60), con valores entre 11.76 y 231.9 (mg/L) (Cuadro 7). El pepino difiere significativamente de la acelga, coliflor, jícama, lechuga, manzana, papa, pera y plátano (Tukey, $p < 0.047$), la zanahoria del pepino (Tukey, $p = 0.026$) y la pera de la calabaza (Tukey, $p = 0.038$).

Cuadro 7. Concentraciones de manganeso [Mn^{+2}] (mg/L) en cada elemento alimenticio de los manatíes en centros de cautividad de Quintana Roo.

Alimento	Nombre científico	[Mn ⁺²] (mg/L)	
		media	DE
Acelga	<i>Beta vulgaris subsp. vulgaris</i>	21.96	5.8
Apio	<i>Apium graveolens</i>	43.47	19
Betabel	<i>Beta vulgaris</i>	38.03	12
Brócoli	<i>Brassica oleracea var. italica</i>	77.31	15
Calabaza	<i>Cucurbita sp.</i>	213.4	160
Chayote	<i>Sechium edule</i>	95.42	50
Coliflor	<i>Brassica oleracea var. botrytis</i>	30.16	21
Espinaca	<i>Spinacia oleracea</i>	54.86	22
Jícama	<i>Pachyrhizus erosus</i>	23.49	12
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>	44.53	19
Manzana	<i>Pyrus malus</i>	34.82	28
Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	25.82	31
Papaya	<i>Carica papaya</i>	48.36	62
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>	231.9	207
Pera	<i>Pyrus sp.</i>	11.76	6.6
Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>	31.6	15
Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	123.1	68
Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	22.68	13
Croqueta de mono	-	144.5	10

Se realizó la determinación de la concentración de manganeso para la dieta de cada individuo (Cuadro 8), encontrándose diferencias significativas en las dietas ofrecidas en cada centro (Prueba T, $p < 0.001$) (Figura 8).

Cuadro 8. Concentraciones de manganeso [Mn⁺²] (mg/L) en la dieta ofrecida a los manatíes para cada individuo en centros de cautividad de Quintana Roo.

Centro de cautividad	Individuo	[Mn ⁺²] Dieta (mg/L)
Instalación A	DHA1	46.08
	DHA2	46.49
	DMA1	48.39
	DMA2	47.27
	DHJ1	49.70
	DHJ2	47.29

	DMJ1	47.40
Instalación B	XMA1	42.94
	XMA2	42.94
	XMA3	42.49
	XHA1	42.89
	XHA2	45.78
	XHA3	43.02

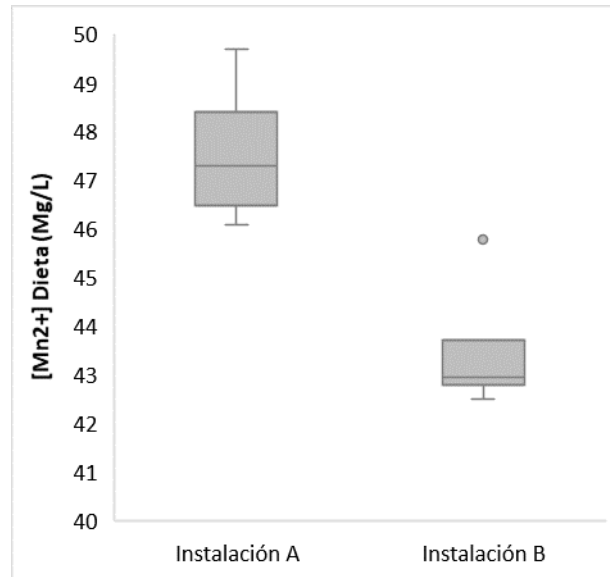


Figura 8. Concentraciones de manganeso en dietas de manatíes en dos centros de cautiverio en el Caribe mexicano.

Heces

Se determinó la concentración de manganeso [Mn^{2+}] en heces de individuos evaluados en cautiverio (Cuadro 9), con valores entre 118.13 y 521.54 mg/L. No se presentaron diferencias significativas entre clases etáreas ($t=1.91$, $p=0.08$), ni para sexos (Mann-Whitney, $p=0.62$), pero sí entre las instalaciones de cautiverio ($t=4.05$, $p=0.002$).

Cuadro 9. Concentración de manganeso [Mn²⁺] en heces de manatíes en cautiverio.

Centro de cautividad	Individuo	Sexo	Clase etárea	Número de muestras	[Mn ²⁺] (mg/L)	
					X	DE
Instalación A	DHA1	Hembra	Adulto	5	187.64	37.93
	DHA2	Hembra	Adulto	7	217.44	104.03
	DMA1	Macho	Adulto	3	174.18	40.88
	DMA2	Macho	Adulto	3	261.43	38.07
	DHJ1	Hembra	Juvenil	3	204.31	99.52
	DHJ2	Hembra	Juvenil	3	185.61	61.64
	DMJ1	Macho	Juvenil	2	118.13	55.17
Instalación B	XHA1	Hembra	Adulto	4	279.03	93.70
	XHA2	Hembra	Adulto	6	434.06	163.15
	XHA3	Hembra	Adulto	5	521.54	292.05
	XMA1	Macho	Adulto	5	431.82	192.08
	XMA2	Macho	Adulto	5	389.38	72.58
	XMA3	Macho	Adulto	7	214.69	166.88

Eficiencia digestiva

La determinación de la eficiencia digestiva se realizó con los valores de dietas (Cuadro 8) junto con la concentración de manganeso en heces de estos 13 individuos (n= 58) (Cuadro 9), con una ED=77.38% ± 9.95 (Cuadro 10). No fueron encontradas diferencias significativas según el sexo (t=0.40, p=0.69), sin embargo, sí se detectaron diferencias significativas según la clase etárea (t=2.51, p=0.029) ya que los adultos presentaron una ED=80.54%± 7.78 y los juveniles de ED=66.85% ± 10.33. Igualmente se observaron diferencias significativas (Mann-Whitney, p=0.012)

entre los individuos de la Instalación A (ED=71.07% ± 7.88) y la Instalación B (ED=84.73% ± 6.53) (Figura 9).

Cuadro 10. Eficiencia digestiva de manatíes cautivos con dieta conocida en Quintana Roo.

Centro de cautividad	Individuo	Sexo	Clase etárea	n	[Mn+2] (mg/L)	
					X	DE
Instalación A	DHA1	Hembra	Adulto	5	74.64	4.96
	DHA2	Hembra	Adulto	7	70.35	38.21
	DMA1	Macho	Adulto	3	71.27	6.05
	DMA2	Macho	Adulto	3	80.69	3.04
	DHJ1	Hembra	Juvenil	3	73.59	10.06
	DHJ2	Hembra	Juvenil	3	72.00	11.45
	DMJ1	Macho	Juvenil	2	54.96	21.03
Instalación B	XHA1	Hembra	Adulto	5	82.27	5.40
	XHA2	Hembra	Adulto	5	88.99	3.62
	XHA3	Hembra	Adulto	4	87.30	11.42
	XMA1	Macho	Adulto	6	88.74	3.80
	XMA2	Macho	Adulto	5	88.67	2.07
	XMA3	Macho	Adulto	7	72.45	12.61

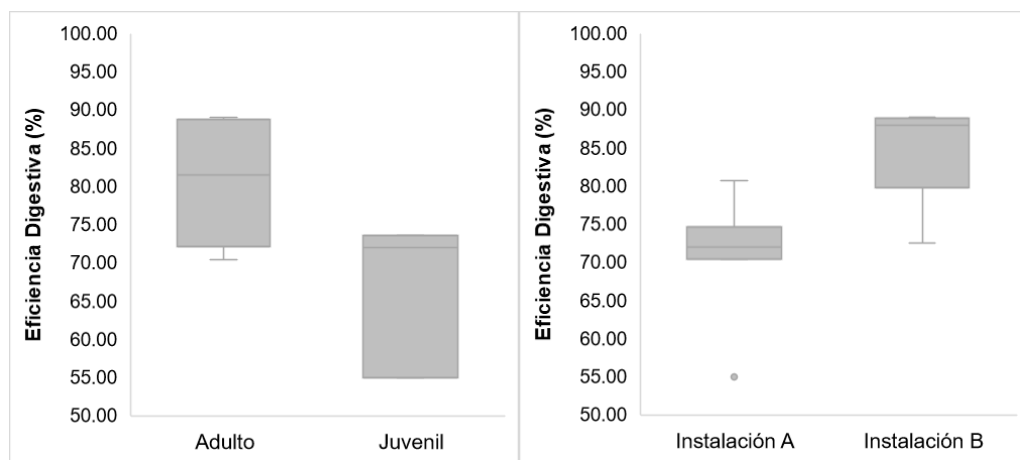


Figura 9. Eficiencia digestiva de manatíes cautivos en el Caribe mexicano según clases etáreas y centros de cautividad.

VII. II. II. Bromatología de la dieta en vida libre

Se llevaron a cabo análisis bromatológicos a 60 muestras correspondientes a 13 especies vegetales de vida libre (Cuadro 11), cada una con 2 a 12 réplicas. Únicamente se detectaron diferencias significativas en los valores de extracto etéreo entre las muestras de la zona dulceacuícolas y la salobre (Kruskal-Wallis, $p=0,027$). Los valores de humedad entre las especies fueron más altos para especies sumergidas y flotantes (78-92%) en comparación con las plantas terrestres (18-78%).

Cuadro 11. Valores bromatológicos porcentuales (X) en peso seco y su desviación estándar (DE) para plantas de consumo potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano.

Especie	n	Humedad %		Proteína Cruda %		Extracto Etéreo %		Cenizas Totales %		Fibra Cruda %		Total Nutien. Digest. %		Energía Digestible %	
		X	DE	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE
<i>Batophora</i> sp.	2	91.90	0.34	11.40	2.03	13.62	2.15	16.09	0.98	4.82	0.26	87.20	2.89	3.84	0.13
<i>Cabomba palaeformis</i>	5	90.18	2.72	7.90	1.70	12.36	6.03	22.55	8.42	11.35	2.53	77.89	12.69	3.43	0.56
<i>Chrysobalanus icaco</i>	8	57.95	3.36	6.16	2.07	10.88	2.38	9.64	2.73	19.51	1.56	84.84	4.21	3.74	0.19
<i>Cladium jamaicense</i>	4	18.14	21.63	5.66	0.29	15.26	8.89	5.13	0.90	23.62	7.07	92.24	12.89	4.07	0.57
<i>Conocarpus erectus</i>	4	67.92	5.99	5.86	1.05	19.14	1.57	9.58	2.21	16.11	4.59	95.59	1.56	4.21	0.07
<i>Eicchornia crassipes</i>	4	89.14	2.56	11.58	3.71	13.70	7.26	13.48	1.68	22.09	7.24	82.71	11.37	3.65	0.50
<i>Halodule wrightii</i>	8	85.58	2.93	8.25	1.24	12.10	5.60	17.57	6.53	11.81	3.63	81.83	11.59	3.61	0.51
<i>Najas</i> sp.	2	78.11	0.61	5.00	0.32	2.98	0.01	75.66	0.01	6.06	0.28	22.08	0.07	0.97	0.01
<i>Nymphaea ampla</i>	4	87.98	1.73	7.40	2.15	10.62	3.02	23.29	7.17	9.58	0.53	76.04	5.47	3.35	0.24
<i>Rizophora mangle</i>	9	65.62	3.5	3.95	0.80	11.99	2.59	9.40	1.67	14.02	5.56	88.83	3.93	3.92	0.17
<i>Syringodium filiforme</i>	3	90.83	0.10	7.34	0.33	26.43	0.08	31.88	4.25	12.60	1.88	84.91	3.51	3.74	0.15
<i>Thalassia testudinum</i>	3	84.91	0.37	6.80	0.27	12.48	0.17	20.02	1.84	12.52	0.34	79.99	1.75	3.53	0.08
<i>Vallisneria</i> sp.	4	78.43	22.58	8.97	0.19	11.43	4.42	24.63	0.39	12.93	0.05	74.18	5.28	3.27	0.23

Los valores proteicos más elevados se encontraron en el lirio acuático, *Eicchornia crassipes* (11.58%±3.71) y *Batophora* sp. (11.40%±2.03) (Figura 10). Se encontraron diferencias significativas las especies vegetales (ANOVA: $F_{10}=10.28$, $p<0.001$), donde *Rizophora mangle* difiere de la mayoría de las especies con valores (Cuadro 12).

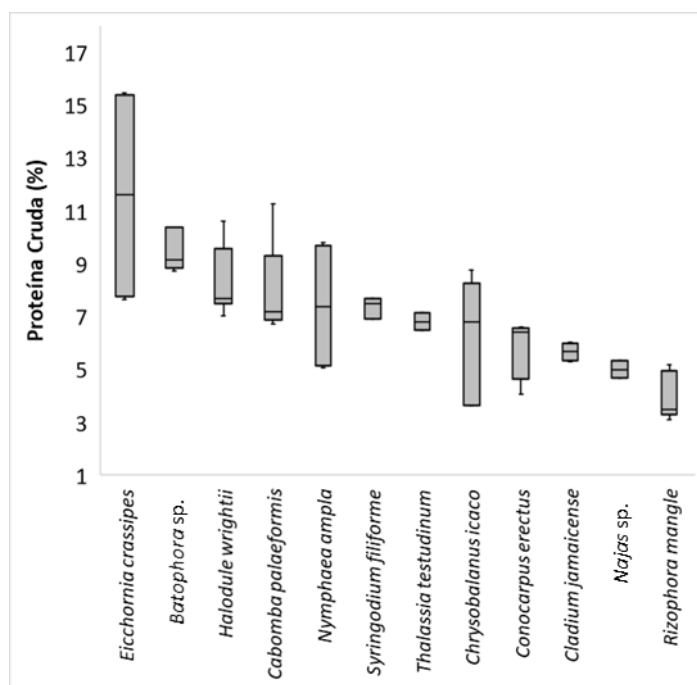


Figura 10. Porcentajes de proteína cruda en plantas de consumo reportado o potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano.

Cuadro 12. Prueba Tukey para valores de proteína cruda en plantas de consumo reportado o potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano

Especies vegetales	<i>Eichornia crassipes</i>	<i>Batophora</i> sp.	<i>Halodule wrightii</i>	<i>Cabomba palaeformis</i>	<i>Nymphaea ampla</i>	<i>Syringodium filiforme</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	<i>Chrysobalanus icaco</i>	<i>Conocarpus erectus</i>	<i>Cladium jamaicense</i>	<i>Rizophora mangle</i>
<i>Eichornia crassipes</i>		1.00	0.97	0.60	0.49	0.73	0.16	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Batophora</i> sp.	0.02		0.92	0.45	0.35	0.63	0.09	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Halodule wrightii</i>	1.83	2.10		0.99	0.97	1.00	0.60	0.10	0.03	0.02	<0.01
<i>Cabomba palaeformis</i>	2.92	3.26	1.48		1.00	1.00	0.99	0.84	0.42	0.32	<0.01
<i>Nymphaea ampla</i>	3.17	3.49	1.83	0.41		1.00	1.00	0.97	0.68	0.58	<0.01
<i>Syringodium filiforme</i>	2.65	2.88	1.34	0.09	0.28		1.00	0.96	0.65	0.55	0.01
<i>Thalassia testudinum</i>	4.07	4.42	2.94	1.57	1.14	1.33		1.00	0.99	0.99	0.19
<i>Chrysobalanus icaco</i>	5.40	6.15	4.38	2.36	1.75	1.90	0.29		0.99	0.98	0.03
<i>Conocarpus erectus</i>	5.93	6.51	5.02	3.32	2.76	2.84	1.42	1.44		1.00	0.75
<i>Cladium jamaicense</i>	6.14	6.75	5.27	3.55	2.98	3.04	1.62	1.69	0.22		0.85
<i>Rizophora mangle</i>	9.58	10.95	9.55	6.81	5.86	5.60	3.97	5.04	2.61	2.35	

Los valores de la prueba Tukey debajo de la diagonal, valores p encima de la diagonal. En rosa los valores que muestran diferencias significativas.

Las grasas, determinadas por el extracto etéreo (Figura 11), no tuvieron valores que se diferenciaron significativamente entre especies (ANOVA: $F_{10}=1,96$, $p=0.06$), con mayores porcentajes en las muestras de *Syringodium filiforme* ($26.43\% \pm 0.09$) y *Conocarpus erectus* ($19.14\% \pm 1.57$). Mientras que *Najas* sp. presentó los valores más bajos ($2.98\% \pm 0.006$) de extracto etéreo, sus porcentajes de cenizas totales fueron extremas ($75.66\% \pm 0.01$) si se compara con otras especies, quienes en varios casos presentaron diferencias significativas entre sí (ANOVA: $F_{10}=13.88$, $p<0.001$) (Figura 11, Cuadro 13).

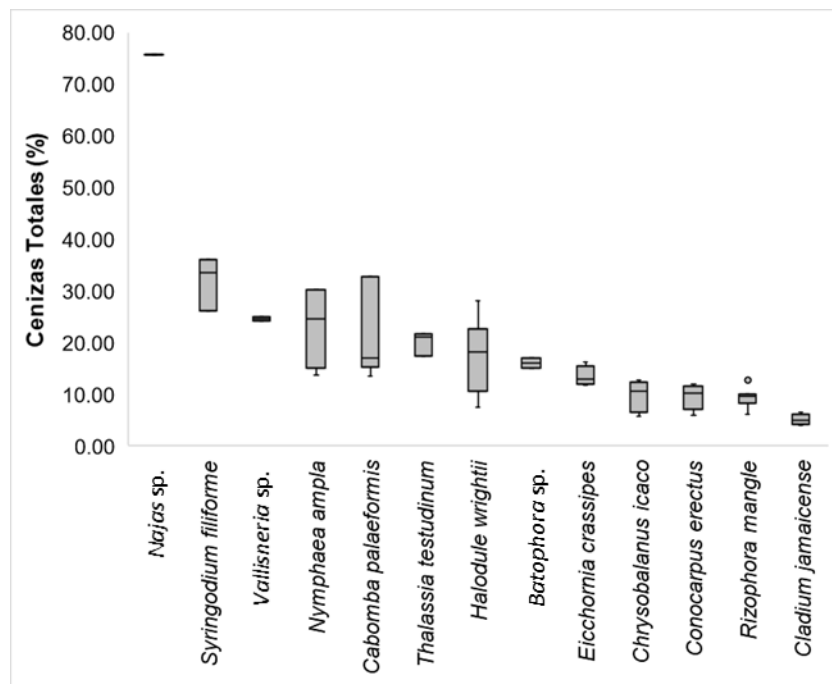
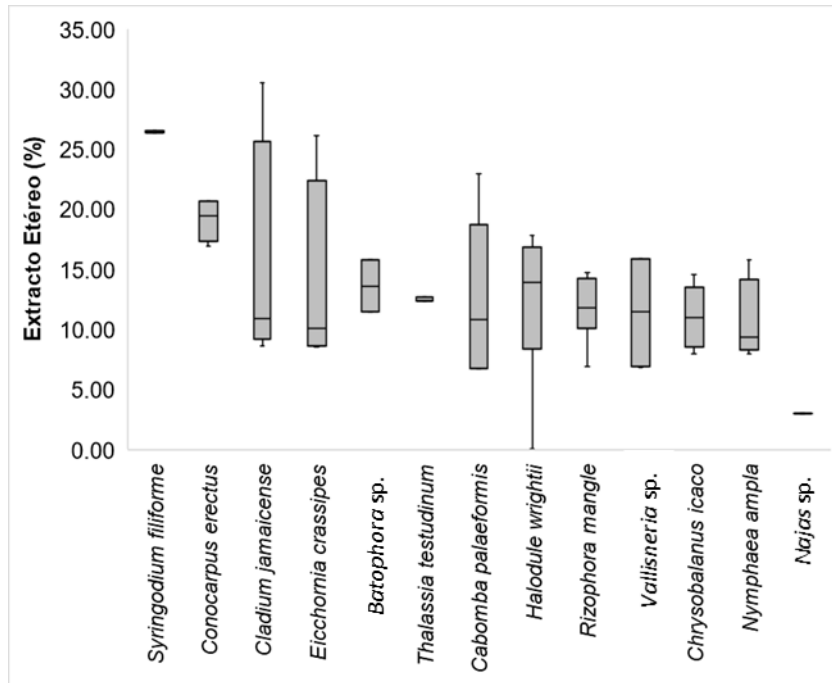


Figura 11. Porcentajes de extracto etéreo y cenizas totales en plantas de consumo potencial o reportado del manatí antillano en el Caribe mexicano.

Cuadro 13. Prueba Tukey para valores de cenizas totales en plantas de consumo reportado o potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano.

Especies vegetales	<i>Syringodium filiforme</i>	<i>Vallisneria sp.</i>	<i>Nymphaea ampla</i>	<i>Cabomba palaeformis</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	<i>Halodule wrightii</i>	<i>Eicchornia crassipes</i>	<i>Chrysobalanus icaco</i>	<i>Conocarpus erectus</i>	<i>Rizophora mangle</i>	<i>Cladium jamaicense</i>
<i>Syringodium filiforme</i>		0.99	0.94	0.76	0.81	0.07	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Vallisneria sp.</i>	1.42		1.00	1.00	1.00	0.43	0.16	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Nymphaea ampla</i>	1.99	0.62		1.00	1.00	0.76	0.36	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
<i>Cabomba palaeformis</i>	2.59	1.21	0.56		1.00	0.91	0.52	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
<i>Thalassia testudinum</i>	2.46	1.21	0.64	0.16		0.99	0.76	0.01	0.05	<0.01	<0.01
<i>Halodule wrightii</i>	4.59	3.30	2.59	2.13	1.62		0.99	0.02	0.15	<0.01	<0.01
<i>Eicchornia crassipes</i>	5.21	4.09	3.48	3.11	2.58	1.42		0.58	0.85	0.46	0.01
<i>Chrysobalanus icaco</i>	8.57	7.70	6.99	6.85	5.60	5.39	2.98		1.00	1.00	0.37
<i>Conocarpus erectus</i>	7.39	6.45	5.83	5.59	4.76	4.14	2.35	0.26		1.00	0.48
<i>Rizophora mangle</i>	8.88	8.05	7.32	7.22	5.87	5.79	3.23	0.24	0.46		0.43
<i>Cladium jamaicense</i>	10.34	9.64	9.02	8.96	7.71	7.83	5.55	3.43	3.19	3.30	

Los valores de la prueba Tukey debajo de la diagonal, valores p encima de la diagonal. En rosa los valores que muestran diferencias significativas.

Por otro lado, el menor valor de fibra cruda se encontró para *Batophora sp.* ($4.82\% \pm 0.26$), y valores más altos para *Eicchornia crassipes* ($22.08\% \pm 8.36$) y *Cladium jamaicense* ($23.62\% \pm 7.07$) (Figura 12). En este parámetro también se presentan diferencias significativas entre las especies (ANOVA: $F_{10}=5.01$, $p>0.001$), donde *Chrysobalanus icaco* difiere de *Halodule wrightii*, *Cabomba palaeformis* y *Nymphaea ampla*, y a su vez *Nymphaea ampla* con *Cladium jamaicense* y *Eicchornia crassipes* (Turkey, $p \leq 0.01$) (Cuadro 14).

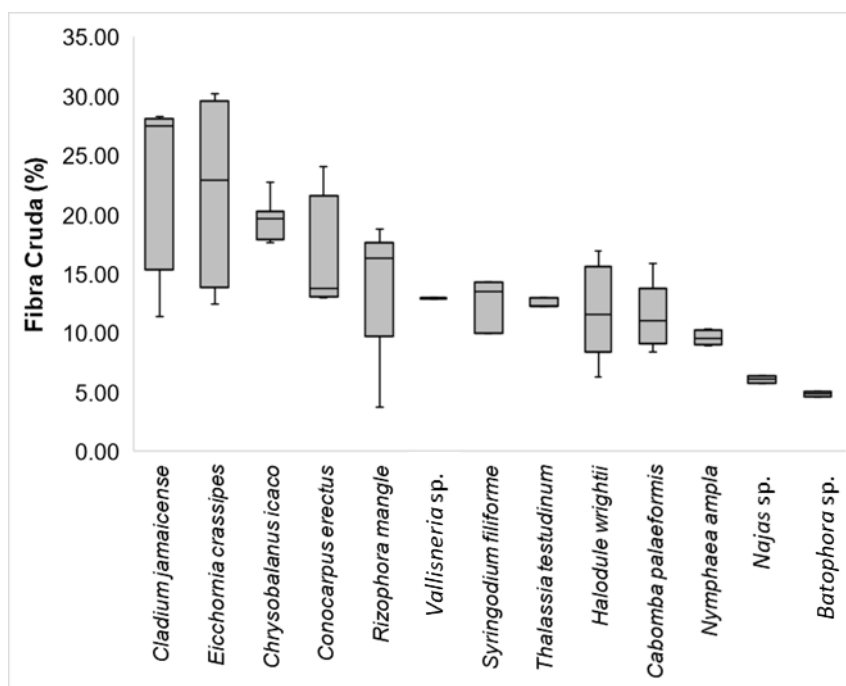


Figura 12. Porcentajes de fibra cruda en plantas de consumo potencial o reportado del manatí antillano en el Caribe mexicano.

Cuadro 14. Prueba Tukey para valores de fibra cruda en plantas de consumo reportado o potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano.

Especies vegetales	<i>Cladium jamaicense</i>	<i>Eicchornia crassipes</i>	<i>Chrysobalanus icaco</i>	<i>Conocarpus erectus</i>	<i>Rizophora mangle</i>	<i>Vallisneria sp.</i>	<i>Syringodium filiforme</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	<i>Halodule wrightii</i>	<i>Cabomba palaeformis</i>	<i>Nymphaea ampla</i>
<i>Cladium jamaicense</i>		1.00	1.00	0.96	0.75	0.35	0.52	0.32	0.08	0.05	<0.01
<i>Eicchornia crassipes</i>	0.16		1.00	0.98	0.82	0.42	0.59	0.38	0.11	0.07	0.012
<i>Chrysobalanus icaco</i>	0.35	0.54		0.80	0.28	0.10	0.23	0.11	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Conocarpus erectus</i>	1.85	1.69	2.49		1.00	0.98	1.00	0.96	0.85	0.65	0.23

<i>Rizophora mangle</i>	2.61	2.42	3.67	0.43		0.99	1.00	0.98	0.82	0.60	0.16
<i>Vallisneria sp.</i>	3.49	3.33	4.38	1.63	1.49		1.00	1.00	1.00	1.00	0.89
<i>Syringodium filiforme</i>	3.10	2.95	3.81	1.38	1.20	0.13		1.00	1.00	1.00	0.90
<i>Thalassia testudinum</i>	3.57	3.42	4.34	1.85	1.74	0.34	0.44		1.00	1.00	0.98
<i>Halodule wrightii</i>	4.49	4.31	5.93	2.35	2.44	0.47	0.57	0.04		1.00	0.92
<i>Cabomba palaeformis</i>	4.79	4.62	6.01	2.83	2.94	1.11	1.16	0.66	0.81		1.00
<i>Nymphaea ampla</i>	5.68	5.52	6.91	3.83	4.08	2.20	2.17	1.69	2.07	1.21	

Los valores de la prueba Tukey debajo de la diagonal, valores p encima de la diagonal. En rosa los valores que muestran diferencias significativas.

El total de nutrientes digestibles (TND) y la energía digestible (EnD) tuvieron los valores más altos en el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*, 95.59%±1.56 y 4.21%±0.07 respectivamente) (Figura 13), presentándose diferencias significativas para los parámetros (TND, ANOVA: $F_{10}=4.5$, $p<0.001$; EnD, ANOVA: $F_{10}=3.52$, $p=0.0017$). En el total de nutrientes digestibles *Conocarpus erectus* difiere de *Eicchornia crassipes*, *Thalassia testudinum*, *Cabomba palaeformis*, *Nymphaea ampla* y *Vallisneria sp.* (Cuadro 15), mientras que en la energía digestible la diferencia se encuentra entre *Conocarpus erectus*, *Nymphaea ampla* y *Vallisneria sp.* (Tukey, $p\leq 0.005$), y esta última con *Rizophora mangle* ($p=0.03$).

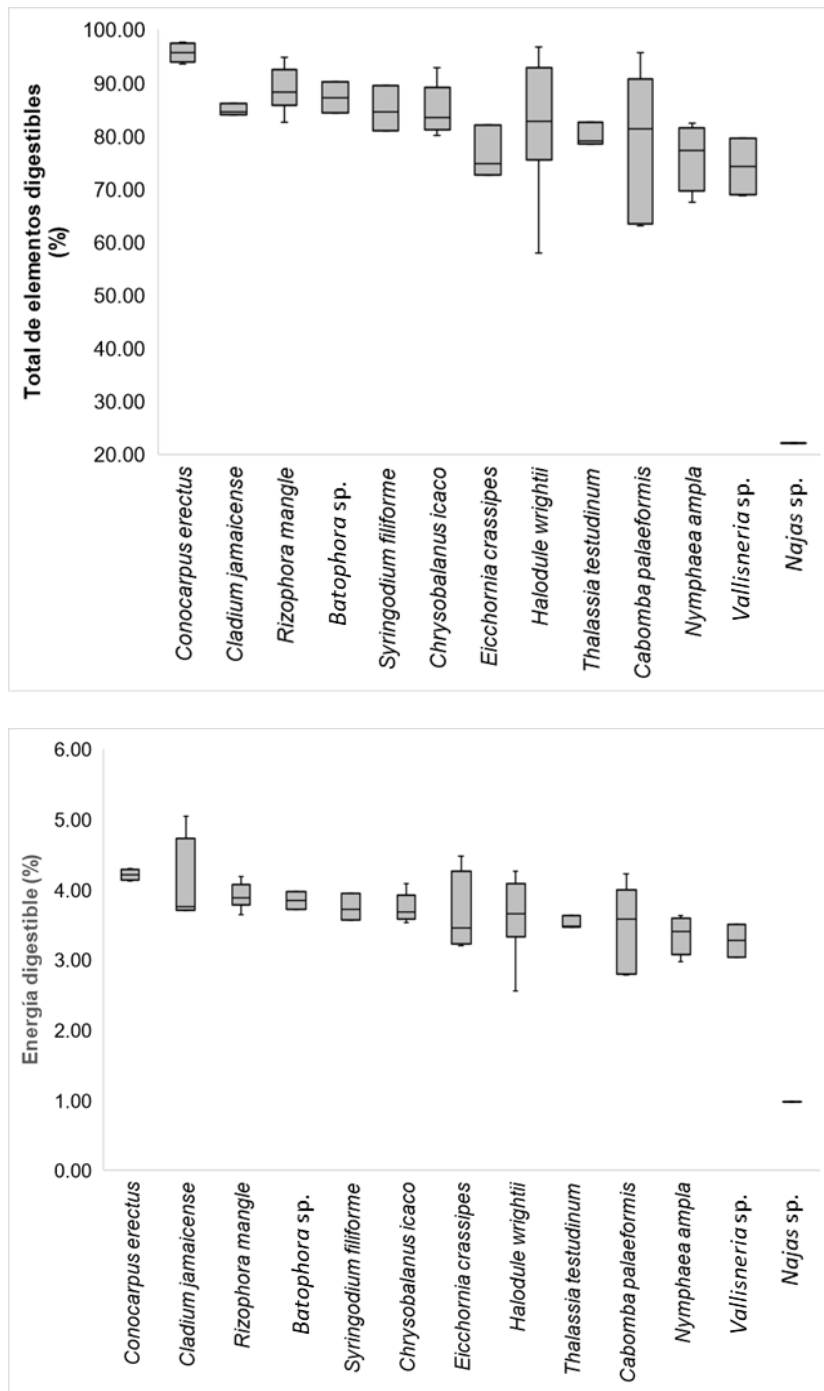


Figura 13. Porcentajes de total de nutrientes digestibles y energía digestible en plantas de consumo potencial o reportado del manatí antillano en el Caribe mexicano.

Cuadro 15. Prueba Tukey para valores de total de nutrientes digestibles en plantas de consumo reportado o potencial del manatí antillano en el Caribe mexicano.

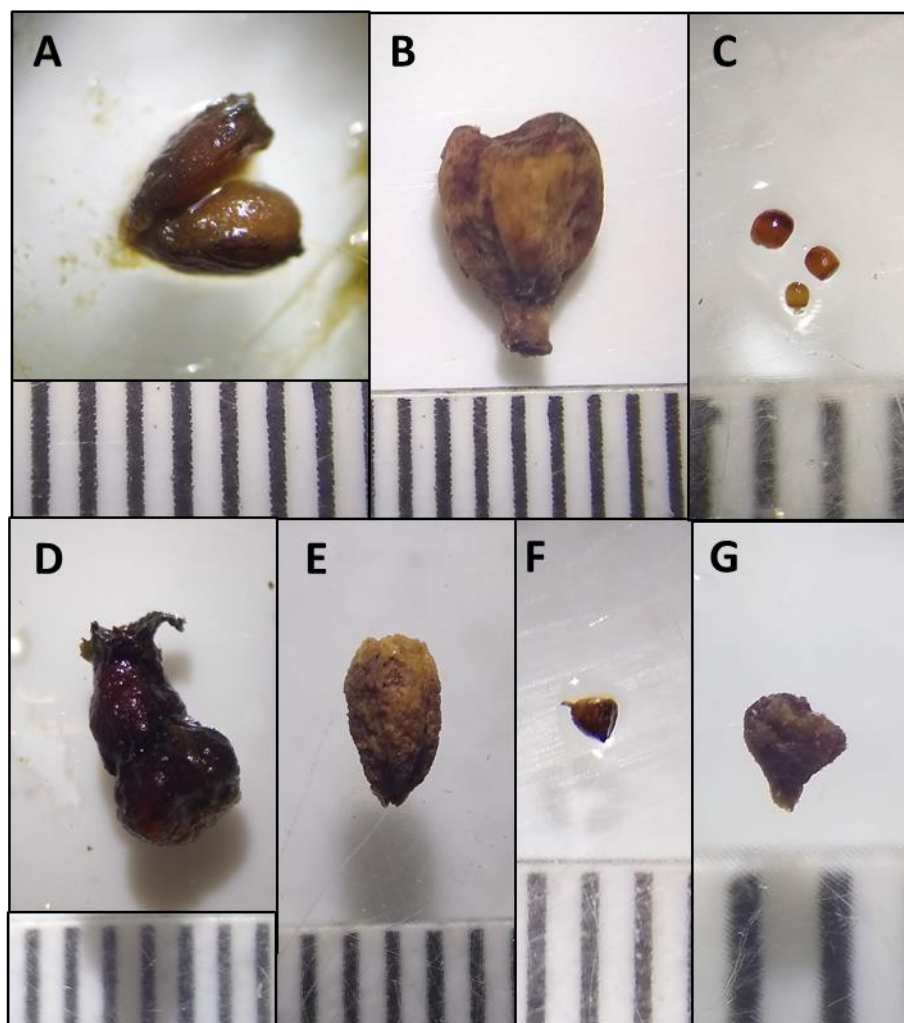
Especies vegetales	<i>Conocarpus erectus</i>	<i>Cladium jamaicense</i>	<i>Rizophora mangle</i>	<i>Syringodium filiforme</i>	<i>Chrysobalanus icaco</i>	<i>Eicchornia crassipes</i>	<i>Halodule wrightii</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	<i>Cabomba palaeformis</i>	<i>Nymphaea ampla</i>	<i>Vallisneria sp</i>
Conocarpus erectus		0.69	0.91	0.57	0.22	0.01	0.08	0.03	0.05	<0.01	<0.01
Cladium jamaicense	2.74		1	1	1	0.67	1	0.90	0.99	0.55	0.43
Rizophora mangle	2.14	1.21		0.99	0.88	0.07	0.52	0.22	0.34	0.02	0.01
Syringodium filiforme	2.99	0.24	1.5		1	0.77	1	0.95	1.00	0.67	0.54
Chrysobalanus icaco	3.88	0.42	2.24	0.14		0.6	1	0.89	0.99	0.42	0.28
Eicchornia crassipes	5.72	2.79	4.62	2.55	2.94		0.85	1	0.99	1	1
Halodule wrightii	4.56	1.04	3.11	0.76	0.84	2.32		0.99	1	0.73	0.58
Thalassia testudinum	5.06	2.18	3.87	1.94	2.2	0.61	1.58		1	1	1.00
Cabomba palaeformis	4.83	1.58	3.51	1.31	1.52	1.54	0.78	0.86		0.97	0.93
Nymphaea ampla	6.25	3.05	5.21	2.79	3.33	0.06	2.65	0.72	1.75		1
Vallisneria sp	6.53	3.31	5.55	3.06	3.67	0.33	2.98	0.99	2.06	0.29	

Los valores de la prueba Tukey debajo de la diagonal, valores p encima de la diagonal. En rosa los valores que muestran diferencias significativas.

VII. II. III. Presencia de semillas en heces y contenidos digestivos

En la revisión llevada a cabo a 30 heces colectadas en vida libre (Figura 6) y contenidos del sistema digestivo de siete individuos (cuatro contenidos de ciego, cinco contenidos estomacales, cuatro contenidos intestinales y dos heces) (Cuadro 6), se encontraron semillas en el 31.1% de las muestras, pertenecientes a nueve morfoespecies de plantas terrestres, de las cuales solo fue posible determinar una

especie. Se hallaron semillas completas en el 20% de las muestras con una abundancia de 1 a 21 semillas por muestra, y semillas fragmentadas en un 17.8% con frecuencia de 1 a 2 fragmentos por muestra (Figura 14). La especie más común fue morfo2 encontrándose en el 28.6% de las muestras con semillas. Según la prueba de viabilidad, ninguna semilla resultó viable para germinación.

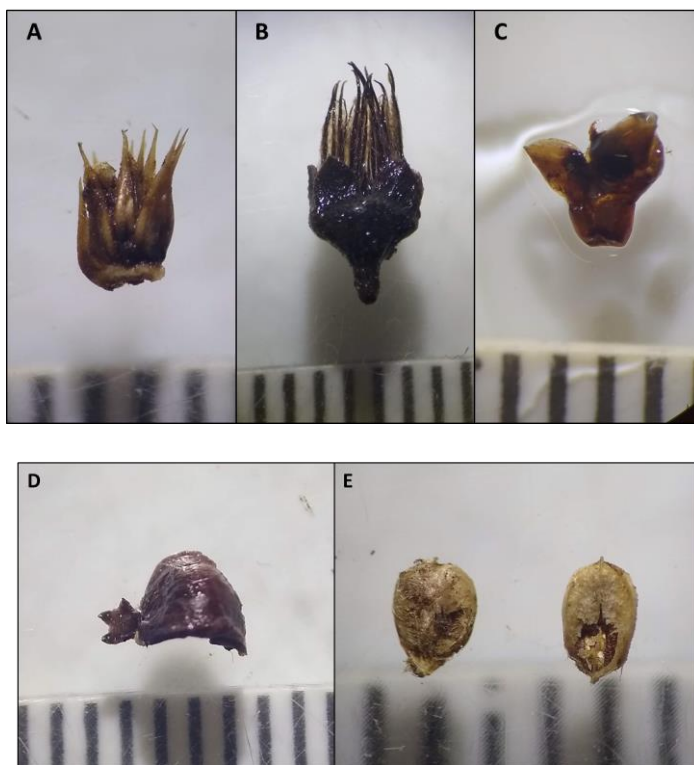


Fotos: Katerin Arévalo-González.

Figura 14. Morfotipos de semillas completas encontrados en heces de manatí antillano . A= Morfo1; B= *Coccoloba uvifera*; C=Morfo7; D=Morfo2; E= Morfo3; F=Morfo8; G=Morfo13.

VII. II. III. *Presencia de elementos orgánicos e inorgánicos en heces y contenidos digestivos*

Fueron detectados también otros elementos orgánicos de origen vegetal, animal y algunos que se no se lograron identificar. Las flores se detectaron en el 8.9% de las muestras, todas pertenecientes a heces del Rio Hondo, con una frecuencia de aparición de uno a dos elementos por muestra, identificándose *Ruppia maritima* y dos morfoespecies (Figura 15). Fueron registrados dos especies de frutos en el 6.7% de las muestras de la desembocadura del Rio Belice y del Rio Hondo (n=2), con frecuencias de 1 (morfo14) a 14 unidades por muestra (morfo6) (Figura 15).



Fotos: Katerin Arévalo-González.

Figura 15. Flores y frutos detectados en heces de manatíes antillanos. A=*Ruppia maritima*; B=Morfo10; C=Morfo16; D=*Conocarpus erectus*; E=Morfo6.

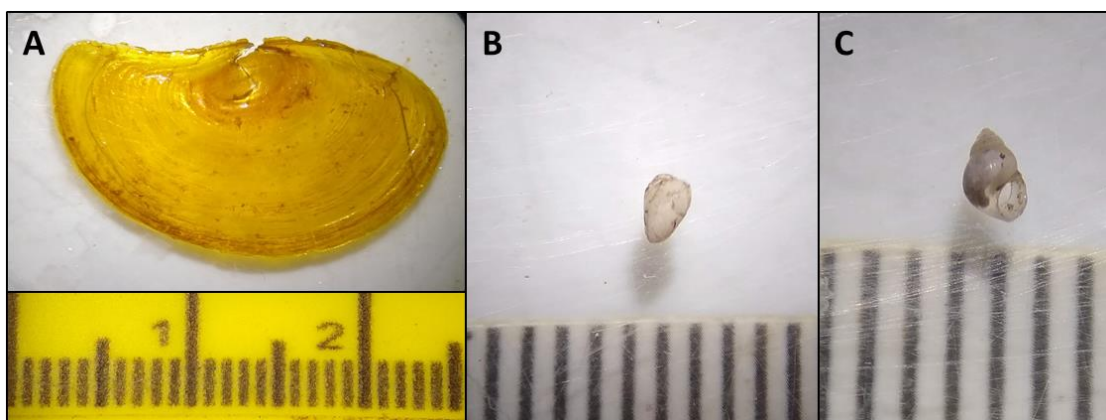
Se reconoció una especie de porífero sin identificar a nivel de especie en las heces colectadas en la desembocadura del Río Belice, la cual se presentó en el 13.3% de las muestras, con una frecuencia de uno a dos fragmentos que oscilaron entre los 0.12-1.59 cm de ancho y los 0.2-2.8 cm de largo (Figura 16).



Fotos: Katerin Arévalo-González.

Figura 16. Esponja marina encontrada en heces de manatíes antillanos en la desembocadura del Rio Belice.

También fueron encontrados moluscos, al menos tres especies en el 11.11% de las muestras provenientes de Rio Hondo (n=1), desembocadura del rio Belice (n=2) y en contenidos digestivos (n=2). Se presentaron de 1 a 3 fragmentos que midieron en promedio 0.82x0.48 cm (Figura 17).



Fotos: Katerin Arévalo-González.

Figura 17. Moluscos hallados en heces y contenido digestivo de manatíes antillanos. A=morfo1; B=morfo2; C=morfo3.

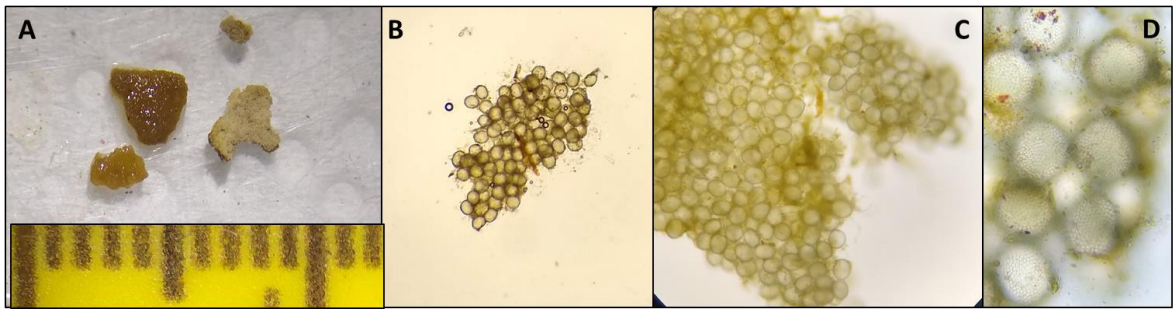
Se detectaron algas unicelulares en un 17.78% de las muestras, principalmente las provenientes de Belice (n=7), y en un contenido digestivo. Estas algas agrupadas formado esferas (Figura 18) se presentaron con diámetros promedio de 0.03 cm, variando su coloración entre verde y café, y con una frecuencia de 12 a 25 unidades por muestra.



Fotos: Katerin Arévalo-González.

Figura 18. Agrupaciones de algas encontradas en heces de manatíes antillanos.

Otros elementos orgánicos fueron encontrados en el 8.9% de las muestras, posiblemente briozooarios que se presentan como fragmentos con gran dureza al secarse, pero al observar de cerca tienen estructuras unitarias de circulares (Figura 19). Los fragmentos tuvieron tamaños variables con promedio de 0.46cm x 0.34cm, y se encontraron con una frecuencia de 2 a 16 unidades.



Fotos: Katerin Arévalo-González.

Figura 19. Material orgánico sin identificar detectado en heces de manatí antillano.

A= Fragmentos macroscópicos; B=4x; C=20x; D=40x.

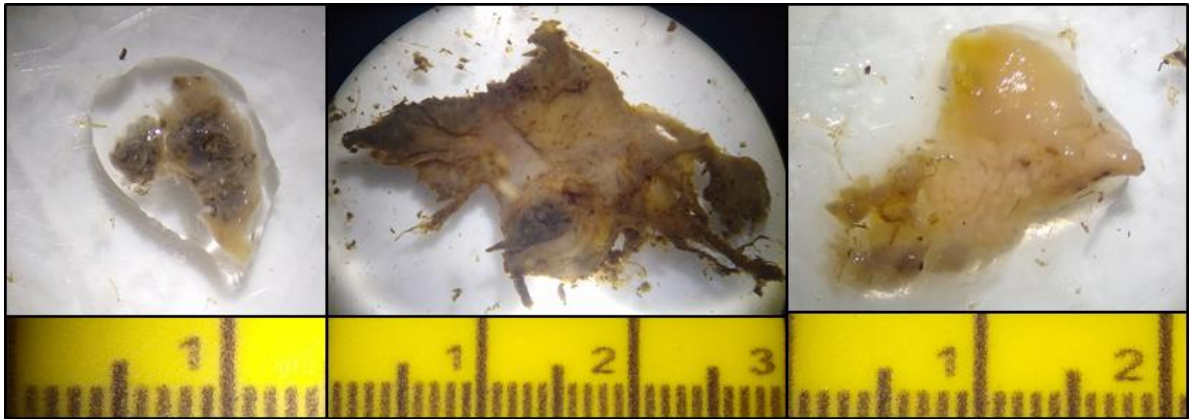
Además, fueron encontrados parásitos en dos de las muestras de contenidos digestivos revisadas, se identificó una especie, *Heterocheilus tunicatus* (Figura 20). En una muestra fue posible encontrar un fragmento de pluma, con un tamaño de 0.77 x 0.08 cm.



Foto: Katerin Arévalo-González.

Figura 20. Adulto del parásito *Heterocheilus tunicatus* hallado en contenidos digestivos de manatíes antillanos.

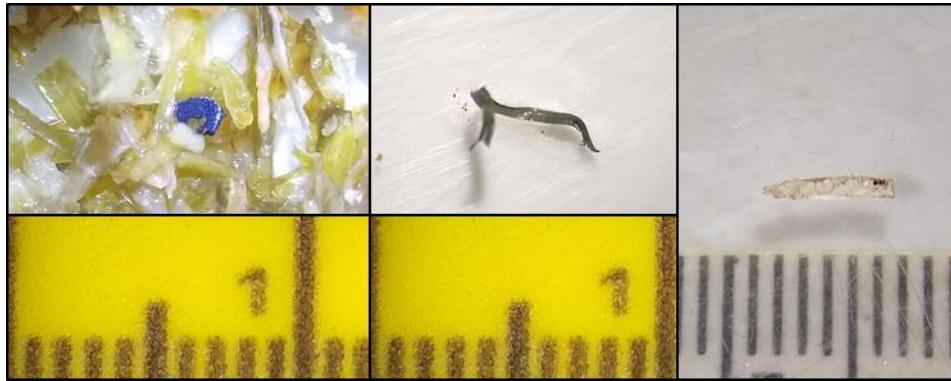
En el 6.7% de las muestras, específicamente las procedentes de Laguna Guerrero (n=1) y la desembocadura del Rio Belice (n=2), fueron detectados posibles tejidos de origen animal, tanto interno (epitelio) como de otros organismos, con un tamaño promedio de 2.07 cm x 1.37 cm (Figura 21).



Fotos: Katerin Arévalo-González.

Figura 21. Tejidos animales registrados en heces de manatíes antillanos.

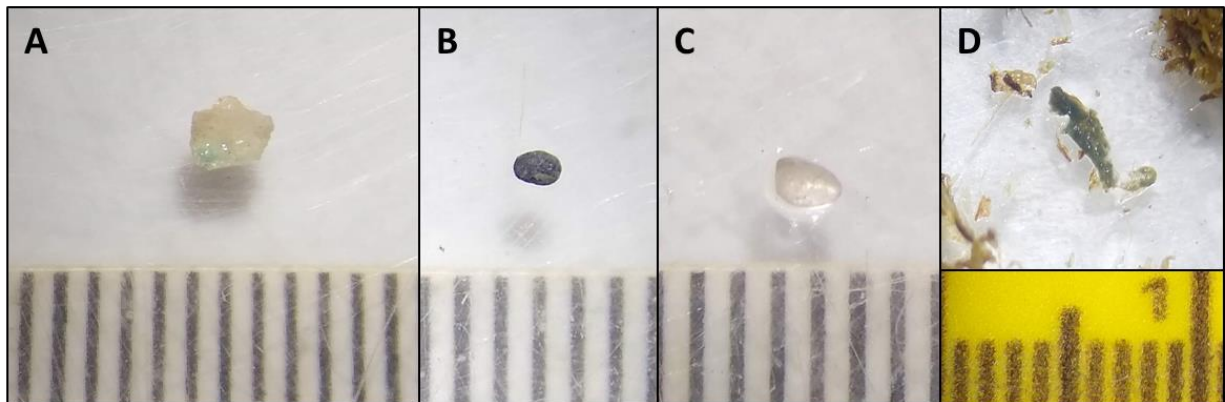
Adicionalmente, fueron detectados elementos inorgánicos en el 17.8% del total de las muestras, específicamente en las heces provenientes de Belice y en los contenidos digestivos. Elementos como plástico se registraron el 6.7% con frecuencias de 1 a 24 unidades, y su tamaño varió entre 0.3x0.1 cm hasta 9x0.48 cm (Figura 22).



Fotos: Katerin Arévalo-González.

Figura 22. Fragmentos de plástico encontrados en heces de manatíes antillanos.

Fueron detectadas piedras en el 6.67% de las muestras de heces y contenidos digestivos, con un tamaño promedio de 0.2 x 0.15 cm. Otros elementos inorgánicos encontrados en heces de manatíes con una sola aparición (2.2% cada elemento) fueron tela (0.48 x 0.27 cm) y vidrio (0.17 x 0.12 cm) (Figura 23).



Fotos: Katerin Arévalo-González.

Figura 23. Elementos inorgánicos hallados en heces y contenidos estomacales de manatíes. A y B= Rocas; C=vidrio, D= tela.

En las muestras de heces en cautiverio, fueron registrados plásticos en el 4.8% de las muestras, con tamaños variables entre 2.8 y 12.7 cm de largo (Figura 24).



Foto: Katerin Arévalo-González.

Figura 24. Plástico encontrado en heces de manatí antillano en cautividad en el Caribe mexicano.

VIII. DISCUSIÓN

VIII. I. Eficiencia digestiva en cautiverio

Los resultados obtenidos en este estudio son concordantes con lo reportado para manatíes de la Florida y manatíes antillanos con una dieta basada en vegetales cultivados, donde se presenta una eficiencia digestiva entre el 68 y el 95% (Harshaw, 2012; Jiménez-Domínguez, 2006; Lomolino y Ewel, 1984; Worthy y Worthy, 2014). La dieta suministrada en cautiverio, compuesta principalmente por lechuga, presenta un bajo contenido de fibra por lo que es altamente digestible, a

diferencia de lo que se puede observar en dietas de vida silvestre con plantas de agua dulce o pastos marinos (Harshaw, 2012; Worthy y Worthy, 2014).

Los valores reportados en este estudio demuestran que los manatíes (Trichechidae) pueden alcanzar digestibilidades por encima del 90%, al igual que perezosos (Bradypodidae) y dugones (Dugongidae), quienes presentan altos valores si se les compara con otros herbívoros monogástricos (Cuadro 1). Estas especies se caracterizan por poseer un elevado tiempo de retención del alimento en el sistema digestivo (Foley, Engelhardt y Charles-Dominique, 1995; Larkin, Fowler y Reep, 2007), uno de los factores determinantes en la digestibilidad de este tipo de herbívoros, lo que facilita que la fermentación sea realizada por bacterias y enzimas en la parte posterior del estómago en el caso de los perezosos (fermentadores cecales o foregut fermenters), y en el colon en el caso de los sirenios (fermentadores colónicos o hindgut fermenters) (Hume, 2002).

Al igual que lo reportado por Worthy y Worthy (2014) en este estudio no se presentan diferencias entre los sexos. Sin embargo, los manatíes adultos presentaron una mayor eficiencia digestiva ($ED=80.54\% \pm 7.77$) en comparación a los juveniles ($ED=66.85\% \pm 10.33$). Es necesario tener en cuenta que las categorías de edad usadas se definen según la edad conocida y/o estimada de los individuos propuesta por (Mignucci-Giannoni *et al.*, 2000) para *Trichechus manatus*: cría (<2 años), juvenil (entre 2 y 7 años) y adulto (>7 años). Es posible que las diferencias observadas en este estudio se deban a factores diferentes a la clase etárea, como

el consumo esporádico de leche materna observado durante el periodo de muestreo para dos de los juveniles (DHJ1 y DHJ2), posiblemente debido al largo periodo de permanencia al lado de la madre y nodriza (DHA1) respectivamente, que se encontraba lactando a su última cría; la leche materna no se tuvo en cuenta en los cálculos de dieta. Adicionalmente, el juvenil que mostró el menor promedio de todos los individuos en cautiverio (DMJ1, ED= 54.96%), presentó heces de consistencia mas líquida, lo que puede estar indicando algún problema temporal de salud. En términos generales, los juveniles tienden a tener una mayor eficiencia digestiva gracias a sus mayores requerimientos energéticos dados por el proceso de crecimiento (Hume, 2005; Troyer, 1984). En vida libre, los individuos presentan un proceso natural de destete que se presenta cuando la cría tiene uno o dos años (Hartman, 1979), sin embargo, en cautividad la relación madre-cría se ve modificada por la admistración de los encierros, decisión que depende de los cuidadores, lo cual puede modificar el destete y así mismo los aspectos nutricionales en el proceso de crecimiento de los individuos. Por esta razón, es posible que la clasificación de DHJ1 y DHJ2 corresponda más a crías que a juveniles en el momento de este estudio.

La diferencia más marcada en eficiencia digestiva se registró entre animales ubicados en diferentes centros de cautividad, donde se presentan variaciones en la composición y abundancia en las dietas de vegetales ofrecidas. Estudios anteriores han observado que la composición en la dieta genera diferencias en la capacidad o eficiencia digestiva de los individuos, especialmente por su contenido de fibra (De

La Torre *et al.*, 2019; Harshaw, 2012; Hume, 2005). Los resultados de este estudio muestran que la mayor ED se presentó en la instalación B donde se ofrecía una dieta con mayor número de ingredientes y mayor contenido de materia seca (Cuadro 16). Sin embargo, Harshaw (2012) describió una menor eficiencia digestiva en dietas compuestas por una mayor cantidad de ingredientes y menor ingesta de materia seca. Es posible que las diferencias puedan explicarse en razón a la proporción de proteína ofrecida, en este estudio la instalación B suministró una dieta con contenidos protéicos promedio más altos, adicionalmente esta dieta puede estar generando mayores aportes de macro y micronutrientes que generan una dieta más completa, incentivando una mejor nutrición (Church, Pond y Pond, 2004). Faltan estudios que evalúen el efecto de los cambios en el contenido protéico de la dieta consumida por mamíferos herbívoros monogástricos. La posibilidad de digerir la fibra de una mejor manera que otros herbívoros (Best, 1981; Burn, 1986; Gonzalez-Socoloske, 2013; Lomolino y Ewel, 1984), permite que pese al alto contenido de este nutriente en la dieta de los manatíes de la instalación B, la digestibilidad sea mayor, aprovechando así los demás nutrientes. En el diseño de los programas de alimentación en cautiverio, es necesario incluir criterios de calidad nutricional de los ingredientes con miras a asegurar una mejor alimentación y así mismo la salud de los individuos.

Los valores más altos de ED se observaron en los animales de la instalación B, los cuales presentaron una eficiencia digestiva del 84.7%. Estos resultados coinciden con los obtenidos para *Trichechus manatus latirostris* mantenidos en cautiverio,

quienes presentaron una eficiencia digestiva del 83.97% (Worthy y Worthy, 2014). En ambos casos las dietas se caracterizan por su escasa variedad (entre 1 y 5 ingredientes en cada caso) y el uso de suplemento (galleta de mono), el cual representa un incremento en la ingesta de proteína y fibra en partículas pequeñas.

Cuadro 16. Porcentajes de proteína y fibra consumidos por manatíes en dos centros de cautividad en México

Centro de cautividad	Individuo	Peso Dieta (Kg)	Proteína (%)*	Fibra (%)*	ED (%)
Instalación A	DHA1 ^a	48.1	0.3	0.5	74.6
	DHA2 ^a	38.0	0.2	0.3	70.4
	DMA1	10.3	0.1	0.0	71.3
	DMA2	21.6	0.1	0.1	80.7
	DHJ1	18.0	0.0	0.7	73.6
	DHJ2	13.5	0.0	0.0	72.0
	DMJ1	13.4	0.0	0.0	55.0
Instalación B	XMA1	36.5	0.3	0.3	82.3
	XMA2	36.5	0.3	0.3	89.0
	XMA3	43.5	0.4	0.5	87.3
	XHA1 ^a	47.5	0.5	0.6	88.7
	XHA2	38.5	0.3	0.4	88.7
	XHA3	38.0	0.2	0.3	72.5

*Información obtenida según la dieta ofrecida a los individuos y los valores nutricionales de cada ingrediente según el Sistema mexicano de Equivalentes (Pérez-Lizaur et al., 2014). ^a Hembras lactantes.

El único estudio que ha determinado la eficiencia digestiva de manatí antillano encontró valores entre el 93.5 y 94.6% (Jiménez-Domínguez, 2006). Sin embargo, dichos resultados deben tomarse con cautela debido al tamaño de muestra pequeño

(N=4). Además, diferencias metodológicas con este estudio impiden hacer comparaciones adecuadas.

VIII. II. Bromatología de la dieta en vida libre

Son numerosos los factores ambientales que generan variaciones en los valores nutritivos de la vegetación, tales como su área de distribución, estacionalidad climática, radiación solar, salinidad, la presencia de agroquímicos, así como factores biológicos como la especie vegetal, su forma de vida y maduración (Boyd y Goodyear, 1971; Dawes, 1986; Verdecia et al., 2013; Yuan y Chen, 2009). Desde luego, sesgos adicionados durante la recolección de muestras, tratamiento en laboratorio y otros factores humanos, generan variabilidad en los resultados encontrados en cada estudio.

Se presentan valores de humedad con un intervalo amplio, siendo las plantas terrestres las de menores porcentajes (19 - 68%) dado el engrosamiento de la pared celular. Las plantas flotantes y sumergidas, como es de esperarse de acuerdo a su hábito de vida, presentaron una humedad entre el 78 y 92%. Los valores proteicos reportados en este estudio (3.95 - 13.73%) se encuentran dentro del intervalo reportado en la bibliografía (2.72 - 29.55%) (Cuadro 17) (Barros, 2017; Rodrigues, 2018; Siegal-Willott *et al.*, 2010), principalmente por los altos valores registrados en especies de pastos marinos y algas. Las hojas y brotes jóvenes de las plantas suelen presentar valores de nutrientes digestibles (proteínas y carbohidratos no

estructurales) más altos que el resto de la planta (Boyd y Goodyear, 1971; Rodrigues, 2018) y su consumo, además, beneficia al manatí en una menor ingesta de fibra y lignina, lo que genera una mejor digestibilidad (Hume, 2005; Reep y Bonde, 2006). Una alternativa para obtener fuentes extra de proteínas microbianas y minerales es la coprofagia, la cual se ha observado en varias especies de herbívoros monogástricos (Barboza, Parker y Hume, 2008; Hirakawa, 2001; Leggett, 2004; Masi y Breuer, 2018; Van Soest, 1996); hábito reportado también para manatíes (Best, 1981; Hartman, 1979) y el cual fue observado con frecuencia en la toma de muestras en cautiverio para el presente estudio.

Cuadro 17. Rangos de valores nutricionales reportados para especies vegetales en diferentes áreas de distribución de *Trichechus manatus*

Zona	Humedad (%)	Proteína cruda (%)	Extracto etéreo (%)	Cenizas Totales (%)	Autores
Bahía de Tampa, Florida, Estados Unidos	70 - 84	8 - 18	0.4 - 1.4	40 - 70	Siegal-Willott <i>et al.</i> (2010)
Bahía de Marajó, Pará, Brasil	74.33 - 81.77	6.59 - 8.68	0.68 - 2.65	7.45 - 16.27	Barros (2017)
Estuario de la Barra del Río Mamanguape, Paraíba, Brasil	54.62 - 93.71	2.72 - 29.55		7.46 - 65.37	Rodrigues (2018)
Bahía de Chetumal y Río Hondo, Quintana	18.14 - 91.9	3.95 - 13.73	2.98 - 26.43	5.13 - 75.66	Este estudio

Roo, México					
----------------	--	--	--	--	--

El 93.3% de las plantas evaluadas en este estudio presenta altos niveles de grasas (extracto etéreo) con valores superiores al 10% de lo reportado en estudios previos. Estos registros pueden estar relacionados con los aportes de contaminación por las actividades agrícolas que se desarrollan tanto a la orilla del Rio Hondo como en la Bahía de Chetumal debido al crecimiento demográfico y al incremento del desarrollo urbano (Álvarez-Legorreta, 2002; García-Ríos y Gold-Bouchot, 2003). El valor más alto reportado es para el pasto de manatí *Syringodium filiforme*, para el cual se reportan valores de grasas entre 0.5 y 1.4% en estudios realizados en la Florida (Siegal-Willott *et al.*, 2010) y de 2.13% en el estado de Veracruz (Coria-Monter y Durán-Campos, 2015). Sin embargo, es necesario explorar más sobre estos valores, para poder entender qué tipo de grasas son los que elevan los valores del extracto etéreo y, así mismo, se requiere evaluar si se presenta una afectación a la salud de la fauna dependiente de la vegetación del área. Esta contaminación también puede haber incidido en los valores más altos de concentración de manganeso en las muestras de plantas colectadas en el Rio Hondo en comparación con las colectadas en Laguna Guerrero y/o Bahía Chetumal. Es necesario desarrollar el análisis de la presencia de contaminantes en plantas silvestres consumidas por los manatíes, para entender la relación entre la contaminación

ambiental y los metales incorporados a los organismos (Núñez-Nogueira, Pérez-López y Santos-Córdova, 2019).

Los datos reflejaron una gran variabilidad en el contenido de cenizas totales; sin embargo, se observa que macrofitas, algas y pastos marinos presentan los valores más altos (13.5-75.7%), en comparación con los registrados en especies terrestres (5.1-9.6%) como se ha reportado en estudios anteriores (Barros, 2017; Rodrigues, 2018; Siegal-Willott et al., 2010). Las cenizas representan el aporte de minerales que aunque no tienen un valor energético directo, tienen varias funciones en el organismo dependiendo de cada mineral en particular y son fundamentales para el metabolismo, no obstante, es necesario adelantar investigaciones que especifiquen cuál es su papel en las funciones intestinales durante la digestibilidad (Siegal-Willott et al., 2010). Por otra parte, los altos contenidos de cenizas en plantas sumergidas pueden estar relacionados con la adherencia de carbonato de calcio u otros sedimentos en las hojas (Boyd, 1968), lo que genera grandes cantidades de cristales de carbonato de calcio en orina considerándose como un parámetro normal en la salud de estos herbívoros monogástricos (Cabrias-Contreras, 2018). Es posible que para suplir deficiencias en minerales específicos, los manatíes busquen fuentes alternas en depósitos de sedimento, el sustrato o acudiendo a la coprofagia (Marsh, O'Shea y III, 2011). Debido al desconocimiento en el uso nutricional de estos materiales inorgánicos, es necesario indagar más sobre el efecto que tienen éstos sobre la fisiología y ecología alimenticia de los manatíes (Siegal-Willott et al., 2010; Thayer et al., 1984).

Los valores de fibra, como era de esperarse, mostraron valores más altos para las plantas terrestres y el Lirio de agua, *Eichhornia crassipes* (14-23.6%). Debido a que los estudios de referencia han utilizado fibra de detergente neutro (FDN), fibra de detergente ácido (FDA) y lignina como una mejor estrategia para determinar las proporciones de la fibra utilizadas en la nutrición de los individuos, se hace difícil la comparación de los valores entre áreas geográficas y especies. Sin embargo, no se han reportado valores críticos de fibra en la ingesta para los manatíes según la bibliografía. Como en otros herbívoros, la fibra es un elemento muy importante para mantener una buena digestión ya que incentiva la motilidad intestinal (Geor, Coenen y Harris, 2013).

Entre los herbívoros monogástricos, los sirenios corresponden a uno de los grupos más eficientes para la degradación de la fibra y, en general, consumen una dieta pobre en nutrientes. Esta eficiencia se debe a varios factores como 1) su capacidad de masticación, ya que cuanto más finamente macera el alimento en la parte anterior del sistema digestivo, mayor será el área disponible para el ataque de enzimas digestivas y bacterias (Clauss y Hummel, 2005; Clauss *et al.*, 2015; Hume, 2005). Debido a que los manatíes no presentan un desgaste dentario con la edad gracias al desarrollo de un reemplazo horizontal de sus dientes (Domning, 1983) y su masticación es asistida con el paladar (Marsh, Beck y Vargo, 1999), no se presentará una disminución en la eficiencia digestiva con el tiempo, como ocurre en otras especies de herbívoros monogástricos; 2) Presencia de flora bacteriana que

realiza el proceso de fermentación en la parte posterior del intestino (Merson *et al.*, 2013; Sidrim *et al.*, 2015); 3) Tiempo de tránsito intestinal largo que aumenta el tiempo de retención de los alimentos en el sistema digestivo (Larkin, Fowler y Reep, 2007) y, 4) La baja extracción de nutrientes en la primera parte del tracto digestivo es compensada aumentando el volumen de ingesta, por lo que la actividad bacteriana y la extracción en el intestino se realiza de manera constante, dedicando gran parte de su comportamiento diario a la alimentación (forrajeo y consumo) (Bengtson, 1983; Etheridge *et al.*, 1985; Van Soest, 1994).

VIII. III. Presencia de semillas en heces y contenidos digestivos

De forma contraria a lo encontrado para el dugón (Tol *et al* 2017) y lo sugerido para manatí amazónico (Colares y Colares, 2002; Guterres-Pazin, Rosas y Marmontel, 2012), los resultados obtenidos por este estudio no nos permiten considerar al manatí antillano como potencial agente dispersor de semillas. Lo anterior debido a la baja frecuencia y abundancia de semillas en las heces, así como la inviabilidad de las semillas. Esta última pudo surgir por el daño mecánico debido a la masticación y/o la muerte del embrión por posible acción química en el proceso de digestión demostrada en la cantidad de semillas fragmentadas y la falta de coloración después de la prueba de tetrazolidina. Otros factores que pudieron influenciar el estado de viabilidad de las semillas se relacionan con factores humanos en la conservación de las muestras, referente a la temperatura de

almacenamiento, tiempo antes de ser procesadas, manipulación, entre otros. Por otra parte, es posible que para los meses de colecta algunas especies vegetales no se encontraran en periodo de fructificación, ya que se reporta la época reproductiva de las especies de pastos marinos entre marzo y octubre en algunas zonas del Caribe (*Thalassia testudinum*: abril-septiembre; *Halodule wrightii*: marzo-agosto; *Syringodium filiforme*: marzo-julio; *Ruppia maritima*: abril-octubre, van Tussenbroek *et al.* (2010)), por lo tanto el manatí no tuvo posibilidad de consumir semillas durante el periodo de muestreo de esta investigación.

Sin embargo, es importante resaltar que, aunque no se manifieste la asistencia en la reproducción sexual de la vegetación por medio de la dispersión de semillas, el papel de los herbívoros en los ecosistemas acuáticos sigue siendo vital en la reproducción y regeneración de la vegetación, pues el forrajeo por si solo puede ayudar al mantenimiento de la estructura de las comunidades vegetales (Nowicki, Fourqurean y Heithaus, 2018; Valentine y Duffy, 2007) tanto sumergidas como flotantes, e incentivar la reproducción asexual y sexual de manera indirecta (Aragones *et al.*, 2006; Hall, Hanisak y Virnstein, 2006 ; Peterken y Conacher, 1997; Phillips y Meñez, 1988).

VIII. IV. Presencia de elementos orgánicos e inorgánicos en heces y contenidos digestivos

El parásito encontrado en contenidos digestivos, *Heterocheilus tunicatus*, es un nemátodo frecuente en manatíes (Hernández-Olascoaga, Olivera-Gómez y Morales-Vela, 2017; Wyrosdick *et al.*, 2018). Se ha reportado *H. tunicatus* en su forma adulta y en huevos tanto en contenidos digestivos como en heces de manatíes en México (González-Solís y Vidal -Martínez, 2004; Hernández-Olascoaga, Olivera-Gómez y Morales-Vela, 2017).

El consumo de una baja proporción de invertebrados por parte de *Trichechus manatus* ha sido reportado en Belice (Allen *et al.*, 2017), Brasil (Borges *et al.*, 2008a; Colares y Colares, 2002) y Estados Unidos (Courbis y Worthy, 2003). Estos hallazgos se han atribuido a consumos accidentales, al igual de lo que puede estar sucediendo con los fragmentos de flores y algas unicelulares encontrados en este estudio.

La presencia de la variedad y abundancia de fragmentos inorgánicos de origen antrópico encontrados en las heces y contenidos estomacales puede ser debida a una ingestión accidental debido a que estos fragmentos se depositan tanto en la vegetación flotante que consumen los manatíes como en el sustrato y vegetación sumergida (Porter, 2018). La ingestión de desechos como plásticos ha sido reportada para el manatí antillano (Attademo *et al.*, 2015), el manatí de la Florida (Beck y Barros, 1991; Bossart *et al.*, 2004; Reinert, Spellman y Bassett, 2017), el manatí amazónico (Guterres-Pazin, Rosas y Marmontel, 2012; Silva y Marmontel, 2009b) y el Dugón (Ceccarelli, 2009). Si bien no es el caso de este estudio, los

grandes fragmentos de elementos inorgánicos pueden ser los causantes directos de la muerte de los individuos por la obstrucción el sistema digestivo, como se ha reportado para 21 manatíes entre 1979-1986 y 1993-2012 (Attademo *et al.*, 2015; Beck y Barros, 1991; Reinert, Spellman y Bassett, 2017; Silva y Marmontel, 2009a).

La mayoría de las muestras con partículas inorgánicas han sido encontradas en el sistema digestivo de individuos muertos (62.5%), lo que puede representar una acumulación de estas partículas en el sistema digestivo. Cada vez es más frecuente ver el efecto del aumento en el desarrollo antropogénico en las costas, lo que genera mayores aportes de elementos inorgánicos al océano, afectando indirectamente a estas especies con el deterioros de su hábitat y directamente con la ingesta de partículas y el enmallamiento involuntario, desencadenando una amenaza letal directa y creciente para los manatíes (Poeta *et al.*, 2017).

IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IX.I. Conclusiones

Este estudio permitió identificar las plantas de mayor importancia nutricional potencial para los manatíes gracias, entre otros aspectos, a sus aportes proteicos y de agua dulce, siendo éstos los pastos marinos *Halodule wrightii*, *Syringodium*

filiforme, *Thalassia testudinum*, la Batófora *Batophora* sp. y el Lirio acuático *Eicchornia crassipes*.

Al igual que lo ha concluido Worthy y Worthy en 2014, el manganeso ha demostrado ser un marcador eficiente en manatíes, ya que permite obtener información fisiológica importante sin necesidad de recurrir a métodos invasivos.

La eficiencia digestiva no es un parámetro estable que pueda atribuirse a una determinada dieta. Por el contrario, es un parámetro flexible que se adapta a las características de las especies, su dieta y sus necesidades metabólicas (Hume, 2005). Los manatíes antillanos presentan alta eficiencia digestiva cuando su dieta es baja en fibra, sin embargo, este parámetro nutricional debe acompañarse de información adicional como las tasas de ingesta para tener un panorama completo sobre el estado nutricional de una población. Es necesario desarrollar investigaciones en la eficiencia digestiva en vida libre, donde se debe conocer de la forma más completa posible la dieta y los patrones de movilidad de los individuos en la zona de estudio. Con la información obtenida en este estudio, esperaríamos encontrar que en las zonas dulceacuícolas la eficiencia digestiva será menor que la que se presente para animales alimentándose en zonas estuarinas y marinas, debido a la fibra presente en plantas terrestres y flotantes.

Los resultados de este estudio sugieren que los manatíes en el Caribe mexicano y norte de Belice presentan una baja proporción de semillas completas en sus heces,

las cuales además no presentaron viabilidad para germinación, sin embargo es necesario realizar estudios detallados teniendo en cuenta la fenología de la vegetación.

IX.II. Recomendaciones

Se recomienda que los pastos marinos (*Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme*, *Thalassia testudinum*), así como la Batófora (*Batophora* sp.) y el Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) sean usados para complementar y/o mejorar los esquemas alimenticios de los individuos en cautiverio y rehabilitación, asegurando así una buena nutrición para un proceso exitoso y una mejor adaptación a la vida libre. En centros de cautividad se recomienda realizar cultivos propios de estas especies, para utilizar como complemento en la dieta de animales de estadía permanente que no tengan posibilidades de liberación y en procesos de rehabilitación, para la introducción paulatina en la dieta. Se propone que, debido a esta importancia para los manatíes, estas plantas sean tenidas en cuenta como objetos de conservación en procesos de protección a los ecosistemas, siendo un criterio sólido para la conservación de la biodiversidad, y en el caso de especies invasoras, se generen proyectos para su aprovechamiento en planes de alimentación de herbívoros.

Se sugiere continuar con la investigación enfocada en las características nutricionales de especies vegetales consumidas por manatíes incluyendo las algas, así como el desarrollo de estudios enfocados en las necesidades metabólicas de

minerales y oligoelementos. Esta información es clave para mejorar la calidad nutricional en procesos de rehabilitación y cautiverio.

Se recomienda realizar previamente el análisis histológico de las excretas y una evaluación exhaustiva de la potencial dieta sugerida de los manatíes en zonas donde se reconozcan poblaciones para tener una mejor idea de la dieta de los individuos, especialmente en ecosistemas de agua dulce.

En cautiverio, los suplementos dietarios, como las galletas de mono, son importantes para que los animales reciban las cantidades adecuadas de macro y micronutrientes que requieren en su crecimiento y que, las dietas basadas exclusivamente en vegetales cultivados no proporcionan. Las dietas bajas en nutrientes podrían contemplar el uso de brócoli y espinaca debido a su alto contenido proteico. En proceso de rehabilitación el uso de pastos marinos como *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme*, *Thalassia testudinum* y plantas de agua dulce como *Eicchornia crassipes* y *Vallisneria* sp. son fundamentales en el proceso de crecimiento y manutención.

Es necesario mejorar el conocimiento sobre las actividades antropogénicas y la forma en como impactan a los ecosistemas, ya que las malas prácticas pueden generar condiciones que promuevan procesos de bioacumulación de contaminantes en la vegetación y por consiguiente en la población de manatíes, puede presentarse el consumo de elementos inorgánicos como plásticos, que en grandes cantidades

pueden ser letales. El buen manejo del hábitat del manatí es fundamental para su supervivencia y bienestar, por lo cual es necesario implementar medidas de manejo a residuos sólidos y líquidos.

Es necesario realizar acciones de limpieza y manejo de residuos provenientes de las comunidades locales en el Caribe mexicano, beliceño y las que llegan a la costa provenientes de corrientes marinas, así como se hace imperante la regulación de pesticidas usados en las industrias agrícolas de la región, que pueden estar impactando de forma negativa a la población de manatíes.

La identificación de semillas detectadas en las heces de manatíes es un proceso largo y dispendioso, debido a la falta de información sobre las estructuras sexuales de muchas plantas. Se recomienda realizar un catálogo de las semillas de especies presentes en el área de estudio y realizar colecta de heces durante los periodos de floración y fructificación de la vegetación.

Es necesario que se lleve a cabo un monitoreo sobre la presencia de elementos inorgánicos tanto en el ecosistema como en los manatíes (tanto vivos como muertos) en vida libre y cautiverio, y se desarrollen estrategias para la toma de decisiones que le den manejo a la problemática de los desechos para que de forma preventiva se pueda frenar una afectación directa por estas partículas a la población de manatíes del Caribe mexicano.

X. APLICACIONES PRÁCTICAS DEL TRABAJO

Pese a los beneficios observados a nivel nutrimental en las plantas sumergidas principalmente pastos marinos y algas en ecosistemas marinos, estuarinos y dulceacuícolas, se presentan limitantes en su crecimiento y disponibilidad estacional, potencializando el consumo de otras especies ofrecidas por el ecosistema que, pese a tener bajo aporte nutricional, pueden suplementar los requerimientos nutricionales de la especie (Colares, 1991), gracias a las adaptaciones a dietas pobres antes mencionadas. De aquí la importancia de conservar la conectividad entre los ecosistemas para procurar la permanencia y bienestar de los manatíes en la región. Se ha calculado que el rango de hogar de manatíes en el Caribe puede variar entre 202 y 5156 km² (Castelblanco-Martínez et al., 2013). Por lo cual, se propone tomar en cuenta los cuerpos de agua dulce en el diseño e implementación de estrategias de conservación como las áreas protegidas, puntualmente articulando las actividades de protección en el Rio Hondo con las áreas protegidas adyacentes ya declaradas.

Con los resultados de este trabajo, es posible para los centros de cautividad y rehabilitación diseñar y monitorear los factores nutricionales de los animales bajo su cuidado, con el fin de llevar procesos óptimos de adaptación a plantas de vida silvestre y un mantenimiento balanceado de nutrientes. Los resultados muestran las mejores especies tanto de vegetales cultivados (brócoli y espinaca) como de flora

de vida libre (*Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme*, *Thalassia testudinum*, *Eicchornia crassipes*, *Batophora* sp.) más recomendadas para propender un estado de salud óptimo para los individuos, y así mismo optimizar los recursos que se necesitan en los procesos de cautividad.

El conocimiento sobre el efecto de la herbivoría del manatí sobre las poblaciones de flora es aún incipiente. La información generada en este estudio sobre la presencia de semillas en las heces abre todo un campo para la investigación sobre la relación ecológica entre el manatí y su hábitat, permitiendo aclarar su papel como simple consumidor o como posible ingeniero ecosistémico según la calidad y cantidad de dispersión.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Aketa, K., Asano, S., Wakai, Y. and Kawamura, A. 2003. Apparent digestibility of eelgrass *Zostera marina* by captive dugongs *Dugong dugon* in relation to the nutritional of eelgrass and dugong feeding parameters. *Mammal Study*, **28**: 23-30.
- Álvarez-Legorreta, T. 2002. Plaguicidas organoclorados en sedimentos de la Bahía de Chetumal y del río Hondo. Una revisión de los estudios realizados de 1993 a 1999. pp. 171-178 En: F. J. Rosado-May, R. Romero-Mayo, y A. de Jesús-Navarrete (Eds.), *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia* (Vol. Serie Bahía de Chetumal No. 2, pp. 171-178). Chetumal: Universidad de Quintana Roo.
- Allen, A. C., Beck, C. A., Bonde, R. K., Powell, J. A., y Gomez, N. A. 2017. Diet of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) in Belize, Central America. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*: 1-10.
- Allen, A. C., Beck, C. A., Bonde, R. K., Powell, J. A., y Gomez, N. A. 2018. Diet of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) in Belize, Central America. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **98(7)**: 1-10.

- Aragones, L. V., Lawler, I., Marsh, H., Domning, D., y Hodgson, A. 2012. The role of sirenians in aquatic ecosystems. Sirenian conservation: issues and strategies in developing countries. University Press of Florida, Gainesville, FL: 4-11.
- Aragones, L. V., Lawler, I. R., Foley, W. J., y Marsh, H. 2006. Dugong grazing and turtle cropping: grazing optimization in tropical seagrass systems? *Oecologia*, **149**: 635–647.
- Attademo, F. L. N., Balensiefer, D. C., da Bôaviagem Freire, A. C., de Sousa, G. P., da Cunha, F. A. G. C., y de Oliveira Luna, F. 2015. Debris ingestion by the Antillean Manatee (*Trichechus manatus manatus*). *Marine pollution bulletin*, **101(1)**: 284-287.
- Barboza, P. S. 1993. Digestive strategies of the wombats: feed intake, fiber digestion, and digesta passage in two grazing marsupials with hindgut fermentation. *Physiological Zoology*, **66(6)**: 983-999.
- Barboza, P. S., Parker, K. L., y Hume, I. D. 2008. Integrative wildlife nutrition: Springer Science & Business Media.
- Barrera, N. M. 2018. Varamientos de manatí antillano por impactos de embarcaciones en Belice y el papel de las áreas protegidas para su conservación. Maestría. El Colegio de la Frontera Sur, Université de Sherbooke,
- Barros, N. 2017. A ocorrência de peixes-bois (*Trichechus* spp.) na Baía do Marajó, Pará e o estudo bromatológico de macrófitas aquáticas em potencial na dieta. Universidad Federal de Pará, Belém, Pará.

- Beck, C. A., y Barros, N. B. 1991. The impact of debris on the Florida manatee. *Marine pollution bulletin*, **22(10)**: 508-510.
- Bengtson, J. L. 1983. Estimating food consumption of free-ranging manatees in Florida. *Journal of Wildlife Management*, **47(4)**: 1186-1192.
- Bergero, D., Miraglia, N., Abba, C., y Polidori, M. 2004. Apparent digestibility of Mediterranean forages determined by total collection of faeces and acid-insoluble ash as internal marker. *Livestock Production Science*, **85(2-3)**: 235-238.
- Best, R. C. 1981. Foods and feeding habits of wild and captive Sirenia. *Mammal Review*, **11(1)**: 3-29.
- Blake, S., Wikelski, M., Cabrera, F., Guezou, A., Silva, M., Sadeghayobi, E., Yackulic, C. B., y Jaramillo, P. 2012. Seed dispersal by Galápagos tortoises. *Journal of Biogeography*, **39(11)**: 1961-1972.
- Blanco, I., y Cho-Rickets, L. 2015. Turneffe Atoll Marine Reserve. Ecosystem Health Monitoring 2014. Belice: University of Belize, Environmental Research Institute.
- Bondi, A. 1988. *Nutrición animal*. Zaragoza: Ed. Acribia.
- Borges, J. C. G., Araújo, P. G., Anzolin, D. G., y de Miranda, G. E. C. 2008a. Identificação de itens alimentares constituintes da dieta dos peixes-boi marinhos (*Trichechus manatus*) na região Nordeste do Brasil. *Biotemas*, **21(2)**: 77-81.
- Borges, J. C. G., Araújo, P. G., Daiane, D. G., y de Miranda, G. E. C. 2008b. Identificação de itens alimentares constituintes da dieta dos peixes-boi

- marinhos (*Trichechus manatus*) na região Nordeste do Brasil. *Biotemas*, **21(2)**: 77-81.
- Bossart, G. D., Meisner, R. A., Rommel, S. A., Lightsey, J. D., Varela, R. A., y Defran, R. H. 2004. Pathologic Findings in Florida Manatees (*Trichechus manatus latirostris*). *Aquatic Mammals*, **30(3)**: 434–440.
- Boyd, C. E. 1968. Fresh-water plants: a potential source of protein. *Economic Botany*, **22(4)**: 359-368.
- Boyd, C. E., y Goodyear, C. P. 1971. Nutritive quality of food in ecological systems. *Arch. Hydrobiol*, **69(2)**: 256-270.
- Brown, K. J., y Downs, C. T. 2003. Digestive efficiency of a generalist avian feeder, the Cape white-eye (*Zosterops pallidus*). *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*, **134(4)**: 739–748.
- Brownie, C., y Boos, D. D. 1994. Type I error robustness of ANOVA and ANOVA on ranks when the number of treatments is large. *Biometrics*: 542-549.
- Burn, D. M. 1986. The digestive strategy and efficiency of the West Indian manatee, *Trichechus manatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, **85(1)**: 139-142.
- Cabrias-Contreras, L. 2018. Caracterización de los componentes de la orina del manatí Antillano (*Trichechus manatus manatus*) en tres localidades del Caribe. Tesis de licenciatura. Universidad de Córdoba, Lórica, Córdoba, Colombia.

- Camarena, T., y Salazar, S. I. 1991. Estudios ecológicos preliminares de la zona sur de Quintana Roo (T. Camarena y S. S.I. Eds.). Chetumal: Centro de Investigaciones de Quintana Roo, Dirección de Investigación Científica.
- Campos-Arceiz, A., y Blake, S. 2011. Megagardeners of the forest—the role of elephants in seed dispersal. *Acta Oecologica*, **37(6)**: 542-553.
- Campos-Arceiz, A., Traeholt, C., Jaffar, R., Santamaria, L., y Corlett, R. T. 2012. Asian tapirs are no elephants when it comes to seed dispersal. *Biotropica*, **44(2)**: 220-227.
- Carrillo, L., Palacios-Hernández, E., Ramírez, A. M., y Morales-Vela, B. 2009. Características hidrometeorológicas y batimétricas. pp. 12-20 En: J. Espinoza-Ávalos, G. Islebe, y H. Hernández-Arana (Eds.), El sistema ecológico de la Bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del mar Caribe (pp. 12-20). Chetumal, Quintana Roo, México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Castelblanco-Martínez, D., Nourisson, C., Quintana-Rizzo, E., Padilla-Saldivar, J., y Schmitter-Soto, J. 2012a. Potential effects of human pressure and habitat fragmentation on population viability of the Antillean manatee *Trichechus manatus manatus*: a predictive model. *Endangered Species Research*, **18(2)**: 129-145.
- Castelblanco-Martínez, D. N., Barba, E., Schmitter-Soto, J. J., Hernández-Arana, H. A., y Morales-Vela, B. 2012b. The trophic role of the endangered Caribbean manatee *Trichechus manatus*; in an estuary with low abundance of seagrass. *Estuaries and Coasts*, **35(1)**: 60-77.

- Castelblanco-Martínez, D. N., Morales-Vela, B., Hernández-Arana, H. A., y Padilla-Saldivar, J. 2009. Diet of manatees *Trichechus manatus manatus* in Chetumal Bay, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, **7(1-2)**: 39-46.
- Castelblanco-Martínez, D. N., Nourisson, C., Quintana-Rizzo, E., Padilla-Saldivar, J. A., y Schmitter-Soto, J. J. 2012c. Potential effects of human pressure and habitat fragmentation on population viability of the Antillean manatee *Trichechus manatus manatus*: a predictive model. *Endangered Species Research*, **18(2)**: 129-145.
- Castelblanco-Martínez, D. N., Padilla-Saldivar, J., Hernández-Arana, H. A., Slone, D., Reid, J., y Morales-Vela, B. 2013. Movement patterns of Antillean manatees in Chetumal Bay (Mexico) and coastal Belize: A challenge for regional conservation. *Marine Mammal Science*, **29(2)**: 166-182.
- Castelblanco Martínez, D. N., Powell, J., Galves, J., y Auil-Gomez, J. 2013. Preliminary information from first tagged manatees in Turneffe Atoll (Belize) reveal regular travel patterns to the mainland. *Sirenews*, **60**: 12-13.
- Castillo, L., González, M. A., Campos, B., Velásquez, D., Ferman, J. L., García, A., Hernández, M. L., Laguna, M., y Yeladaqui, M. 2014. Modelo de indicadores para la evaluación y monitoreo del desarrollo sustentable en la zona costera de Mahahual, Quintana Roo, México. *Perspectiva Geográfica*, **19(2)**: 309-330.

- Ceccarelli, D. M. 2009. Impacts of plastic debris on Australian marine wildlife. Reporte de C&R Consulting para el Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. Australia.
- Clauss, M., Castell, J., Kienzle, E., Dierenfeld, E., Flach, E., Behlert, O., Ortman, S., Streich, W. J., Hummel, J., y Hatt, J. M. 2006. Digestion coefficients achieved by the black rhinoceros (*Diceros bicornis*), a large browsing hindgut fermenter. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **90(7-8)**: 325-334.
- Clauss, M., y Hummel, J. 2005. The digestive performance of mammalian herbivores: why big may not be that much better. *Mammal Review*, **35(2)**: 174-187.
- Clauss, M., Loehlein, W., Kienzle, E., y Wiesner, H. 2003. Studies on feed digestibilities in captive Asian elephants (*Elephas maximus*). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **87(3-4)**: 160–173.
- Clauss, M., Schwarm, A., Ortman, S., Alber, D., Flach, E., Kühne, R., Hummel, J., Streich, W. J., y Hofer, H. 2004. Intake, ingesta retention, particle size distribution and digestibility in the hippopotamidae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **139(4)**: 449-459.
- Clauss, M., Steuer, P., Erlinghagen-Lückerath, K., Kaandorp, J., Fritz, J., Südekum, K.-H., y Hummel, J. 2015. Faecal particle size: digestive physiology meets herbivore diversity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **179**: 182-191.

- Clauss, M., Wilkins, T., Hartley, A., y Hatt, J. M. 2009. Diet composition, food intake, body condition, and fecal consistency in captive tapirs (*Tapirus* spp.) in UK collections. *Zoo Biology*: Published in affiliation with the American Zoo and Aquarium Association, **28(4)**: 279-291.
- Coastal Zone Management Authority & Institute, C. 2014. State of the Belize Coastal Zone Report 2003–2013. Belize City
- Colares, I. G., y Colares, E. P. 2002. Food plants eaten by Amazonian manatees (*Trichechus inunguis*, Mammalia: Sirenia). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **45(1)**: 67-72.
- Conacher, C. A., Poiner, I. R., Butler, J., Pun, S., y Tree, D. J. 1994. Germination, storage and viability testing of seeds of *Zostera capricorni* Aschers. from a tropical bay in Australia. *Aquatic Botany*, **49(1)**: 47-58.
- Coria-Monter, E., y Durán-Campos, E. 2015. Análisis proximal de los pastos marinos de la Laguna de Términos, México. *Hidrobiológica*, **25(2)**: 249-255.
- Corona-Figueroa, M. F. 2019. Análisis de los factores eco-hidrológicos y su afectación en el hábitat y distribución del manatí (Sirenia: *Trichechus manatus manatus*, L.) en el Río Hondo, Quintana Roo, México CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Courbis, S. S., y Worthy, G. A. J. 2003. Opportunistic carnivory by Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). *Aquatic Mammals*, **29(1)**: 104-107.
- Church, D. C., Pond, W. G., y Pond, K. R. 2004. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. México: Limusa Wiley.

- Dawes, C. J. 1986. Seasonal proximate constituents and caloric values in seagrasses and algae on the west coast of Florida. *Journal of Coastal Research*: 25-32.
- De la Lanza, G. 2004. Gran escenario de la zona costera y oceánica de México. *Ciencias*, **76**: 4-13.
- De La Lanza, G., Pérez, M. A. O., y Pérez., J. L. C. 2013. Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, **81**: 33-50.
- De La Torre, A., Andueza, D., Renand, G., Baumont, R., Cantalapiedra-Hijar, G., y Nozière, P. 2019. Digestibility contributes to between-animal variation in feed efficiency in beef cows. *animal*: 1-9.
- Deutsch, C. J., y Reynolds II, J. E. 2012. Florida manatee status and conservation issues. pp. 23-35 En: H. E.M., J. E. Reynolds III, E. V. Aragonés, A. M. Mignucci-Giannoni, y M. Marmontel (Eds.), *Sirenian conservation: issues and strategies in developing countries* (pp. 23-35). Gainesville, FL: University Press of Florida.
- Diario Oficial de la Federación. 2010. Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. 30 de diciembre de 2010. México, D. F.

- Díaz, D. L. 2017. Manual del Laboratorio de Bromatología. Tuxpan, Veracruz: Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana.
- Dinerstein, E. 1991. Seed dispersal by greater one-horned rhinoceros (*Rhinoceros unicornis*) and the flora of Rhinoceros latrines. *Mammalia*, **55(3)**: 355-362.
- Domning, D. 2005. Fossil Sirenia of the West Atlantic and Caribbean region. VII. Pleistocene *Trichechus manatus linnaeus*, 1758. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **25(3)**: 685-701.
- Domning, D. P. 1983. Marching teeth of the manatee. *Natural History*, **92(5)**: 8-12.
- Domning, D. P. 1994. A phylogenetic analysis of the Sirenia. pp. 117-189 En: A. Berta y T. A. Déméré (Eds.), *Contributions in marine mammal paleontology honoring Frank C. Whitmore, Jr.* (Vol. 29, pp. 117-189): Proceedings of the San Diego Society of Natural History.
- Domning, D. P. 2001. Sirenians, seagrasses, and Cenozoic ecological change in the Caribbean. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **166(1-2)**: 27-50.
- Domning, D. P., y Hayek, L. A. C. 1986. Interspecific and intraspecific morphological variation in manatees (Sirenia, *Trichechus*). *Marine Mammal Science*, **2(2)**: 87-144.
- Doughty, C. E., Roman, J., Faurby, S., Wolf, A., Haque, A., Bakker, E. S., Malhi, Y., Dunning Jr., J. B., y Svenning, J. C. 2016. Global nutrient transport in a world of giants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **113(4)**: 868-873.
- Downs, C. T. 2008. Aspects of diet choice and digestion in the dark-capped bulbul *Pycnototus barbatus*. *Ostrich*, **79**: 73–78.

- Environmental Protection Agency, E. 2007. Method 3051A: microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. Washington, DC: US Environmental Protection Agency.
- Espinoza-Ávalos, J., Hernández-Arana, H. A., Álvarez-Legorreta, T., Quan-Young, L. I., Oliva-Rivera, J. J., Valdez-Hernández, M., Zavalamendoza, A., Cruz-Piñón, G., López, C. Y., Sepúlveda-Lozada, A., Worumference, P., Villegas-Castillo, A., y Tussenbroek, B. I. V. 2009. Vegetación acuática sumergida. pp. 148-158. En: J. Espinoza-Ávalos, G. Islebe, y H. Hernández-Arana (Eds.), El sistema ecológico de la Bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del mar Caribe (pp. 148-158.). Chetumal, Quintana Roo, México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Etheridge, K., Rathbun, G. B., Powell, J. A., y Kochman, H. I. 1985. Consumption of aquatic plants by the West Indian manatee. *Journal of Aquatic Plant Management*, **23**: 21-25.
- Fadely, B. S., Worthy, G. A. J., y Costa, D. P. 1990. Assimilation efficiency of northern fur seals determined using dietary manganese. *The Journal of Wildlife Management*, **54**: 246–251.
- Flores-Cascante, L., Morales-Vela, B., Castelblanco-Martínez, D. N., Padilla-Saldivar, J., y Auil Gomez, N. 2013. Elementos de la dieta del manatí *Trichechus manatus manatus* en tres sitios importantes para la especie en México y Belice. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, **5**: 25-36.

- Flores, J. R. 2012. Estudio del Manglar del Rio Hondo: una propuesta para generar estrategias de conservación. Tesis de maestría Universidad de Quintana Roo, Chetumal, México.
- Foley, W., Engelhardt, W., y Charles-Dominique, P. 1995. The passage of digesta, particle size, and in vitro fermentation rate in the three-toed sloth *Bradypus tridactylus* (Edentata: Bradypodidae). *Journal of Zoology*, **236(4)**: 681-696.
- García-Ríos, V., y Gold-Bouchot, G. 2003. Trace metals in sediments from Bahia de Chetumal, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **70(6)**: 1228-1234.
- Geor, R. J., Coenen, M., y Harris, P. 2013. *Equine Applied and Clinical Nutrition E-Book: Health, Welfare and Performance*: Elsevier Health Sciences.
- Gischler, E. 2003. Holocene lagoonal development in the isolated carbonate platforms off Belize. . *Sedimentary Geology*, **159(1-2)**: 113-132.
- Gonzalez-Socoloske, D. 2013. Aspects of the feeding ecology of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) in the wetlands of Tabasco, Mexico. Tesis de Doctorado. Duke University, Durham, Carolina del Norte, EE. UU.
- González-Solís, D., y Vidal -Martínez, V. M. 2004. Helminths parasites of manatees and cetaceans stranded on the coast of the Yucatán Peninsula, Mexico. Documento presentado en XVI Congreso Nacional de Parasitología, Tlaxcala, México
- Goto, M., Ito, C., Sani Yahaya, M., Wakai, Y., Asano, S., Oka, Y., Ogawa, S., Fruta, M., y Kataoka, T. 2004. Characteristics of microbial fermentation and potential

- digestibility of fiber in the hindgut of dugongs (*Dugong dugon*). *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, **37(2)**: 99-107.
- Guterres-Pazin, M. G., Rosas, F. C., y Marmontel, M. 2012. Ingestion of Invertebrates, Seeds, and Plastic by the Amazonian Manatee (*Trichechus inunguis*)(Mammalia, Sirenia). *Aquatic Mammals*, **38(3)**: 322-324.
- Hall, L. M., Hanisak, M. D., y Virnstein, R. W. 2006 Fragments of the seagrasses *Halodule wrightii* and *Halophila johnsonii* as potential recruits in Indian River Lagoon, Florida. *Marine Ecology Progress Series*, **310**: 109-117.
- Harshaw, L. T. 2012. Evaluación de la nutrición del manatí de la Florida (*Trichechus manatus latirostris*). Tesis de Doctorado. Universidad de la Florida, Estados Unidos.
- Hartman, D. S. 1979. Ecology and behavior of the manatee (*Trichechus manatus*) in Florida. Lawrence, Kansas: Special Publication No 5.
- Hernández-Olascoaga, A., Olivera-Gómez, L. D., y Morales-Vela, B. 2017. Helminth parasites in feces of Antillean manatees *Trichechus manatus manatus* (Sirenia:Trichechidae) in Mexico: Gulf of Mexico and Caribbean. *Hidrobiológica*, **27(1)**: 39-44.
- Hirakawa, H. 2001. Coprophagy in leporids and other mammalian herbivores. *Mammal Review*, **31(1)**: 61-80.
- Hosomi, S. T., de Souza, T. B., Custodio, C. C., y Neto, N. B. M. 2017. Refining the tetrazolium test for evaluation of *Cattleya labiata* and *C. tigrina* seeds viability. *Australian Journal of Crop Science*, **11(10)**: 1320-1326.

- Hume, I. D. 2002. Digestive strategies of mammals. *Acta Zoologica Sinica*, **48(1)**: 1-19.
- Hume, I. D. 2005. Concepts of digestive efficiency. pp. 43-58 En: J. Starck y T. Wang (Eds.), *Physiological and ecological adaptations to feeding in vertebrates* (pp. 43-58). Enfield, NH, USA: Science Publishers.
- Hunter, M. E., Auil-Gomez, N. E., Tucker, K. P., Bonde, R. K., Powell, J., y McGuire, P. M. 2010. Low genetic variation and evidence of limited dispersal in the regionally important Belize manatee. *Animal Conservation*, **13(6)**: 592-602.
- INEGI, I. N. d. E. y. G. d. M.-. 2010, [[actualizado al 26 de junio de 2013]]. Censo de Población y Vivienda. Principales resultados por localidad (ITER). Quintana Roo. . Página electrónica (<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>)
- INEGI, I. N. d. E. y. G. d. M. 2017. Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo. México. : Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Janzen, D. H. 1984. Dispersal of small seeds by big herbivores: foliage is the fruit. *The American Naturalist*, **123(3)**: 338-353.
- Jiménez-Domínguez, D. 2006. Eficiencia digestiva de proteína y materia seca de las dietas de manatí (*Trichechus manatus manatus*), en Quintana Roo y Tabasco, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, México.
- Karasov, W. H., Martinez del Rio, C., y Caviedes-Vidal, E. 2011. Ecological physiology of diet and digestive systems. *Annual review of physiology*, **73**: 69-93.

- Kellogg, M. E. 2008. Sirenian conservation genetics and Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*) cytogenetics. Doctor of Philosophy. University of Florida, , Gainesville, FL.
- Kendall, W. L., Langtimm, C. A., Beck, C. A., y Runge, M. C. 2004. Capture-recapture analysis for estimating manatee reproductive rates. *Marine Mammal Science*, **20(3)**: 424-437.
- Kleiber, M. 1975. *The fire of life: an introduction to animal energetics*. Huntington, NY: R.E. Krieger Publ. Co.
- LaCommare, K. S. 2011. *The Conservation and Habitat Ecology of Antillean Manatees (Trichechus manatus manatus) in the Drowned Cayes Area of Belize, Central America*. Doctorado. University of Massachusetts Boston,
- Larkin, I. L. V., Fowler, V. F., y Reep, R. L. 2007. Digesta passage rates in the Florida manatee *Trichechus manatus latirostris*. *Zoo Biology*, **26(6)**: 503-515.
- Latimer Jr., G. W. 2016. *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL 20th Edition*. Rockville, Maryland: AOAC International.
- Leggett, K. 2004. Coprophagy and unusual thermoregulatory behaviour in desert-dwelling elephants of north-western Namibia. *Pachyderm*, **36**: 113-115.
- Levey, D. J., y Karasov, W. H. 1992 Digestive modulation in a seasonal frugivore, the American robin (*Turdus migratorius*). *American Journal of Physiology*, **262**: 711–718.
- Lomolino, M. V., y Ewel, K. C. 1984. Digestive efficiencies of the West Indian manatee (*Trichechus manatus*). *Florida Science*, **47(3)**: 176-179.

- López, A., Morales, M. S., Cabrera, R., y Urra, X. 2000. Ingestión y digestibilidad aparente de forrajes por la llama (*Lama glama*): I.-Heno de alfalfa (*Medicago sativa*) y paja de trigo (*Triticum Aestivum*) en diferentes proporciones. Archivos de medicina veterinaria, **32(2)**: 201-208.
- Marsh, H., O'Shea, T. J., y III, J. E. R. 2011. Ecology and Conservation of the Sirenia: Dugongs and Manatees: Cambridge University Press.
- Marsh, H., O'Shea, T. J., y Reynolds, J. E. 2011. Ecology and Conservation of the Sirenia: dugongs and manatees. Cambridge, UK Cambridge University Press.
- Marsh, H. E., Beck, C., y Vargo, T. 1999. Comparison of the Capabilities of Dugong and West Indian Manatees to Masticate Seagrasses. Marine Mammal Science, **15(1)**: 250-255.
- Masi, S., y Breuer, T. 2018. Dialium seed coprophagy in wild western gorillas: Multiple nutritional benefits and toxicity reduction hypotheses. American journal of primatology, **80(4)**: e22752.
- McKee, K. L., y Faulkner, P. L. 2000. Mangrove peat analysis and reconstruction of vegetation history at the Pelican Cays, Belize. Atoll Research Bulletin, **468**: 47-58.
- Merson, S. D., Ouwerkerk, D., Gulino, L.-M., Klieve, A., Bonde, R. K., Burgess, E. A., y Lanyon, J. M. 2013. Variation in the hindgut microbial communities of the Florida manatee, *Trichechus manatus latirostris* over winter in Crystal River, Florida. FEMS Microbiology Ecology: n/a-n/a.

- Mignucci-Giannoni, A. A., Montoya-Ospina, R. A., Jimenez-Marrero, N. M., Rodriguez-Lopez, M. A., Williams, E. H., y Bonde, R. K. 2000. Manatee mortality in Puerto Rico. *Environmental Management*, **25(2)**: 189-198.
- Miraglia, N., Bergero, D., Bassano, B., Tarantola, M., y Ladetto, G. 1999. Studies of apparent digestibility in horses and the use of internal markers. *Livestock Production Science*, **60(1)**: 21-25.
- Morales-Vela, B., y Olivera-Gómez, L. D. 1994. Distribución espacial y estimación poblacional de los manatíes en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de Investigación Científica*, **2(No. Esp. SOMEMMA 1)**: 27-34.
- Morales-Vela, B., Olivera-Gomez, L. D., Reynolds III, J. E., y Rathbun, G. B. 2000. Distribution and habitat use by manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Belize and Chetumal Bay, Mexico. *Biological Conservation*, **95(1)**: 67-75.
- Morales-Vela, B., Padilla-Saldivar, J. A., y Mignucci-Giannoni, A. A. 2003. Status of the manatee (*Trichechus manatus*) along the northern and western coasts of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Caribbean Journal of Science*, **39(1)**: 42-49.
- Müller, D. W., Codron, D., Meloro, C., Munn, A., Schwarm, A., Hummel, J., y Clauss, M. 2013. Assessing the Jarman–Bell principle: scaling of intake, digestibility, retention time and gut fill with body mass in mammalian herbivores. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **164(1)**: 129-140.
- National Park System, N. 1998. Corozal Bay Wildlife Sanctuary (Manatee) Order. Sistema Natural de Parques. Instrumento Estatutorio. Belice

- Navarro, Z. M., Álvarez, A., y Castelblanco-Martínez, D. N. 2014. Componentes de la dieta de tres individuos de manatí en Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, **34(2)**: 1-11.
- Nourisson, C., Morales-Vela, B., Padilla-Saldívar, J., Tucker, K., Clark, A., Olivera-Gómez, L., Bonde, R., y 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.
- Nowicki, R. J., Fourqurean, J. W., y Heithaus, M. R. 2018. The role of consumers in structuring seagrass communities: direct and indirect mechanisms. pp. 491-540 En: *Seagrasses of Australia* (pp. 491-540): Springer.
- Núñez-Nogueira, G., Pérez-López, A., y Santos-Córdova, J. M. 2019. As, Cr, Hg, Pb, and Cd Concentrations and Bioaccumulation in the Dugong *Dugong dugon* and Manatee *Trichechus manatus*: A Review of Body Burdens and Distribution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **16(3)**: 404.
- O'Farrill, G., Galetti, M., y Campos-Arceiz, A. 2013. Frugivory and seed dispersal by tapirs: an insight on their ecological role. *Integrative zoology*, **8(1)**: 4-17.
- Ochoa, A. G. 2012. El papel de acuarios y parques acuáticos en la conservación del manatí (*Trichechus manatus*) en México. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A.C, Xalapa, Veracruz. Mexico.
- Olivera-Gómez, L. D., y 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.

- Ortega-Argueta, A., y Castelblanco-Martínez, D. N. 2018. Is captive breeding a priority for manatee conservation in Mexico? *Oryx*: 1-8.
- Pearson, R., Archibald, R., y Muirhead, R. 2001. The effect of forage quality and level of feeding on digestibility and gastrointestinal transit time of oat straw and alfalfa given to ponies and donkeys. *British Journal of Nutrition*, **85(5)**: 599-606.
- Pendlebury, C., Odongo, N. E., Renjifo, A., Naelitz, J., Valdes, E. V., y McBride, B. W. 2005. Acid-insoluble ash as a measure of dry matter digestibility in captive African elephants (*Loxodonta africana*). *Zoo Biology: Published in affiliation with the American Zoo and Aquarium Association*, **24(3)**: 261-265.
- Pérez-Lizaur, A. B., Palacios González, B., Castro Becerra, A. L., y Flores-Galicia, I. 2014. *Sistema mexicano de alimentos equivalentes (4ta Ed. ed.)*. México, D.F.: Editorial Ogali.
- Peterken, C. J., y Conacher, C. A. 1997. Seed germination and recolonisation of *Zostera capricorni* after grazing by dugongs. . *Aquatic Botany.*, **59(3-4)**: 333-340.
- Phillips, R. C., y Meñez, E. G. 1988. *Seagrasses (Vol. 34)*. Washington, DC.: Smithsonian Institution press.
- Poeta, G., Staffieri, E., Acosta, A. T., y Battisti, C. 2017. Ecological effects of anthropogenic litter on marine mammals: A global review with a “black-list” of impacted taxa. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, **28(2)**: 253-264.

- Ponce-García, G., Olivera-Gómez, L. D., y Solano, E. 2017. Analysis of the plant composition of manatee (*Trichechus manatus manatus*) faeces in a lake in south-eastern Mexico. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **27(4)**: 797-803.
- Porter, A. 2018. The movement of plastics through marine ecosystems and the influences on bioavailability and uptake into marine biota. Tesis de Doctorado. . Universidad de Exeter,
- Quintana, E., Castelblanco-Martínez, D. N., Edwards, H. H., Morales, B., Ubeda, A., y Walker, Z. 2015. First regional aerial survey of Antillean manatees (*Trichechus manatus manatus*) in the Mexico-Belize-Guatemala region of Central America. Documento presentado en The Seventh International Sirenian Symposium, 20th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, San Francisco, CA.
- Reep, R. L., y Bonde, R. 2006. The Florida manatee. Gainesville, FL: The University Press of Florida.
- Reinert, T. R., Spellman, A. C., y Bassett, B. L. 2017. Entanglement in and ingestion of fishing gear and other marine debris by Florida manatees, 1993 to 2012. *Endangered Species Research*, **32**: 415-427.
- Rejmankova, E., Pope, K. O., Pohl, M. D., y Rey-Benayas, J. M. 1995. Freshwater wetland plant communities of northern Belize: implications for paleoecological studies of Maya wetland agriculture. *Biotropica*: 28-36.

- Remis, M. J., y Dierenfeld, E. S. 2004. Digesta passage, digestibility and behavior in captive gorillas under two dietary regimens. *International Journal of Primatology*, **25(4)**: 825-845.
- Reynolds III, J. E., y Rommel, S. A. 1996. Structure and function of the gastrointestinal tract of the Florida manatee, *Trichechus manatus latirostris*. *The Anatomical Record*, **245(3)**: 539 - 558.
- Rodrigues, F. M. 2018. Ecologia alimentar e composição bromatológica de alimentos do peixe-boi-marinho (*Trichechus manatus*) na Paraíba. Tesis de Maestría. Universidad Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil.
- Rodríguez, L. A. 2011. $\delta^{15}\text{N}$ en *Thalassia testudinum* como indicador de impacto antropogénico en la región costera de Mahahual, Quintana Roo, México. . Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. , La Paz, Baja California Sur.
- Romain, S., Angkawanish, T., Bampenpol, P., Pongsopawijit, P., Sombatphuthorn, P., Nomsiri, R., y Silva-Fletcher, A. 2014. Diet composition, food intake, apparent digestibility, and body condition score of the captive Asian elephant (*Elephas maximus*): A pilot study in two collections in Thailand. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, **45(1)**: 1-14.
- Rosen, D. A. S., y Trites, A. W. 2000. Digestive efficiency and dry-matter digestibility in Steller sea lions fed herring, pollock, squid, and salmon. . *Can J Zool*, **78**: 234–239.
- Runge, M. C., Langtimm, C. A., y Kendall, W. L. 2004. Stage-based model of manatee population dynamics. *Marine Mammal Science*, **20(3)**: 361-385.

- Rützler, K., Goodbody, I., Diaz, M. C., Feller, I. C., y Macintyre, I. G. 2004. The aquatic environment of twin Cays, Belize. *Atoll Research Bulletin*, **512**: 1-49.
- Sawada, A., Sakaguchi, E., y Hanya, G. 2011. Digesta passage time, digestibility, and total gut fill in captive Japanese macaques (*Macaca fuscata*): effects food type and food intake level. *International Journal of Primatology*, **32(2)**: 390-405.
- Schmidt, D. A., Kerley, M. S., Dempsey, J. L., Porton, I. J., Porter, J. H., Griffin, M. E., Eilersieck, M. R., y Sadler, W. C. 2005. Fiber digestibility by the orangutan (*Pongo abelii*): in vitro and in vivo. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, **36(4)**: 571-581.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., y Eliceiri, K. W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, **9**: 671-675.
- Self-Sullivan, C., y Mignucci-Giannoni, A. 2008, [Junio 30 de 2018]. *Trichechus manatus* ssp. *manatus*. The IUCN Red List of Threatened Species. Página electrónica
[\(<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T22105A9359161.en.>\)](http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T22105A9359161.en.)
- Self-Sullivan, C., y Mignucci-Giannoni, A. 2012. West Indian Manatees (*Trichechus manatus*) in the Wider Caribbean Region. pp. 36-46 En: H. E.M., J. E. Reynolds III, E. V. Aragonés, A. M. Mignucci-Giannoni, y M. Marmontel (Eds.), *Sirenian conservation. Issues and strategies in developing countries* (pp. 36-46). Gainesville, FL.: University Press of Florida.
- Sidrim, J. J. C., Carvalho, V. L., Castelo-Branco, D. d. S. C. M., Brilhante, R. S. N., Bandeira, T. d. J. P. G., Cordeiro, R. d. A., Guedes, G. M. d. M., Barbosa, G.

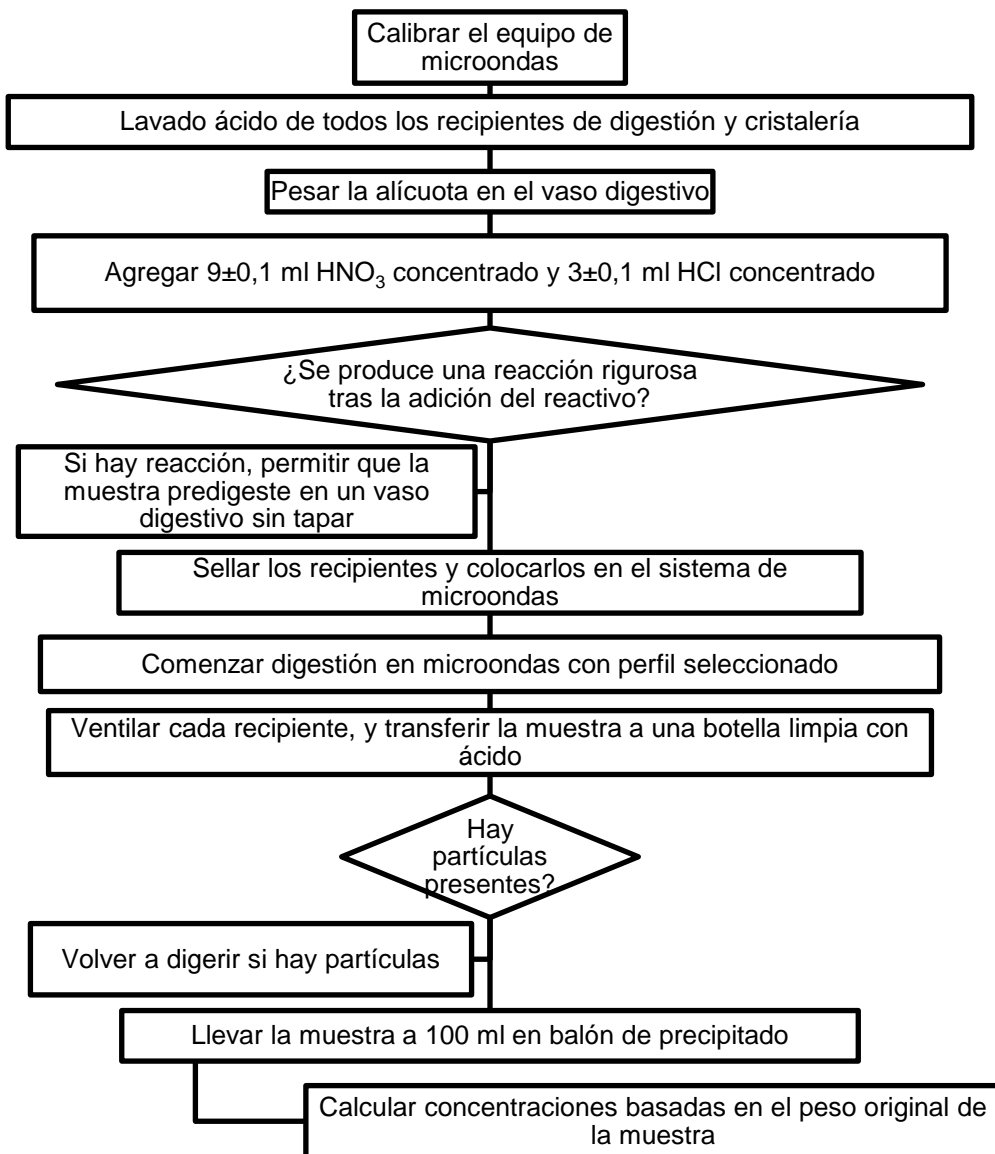
- R., Lazzarini, S. M., y Oliveira, D. C. R. 2015. Yeast microbiota of natural cavities of manatees (*Trichechus inunguis* and *Trichechus manatus*) in Brazil and its relevance for animal health and management in captivity. Canadian journal of microbiology, **61(10)**: 763-769.
- Siegal-Willott, J. L., Harr, K., Hayek, L.-A. C., Scott, K. C., Gerlach, T., Sirois, P., Reuter, M., Crewz, D. W., y Hill, R. C. 2010. Proximate Nutrient Analyses of Four Species of Submerged Aquatic Vegetation Consumed by Florida Manatee (*Trichechus manatus latirostris*) Compared to Romaine Lettuce (*Lactuca sativa var. longifolia*). Journal of Zoo and Wildlife Medicine, **41(4)**: 594-602.
- Silva, A. B., y Marmontel, M. 2009a. Ingestão de lixo plástico como provável causa mortis de peixe-boi amazônico (*Trichechus Inunguis* Natterer, 1883). Uakari, **5(1)**: 105-112.
- Silva, A. B., y Marmontel, M. 2009b. Ingestão de lixo plástico como provável causa mortis de peixe-boi amazônico (*Trichechus Inunguis* Natterer, 1883)). Uakari, **5(1)**: 105-112.
- Thayer, G. W., Bjorndal, K. A., Ogden, J. C., Williams, S. L., y Ziemann, J. C. 1984. Role of larger herbivores in seagrass communities. Estuaries, **7(4)**: 351-376.
- Tol, S. J., Jarvis, J. C., York, P. H., Grech, A., Congdon, B. C., y Coles, R. G. 2017. Long distance biotic dispersal of tropical seagrass seeds by marine mega-herbivores. Scientific Reports, **7(1)**: 4458.
- Troyer, K. 1984. Diet selection and digestion in Iguana iguana: the importance of age and nutrient requirements. Oecologia, **61(2)**: 201-207.

- Ullrey, D., Robinson, P., y Whetter, P. 1981. Eucalyptus Digestibility and Digestible Energy Requirements of Adult Male Koalas, *Phascolarctos cinereus* (Marsupialia). Australian journal of zoology, **29(6)**: 847-852.
- UNEP. 2010. Regional Management Plan for the West Indian Manatee (*Trichechus manatus*) compilado por Ester Quintana-Rizzo and John Reynolds III. CEP Reporte técnico No. 48. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston, Jamaica.
- Valentine, J. F., y Duffy, J. E. 2007. The central role of grazing in seagrass ecology. pp. 463-501 En: Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation (pp. 463-501): Springer.
- Van Soest, P. 1994 Nutritional Ecology of the Ruminant, 2nd ed Itaca, New York: Cornell University Press.
- Van Soest, P. J. 1996 Allometry and ecology of feeding behavior and digestive capacity in herbivores: a review. Zoo Biology: Published in affiliation with the American Zoo and Aquarium Association, **15(5)**: 455-479.
- van Tussenbroek, B. I., Barba, M. G., Wong, J. G. R., van Dijk, J. K., y Waycott, M. 2010. Guía de los Pastos Marinos Tropicales del Atlántico Oeste/A guide to the Tropical Seagrasses of the Western Atlantic (Vol. 46). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vendl, C., Frei, S., Dittmann, M. T., Furrer, S., Osmann, C., Ortmann, S., Munn, A., Kreuzer, M., y Clauss, M. 2016. Digestive physiology, metabolism and methane production of captive Linné's two-toed sloths (*Choloepus*

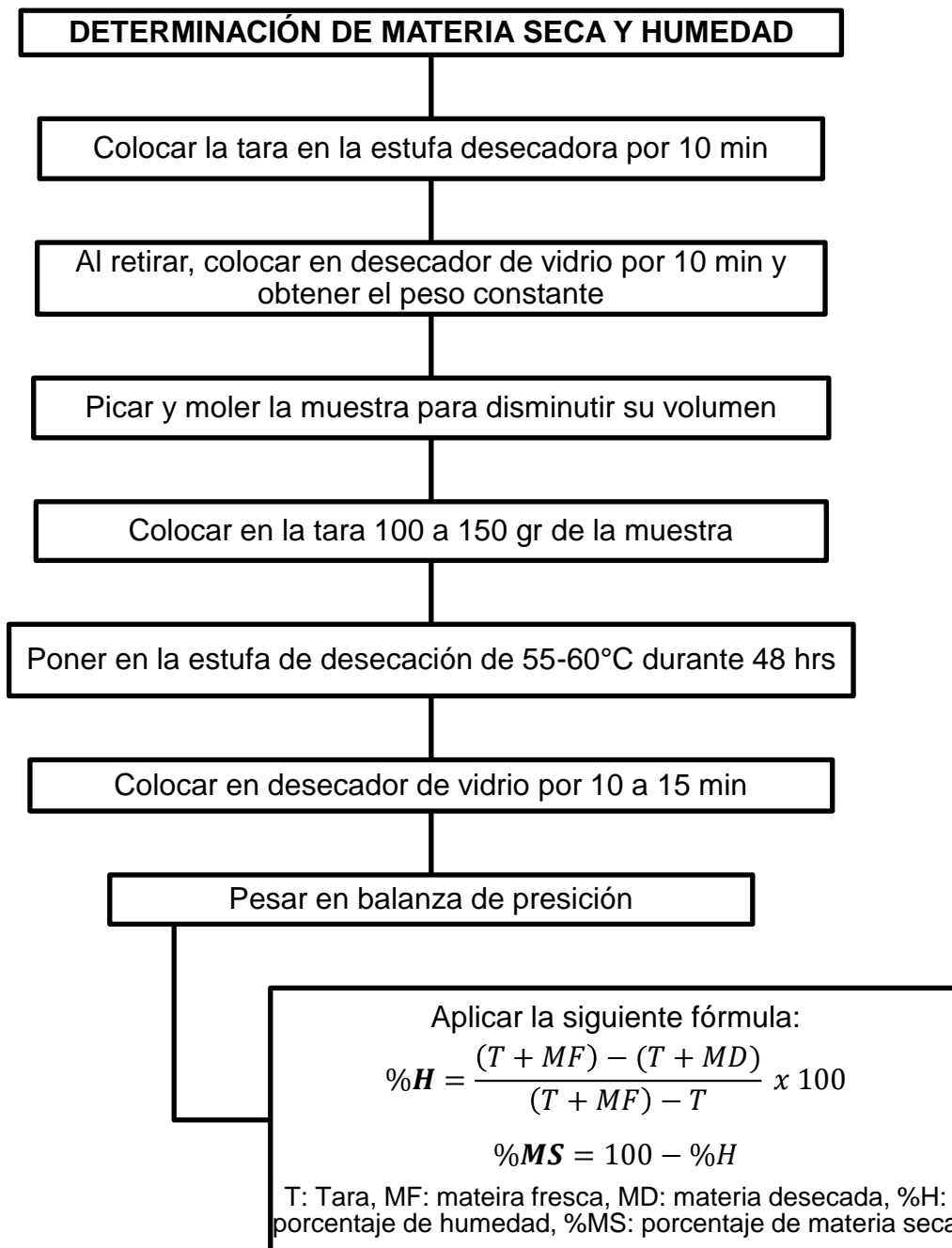
- didactylus*). Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, **100(3)**: 552-564.
- Verdecia, D., Herrera, R. S., Ramírez, J., Leonard, I., Bodas, R., Andrés, S., Giráldez, F., González, J., Arceo, Y., y Álvarez, Y. 2013. Efecto de la edad de rebrote en la calidad nutritiva de la *Neonotonia wightii* en el Valle del Cauto, Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, **47(1)**.
- Vianna, J. A., Bonde, R. K., Caballero, S., Giraldo, J. P., Lima, R. P., Clark, A., Marmontel, M., Morales-Vela, B., De Souza, M. J., Parr, L., Rodriguez-Lopez, M. A., Mignucci-Giannoni, A. A., Powell, J. A., y Santos, F. R. 2006. Phylogeography, phylogeny and hybridization in trichechid sirenians: implications for manatee conservation. Molecular Ecology, **15(2)**: 433-447.
- Worthy, G. A., y Worthy, T. A. 2014. Digestive Efficiencies of Ex Situ and In Situ West Indian Manatees (*Trichechus manatus latirostris*)*. Physiological and Biochemical Zoology, **87(1)**: 77-91.
- Wyrosdick, H., Chapman, A., Mignucci-Giannoni, A. A., Rivera-Pérez, C. I., y Bonde, R. K. 2018. Internal parasites of the two subspecies of the West Indian manatee *Trichechus manatus*. Diseases of aquatic organisms, **130(2)**: 145-152.
- Yuan, Z., y Chen, H. Y. 2009. Global-scale patterns of nutrient resorption associated with latitude, temperature and precipitation. Global Ecology and Biogeography, **18(1)**: 11-18.
- Zar, J. 2010. Biostatistical analysis 5th ed. (5th ed. ed.). Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall Inc. .

XII. ANEXOS

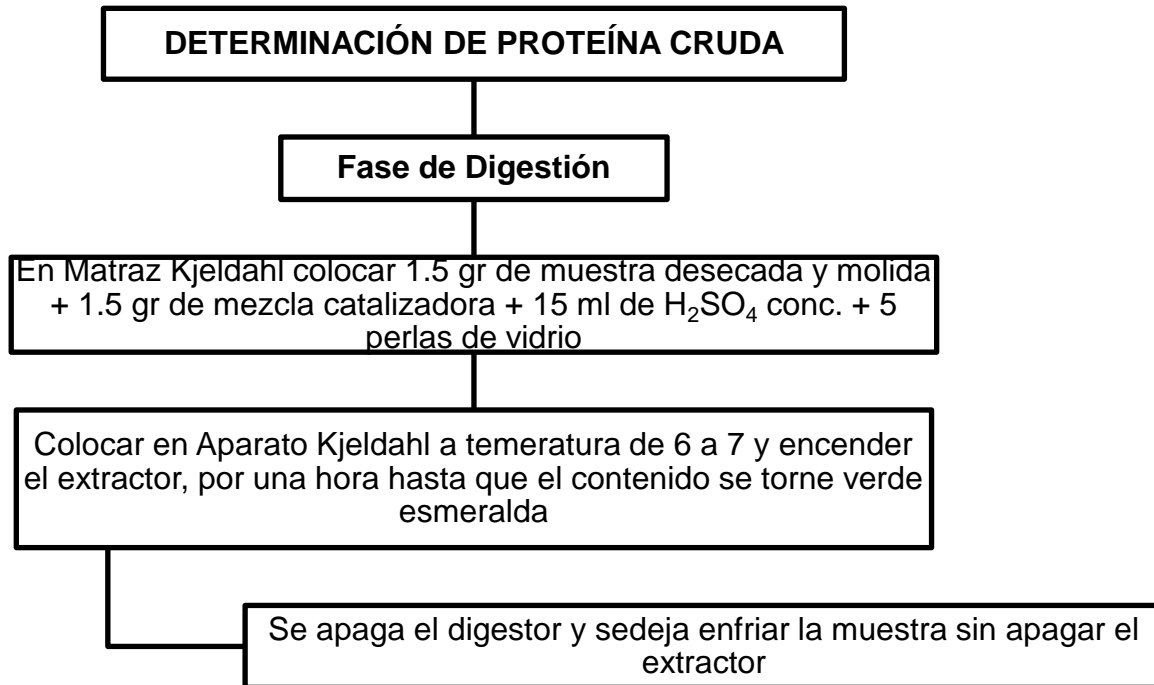
Anexo 1. Procedimiento de digestión ácida para determinación de concentración de manganeso por espectrofotometría – Método 3051^a (EPA, 2007)

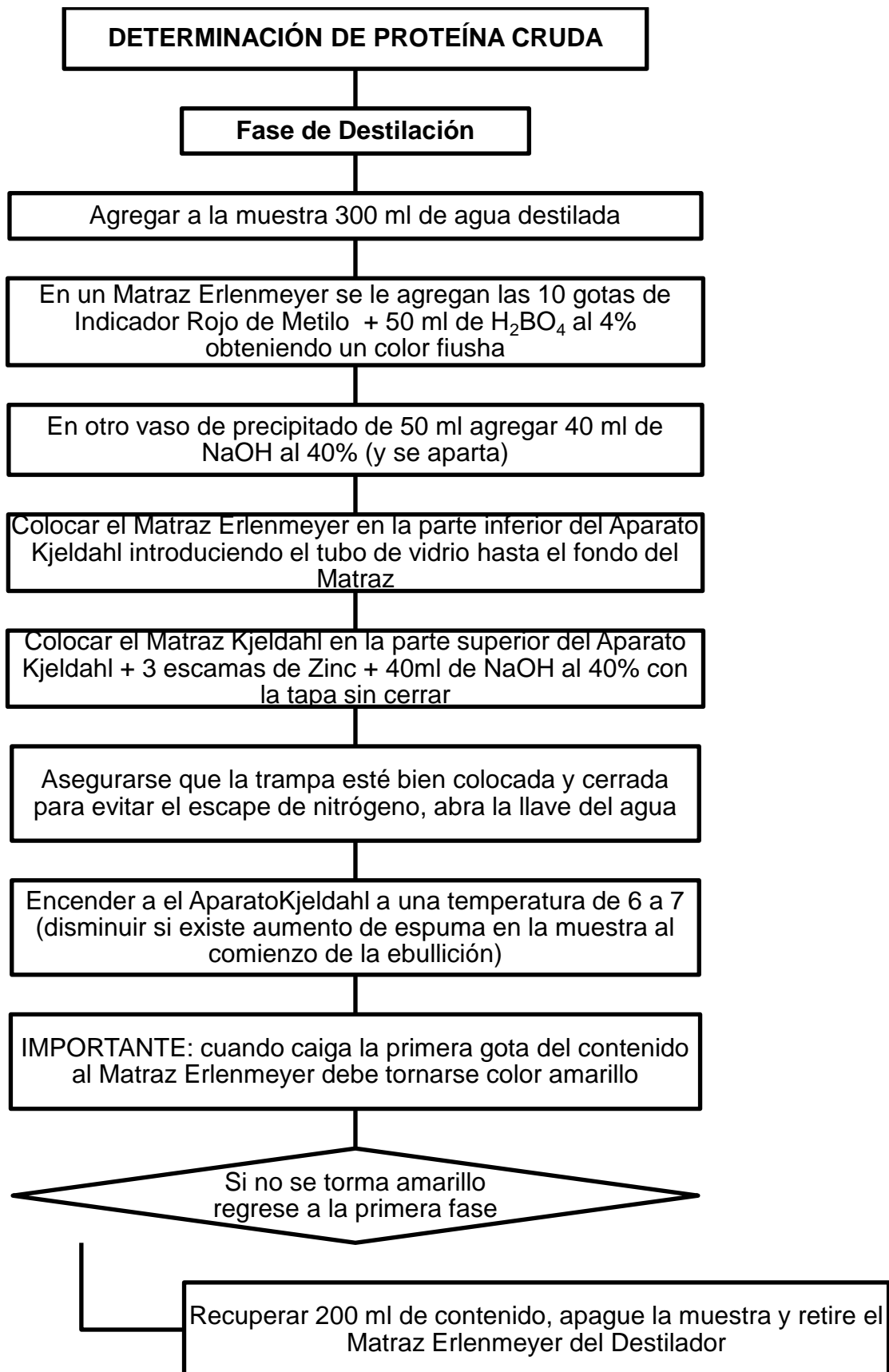


Anexo 2. Metodología para determinación de materia seca y humedad



Anexo 3. Metodología para determinación de proteína cruda (tres fases)





DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA

Fase de Titulación

Llenar la Butera Automatica con HCl al 0.1 de normalidad

En el Matraz Erlenmeyer colocar 200 ml de contenido recuperado debajo de la Butera Automática y se deja caer gota a gota en HCl

Detener el gotero cuando el contenido del Matraz se torne fiusha y se registra el total de mililitros utilizados de HCl

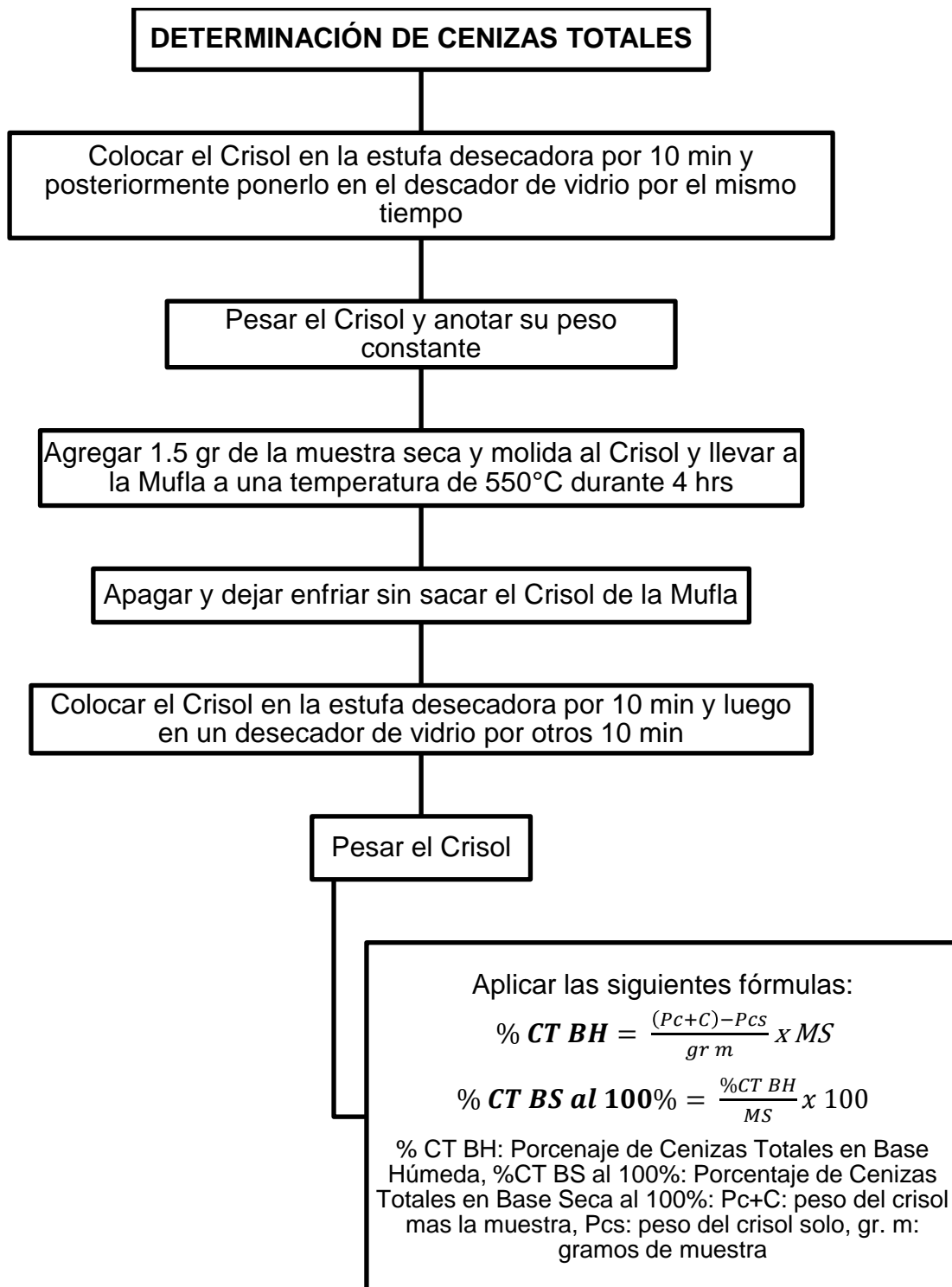
Aplicar las siguientes fórmulas:

$$\%PC \text{ BS al } 100\% = \frac{ml \text{ U} \times NA \times 0.014 \times 6.25}{gr \text{ m}} \times 100$$

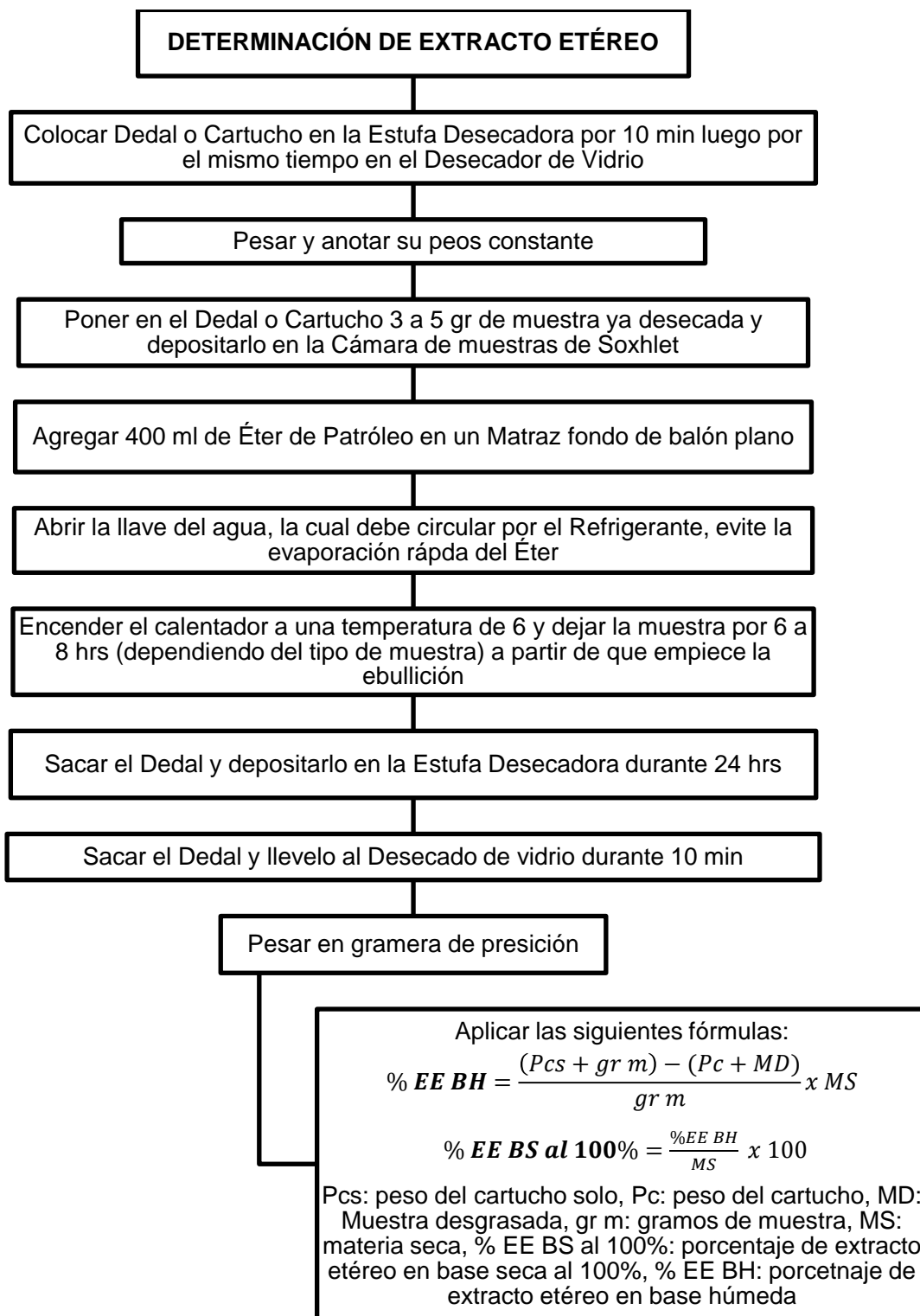
$$\% PC \text{ BH} = \frac{\%PC \text{ BS al } 100\%}{100} \times MS$$

%PC BS al 100%: Porcentaje de Proteína Cruda en Base Seca al 100%, mlU: mililitros utilizados, NA: normalidad del ácido, gr m: gramos de muestra, %PC BH: Porcentaje de Proteína Cruda en Base Húmeda

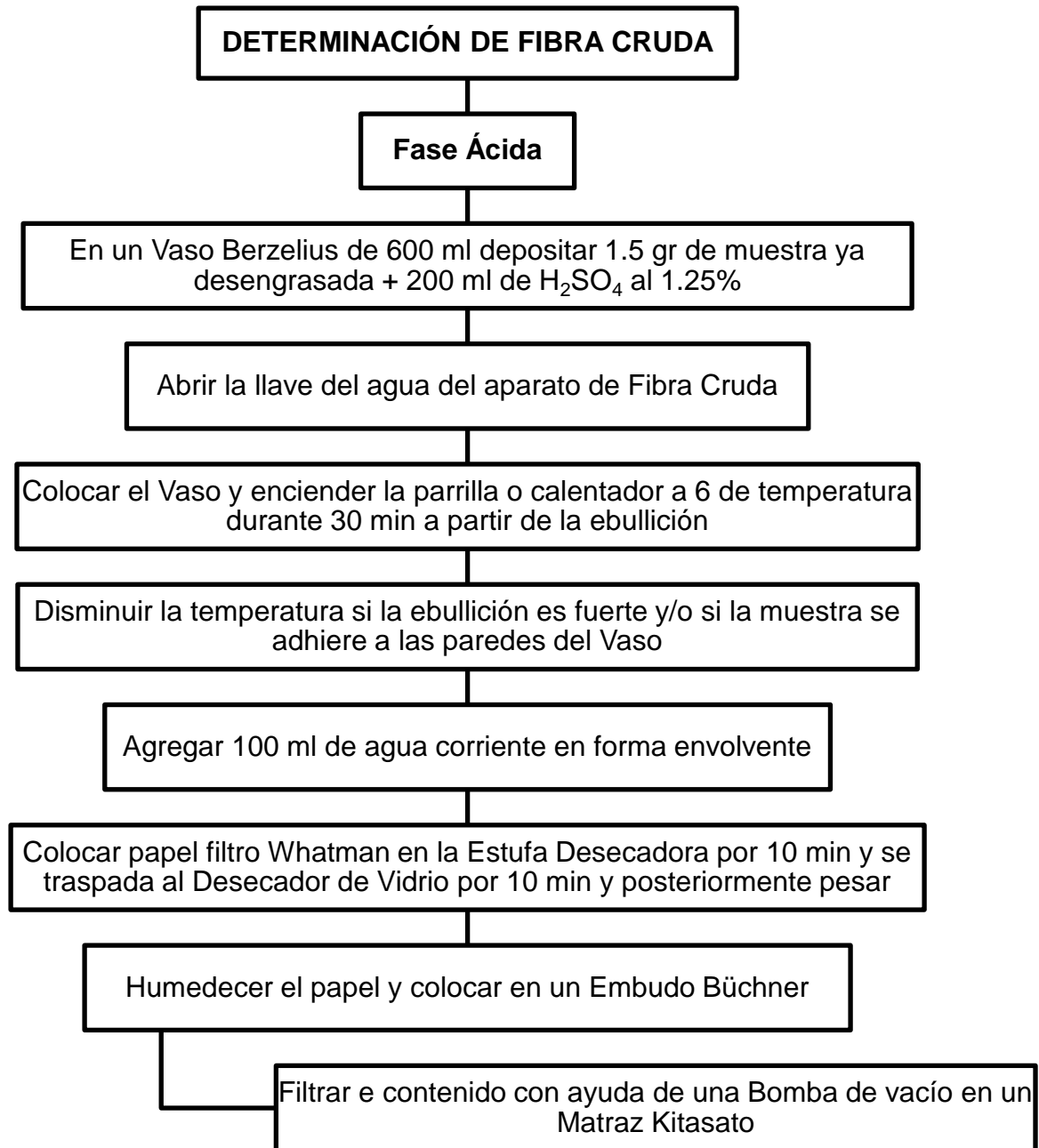
Anexo 4. Metodología para determinación de cenizas totales



Anexo 5. Metodología para determinación de extracto etéreo



Anexo 6. Metodología para determinación de fibra cruda (dos fases)



DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA

Fase Alcalina

Lavar el papel filtro con NaOH al 1.25% depositando la muestra en el Vaso Berzelius de 600 ml, completando a 200 ml con el NaOH

Colocar el Vaso con la muestra en el Aparato de Fibra Cruda y enciender la parrilla o calentador a una temperatura de 6 durante 30 min a partir de que empiece la ebullición

Disminuir la temperatura si la ebullición es fuerte y/o si la muestra se adhiere a las paredes del Vaso

Apagar el equipo, retirar el Vaso de la parrilla y agregue 10 ml de agua corriente en forma envolvente

Colocar el papel filtro en un Embudo Büchner para filtrar nuevamente el contenido con ayuda de una Bomba de vacío en un Matraz Kitasato

Extraer el papel filtro doblándolo en cuatro partes iguales y llevar a Estufa Desecadora por 24 hrs

Trasladar al Desecador de Vidrio durante 10 min, y pesar el papel filtro con la muestra

Aplicar las siguientes fórmulas:

$$F = (\%EE\ BH + \%CT\ BH)$$

$$\%FC\ BH = \frac{(Pp + M) - Pps}{Gr\ m} \times F$$

$$\%FC\ BS\ al\ 100\% = \frac{\%FC\ BH}{MS} \times 100$$

F= Factor, % EE BH: Porcentaje de Extracto Etéreo en base húmeda, % CT BH: Porcentaje de Cenizas Totales en base húmeda, Pp: peso de papel, M: muestra, gr.m: gramos de muestra, MS: materia seca, % FC BH: porcentaje de fibracrua en base húmeda, % FC BS al 100%: Porcentaje de fibra cruda en base secal al 100%

Anexo 7. Metodología para la determinación del total de nutrientes digestibles

DETERMINACIÓN DEL TOTAL DE NUTRIENTES DIGESTIBLES

Aplicar las siguientes fórmulas:

$$\% \text{TDN BH} = (\%PC \text{ BH} \times 0.75) + (\%FC \text{ BH} \times 0.50) + (\%EE \text{ BH} \times 0.9 \times 2.25) + (\%ELN \text{ BH} \times 0.9 \text{ o } 0.75)^*$$

$$\% \text{TND BS al 100\%} = \frac{\% \text{TND BH}}{MS} \times 100$$

% PC BH: porcentaje de proteína cruda en base húmeda, % EE BH: porcentaje de extracto etéreo en base húmeda, % FC BH: porcentaje de fibra cruda en base húmeda, MS: materia seca, % ELN BH: porcentaje de elementos libres de nitrógeno en base húmeda, % TND BS al 100%: porcentaje de total de nutrientes digestibles en base seca al 100%, *En el caso del ELN BH será multiplicado por 0.9 si el % de PC BS al 100% es menor del 18%, y si es mayor será multiplicado por 0.75

Anexo 8. Metodología para la determinación de la energía digestible

DETERMINACIÓN DE ENERGIA DIGESTIBLE

Aplicar las siguientes fórmulas

$$\% \text{ ED BH} = \frac{\% \text{ TND BH}}{100} \times 4.409 \times 1000$$

$$\% \text{ ED BS al 100\%} = \frac{\% \text{ ED BH}}{MS} \times 100$$

% ED BH: porcentaje de energía digestible en base húmeda, % TNS BH: porcentaje del total de nutrientes digestibles en base húmeda, % ED BS al 100%: porcentaje de energía digestible en base seca a 100%, MS: materia seca

Anexo 9. Muestras de heces de manatí colectadas entre noviembre de 2017 y enero 2019.

Código	Fecha	Lugar	Coordenadas	
			N	W
BhCh_1	18/09/2017	Bahía Chetumal	18°43'18.45"	88° 8'32.02"
BhCh_2	14/03/2018	Bahía Chetumal	18°17'23.10"	88° 5'45.06"
BhCh_3	14/03/2018	Bahía Chetumal	18°17'24.00"	88° 5'37.44"
Lg_1	17/05/2018	Laguna Guerrero	8°41'20.99"	88°15'47.02"
Lg_2	19/10/2018	Laguna Guerrero	8°41'20.94"	88°15'45.99"
Lg_3	05/10/2018	Laguna Guerrero	8°41'22.17"	88°15'45.48"
Rh_1	20/11/2017	Rio Hondo	18°29'19.4"	88°18'57.6"
Rh_3	20/11/2017	Rio Hondo	18°28'51.1"	88°26'34.1"
Rh_5	05/03/2018	Rio Hondo	18°11'37.09"	88°41'15.92"
Rh_6	08/03/2018	Rio Hondo	18°29'32.00"	88°24'49.40"
Rh_13	17/04/2018	Rio Hondo	18°27'48.9"	88°31'00.0"
Rh_14	12/05/2018	Rio Hondo	18°14'37.6"	88°36'09.1"
Rh_16	13/06/2018	Rio Hondo	18°29'15.89"	88°19'3.79"
Rh_17	15/06/2018	Rio Hondo	18°29'16.64"	88°19'12.16"
Rh_18	15/06/2018	Rio Hondo	18°26'00.95"	88°31'41.26"
Rh_19	11/06/2018	Rio Hondo	18°29'7.14"	88°29'11.10"
Bl_1	17/01/2019	Rio Belice	17°31'56.68"	88°14'0.24"
Bl_2	17/01/2019	Rio Belice	17°31'56.87"	88°14'1.14"
Bl_3	17/01/2019	Rio Belice	17°31'56.15"	88°13'59.84"
Bl_4	17/01/2019	Rio Belice	17°31'53.04"	88°13'57.72"
Bl_5	17/01/2019	Rio Belice	7°31'56.33"	88°13'59.48"
Bl_6	17/01/2019	Rio Belice	17°32'34.85"	88°15'23.22"
Bl_7	17/01/2019	Rio Belice	17°32'0.79"	88°14'6.77"
Bl_8	17/01/2019	Rio Belice	17°32'2.14"	88°14'4.90"
Bl_9	17/01/2019	Rio Belice	17°31'59.77"	88°14'3.86"
Bl_10	17/01/2019	Rio Belice	17°31'58.50"	88°14'04.20"
Bl_11	18/01/2019	Rio Belice	17°32'1.33"	88°14'7.43"
Bl_12	18/01/2019	Rio Belice	7°31'51.96"	88°13'58.51"
Bl_13	19/01/2019	Rio Belice	17°32'0.22"	88°14'16.16"
Bl_14	19/01/2019	Rio Belice	17°31'59.83"	88°14'16.62"

Anexo 10. Composición de la dieta de manatíes cautivos en dos locaciones en el Estado de Quintana Roo.

Alimento(Kg)/ Individuo	Instalación A								Instalación B					
	DHA 1	DHA 2	DHJ 1	DHJ 2	DMA 1	DMA 2	DMA 3	DMJ 1	XHA 1	XHA 2	XHA 3	XMA 1	XMA 2	XMA 3
Brócoli	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Coliflor	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Calabaza	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.25	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Jícama	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Manzana	0.25	0.25	0.2	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Papa	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Tomate	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Chayote	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Betabel	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Papaya	0.3	0.25	0.25	0.2	0.1	0.5	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Pera	0.25	0.25	0.2	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Pepino	0.2	0.2	0.1	0	0.1	0.3	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Plátano	0.25	0.25	0.25	0.1	0	0.2	0	0.1	0	0	0	0	0	0
Zanahoria	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Lechuga romana	45	35	16	12	9	18	12	12	5	4	4	4	4	4
Lechuga iceberg	0	0	0	0	0	0	0	0	22	18	18	16	16	20
Acelga	0	0	0	0	0	0	0	0	7	6	6	6	6	7
Apio	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	4	4	4	5
Espinaca	0	0	0	0	0	0	0	0	7	6	6	6	6	7
Mazuri leaf eater	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5
TOTAL (Kg)	48.05	38	18	13.5	10.3	21.55	13.3	13.4	47.5	38.5	38	36.5	36.5	43.5

En el código de cada individuo: H: Hembra, M: Macho, A: adulto, J: juvenil.