



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**VARIABILIDAD EN CONTEOS DEL MANATÍ  
ANTILLANO (*Trichechus manatus manatus*)  
REALIZADOS MEDIANTE SONAR DE BARRIDO  
LATERAL DE IMÁGENES EN EVALUACIONES DE  
LA PRESENCIA ESTACIONAL EN EL ESTADO DE  
TABASCO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGO**

**P R E S E N T A:**

**STEFAN LOUIS ARRIAGA HERNÁNDEZ**



**TUTOR:  
DR. LEÓN DAVID OLIVERA GÓMEZ**

**2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Contenido

Resumen.....	3
Introducción.....	4
Justificación.....	7
Antecedentes.....	8
Hipótesis.....	9
Objetivos.....	9
Área de estudio.....	10
Materiales y métodos.....	14
Resultados.....	18
Conteos estandarizados por sitio y descripción de los sitios.....	18
Descripción de los sitios muestreados y avistamientos registrados.....	19
Balancán.....	19
Centla.....	21
Emiliano Zapata.....	25
Macuspana.....	27
Fuentes de error y cálculo del factor de corrección en los conteos del sonar.....	31
Posición de los animales respecto a la embarcación y probabilidad de detección en el sonar.....	31
Cálculo <i>in situ</i> del Factor de Corrección por el sesgo de percepción.....	34
Cálculo en laboratorio del Factor de Corrección por el sesgo de Percepción a partir del video registrado en una unidad de sonar.....	36
Discusiones.....	38
Variación de los conteos entre sitios.....	38
Errores asociados a los conteos utilizando el sonar.....	39
Posición de los animales con respecto a la embarcación.....	39
Error de percepción.....	40
Recomendaciones.....	42
Conclusiones.....	43
Literatura Citada.....	44

## Resumen.

El manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) es una especie que se encuentra catalogada como en peligro de extinción en México y a nivel internacional. Para realizar estudios poblacionales se recurre a censos aéreos pero este tipo de métodos no son útiles en zonas donde la visibilidad del agua es nula. Se cree que en el estado de Tabasco, México, se encuentra la población de manatíes antillanos más importantes del país pero su estudio es mínimo ya que los sistemas lagunares y ríos no permiten conteos por la turbidez del agua. En este estudio se evaluó el uso de sonar o ecosonda como herramienta principal en el conteo de manatíes. Para la evaluación se visitaron y caracterizaron zonas conocidas por su alta probabilidad de ver manatíes. Se eligió una de estas zonas, el arroyo Bitzal en Macuspana, Tabasco, para realizar un conteo *in situ* usando dos sonares y después aplicar el modelo matemático para factores de corrección establecido por Marsh y Sinclair (1984). El recorrido del conteo *in situ* se grabó y evaluó en el laboratorio realizando un análisis minucioso y comparando resultados entre observadores con y sin experiencia en el uso del sonar. El factor de corrección tuvo un promedio de 1.19 y el coeficiente de variación del mismo presentó un intervalo de 0.15 a 0.33 con un valor medio de 0.21. La mayoría de los animales captados en imágenes se presentaron en la posición paralela al bote, es decir, de 0°. Aunque es una herramienta efectiva en los conteos, se tiende a subestimar el número de animales disponibles, en promedio se pierde entre el 20 y el 70% de los animales de acuerdo a la experiencia de los observadores.

## Introducción.

El manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) es un mamífero acuático perteneciente al orden Sirenia, su cuerpo grande y fusiforme, de color gris o pardo, que carece de extremidades posteriores. Las extremidades anteriores presentan uñas en la parte dorsal y la cola tiene forma de espátula y está aplanada horizontalmente (Husar, 1978). Los adultos generalmente miden 3 m de largo y pesan entre 350 y 500 Kg (Arriaga-Weiss y Contreras-Sánchez, 1993) aunque también se manejan intervalos de 2.5 a 4.5 metros con pesos correspondientes de 200 Kg a más de 600 Kg (Hartman, 1971; Jones y Johnson, 1967).

Se distribuyen tanto en hábitats dulceacuícolas como marinos. En México se encuentra distribuido principalmente en los estados costeros del Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche), en la costa del Caribe y en el norte del estado de Chiapas (Colmenero y Hoz, 1985).

Uno de los registros más antiguos en el estado de Tabasco fue realizado por el bucanero inglés William Dampier entre los años de 1679 y 1681. Éste realizó las primeras observaciones detalladas al referir a la reina, en uno de sus informes, haber visto manatíes en el río Grijalva (Álvarez, 1994b). En México, el manatí se encuentra dentro de la NOM 059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría de En Peligro de Extinción (DOF, 2010). En Tabasco, José Narciso Roviroso registró una alta abundancia a principios del S. XX pero en la actualidad se manejan datos de poblaciones pequeñas y dispersas. Las causas de esta disminución son la cacería, debido a que la carne tiene una alta aceptación por su exquisito sabor y su piel es excelente para la fabricación de cuerdas, fuetes y bastones (Álvarez, 1994b); además de la alteración y pérdida de su hábitat (Álvarez, 1994b).

A nivel internacional, la subespecie antillana (*T. m. manatus*), se encuentra catalogada como En Peligro por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Anónimo, 2007).

Actualmente los principales métodos para detectar manatíes son los censos aéreos y los censos hechos en bote o desde tierra (Lefebvre *et al.*, 1995). Dependen de detecciones visuales y son más apropiados para aguas someras, cristalinas y costeras (Ackerman, 1995). Los censos aéreos proporcionan coberturas rápidas del hábitat a lo largo de espacios

grandes, pero pueden ser costosos, peligrosos y con una baja tasa de detección (González-Socoloske *et al.*, 2009). Los censos hechos en botes o desde tierra son menos costosos pero cubren espacios menores, requieren de mucho trabajo y también tienen una baja tasa de detección (González-Socoloske *et al.*, 2009).

En aguas con poca visibilidad, la probabilidad de avistar un manatí disminuye casi hasta cero dependiendo de las condiciones de turbidez y velocidad de la corriente. Una alternativa con la que se cuenta actualmente para detectar animales sumergidos en aguas con poca transparencia, es el uso de unidades de sonar de barrido lateral de imágenes (Side Scan Image; González-Socoloske *et al.*, 2009). En este tipo de detección es importante la fuerza acústica, definida como la proporción del sonido que es reflejada por el objeto hacia un detector y esta se ha medido para varios mamíferos marinos incluido el manatí antillano (Jaffe *et al.*, 2007). En delfines se ha comprobado que la fuerza acústica se refleja con mayor intensidad en el tórax, concretamente en el área de los pulmones (Au, 1996). En los manatíes los pulmones grandes, alargados se encuentran en posición dorsal, lo que los hace un blanco acústico fácil, como lo demostró González-Socoloske *et al.* (2009).

Las detecciones con sonar han resultado mejores en aguas tranquilas, con oleaje pequeño o corrientes mínimas. La claridad del agua, el momento del día y otros factores ambientales no afectan los censos con sonar ni tienen efectos negativos en la conducta del manatí (González-Socoloske *et al.*, 2009). A pesar de estas facilidades otorgadas por los sonares existen errores al momento de percibir y analizar la imagen ya que incluso un observador con experiencia puede cometer errores de percepción.

Estos errores consisten en confundir imágenes proyectadas por el sonar. Un factor importante para detectar estos errores es la posición del manatí ya que aquellos animales que se presentan paralelos al bote dan la mejor reflexión acústica mientras que los que se ubican perpendiculares al bote no presentan una reflexión evidente, por lo que pueden confundirse con otros objetos, o simplemente la reflexión no se presenta, lo que da un potencial de falsos positivos y falsos negativos por errores en la percepción (Dickerson *et al.*, 1996, Jaffe *et al.*, 2007, González-Socoloske *et al.*, 2009). Además de esta falla en la reflexión del sonido, los sonares dependen de su rango de detección, hasta 20 o 25m a cada lado de la lancha, están limitados a transectos lineales hechos a una velocidad constante y

existe la posibilidad de que los animales se muevan fuera del rango al escuchar el motor de los botes (González-Socoloske y Olivera-Gómez, 2011).

A pesar de lo anterior, en estudios preliminares han estimado que la tasa de detección dentro del intervalo lateral del sonar es mayor al 80% (González-Socoloske *et al.*, 2009), por lo que es un el mejor sistema para realizar censos, sobre todo en las aguas con visibilidad mínima, ya que permite confirmar avistamientos y determinar el tamaño de los grupos de animales, así como de parejas formadas por madre y cría (González-Socoloske y Olivera-Gómez, 2011). También permite caracterizar el hábitat y auxiliar durante las capturas de manatíes (González-Socoloske y Olivera-Gómez, 2011).

El sonar es más efectivo en cursos de agua estrechos debido a que la respuesta conductual de los manatíes es quedarse en el fondo o seguir el curso de agua (González-Socoloske y Olivera-Gómez, 2011). También el porcentaje de cobertura es alto en proporción al ancho de estos cuerpos de agua.

La cuenca hidrológica del río Usumacinta presenta en su mayoría ambientes de aguas turbias con poca visibilidad y es el río más caudaloso de México (Colmenero y Hoz, 1986; Arriaga-Weiss y Contreras-Sánchez, 1993). Es posible que en esta zona exista la población de manatíes más importante de México, pero las investigaciones en esta área son complicadas debido a la dificultad de observar individuos en el hábitat (González-Socoloske y Olivera-Gómez, 2011).

En la cuenca podemos encontrar los siguientes ambientes: río principal, ríos secundarios, arroyos, lagunas y confluencias (Jiménez-Domínguez, 2009). Los movimientos entre estos ambientes probablemente propician un mayor uso de las confluencias que los conectan (Jiménez-Domínguez, 2009). De acuerdo a estudios anteriores (Colmenero, 1984; Colmenero, 1985; Johnson *et al.*, 1986; Jiménez-Domínguez, 2009) los manatíes se mueven localmente de los ríos hacia las lagunas adyacentes y hacia las zonas inundadas, influenciados por el incremento en el caudal de los ríos debido a escurrimientos pluviales les permite incursionar a lagunas o zonas de inundación donde el alimento es más abundante, accesible y diverso pero una vez que el nivel del agua comienza a descender, los manatíes nadan hacia el río principal, sitios de confluencia o ambientes con mayor profundidad donde encuentran un mejor refugio (Colmenero, 1984; Colmenero, 1985; Arriaga-Weiss y Contreras-Sánchez, 1993).

Una característica de las confluencias es que se forman depresiones en el fondo llamadas “pozas” donde los manatíes pueden refugiarse y descansar (Jiménez-Domínguez, 2009). De esta manera los canales o arroyos secundarios que tienen estas confluencias y que conectan a los sistemas lagunares con los cursos de agua principales son sitios propicios durante el inicio y el final de la temporada seca para acercarse a la población de manatíes y facilitar el monitoreo a largo plazo.

Durante la temporada seca los tapes, redes colocadas por los pescadores a manera de barreras en los canales y arroyos, pueden evitar el movimiento de un manatí hacia cuerpos de agua más profundos (Jiménez-Domínguez, com. pers.). Al quedar atrapados la detección con el sonar es más sencilla pues la movilidad del animal dentro del cauce es mínima.

Con este estudio, se pretende caracterizar el uso estacional de estos cursos de agua secundarios, estimar la variabilidad en los conteos debida a la precisión del método utilizado y la variabilidad natural del uso de estos sistemas por los manatíes.

## **Justificación.**

Los estudios sobre el manatí en aguas continentales suelen dificultarse ya que éstos habitan en aguas turbias con poca visibilidad, es una alternativa actual el utilizar el sonar como método no invasivo de monitoreo. Este método ha generado buenos resultados en la detección de manatíes en aguas con poca visibilidad, pero se requiere de mayor investigación sobre su efectividad, al identificar las fuentes de error y desarrollar correcciones para éstas, con lo cual se mejorarán los estudios futuros y se obtendrán datos más precisos.

Una vez realizados los recorridos en los canales y establecidas las correcciones de error se podrá determinar si la presencia del manatí en canales secundarios es puramente estacional o si existen otros factores que la influyan.

Los resultados de este trabajo apoyarán los planes de conservación de la especie (PACE 2011), ya que el contar con datos cuantitativos es un factor muy importante para la toma de decisiones y el seguimiento de las poblaciones en México.



## **Antecedentes.**

El uso del sonar como herramienta de detección de la presencia de manatíes se ha explorado desde hace varias décadas; sin embargo los sistemas utilizados no habían tenido mucho éxito. En 2007, se hicieron pruebas de reflexión de sonido a 171 kHz con tejidos de un manatí macho y se midió la reflexión en animales en cautiverio en Florida, concluyendo que los animales reflejan una cantidad de sonido sustancial pero en algunos casos las reflexiones pueden ser especulares a cierta frecuencia, lo que implica que el sonido es reflejado en un ángulo que no permite la observación entre la fuente y el receptor. Estas reflexiones especulares son poco prácticas para la observación porque la energía reflejada no es observada aunque el manatí esté claramente en el rayo del sonar y por lo tanto no se produce una imagen (Jaffe *et al.* 2007).

En ese mismo año, se realizaron sondeos en Estados Unidos, México y Honduras para probar la efectividad del sonar de barrido lateral de imágenes, el cual tiene como ventaja un ángulo mayor de detección integrando la imagen en un plano. Sólo en Estados Unidos y México se confirmó visualmente la presencia de algunos individuos (González-Socoloske *et al.* 2009), aunque estos autores reportan que existen algunos problemas en la identificación debido a la posición del animal con respecto a la fuente de emisión del sonido (González-Socoloske *et al.*).

En el Sistema Lagunar de Alvarado se realizó un estudio para determinar la distribución del manatí Antillano en esa zona. Los conteos se hicieron mediante observaciones directas, grabaciones con hidrófono y con una ecosonda Humminbird 734C<sup>2</sup>. Se contaron 13 manatíes, uno de ellos con la ecosonda (Daniel-Rentería, Serrano y Sánchez-Rojas, 2012).

En Tabasco se han identificado algunas variables del hábitat relacionadas con el uso de sistemas fluvio-lagunares en la cuenca baja del río Usumacinta (Jiménez-Domínguez, 2009), encontrándose que los canales y características como confluencias y pozas, son elementos muy importantes en la dinámica del uso regional por parte de los manatíes. También se ha evidenciado en estudios en Costa Rica (Jiménez, 2005), Colombia (Castelblanco *et al.*, 2008) y Belice (González-Socoloske y Olivera-Gómez, 2011).

En Tabasco se intensificó el uso del sonar entre los años 2006 y 2011 para caracterizar el hábitat, detectar individuos, identificar parejas formadas por madre e hijo y auxiliar en capturas, obteniendo información importante sobre la respuesta del manatí en el momento del paso de las lanchas tanto en las lagunas o los espacios abiertos, como en canales o cursos de agua estrechos (González-Socoloske y Olivera-Gómez, 2011). El siguiente paso en el uso de esta tecnología es caracterizar las fuentes de variación en los conteos obtenidos para su uso en el monitoreo estandarizado de esta especie.

## **Hipótesis.**

Los conteos de manatíes con el sonar acumulan variabilidad en el diseño del recorrido, la conducta de evasión del animal y en el error de visibilidad, generado por los sesgos de percepción y disponibilidad. En cursos de agua estrechos esta variabilidad tanto en el diseño de muestreo como en la conducta de evasión se minimizan de tal manera que se puede estimar aún mejor la contribución del error de visibilidad y este puede ser empleado como un factor de corrección en los monitoreos de manatíes.

En canales y en los cursos de agua estrechos, que conectan sistemas lagunares con cursos de agua principales, los manatíes presentan picos máximos de utilización cuando se inicia la temporada seca, propiciando una dinámica estacional local en la distribución y los movimientos de los manatíes.

## **Objetivos.**

### Objetivo General

Estimar la variabilidad en el conteo de manatíes sobre cursos de agua estrechos en el estado de Tabasco, utilizando el sonar de barrido lateral de imágenes y diferenciando la variabilidad estacional de la precisión del sonar.

### Objetivos Particulares

- Estimar el error de visibilidad en conteos de manatíes sobre cursos de agua estrechos y plantear un factor de corrección para esquemas de monitoreo.

- Caracterizar la variabilidad estacional en conteos de manatíes sobre cursos de agua estrechos que conectan sistemas lagunares y cursos de agua principales.
- Caracterizar los ambientes muestreados.

### **Área de estudio.**

De todas las cuencas fronterizas en México, la cuenca del río Usumacinta es la de mayor extensión y mayor desarrollo hidrológico. Esta cuenca abarca una superficie total de más de siete millones de hectáreas, quedando el 58% en territorio de Guatemala y el resto en México. Dentro de la cuenca del Usumacinta se ubica la región de la selva Lacandona en México, y los Cuchumatanes, los Altos de Guatemala y gran parte del Petén guatemalteco. De los aproximadamente 950 Km lineales de la frontera sur de México que hacen contacto con Guatemala y Belice, más de la mitad (550 Km) se encuentran dentro de la cuenca del río Usumacinta (March-Mifsut y Castro, 2010).

La cuenca del Usumacinta tiene una impresionante red hidrológica por estar en una de las regiones con más altos niveles de precipitación de toda Mesoamérica y por poseer un relieve complejo, sobre todo en las partes altas y medias en México, así como en las cabeceras en los Altos de Guatemala. Entre los cuerpos de agua lénticos de la cuenca del Usumacinta sobresalen, en México, los lagos de Nahá, Metzabok, Montebello, Lacanjá y Miramar, y en la parte baja los importantes humedales de Catazajá en Chiapas y Emiliano Zapata en Tabasco; por su parte, en Guatemala encontramos los lagos Lachuá, Petén Itza y la laguna Escondida. La gran cuenca del río Usumacinta abarca una de las regiones de mayor biodiversidad de Mesoamérica, y es parte importante de la selva maya, el segundo macizo de selvas tropicales más extenso en superficie después de la Amazonía (March-Mifsut y Castro, 2010). La cuenca abarca cinco ecoregiones:

- 1) Selvas húmedas de Petén a Veracruz
- 2) Bosques de pino encino de Centroamérica
- 3) Pantanos de Centla
- 4) Bosques montanos de Chiapas
- 5) Bosques montanos de Centroamérica

En términos generales, los principales tipos de vegetación que encontramos al interior de la cuenca del Usumacinta, en su parte alta están los bosques de pino y encino, y los bosques mesófilos de montaña en las mayores altitudes; en su parte media, predominan selvas tropicales de diversa composición y estructura, y finalmente en su parte baja pantanos y humedales. A todo lo largo y ancho de la cuenca se presentan una gran variedad de ecosistemas acuáticos y bosques riparios. Los tipos de selvas que se presentan en esta cuenca son diversos, predominando las selvas altas perennifolias y las selvas medianas subcaducifolias. La cuenca del Usumacinta incluye a una de las regiones naturales del planeta con mayor riqueza biológica y biodiversidad. En esta cuenca aún tienen su hábitat numerosas especies amenazadas y en peligro de extinción incluyendo jaguar y ocelote, mono aullador, mono araña, tapir, pecarí de labios blancos, cocodrilos, manatí, diversas especies de aves rapaces y un número elevado de especies endémicas de diversos grupos de vertebrados, invertebrados y plantas (March-Mifsut y Castro, 2010).

Los sitios de muestreo (Figura 1) se seleccionaron por ser zonas identificadas con alta presencia de manatíes (Olivera-Gómez, com. pers.). Los sitios se localizan en los cuerpos de agua tributarios al río Usumacinta y se ubican en los siguientes municipios (a partir de este momento y por facilidad se utilizará el término laguna para referirse a un lago):

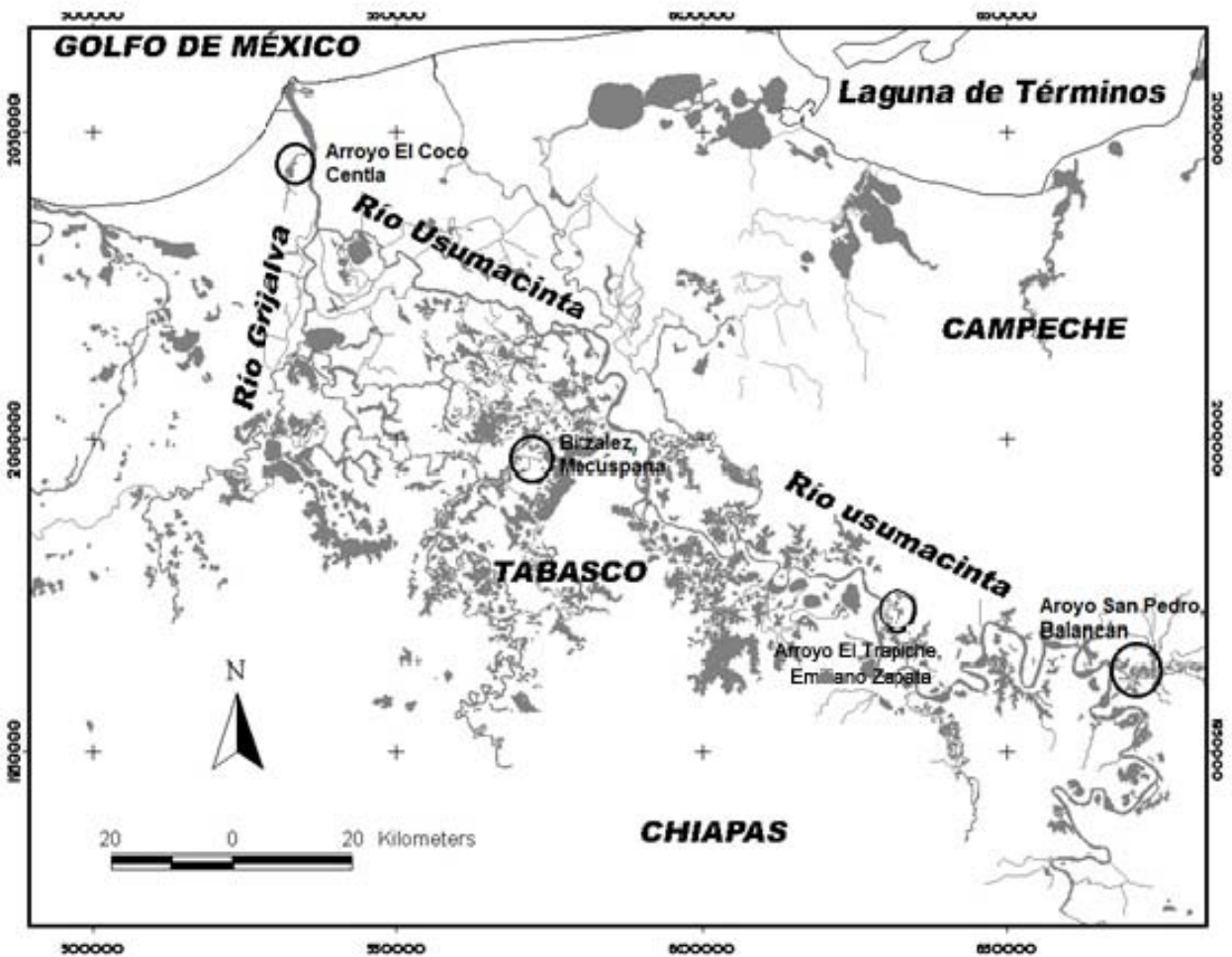
**Balancán:** ubicado al este del estado en la región de los Ríos tiene frontera con Guatemala al este y con Campeche al norte. Al sur limita con el municipio de Tenosique y al oeste con el de Emiliano Zapata. Predomina el clima cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano. La temperatura media anual es de 26° y la humedad relativa promedio es de 83%. El territorio es una planicie con escasas pendientes y ligeros lomeríos en la parte sureste. Lo atraviesan los ríos Usumacinta y San Pedro (Álvarez, 1994a). Aquí se muestreó en los arroyos San Pedro y Balmoc, a 6.3 Km del río Usumacinta. La cobertura vegetal está dada por las ramas de los árboles de la orilla que alcanzan a rozar la superficie del agua.

**Centla:** ubicado al norte del estado también en la región de los Ríos, limita con el Golfo de México al norte y con Campeche al este. Limita también con los municipios de Paraíso, Jalpa de Méndez y Nacajuca al oeste, con el municipio del Centro y el de Macuspana al sur y con el de Jonuta al este. El clima es cálido-húmedo, con abundantes lluvias durante la mayor parte del año. El territorio es plano con algunos lomeríos aislados. El río Grijalva, el

Usumacinta y el San Pedrito se unen a unos kilómetros del Golfo y desembocan en la barra de Frontera. Además de pantanos hay 19 lagunas que ocupan 16 177 ha del territorio (Álvarez, 1994a). En él se encuentra la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, declarada en 1992 (DOF, 1992.). Aquí se muestreó en dos arroyos: El Coco, a 670 m de la desembocadura en el río Grijalva, donde la vegetación dominante es de zonas inundables como popales o espadañales por lo que se cuenta con poca vegetación flotante y pastos creciendo en la orilla pero en su mayoría inalcanzables para los manatíes. Este arroyo se adentra a la zona de manglares de la reserva. En el otro arroyo, Tabasquillo, predominan los potreros y la vegetación de zonas inundables aunque también cuenta con vegetación flotante. El inicio del recorrido se realizó a 3.34 Km de la desembocadura en el Grijalva. También se visitó la laguna El Viento, donde hay abundancia de vegetación flotante y de zonas inundables.

**Emiliano Zapata:** ubicado al este del estado dentro de la región de los Ríos también, limita al norte con Campeche, al sur con Chiapas, al oeste con el municipio de Jonuta y al este con los municipios de Balancán y Tenosique. El terreno es plano con algunas elevaciones que no pasan los 30 m de altura. La hidrografía está conformada por los ríos Usumacinta y Chacamax, siete lagunas y nueve arroyos. El clima es cálido-húmedo (Álvarez, 1994a). Aquí se muestreó en el arroyo Trapiche a partir de 950 m de la desembocadura en el Usumacinta y la laguna Cejá. En ambos sitios la vegetación cercana a los cuerpos de agua era escasa.

**Macuspana:** ubicado en la región de la Sierra, se encuentra al este de Tabasco y limita con Chiapas al sur, con los municipios de Jalapa, Tacotalpa y del Centro al oeste, con el de Centla al norte y con el de Jonuta al este. Aunque se encuentra dentro de la cuenca del Usumacinta, éste no lo atraviesa y son sus principales ríos el Tulijá y el Chilapa (Álvarez, 1994b). En la parte norte del municipio se encuentra parte de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla. Aquí se muestreó en el arroyo Bitzal, que nace del río Chilapa. El recorrido se inició a 100 m de la desembocadura en el río Chilapa. Cuenta con la presencia de abundante vegetación flotante, pastos en las orillas y ramas de árboles que tienen contacto con la superficie del agua.



**Figura 1.** Área de estudio con los puntos de muestreo más importantes encerrados en círculos.

## **Materiales y métodos.**

El estudio se llevó a cabo en dos etapas. La primera constó de recorridos de reconocimiento e identificación de los sitios. La segunda del conteo de manatíes *in situ* en el sitio con mayor presencia de animales y de un análisis detallado en el laboratorio de este conteo. Para la primera parte se realizaron navegaciones en cursos de agua estrechos en los sitios seleccionados por haberse registrado una alta presencia de manatíes. Los recorridos se realizaron en una embarcación con motor fuera de borda de cuatro tiempos de 15 HP a una velocidad constante de 10 Km/h, equipada con una unidad de sonar de escaneo lateral de imágenes (Side Scan Imaging) Humminbird® 798c y 987c SI. Ambos sonares se utilizaron con un intervalo de detección de 2 franjas laterales que se producen a 262 y 455 kHz y con 2 franjas verticales que se producen a 200 y 50 kHz. Una o ambas de las franjas verticales se pueden operar simultáneamente junto con la franja lateral, mientras que en la franja lateral sólo se puede operar una frecuencia.

Las franjas laterales de la unidad tienen un ángulo de cobertura de 84° para los 262 kHz y de 40° para los 455 kHz. Las franjas verticales, o ecosondas, tienen un ángulo de cobertura de 20° para los 200 kHz y de 74° para los 50 kHz. La señal acústica se presenta a manera de una banda móvil y con la respuesta más inmediata en la parte superior de la pantalla.

Conforme la embarcación se mueve se agregan nuevas líneas del sonar. Los componentes de la imagen acústica consisten de la columna de agua, que aparece como un área oscura entre la línea del trayecto y la respuesta del fondo. Las canaletas y pozas se ven más oscuras pues no emiten una respuesta sonora. Los objetos que se encuentran en la columna de agua, como los peces, aparecen de color blanco brillante. Los objetos que se ubican sobre el fondo o cerca de él emiten una sombra debido a la señal bloqueada. Estas sombras son más indicativas del tamaño del objeto que la señal acústica (González-Socoloske, *et al.*, 2009).

El sonar se operó con un ancho lateral de detección dependiendo del ancho del cauce. Las medidas variaron entre los 15 m y 30 m. El sistema proporcionó datos de profundidad, temperatura y ubicación geográfica a partir del GPS integrado. Se procuró navegar por el centro del curso de agua y se registraron en el sonar la presencia de

manatíes. En cada avistamiento se anotaron el número de individuos, diferenciando las crías del resto de las clases debido al contraste en tamaño con otro individuo asociado al avistamiento.

El estudio se realizó en cuatro sitios, uno en el municipio de Centla (cercano a la costa), otro en Macuspana (en la parte central de la planicie), uno en el municipio de Emiliano Zapata y uno más en Balancán (cerca del límite continental de la planicie). En cada sitio se hicieron recorridos de aproximadamente 10 Km, en total 20 Km con el retorno. Los recorridos se hicieron de acuerdo a la disponibilidad de la lancha durante los meses de diciembre de 2012 y enero de 2013. Se procuró realizar los recorridos entre las 9:00 y las 12:00 aunque hubo recorridos que se llevaron a cabo después de las 15:00.

Cada recorrido constó de dos partes: la primera o la ida, y la segunda o la vuelta. En las navegaciones participaron el motorista y dos observadores que registraron los avistamientos en el sonar de manera independiente. Cada observador contó con un sonar en donde registró cada avistamiento por medio de imágenes. Cuando se lograba la detección con el sonar, se procedía a pasar múltiples veces por el mismo sitio para comprobar si el objeto detectado aparecía en el mismo sitio y en la misma posición o si esto cambiaba con cada pase. Si después de varios pases (entre 6 y 10) se confirmaba la presencia de un manatí, se orillaba la lancha y se esperaba durante un tiempo aproximado de 10 minutos con tal de conseguir una confirmación visual del animal. La confirmación se obtenía por medio de rastros indirectos, como burbujas y sedimento que salía a flote por los movimientos de la cola y las aletas; o bien por rastros directos que consisten en el avistamiento del animal al momento que sale a respirar a la superficie. El motorista fue en todos los casos un poblador de la región.

Por cada recorrido se registraron los siguientes datos: dirección del trayecto (ida o vuelta), hora del día, profundidad, temperatura, ancho del cauce, el sitio y el mes. Con las imágenes obtenidas se realizó una comparación descriptiva tomando en cuenta la posición del animal con respecto al bote. También se realizó una caracterización de cada uno de los sitios con avistamientos, tomando en cuenta los siguientes datos: profundidad (pozas), ancho, cobertura de vegetación, temperatura y actividades humanas cercanas a la zona.

Con las imágenes de sonar que se obtuvieron en cada detección y con imágenes obtenidas previamente en otros sitios se realizó un estudio descriptivo que consistió en



medir manualmente el ángulo en el que se encontraba el animal al momento de la toma de la imagen. Los resultados fueron vaciados en un histograma circular que después se adaptó a un histograma de barras usando la característica de congruencia de los ángulos para agrupar todos los datos obtenidos en grados entre los 0° y 90°. La congruencia de los ángulos consiste en tener ángulos opuestos por un vértice, cuyos lados son semirrectas opuestas a los del otro, por lo que se consideran como reflejos y dada su posición pueden tener las mismas medidas. Se calculó el ajuste de funciones exponencial, logarítmica, lineal y potencial a la distribución de los ángulos, en el programa de computadora Excel de Microsoft Office. El ajuste exponencial y el logarítmico se descartaron por no arrojar resultados favorables para la investigación.

Para la segunda parte del estudio estimó el factor de corrección debido al error de percepción, se trabajó oportunamente en el sitio con mayor abundancia y en específico en una zona donde se registró un grupo grande de manatíes: el Arroyo Bitzal en Macuspana. Después de registrar este grupo, se hicieron 12 pases repetidos sobre un segmento de 700 m y dos observadores independientes registraron los manatíes cada uno con una unidad de sonar de barrido lateral de imágenes. Los conteos se limitaron al lado derecho de la embarcación, ya que una de las unidades de sonar Humminbird® 798c presentaba interferencia en la señal del lado izquierdo. Se grabó un video con el sonar y al mismo tiempo que se realizaba la grabación dos observadores anotaban la presencia de individuos en el lado derecho del transecto. Los avistamientos fueron registrados al tiempo en que fueron realizados. El recorrido inició a las 13:41:33 y finalizó a las 14:28:26.

El error de percepción se evaluó primeramente a partir de los conteos registrados por los dos observadores independientes en el recorrido, estimando el número de avistamientos disponibles en el trayecto utilizando el modelo de Petersen (Seber 1982, Marsh y Sinclair, 1989). Este modelo se usó originalmente en un censo aéreo pero se adaptó para utilizarse en los recorridos con el sonar. Se siguieron los procedimientos de Marsh y Sinclair (1989) con las siguientes fórmulas:

$$\check{N} = \frac{(O_1+A)(O_2+A)}{A}$$

$$\text{var } \check{N} = \frac{O_1 O_2 (O_1+A)(O_2+A)}{A^3}$$

$$FC = \frac{(O_1+A)(O_2+A)}{A(O_1+O_2+A)}$$

$$C_p = \frac{O_1+O_2}{O_1+O_2+A} \cdot \sqrt{\frac{O_1O_2}{A(O_1+A)(O_2+A)}}$$

En ellas:

- $\check{N}$  = número de avistamientos disponibles
- $\text{var } \check{N}$  = varianza de la estimación
- FC = factor de corrección
- $C_p$  = coeficiente de variación del factor de corrección
- $O_1$  = detecciones hechas por el observador 1
- $O_2$  = detecciones hechas por el observador 2
- A = detecciones hechas por ambos observadores.

Para los recorridos 3, 6 y 12 se aplicaron fórmulas diferentes para  $\check{N}$  y  $\text{var } \check{N}$  ya que existió un sesgo en los resultados pues  $O_1 + O_2 + 2A > N$ . Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes:

$$\check{N} = \frac{(O_1 + A + 1)(O_2 + A + 1)}{A + 1} - 1$$

$$\text{var } \check{N} = \frac{O_1O_2 (O_1 + A + 1)(O_2 + A + 1)}{(A + 1)^2(A + 2)}$$

Se grabó lo registrado por el sonar durante los recorridos y con esta grabación, en el laboratorio, se estimó de nuevo el factor de corrección comparando entre distintos observadores. La grabación fue vista por 4 observadores con experiencia y 4 sin ella. Los datos colectados se usaron para comparar los resultados y determinar si la experiencia en el uso del sonar es un factor de importancia al momento de los monitoreos. A los observadores sin experiencia en el uso del sonar se les mostró una serie de imágenes captadas por el sonar Humminbird® 987 para familiarizarlos con la apariencia de los manatíes en este mismo. Después observaron el video de la grabación en el programa

HumViewer (descargado de la página de internet <http://humviewer.cm-johansen.dk/>) y realizaron los conteos. Los observadores familiarizados, o expertos, hicieron los conteos directamente en el programa HumViewer en sus computadoras personales.

Con los conteos que se obtuvieron se llevaron a cabo dos análisis: el primero consistió en aumentar los términos de la fórmula para el factor de corrección, agregando los valores de los observadores 3 y 4. El segundo consistió en emparejar observadores en cada categoría y después utilizar la fórmula inicial para el factor de corrección. Para ambos análisis se identificaron los manatíes que fueron vistos por todos los observadores.

Los conteos obtenidos por los observadores expertos a partir de la grabación se compararon también con los resultados de un análisis minucioso en el que el observador con mayor experiencia observó el video detenidamente, marcando los manatíes observados y tomando en cuenta la hora en que aparecen en la grabación. Con este último procedimiento se calculó la eficiencia de los conteos rápidos (que normalmente se realizan en campo) contra un análisis hecho con detenimiento en laboratorio. La comparación consistió en evaluar las detecciones, comprobando si los manatíes contados fueron los mismos en todos los casos y comparando el número total de animales vistos. Se realizó un ajuste en el tiempo tomando en cuenta que fuera el mismo minuto y estuviera en un rango de 5 a 30 segundos dentro de ese mismo minuto.

## **Resultados.**

### **Conteos estandarizados por sitio y descripción de los sitios.**

Se hicieron en total 13 muestreos: cinco en Balancán, cuatro en Centla, tres en Macuspana y uno en Emiliano Zapata. Se observaron animales en todos los sitios con excepción del realizado en Chablé, Emiliano Zapata, donde no se registró la presencia de manatíes, debido a que las condiciones no fueron las necesarias para realizar un recorrido completo. En Balancán se avistaron de 2 a 5 animales, en el arroyo El Coco en Centla se vieron entre 0 y 1 animales, mientras que en el Arroyo Bitzales en Macuspana se encontró una abundancia de 4 a 11 manatíes durante los recorridos.

*Descripción de los sitios muestreados y avistamientos registrados.*

## **BALANCÁN.**

**Arroyo San Pedro:** El sitio muestreado (Figuras 2 y 3) se caracteriza por ubicarse en la confluencia del arroyo San Pedro y el arroyo Balmoc. En él se presentó un pozo de hasta 3 m del lado del arroyo San Pedro. En el lado en el que contribuye el arroyo Balmoc la profundidad no pasa de 1.5 m.

Las actividades humanas como la pesca y el tráfico de embarcaciones, con o sin motor, están presentes. La actividad pesquera es muy activa ya que en la confluencia se pesca de manera directa con red y cerca de ésta hay dos tapes en el arroyo Balmoc.

Se realizaron cinco recorridos sobre este arroyo, cada uno con una longitud de 10.5 Km. Se registraron de dos a tres manatíes por recorrido. El sitio cuenta con una confluencia en la que en cada muestreo se identificaron a los dos individuos, posiblemente una hembra con una cría de unos dos años. La edad de la cría se estimó con base en el tamaño proyectado en la imagen del sonar.

**Arroyo Balmoc:** Los recorridos ( $n = 2$ ) en este arroyo fueron de 4.54 Km de longitud. A lo largo del trayecto hubo cinco tapes y tres campamentos pesqueros. Este sitio se caracterizó por estar ubicado en una zona de alta actividad humana ya que en él se encuentran dos campamentos pesqueros en aproximadamente 500 m. También existen dos tapes que pueden limitar el desplazamiento del manatí dentro del cauce (Figura 4).

En este arroyo se observaron manatíes en los dos recorridos realizados. El primer recorrido se realizó en la tarde y el segundo al mediodía. Los manatíes fueron vistos entre dos tapes, el primer avistamiento a 500 m de la confluencia con el arroyo San Pedro y el segundo a 950 m de la misma. Uno de ellos fue visto con el sonar durante el primer recorrido pero no se pudo confirmar visualmente ya que no se contaba con luz natural.

Al día siguiente se regresó al sitio para realizar un segundo recorrido, obteniéndose un avistamiento y tras varios pases sobre el objeto se confirmó que se trataba de un manatí. Al realizar la confirmación visual se observó la presencia de dos animales ya que se les vio por separado al momento de salir a respirar.

Once días antes del primer avistamiento en este sitio se informó de la muerte de una hembra, aparentemente por causas naturales.



**Figura 2.** Confluencia del arroyo San Pedro y el arroyo Balmoc.



**Figura 3.** Confluencia del arroyo San Pedro y el arroyo Balmoc.



**Figura 4.** Sitio de avistamiento en el arroyo Balmoc.

**CENTLA.**

**Arroyo El Coco:** El recorrido tuvo una longitud de 9.97 Km y fue realizado una vez. Durante la primera parte del trayecto se registró el avistamiento de un individuo. En este sitio no hay tanta actividad humana comparada con los sitios de Balancán. Hay poco tráfico de embarcaciones y la mayoría de los asentamientos humanos se encuentran cercanos a la desembocadura (Figura 5). En la parte más interna del arroyo comienza a dominar el manglar y la vegetación que podría funcionar como alimento para los manatíes ya no se presenta (Figura 6).



**Figura 5.** Sitio de avistamiento en el arroyo El Coco.



**Figura 6.** Aumento en la presencia de mangles.

**Arroyo Tabasquillo:** El recorrido (10.4 Km) se realizó una vez y no se obtuvieron registros. La presencia humana sobre el cauce es mínima y durante el recorrido no se observó en la zona de potrero (Figura 7).



**Figura 7.** Arroyo Tabasquillo.

**Laguna El Viento:** El recorrido no se realizó de manera lineal por la forma del cuerpo de agua y el sitio se visitó una vez. Se detectó la presencia de dos manatíes juntos, uno un poco más pequeño que el otro, lo que al parecer fue una pareja madre-cría. El sitio en el que se avistaron se caracterizó por contar con una gran cantidad de vegetación flotante y pastos en la orilla alcanzables desde el agua (Figuras 8 y 9). A pesar de ser un canal con tráfico de embarcaciones y encontrarse aproximadamente a 200 m de dos asentamientos humanos los animales fueron vistos en múltiples pases y en una posición más cercana a la orilla. Se confirmó su presencia por medio de rastros de burbujas que salieron a la superficie.





**Figura 8.** Sitio de avistamiento en la laguna El Viento.



**Figura 9.** Sitio de detección en la laguna El Viento.

## **EMILIANO ZAPATA.**

**Arroyo El Trapiche y Laguna Cejá:** El sitio solamente se visitó una vez y se realizó un recorrido de 3.51 Km. El recorrido culminó en la laguna Cejá donde se realizaron pases paralelos a lo largo de ésta. Ambos cuerpos se encontraban en niveles muy bajos por lo que predominaban playones y laderas (Figuras 10 y 11). A pesar de existir un tape difícil de superar a unos cuantos metros de la desembocadura (Figura 12) no se detectó animal alguno.



**Figura 10.** Laderas en el arroyo El Trapiche.



**Figura 11.** Playón en la laguna Cejá.



**Figura 12.** Pescadores trabajando en el tapa que limita la salida al Usumacinta.

## **MACUSPANA.**

**Arroyo Bitzal:** El sitio más exitoso con respecto a los avistamientos. En él se realizaron recorridos de 15.4 Km. En la primera visita realizada se detectaron ocho animales. Cuatro de ellos se encontraban en parejas, probablemente de madre y cría. En la segunda visita se contaron trece avistamientos. En la tercera visita se detectó sólo un manatí. Esta visita se realizó después de un periodo breve de lluvias y el nivel del agua estaba visiblemente más alto.

Todas las detecciones se realizaron durante la primera parte del recorrido. El arroyo tiene una alta presencia de actividad humana ya que hay numerosos asentamientos humanos a lo largo de la orilla y el tráfico de embarcaciones con motor es muy alto. Los sitios en los que se detectaron manatíes contaron con una mayor presencia de pastos y vegetación flotante (Figuras 13 - 16). No todos los avistamientos se confirmaron por cuestiones de tiempo pero en los que sí se pudo detener la lancha se vio directamente a los animales o se detectó el rastro de burbujas en la superficie.

Es destacable el contraste entre la alta tasa de presencia de animales en este arroyo y las modificaciones que ha recibido el entorno, ya que de todos los sitios visitados fue el más transformado y con mayor presencia de potreros y embarcaciones motorizadas. Por el alto número de animales presentes se eligió este sitio para el cálculo del factor de corrección de los conteos, debido al error de avistamiento.



**Figura 13.** Vegetación predominante en Bitzales.



**Figura 14.** Vegetación de la orilla del arroyo Bitzal.



**Figura 15.** Panorámica del arroyo Bitzal.



**Figura 16.** Vegetación predominante en el arroyo Bitzal.

En los sitios con avistamientos se caracterizó la vegetación, las actividades humanas y se registró la temperatura y la profundidad con los que se calcularon los promedios. En el caso del ancho de los transectos se tomaron en cuenta las medidas de la escala en la pantalla del sonar y se estableció un rango que abarcó desde la menor medida tomada hasta la mayor. Todos estos valores se representaron en la siguiente tabla (Tabla 1):

**Tabla 1.** Caracterización de los sitios en los que se detectaron manatíes.

	<b>Arroyo San Pedro</b>	<b>Arroyo Balmoc</b>	<b>Laguna El Viento</b>	<b>Arroyo El Coco</b>	<b>Arroyo Bitzal</b>
<b>Número de manatíes</b>	0 - 3	0 - 2	0 - 2	0 - 1	4 - 11
<b>Profundidad (m)</b>	3.4	2.3	2.3	5.04	2.7
<b>Ancho (m)</b>	22 - >30	22 - >30	>25	20 - >25	15 - >25
<b>Temperatura (° C)</b>	26.7	27.2	26.1	26.2	23.7
<b>Distancia recorrida (Km)</b>	10.5	4.54	11.54	9.97	15.4
<b>Cobertura vegetal</b>	Árboles en la orilla, la mayoría inalcanzables	Árboles en la orilla, la mayoría inalcanzables	Abundante vegetación flotante y pastos alcanzables en la orilla	Poca vegetación flotante y pastos en la orilla	Alta concentración de vegetación flotante, pastos en la orilla y ramas en contacto con la superficie del agua
<b>Actividades humanas</b>	Tránsito esporádico de lanchas con y sin motor; zona de pesca con tapes cercanos	Tres tapes cercanos al punto de observación; dos campamentos pesqueros	Dos casas cercanas a la confluencia; tráfico esporádico de lanchas con motor	Bajo tráfico de lanchas con motor; una zona residencial a aprox. 200 m	Tráfico constante de lanchas con motor, casas a lo largo de la orilla

Los recorridos no pudieron realizarse en diferentes estaciones como se tenía planeado. A pesar de que todos los monitoreos se realizaron dentro de la temporada de “nortes” (noviembre - enero) pudimos contar con cambios notables en los niveles de agua de los arroyos y comprobar que en casos en los que éstos aumentaron la abundancia relativa de manatíes se redujo y al bajar los niveles de agua la abundancia aumentó, llegando incluso a brindarnos la oportunidad de ver más de 10 individuos en un sólo lugar.

## **Fuentes de error y cálculo del factor de corrección en los conteos del sonar.**

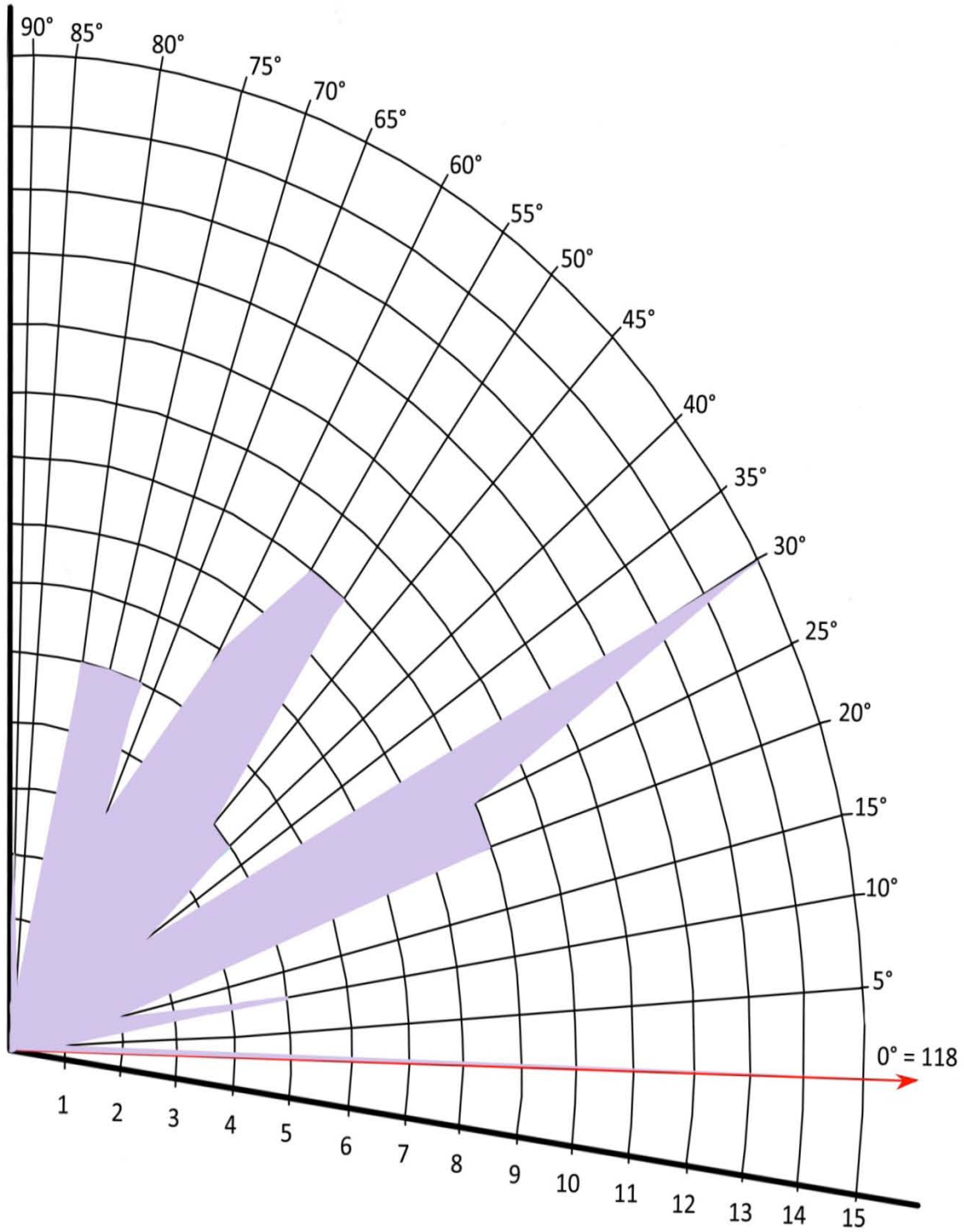
*Posición de los animales respecto a la embarcación y probabilidad de detección en el sonar.*

La reflexión del sonido y la probabilidad de captar el eco de los objetos aumenta cuando hay mayor área para el rebote de manera que un manatí paralelo a la embarcación y a las emisiones de sonido del sonar devolverá una señal más fuerte. Un animal perpendicular a la embarcación normalmente devuelve una señal débil, pero se registra su sombra en el fondo, requiriendo de un mayor entrenamiento del observador para detectar al animal. De esta manera algunos animales pueden no detectarse en el sonar.

Con la colección de imágenes de manatíes obtenidas con el sonar, se obtuvo el ángulo del animal en cada una de ellas. En la mayoría de las imágenes, la posición de los manatíes fue de  $0^\circ$ , o lo que es lo mismo, que el o los animales se encontraban paralelos a la embarcación al momento de la toma de la imagen. En la figura 17 se muestra el histograma circular que representa la frecuencia con que se registraron los animales en diferentes ángulos con respecto a la embarcación, en el momento de ser detectados.

El ángulo de posición con mayor presencia fue el de  $0^\circ$  ya que en 118 de las imágenes aparecieron animales paralelos al bote. En 15 imágenes los animales se encontraron en una posición de  $30^\circ$  con respecto al trayecto del bote. Los ángulos de posición de  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $50^\circ$  y  $55^\circ$  aparecieron en 9 imágenes cada uno. Después de esos ángulos, los más representativos fueron los de  $70^\circ$ ,  $75^\circ$  y  $80^\circ$  que se registraron en 6 imágenes cada uno; y el ángulo de  $60^\circ$  que se registró en 7 imágenes. Los demás ángulos se vieron representados de la siguiente manera: 1 imagen =  $5^\circ$  y  $85^\circ$ , 2 imágenes =  $15^\circ$ , 3 imágenes =  $35^\circ$  y  $90^\circ$ , 4 imágenes =  $65^\circ$  y 5 imágenes =  $10^\circ$ ,  $40^\circ$  y  $45^\circ$  (Figura 17).

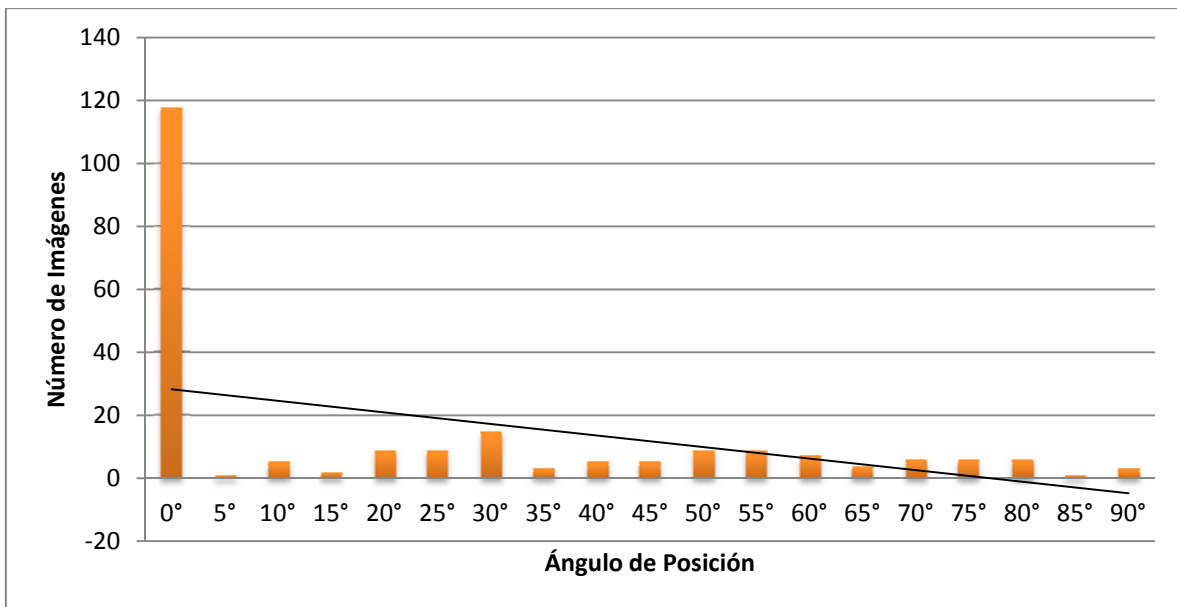




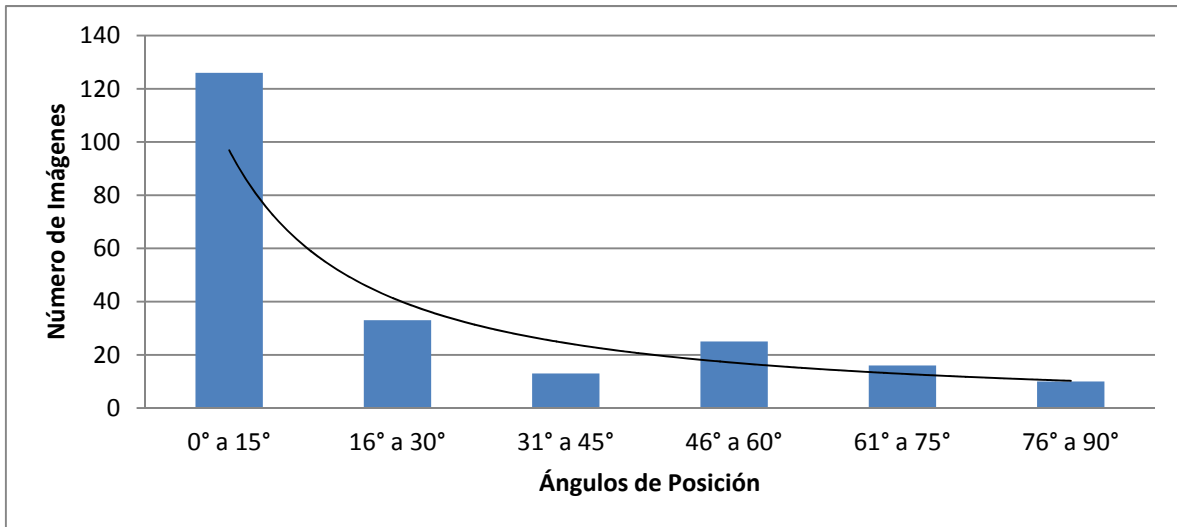
**Figura 17.** Histograma circular, con el área de las barras resaltada, que denota el número de imágenes ( $f_i$ ) de acuerdo al ángulo de posición captado. Cada círculo corresponde al número de imágenes de manera que la posición de cada vector indica el ángulo registrado y la longitud del vector indica la frecuencia, excepto para el ángulo  $0^\circ$  donde la frecuencia fue de 118 imágenes.

En las figura 18 y 19 se presenta la distribución de los datos anteriores en un histograma rectangular. En la figura 18 se muestra un mayor número de clases ya que se tomaron en cuenta todos los valores de imágenes por cada ángulo de posición representado. En el ajuste lineal podemos ver que, haciendo a un lado los valores para el ángulo de  $0^\circ$ , la proporción de datos es bastante homogénea. También es notable como la cantidad de imágenes por cada ángulo de posición tiende a disminuir conforme se acerca a la perpendicularidad ( $90^\circ$ ) con respecto al trayecto del bote.

En la figura 19 se presenta el histograma de datos organizados por grupos con intervalos de  $15^\circ$ , yendo desde el ángulo de  $0^\circ$  hasta el de  $90^\circ$ . Podemos ver que al agrupar los datos en estas categorías, se puede sugerir que la posibilidad de detectar animales disminuye conforme se aproxima a la posición perpendicular del manatí con respecto al bote.



**Figura 18.** Histograma que representa el ángulo de la posición de los manatíes y la cantidad de imágenes en las que aparecieron. La línea representa el ajuste lineal que se realizó.

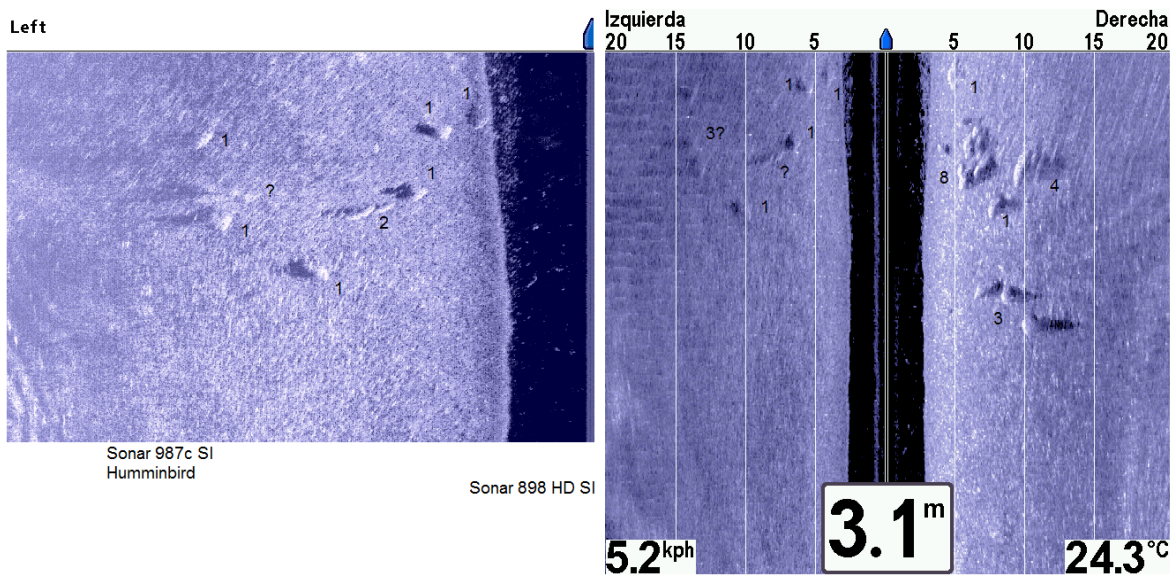


**Figura 19.** Histograma que representa los ángulos de la posición de los manatíes, agrupados en categorías con aumento de 15°. La línea representa el ajuste potencial que se realizó.

*Cálculo in situ del Factor de Corrección por el sesgo de percepción.*

Los cálculos para el factor de corrección para el sesgo de percepción se realizaron con los datos obtenidos de 12 pases con la lancha sobre un área del recorrido en Bitzales el 05 de marzo de 2013. Ese día se observó un grupo de entre 17 y 24 manatíes (Figura 20).

En el momento del recorrido, de manera independiente los operadores de ambos sonares registraron los animales observados sobre el lado izquierdo de la embarcación. En la tabla 2 se resumen los resultados de ese experimento *in situ*, se incluye en la tabla los animales detectados únicamente por cada observador y los que fueron vistos por ambos, así como los valores estimados del total del número de individuos disponibles para el observador ( $\check{N}$ ), la varianza de la estimación ( $\text{var } \check{N}$ ), el factor de corrección para el sesgo de percepción (FC) y el coeficiente de variación de este factor de corrección ( $C_p$ ). El factor de corrección tuvo un promedio de 1.19 y una desviación estándar de 0.58. El coeficiente de variación del factor de corrección ( $C_p$ ) presentó un intervalo de 0.15 a 0.33 con un valor medio de 0.21. En general estos valores indican que se pierde aproximadamente el 20% de los animales observados por el sesgo de percepción, o sea el atribuible a la variación entre observadores.



**Figura 20.** Grupo de manatíes avistado el 05 de marzo de 2013 en la localidad de Bitzales Tercera sección, Macuspana, Tabasco. Con el análisis de las imágenes capturadas en las unidades de sonar el número más probable fue de 25 individuos. La imagen de la derecha muestra en la parte inferior la velocidad de la embarcación, la profundidad del sitio y la temperatura del agua respectivamente. Las medidas de la parte superior son la distancia en metros de la embarcación hacia los lados.

**Tabla 2.** Número estimado de manatíes disponibles para los observadores ( $\check{N}$ ) y Factor de corrección del sesgo de Percepción (FC) en un experimento *in situ* en Bitzales, Tabasco a través de 12 pases en embarcación sobre una sección del arroyo Bitzales el 05 de marzo de 2013.

Vuelta	Observador 1	Observador 2	Ambos	$\check{N}$	var $\check{N}$	FC	$C_p$
1 (13:41 - 13:43)	0	1	0	0	0	0	0
2 (13:43 - 13:46)	3	3	2	12.5	28.12	1.56	0.31
3 (13:46 - 13:49)	7	8	5	29.33	40.44	1.56	0.19
4 (13:49 - 13:53)	4	3	3	14	18.66	1.4	0.21
5 (13:53 - 13:55)	1	1	1	4	4	1.33	0.33
6 (13:55 - 14:00)	7	5	3	23.75	43.31	1.06	0.3
7 (14:00 - 14:05)	4	3	3	14	18.66	1.4	0.15
8 (14:05 - 14:10)	4	6	3	21	56	1.61	0.27
9 (14:10 - 14:14)	3	3	2	12.5	28.12	1.56	0.31
10 (14:14 - 14:18)	6	3	3	18	36	1.5	0.25
11 (14:18 - 14:23)	0	2	0	0	0	0	0
12 (14:23 - 14:28)	5	7	5	22.83	19.86	1.41	0.16

*Cálculo en laboratorio del factor de corrección por el sesgo de percepción a partir del video registrado en una unidad de sonar.*

El video grabado con una de las unidades de sonar, se le presentó a observadores novatos y a observadores con más de 30 horas de experiencia con el sonar, adicionalmente, el observador con mayor experiencia en esta herramienta hizo un análisis minucioso del video anotando el número más probable de manatíes observado en cada una de las vueltas o pases que se hicieron sobre el área. Los resultados se presentan en las tablas 3 y 4, donde se muestra el número más probable ( $N_{tot}$ ), el promedio (de todas las parejas de observadores) de la estimación del número de manatíes disponibles para los observadores ( $\check{N}$  prom), así como el Factor de Corrección del sesgo de Percepción (FC).

Para el caso de los observadores novatos (Tabla 3) se observó fuerte discrepancia entre la estimación del número de manatíes disponibles con el número más probable de cada vuelta, En varias de las vueltas la varianza de  $\check{N}$  fue muy alta. Por otra parte el Factor de Corrección estimado tuvo un promedio general de 1.66, la varianza de este factor varió entre 0.20 y 2.65.

En lo que respecta a los observadores con experiencia (Tabla 4) hubo poca discrepancia entre la estimación del número de manatíes disponibles con el número más probable de cada vuelta (no se presentó diferencia significativa tomando la distribución de  $N_{tot}$  como el modelo teórico, Prueba de Bondad y Ajuste de Kolmogorov-Smirnov  $D_{max}=0.172$ ,  $P>0.05$ ). El factor de corrección promedio en total 1.16, la varianza de este factor varió entre 0 y 1.39

**Tabla 3.** Número promedio (entre las posibles combinaciones de cuatro observadores) estimado de manatíes disponibles para los observadores ( $\bar{N}$ ) y Factor de corrección del sesgo de Percepción (FC), calculado en laboratorio a partir de los registros de cuatro observadores novatos que vieron el video del sonar, grabado el 05 de marzo de 2013 en Bitzales, Tabasco.

	N tot	$\bar{N}$ prom	Var $\bar{N}$	FC	cv FC	var FC
t3	18	1,8	0,33	1,50	1,30	0,42
t4	11	28,1	174,82	1,71	2,09	0,86
t5	21	1,3	0,13	1,33	1,33	0,20
t6	10	5,4	2,13	1,40	1,86	0,27
t7	20	36,5	96,13	1,94	3,09	1,42
t8	5	7,9	4,17	1,48	1,65	0,41
t9	12	27,4	63,44	1,81	1,99	1,10
t10	3	3,2	0,83	1,43	1,84	0,31
t11	14	32,4	124,57	2,28	2,04	2,65
t12	5	10,1	9,46	1,71	1,59	0,86

**Tabla 4.** Número promedio (entre las posibles combinaciones de cuatro observadores) estimado de manatíes disponibles para los observadores ( $\bar{N}$ ) y Factor de corrección del sesgo de Percepción (FC), calculado en laboratorio a partir de los registros de cuatro observadores con experiencia que vieron el video del sonar, grabado el 05 de marzo de 2013 en Bitzales, Tabasco.

	N tot	$\bar{N}$ prom	Var $\bar{N}$	FC	cv FC	var FC
t3	18	16,5	6,14	1,14	4,33	0,11
t4	11	5,3	8,89	1,27	1,20	0,31
t5	21	21,3*	4,27	1,60	3,64	1,39
t6	10	8,2	21,00	1,00	nd	0,00
t7	20	15,2	0,00	1,00	nd	0,00
t8	5	6,0	2,26	1,26	1,87	0,27
t9	12	15,3	5,44	1,16	3,57	0,12
t10	3	15,0	0,00	nd	nd	nd
t11	14	14,4	0,07	1,01	5,42	0,00
t12	5	4,3	0,00	1,00	nd	0,00

\* Se eliminaron las estimaciones de dos parejas que tuvieron una varianza muy alto

## **Discusiones.**

### **Variación de los conteos entre sitios.**

La vegetación es una característica importante del hábitat del manatí ya que su dieta se basa principalmente en macrofitas (Bengston, 1983; Provanca y Hall, 1991; Lefebvre *et al.*, 2001; Reid *et al.*, 2001; Olivera-Gómez y Mellink, 2005), pero la vegetación en los sitios con detecciones exitosas no permite discernir si los manatíes prefieren un tipo de vegetación específica. Jiménez-Domínguez, (2009) determinó que la vegetación no puede manejarse como una variable determinante de la presencia ya que ésta se encuentra disponible ampliamente en los sitios de muestreo.

En la caracterización general de los ambientes (Tabla 1) se aprecia que en los seis sitios hay vegetación de tres tipos: riparia, flotante y pastos de orilla. El sitio con mayor presencia de manatíes, Bitzales, presentó una combinación de estos tres tipos de plantas. Este sitio junto con los de San José, Arroyo El Coco y Laguna El Viento pertenecen a la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla. En los cuatro, la vegetación flotante y los pastos estuvieron presentes. Los sitios del municipio de Balancán, San Pedro y Balmoc, tuvieron una mayor presencia de vegetación riparia.

Jiménez-Domínguez (2009) concluyó que el tráfico de embarcaciones de mediana intensidad es la más recurrente en el hábitat de los manatíes. En la tabla 1 observamos que en todos los sitios existió la presencia del hombre variando desde muy poca (poco tráfico, número reducido de casas en la orilla) hasta muy alta (alto tráfico de embarcaciones y asentamientos humanos grandes). Los tapes sólo se presentaron en los sitios de Balancán y Macuspana. Durante los recorridos los pescadores o lancheros comentaban que habían visto manatíes, tanto en Balancán como en Macuspana, y coincidieron con los avistamientos con el sonar; estos sitios se ubicaron en las confluencias de arroyos y ríos secundarios.

Una de las características de las confluencias es que se forman depresiones en el fondo resultantes de la erosión de la corriente y son conocidas como pozas, donde los manatíes pueden refugiarse y descansar (Jimenez-Domínguez, 2009). Estas pozas han demostrado ser un elemento del hábitat, incluso en áreas abiertas, ampliamente utilizado por los manatíes en costas y bahías del Caribe mexicano (Morales-Vela *et al.*, 2000) y Belice (Bacchus *et al.*, 2007).

En el arroyo Bitzales pudimos comprobar una tendencia al uso estacional de estos cuerpos de agua conectores por los manatíes. Dos de los tres recorridos se hicieron después de periodos de poca lluvia y se detectó un número alto de individuos en cada recorrido. El otro recorrido se realizó en un periodo de transición entre frentes fríos, es decir, acababa de terminar de llover después de varios días y durante el recorrido entró un nuevo norte o frente frío. Durante este periodo de transición el nivel del agua había incrementado visiblemente y no se detectó más que un animal en todo el trayecto de 10 Km. Esto se destaca ya que tan sólo un mes antes se había contado entre 8 y 13 individuos.

### **Errores asociados a los conteos utilizando el sonar.**

#### *Posición de los animales con respecto a la embarcación*

De la distribución del ángulo de los animales con respecto con la embarcación (Figura 18) observamos que el mayor número de imágenes se tomaron con los animales en posición paralela a esta. Podemos argumentar que esta posición fue la más abundante tanto por la característica estrecha de los canales y arroyos donde se tomaron las imágenes como de la realización de los muestreos. Por ser cuerpos de agua con un ancho menor a los 30 metros es posible que los manatíes busquen adelantarse al bote, es decir, que huyan de él. Otra posibilidad es que al estar acostumbrados al tráfico constante de embarcaciones se refugien de éstas nadando hasta el fondo y quedándose en esa posición (Jimenez-Domínguez, 2009). Nuevamente, al ser canales estrechos, es más práctico que adopten una posición paralela, tanto a la embarcación como a la orilla. Por esto es más sencillo tener recorridos con poca variabilidad en la detección ya que esta posición permite una identificación más fácil en el campo.

La distribución de la posición de los manatíes en ángulos distintos de 0° no tuvo un patrón específico, la probabilidad de observar manatíes en ángulos distintos de cero parece ser homogénea, lo que indica que la alta frecuencia en las imágenes de la posición paralela a la lancha se deriva de otro proceso como la conducta de los animales y no necesariamente del registro diferencial debido a la posición. De todas maneras, se debe reconocer que de los animales perpendiculares suele verse únicamente la sombra alargada, que para observadores novatos es fácil que pase desapercibida. La variabilidad dentro de los ángulos



también puede deberse a la altura del manatí en la columna de agua ya que ésta afecta la elongación de la sombra proyectada y haciendo difícil discernir si el animal está en posición perpendicular o no.

En el histograma donde se agruparon los ángulos de las posiciones de los manatíes en intervalos de 15° (Figura 19) se observa cómo se reduce exponencialmente la posibilidad de detectar manatíes conforme su posición se va acercando más perpendicularmente con respecto a la embarcación. Este modelo tuvo un buen ajuste, aunque puede ser en parte un artificio al hacer más grande el intervalo de clases. Es necesario realizar experimentos con objetos sumergidos en posiciones conocidas para conocer mejor el error debido a la posición.

#### *Error de percepción.*

El factor de corrección por el sesgo de percepción para el experimento *in situ* (FC=1.19, var FC= 0.58) indicó que se pierde en promedio el 20% de los animales en los conteos atribuido a la percepción de los observadores. Este factor fue más grande en los experimentos en laboratorio utilizando el video, para el caso de los observadores novatos se deja de contar cerca del 70% de los animales disponibles y en el caso de observadores con experiencia el factor de corrección promedió 1.24, de manera que se deja de contar un 25% de los animales disponibles para los observadores. El experimento hecho con los observadores expertos tuvo la menor desviación estándar del factor de corrección y fue muy eficiente en la estimación de los animales disponibles al comparar con el conteo minucioso que se hizo del video.

Aún con estos resultados, la varianza estimada entre algunos pares de observadores fue amplia, sobre todo en los transectos donde se observaron grupos grandes.

La familiarización con el sonar es necesaria ya que obtuvimos valores de conteos altos en ambos casos pero las detecciones comunes fueron menores con los observadores novatos, lo que nos da a entender que se necesita de un manejo un poco más avanzado del sonar para poder detectar manatíes en el momento.

Marsh y Sinclair (1989) mencionan que los factores de corrección específicos de censos compensan los sesgos de visibilidad que no pueden ser eliminados por procedimientos estándares y reducen la necesidad de usar a los mismos observadores para

cada censo. Concluyen que es imposible eliminar todos los sesgos biológicos y ambientales, por lo que el desarrollo de técnicas para estimar factores de corrección específicos de censos para compensar los sesgos de disponibilidad y percepción debería encontrar aplicación en todos los censos aéreos (Marsh & Sinclair, 1989).

Otros censos aéreos que han utilizado factores de corrección se han realizado para estimar poblaciones de aves, peces y otros mamíferos marinos. Para el caso de los peces Sale y Sharp (1983) recomendaron realizar transectos piloto de anchos diferentes para generar factores de corrección que se utilizarían en sitios diferentes y no usarlos para calcular abundancia de especies a menos que se tratara de transectos con un ancho de cero. Para las aves se realizaron comparaciones entre los avistamientos de poblaciones de patos realizados durante tres años en ambientes de Alaska (Hodges *et al.*, 1996). Ya que no se calcularon anualmente se asumió que representaban un promedio de factores y resultaron ser confiables para las poblaciones de patos pero no para otras especies.

En el caso de los mamíferos marinos, un estudio realizado con focas (*Phoca vitulina*) comprobó que los factores de corrección pueden variar de acuerdo a la temporada y a la localidad, pero que los métodos usados para obtenerlos son apropiados para cualquier temporada o localidad (Huber, 2001). En el caso de los dugongos (*Dugong dugong*), sirénios parientes de los manatíes, se obtuvo una concordancia entre los estimados de población de dos estudios realizados en años consecutivos (Marsh y Saalfeld, 1989) por lo que se concluyó que el uso de factores de corrección específicos fue exitoso. En el Sistema Lagunar de Alvarado solamente se contó un manatí siguiendo la misma metodología que González-Socoloske *et al.* (2009) y usando un sonar similar al de este estudio pero se mencionó que este método es una herramienta indispensable para la detección de manatíes en ambientes de aguas turbias (Daniel-Rentería, Serrano y Sánchez-Rojas, 2012).

Estos estudios nos demuestran que el uso de factores de corrección es necesario para tener mejores estimaciones y deben realizarse experimentos específicos ya que es peligroso usar factores de corrección de un estudio y determinados bajo condiciones distintas (Pollock y Kendall, 1987). Afortunadamente los censos con sonar se ven afectados por menos factores externos que en el caso de los censos aéreos. En el caso del sonar la experiencia de los observadores y el tipo de fondo son más importantes en comparación con las condiciones climatológicas.

En casi todos los casos el número de animales disponibles fue menor que el conteo total resultado de un análisis minucioso hecho en laboratorio, pero en el caso de observadores expertos estos números se aproximan, de manera que las observaciones rápidas hechas por pares de observadores con experiencia o con dos sonares es una alternativa importante al análisis minucioso.

## **Recomendaciones.**

Por razones logísticas en este estudio se utilizaron dos sonares instalados sobre una misma embarcación, pero se pudo observar que es recomendable utilizar dos embarcaciones con solamente un sonar ya que existió interferencia entre los dos. Lo que ocasiona una potencial pérdida de datos por la poca claridad de la imagen. Solucionando esto, el sonar sería útil para realizar conteos de manatíes siempre y cuando sea utilizado por personas entrenadas en la detección.

Para conocer más sobre las posibilidades de detección del sonar con respecto al ángulo de posición podría llevarse a cabo un experimento con objetos sumergidos y en diferentes posiciones. Con esto se conocería en su totalidad cuales son los mejores ángulos para tener una imagen clara y fácil de entender.

El factor de corrección (FC) funciona para estimar el número verdadero de animales disponibles para los observadores. En este caso nos proporcionó cantidades cercanas a los valores calculados para  $\check{N}$  por lo que es recomendable usarlo ya que los resultados otorgan información conveniente para este tipo de estudios.

Es recomendable que cuando se realice un conteo en campo, y de contar con la opción de grabación, se haga un video del recorrido y después se analice minuciosamente en el laboratorio. En las condiciones de campo el conteo inmediato puede causar que se pierdan datos. Cuando se realice este conteo en el laboratorio es necesario realizar un ajuste en el tiempo. El ajuste se puede calcular con la velocidad de reproducción del video y el tiempo que transcurre desde que aparece un objeto y hasta que desaparece. Con este ajuste se puede saber de manera correcta si los manatíes observados en campo son los mismos que se ven en el laboratorio.

A pesar del éxito del estudio y de la baja necesidad de condiciones que cumplir en los censos para que los factores de corrección sean correctos, habría que llevar a cabo investigaciones en otros cuerpos de agua y tipos de ambiente para saber si el modelo matemático aplicado es efectivo para todos los tipos de monitoreos con sonar y no solamente en canales estrechos.

## **Conclusiones.**

Se pudo observar que la abundancia varió con la fecha del monitoreo y al parecer el incremento en el nivel del agua está ligado a una mayor presencia de individuos dentro de los canales en los que se realizaron los muestreos. El uso del sonar también evidenció diferencias entre sitios, siendo el arroyo Bitzales la localidad con mayor abundancia.

Las posiciones al momento de la detección con el sonar, indican que la posición paralela al sonar es la que permite una identificación más fácil. Pero hacen falta más estudios para determinar si la conducta del animal es la que origina este hecho.

Los conteos tienden a subestimar el número de animales disponibles, en promedio se pierde entre el 20 y el 70% de los animales de acuerdo a la experiencia de los observadores

El uso de dos observadores independientes es útil para aproximar la estimación del número de manatíes disponibles en el curso de agua. Por otra parte, realizar una grabación del transecto para su inspección minuciosa es una alternativa cuando no es posible contar con los observadores independientes.

## Literatura Citada.

- Ackerman, B. B. 1995. Aerial surveys of manatees: a summary and progress report. En: T. J. O'Shea *et al.* (eds.) Population biology of the Florida manatee. National Biological Service, Information and Technology Report 1, pp. 13 – 33.
- Álvarez J. R. 1994a. Diccionario enciclopédico de Tabasco, volumen I. Gobierno de Tabasco. ICT. 705pp.
- Álvarez J. R. 1994b. Diccionario enciclopédico de Tabasco, volumen II. Gobierno de Tabasco. ICT. 705pp
- Anónimo. 2007. IUCN Red List of Threatened Species.
- Arriaga W. S. y W. Contreras S. 1993. El manatí (*Trichechus manatus*) en Tabasco. Informe técnico. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División académica de Ciencias Biológicas, Villahermosa, Tabasco. 75 p.
- Au W. W. L. 1996. Acoustic reflectivity of a dolphin. *J Acoust Soc Am* 99: 3844 – 3848.
- Bacchus M. C., S. G. Dunbar y C. Self-Sullivan. 2006. Caracterización de puntos de descanso y su uso diurno y nocturno por el manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en los Drowned Cayes, Belice. *Mesoamericana*. 11 (1): 24.
- Bengston J. L. 1983. Estimating food consumption of free ranging manatees in Florida. *Journal Wildlife Manage*. 47 (4): 1186 – 1192.
- Castelblanco-Martínez, D. N.; A. L. Bermudez-Romero; I. V. Gómez-Camelo; F. C. Weber-Rosas; F. Trujillo y E. Zerda-Ordoñez. 2009. Seasonality of habitat use, mortality and reproduction of the Vulnerable Antillean manatee *Trichechus manatus manatus* in the Orinoco River, Colombia: implications for conservation. *Orix* 43(2): 235–242.
- Colmenero L. C. 1984; Nuevos registros del manatí (*Trichechus manatus*) en el sureste de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología*. 54 (1): 243 – 254.
- Colmenero L. C. 1985; Aspectos de la ecología y comportamiento de una colonia de manatíes (*Trichechus manatus*) en el municipio de Emiliano Zapata, Tabasco. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología*. 56 (2): 589 – 602.
- Colmenero R. L. C. y Z. M. E. Hoz, 1985. Distribución de los Manatíes, Situación y su Conservación en México. *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. de Méx., Ser. Zool.* 56 (3): 955 – 1020
- Daniel-Rentería I. C., A. Serrano y G. Sánchez-Rojas. 2012. Distribución del manatí Antillano (*Trichechus manatus manatus*) en el Sistema Lagunar de Alvarado (Veracruz, México). *Ciencias Marinas*. 38(2): 459 – 465.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 1992. Decreto por el que se declara como área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la zona conocida como Pantanos de Centla, con una superficie de 302,706-62-50 hectáreas, ubicadas en los Municipios de Centla, Jonuta y Macuspana, Tab. Secretaría de Desarrollo Social. DOF. 06 de agosto de 1992.
- DOF (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. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. DOF. 30 de diciembre de 2010.
- Dickerson D. D., K. J. Reine, J. C. Newton y C. E. Dickerson, Jr. 1996. “Evaluation of hydroacoustic techniques for detecting manatees at water control structures” report by U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, February.
- González-Socoloske D. y L. D. Olivera-Gómez. 2011. Gentle giants in dark waters: using side-scan sonar for manatee research. *The Open Remote Sensing Journal*. 4: 1 – 14.
- González-Socoloske D., L. D. Olivera-Gómez y R. E. Ford. 2009. Detection of free-ranging West Indian manatees (*Trichechus manatus*) using side-scan sonar. *Endang Species Res* Vol. 8: 249 – 257.
- Hartman D. S. 1971. Behavior and ecology of the Florida manatee, *Trichechus manatus latirostris* (Harlan), at Crystal River, Citrus County. Ph. D. dissertation, Cornell Univ. 285 pp.
- Hodges J. I., *et al.* 1996. Aerial surveys of waterbirds in Alaska 1957-94: Population trends and observer variability. Information and Technology Report IV. 25 pp.
- Huber H. R. 2001. Correcting aerial survey counts of harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) in Washington and Oregon. *Marine Mammal Science*. 17(2): 276 – 293.
- Husar S. L.. 1978. *Trichechus manatus*. *Mammalian Species*. 93: 1 - 5
- Jaffe JS, F Simonet, PLD Roberts, AE Bowles. 2007. Measurement of the acoustic reflectivity of sirenia (Florida manatees) at 172 kHz. *J. Acoust. Soc. Am*. 121 (1): 158 – 165.

- Jiménez I. 2005. Development of predictive models to explain the distribution of the West Indian manatee *Trichechus manatus* in tropical watercourses. *Biological Conservation*. 125: 491-503.
- Jiménez-Domínguez D., 2009. Uso del hábitat por el manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en sistemas fluvio-lagunares del río Usumacinta, México. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias Ambientales. Universidad Juárez Autónoma de México.
- Jones J. K., Jr. & R. R. Johnson. 1967. Sireniens. Pp. 366 – 373 en “Recent mammals of the world - a synopsis of families” (S. Anderson & J. K. Jones eds.). Ronald Press Co. New York. 453 pp.
- Johnson L., A. Aguayo & F. C. Álvarez. 1986 (no publicado). Morfometría del manatí *Trichechus manatus* en el estado de Tabasco, México. Informe de Técnico. Universidad Nacional Autónoma de México. 15 pp.
- Lefebvre L. W., B. B. Ackerman, K. M. Portier & K. H. Pollock. 1995. Aerial survey as a technique for estimating trends in manatee population size-problems and prospects. *Information and Technology Report I*. 63 – 74.
- Lefebvre L. W. *et al.* 2001. Status and biogeography of the West Indian Manatee en “Biogeography of the West Indies, patterns and perspectives”. Woods C.A. & F.E. Sergile. 2001. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. Pp. 425 – 474.
- March-Mifsut I. y M. Castro. 2010. La Cuenca del río Usumacinta: perfil y perspectivas para su conservación y desarrollo sustentable en “Cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización.”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Pp. 192 – 197.
- Marsh H. y W. K. Saalfeld. 1989. Distribution and abundance of dugongs in the Northern Great Barrier Reef Marine Park. *Aus. Wildl. Res.* 16: 429 – 440.
- Marsh H. y Sinclair, D.F. 1989. Correcting for visibility bias in strip transect aerial survey for aquatic fauna. *Journal of Wildlife Management* 53: 1017-1024.
- Morales-Vela B. *et al.* 2000. Distribution and habitat use by manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Belize and Chetumal Bay, Mexico. *Biological Conservation*. 95: 67 – 75.
- Olivera-Gómez L. D. y E. Mellink. 2005. Distribution of the Antillean manatee (*Trichechus m. manatus*) as a function of habitat characteristics in Bahía de Chetumal, Mexico. *Biological Conservation* 121 (1): 127 – 133.
- Provancha J. A. y C. R. Hall. 1991. Observations of association between seagrass beds and manatees in East Central Florida. *Biological Science*. (54): 87 – 98.
- Reid J. P., D. Easton y W. J. Kenworthy. 2001. Manatee and seagrass habitat characterization in Puerto Rico. Report to Department of the Navy, US Naval Station Roosevelt Roads and Sirenia Project, U.S.G.S. Biological Resources Division. 34 pp.
- Sale P. F. y B. J. Sharp. 1983. Correction for bias in visual transect censuses of coral reef fishes. *Coral Reefs*. 2: 37 – 42.
- Seber G.A.F. 1982. The estimation of animal abundance and related parameters. Second Edition. New York: Charles Griffin & Company Ltd.