

First field-based estimate of Antillean manatee abundance in the San Pedro River system suggests large errors in current estimates for Mexico

La primera estimación de la abundancia de manatí antillano en el sistema del río San Pedro, basada en datos de campo, sugiere grandes errores en las estimaciones actuales para México

Gissel Puc-Carrasco¹, Benjamín Morales-Vela^{1*}, León David Olivera-Gómez², David González-Solís¹

¹ El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Av. Centenario km 5.5, sin número, sin cruzamiento, Colonia Pacto Obrero Campesino, CP 77014, Chetumal, Quintana Roo, México.

² División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque a Bosques de Saloya, CP 86039, Villahermosa, Tabasco, México.

* Corresponding author. E-mail: bmorales@ecosur.mx

ABSTRACT. Fluvial-lagoon systems like the San Pedro River, a tributary of the Usumacinta River, are important habitats for Antillean manatees. These systems are characterized by complex watercourses that contain water with high turbidity levels, which have historically limited manatee studies in hydrological basins on the eastern coast of Mexico. This study aimed to estimate manatee density in the San Pedro River system and to determine how this density varies with changes in water level. Density was estimated using counts detected by side-scan sonar (SSS). Two monthly navigation sessions were conducted from January to June 2016. Each session consisted of running 3 consecutive boat surveys along a 23-km-long transect at a speed of 10 km/h. Manatees were detected with a Humminbird SSS unit. A total of 471 manatees were detected, of which 46 (10%) were calves and 425 (90%) adults. Four different calves were identified. Mean density was 21.7 manatees per square kilometer, fluctuating between 3.7 and 43.3 manatees per square kilometer. Changes in manatee density were attributable to variations in water level, which allow or restrict manatee access to the different water bodies that make up the San Pedro River system. We estimated that 28 manatees were present in the study area. Manatee densities were surprisingly low. It is thus urgent to continue monitoring studies using SSS and obtain an updated estimation of manatee population size in the hydrological basins on the eastern coast of Mexico, which is considered to be the most important population in the country.

Key words: Antillean manatee, population size, density, Usumacinta River, side-scan sonar.

RESUMEN. Los sistemas fluviolagunares como el río San Pedro, tributario del río Usumacinta, son hábitats muy importantes para el manatí antillano. Estos sistemas se caracterizan por tener complejos cursos de agua con altos niveles de turbidez, que históricamente han dificultado el estudio de los manatíes en las cuencas hidrológicas de la costa oriental de México. Los objetivos de este estudio fueron estimar la densidad de manatíes en el sistema río San Pedro y saber cómo varía esta densidad con los cambios en el nivel del agua. El método para estimar la densidad se basó en el uso de un sonar de barrido lateral (SBL). Se realizaron 2 sesiones de navegación por mes, de enero a junio de 2016. Cada sesión consistió en 3 recorridos consecutivos sobre un transecto de 23 km de largo a una velocidad de 10 km/h. La detección de los manatíes se realizó con un SBL Humminbird. Se detectaron un total de 471 manatíes, de los cuales 46 (10%) correspondieron a crías y 425 (90%) a adultos. Cuatro crías distintas fueron identificadas. La densidad promedio fue de 21.7 manatíes por kilómetro cuadrado, con fluctuaciones de 3.7 a 43.3 manatíes por kilómetro cuadrado. Los cambios en la densidad de manatíes se atribuyen a las variaciones en el nivel del agua, que permiten o restringen el acceso de los manatíes a los distintos cuerpos de agua que componen el sistema del río San Pedro. Se estimó un total de 28 manatíes en el área de estudio. Los valores de densidad de manatíes fueron inesperadamente bajos. Por tanto, es urgente continuar con estos estudios usando el SBL para obtener una estimación actual del tamaño de la población de manatíes en las cuencas hidrológicas de la costa oriental de México, población considerada como la más importante en el país.

Palabras clave: manatí antillano, tamaño poblacional, densidad, río Usumacinta, sonar de barrido lateral.

INTRODUCTION

The Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*), one of 2 subspecies of West Indian manatees, is listed as endangered in the International Union for the Conservation of Nature (IUCN) Red List of Threatened Species (Self-Sullivan and Mignucci-Giannoni 2008). Little has been published on the presence of Antillean manatees in the

INTRODUCCIÓN

El manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*), una de las 2 subespecies de manatí de las Indias occidentales, está clasificado en peligro de extinción en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Self-Sullivan y Mignucci-Giannoni 2008). Es poca la información publicada

Usumacinta and Grijalva Rivers (Mexico). In his monograph on the mammals of Yucatán, México, Gaumer (1917) described these 2 rivers and surrounding wetlands as sites with frequent manatee sightings. In 1976, the United States Fish and Wildlife Service carried out interviews that confirmed the frequency of manatees along the Usumacinta River (Campbell and Gicca 1978). Some years later, using data from interviews, Colmenero-Rolón (1984) found that the Grijalva–Usumacinta Basin in the state of Tabasco was the most important manatee habitat area in Mexico. This could be true, but the region has not been systematically studied yet (Álvarez-Flores et al. 1988, UNEP 2010, Jiménez-Domínguez and Olivera-Gómez 2014). The Regional Management Plan for the West Indian Manatee (*Trichechus manatus*) reported a minimum population size of 1,000–2,000 manatees, based on best available data (UNEP 2010), and the majority of these individuals might be found in the Grijalva–Usumacinta hydrological basin in Tabasco (SEMARNAT/CONANP 2010). According to the most recent IUCN Red List assessment, best available data for Mexico indicate an estimated minimum population size of 1,000 individuals and an unknown population trend due to data deficiencies (Deutsch et al. 2008).

Manatees frequently inhabit fluvial-lagoon systems throughout the world, such as those in Venezuela and Colombia (Castelblanco-Martínez et al. 2009, Rivas-Rodríguez et al. 2012, Jaramillo-Villa 2015), Brazil (Arraut et al. 2010), and Mexico (Colmenero-Rolón and Hoz-Zavala 1986, Rodas-Trejo et al. 2008, Jiménez-Domínguez and Olivera-Gómez 2014). Turbid waters in these ecosystems have historically curtailed manatee studies (González-Socoloske and Olivera-Gómez 2012). However, a technique was developed to detect manatees in dark, turbid waters using side-scan sonar (SSS), and in studies conducted in Florida and Mexico it yielded 81% and 93% accurate detection rates, respectively (González-Socoloske et al. 2009). With this technique, we can determine important population characteristics in turbid waters, such as group size and mother–calf pairs (based on the relative size of the individuals) (González-Socoloske and Olivera-Gómez 2012).

The Usumacinta River has many small rivers systems with interconnecting streams and lagoons where manatees have been frequently sighted. One of these systems, the San Pedro River system, is known for the high frequency of manatee sightings in it (Jiménez-Domínguez and Olivera-Gómez 2014). This study aimed to estimate the population density of manatees in the San Pedro River and associated streams using SSS, and to determine how this density varies with changes in water level.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The San Pedro River system is located in the southern portion of the municipality of Balancán (18°10'–17°26'N,

sobre la presencia del manatí antillano en los ríos Usumacinta y Grijalva (México). En su monografía sobre los mamíferos de Yucatán, Gaumer (1917) describió a los ríos Grijalva y Usumacinta y humedales circundantes como sitios con presencia regular de manatíes. En 1976, el Servicio de Pesca y Fauna Silvestre de los Estados Unidos realizó entrevistas que confirmaron la presencia frecuente de manatíes a lo largo del río Usumacinta (Campbell y Gicca 1978). Años más tarde, por medio de entrevistas, Colmenero-Rolón (1984) identificó a la cuenca Grijalva-Usumacinta, en el estado de Tabasco, como la zona de hábitat más importante para los manatíes en México. Esto aún pudiera ser verdad, pero esta región aún no ha sido evaluada sistemáticamente para esta especie (Álvarez-Flores et al. 1988, UNEP 2010, Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014). El informe del Plan Regional para el Manatí de las Indias Occidentales (*Trichechus manatus*) indica un tamaño de población mínimo de 1,000 a 2,000 manatíes, con base en los mejores datos existentes (UNEP 2010). La mayoría de estos individuos estarían en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta, en Tabasco (SEMARNAT/CONANP 2010). De acuerdo con la evaluación más reciente de la Lista Roja de la UICN, las mejores estimaciones posibles para México indican que el tamaño mínimo de la población de manatíes es de 1,000 individuos y que la tendencia poblacional es desconocida debido a la deficiencia de datos (Deutsch et al. 2008).

Los manatíes frecuentemente habitan sistemas fluvio-lagunares en varias partes del mundo, como en Venezuela y Colombia (Castelblanco-Martínez et al. 2009, Rivas-Rodríguez et al. 2012, Jaramillo-Villa 2015), Brasil (Arraut et al. 2010) y México (Colmenero-Rolón y Hoz-Zavala 1986, Rodas-Trejo et al. 2008, Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014). Las aguas turbias de estos ecosistemas han limitado históricamente el estudio de los manatíes (González-Socoloske y Olivera-Gómez 2012). Recientemente, se desarrolló una técnica que permite detectar manatíes en aguas turbias y oscuras utilizando un sonar de barrido lateral (SBL), y en estudios realizados en Florida y México, la técnica permitió obtener tasas de detección del 81% y 93%, respectivamente (González-Socoloske et al. 2009). Con esta técnica, es posible determinar características poblacionales importantes de la especie en aguas turbias, tales como tamaño del grupo y parejas de hembra con cría (con base en el tamaño relativo de los individuos) (González-Socoloske y Olivera-Gómez 2012).

El río Usumacinta tiene pequeños sistemas de afluentes interconectados a arroyos y lagunas donde frecuentemente se reportan avistamientos de manatíes. Uno de estos sistemas es el río San Pedro, que se caracteriza por la alta frecuencia de avistamientos de manatíes (Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014). Los objetivos de este estudio fueron estimar la densidad poblacional de los manatíes en el río San Pedro y arroyos asociadas utilizando un SBL, y saber cómo esta densidad varía debido a los cambios en el nivel del agua.

90°59'–91°42'W) (Fig. 1a). It extends from the Reforma rapids and Reforma Waterfalls in the Limón River to the terminus of the San Pedro River, which empties into the Usumacinta River (Fig. 1a, b). The San Pedro River system is a calcareous subbasin that contains water with a weak load of suspended material (Castillo-Domínguez et al. 2011), a normal condition of the system down to the Limón River. The last section of the system extends ~6.5 km upstream from the San Pedro River mouth and includes the Susil and Balmoc streams (Fig. 1a). This section is within the alluvial terraces of the Usumacinta River (West et al. 1985) and is strongly affected by the heavy loads of suspended particles coming from this river. There are 2 lagoons in this section that were not included in the study. The Limón River, which is an upstream continuation of the San Pedro River, was partially included in some surveys (Fig 1b).

The San Pedro River is fed by the Usumacinta River and is thus subject to major changes in water level. During the flood season (September–October), rivers overflow large areas, interconnecting all water bodies in surrounding wetlands and grasslands (González-Socoloske 2013, Jiménez-Domínguez and Olivera-Gómez 2014). Conversely, during the dry season (March to June), rivers reach low water levels, exposing riverine walls 6 m high and/or blocking access to large bodies of water. When water level is rapidly increasing (July–August), conditions are locally known as “*rezumo*”, or rising level, and when the water level is falling, conditions are known as falling levels (November–February). This changing water level has a direct effect on food availability for manatees, since richness and abundance of plant species decrease with low water levels (González -Socoloske 2013).

Vegetation cover and composition was homogeneous in the survey areas along the San Pedro River, nearby streams, and the first 5 km of the Limón River, and it was mainly composed of *Dalbergia glabra*, *Parmentiera parviflora*, *Lonchocarpus guatemalensis*, and *Mimosa pigra*. There is a change in vegetation upstream of the Limón River, near the Reforma Waterfalls, where mangrove grows (*Rhizophora mangle*). The effects of the rising and falling water levels are observed in all water bodies.

Near the San Pedro River and the Susil and Balmoc streams there are permanent lagoons, and intermittent lagoons form during high water events. Lagoons near the Limón River are scarce because of the permeable, calcareous soil (Fig. 1a).

Fishing is one of the local economic activities that take place in the study area. To fish, villagers place large semipermanent nylon nets, which they call “tapes,” across the full width of a water course to trap fish as they swim by it. This fishing equipment is abandoned or removed during flood season, and it is the main cause of manatee deaths in some areas of this region (Romero-Berny et al. 2014). In the San Pedro River system, manatees are learning to lift the base of the tapes (Morales-Vela 2016). In the mid-1980s there were

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El sistema del río San Pedro está situado en la parte sur del municipio de Balancán (18°10'–17°26'N, 90°59'–91°42'W) (Fig. 1a). Este sistema se extiende desde los rápidos y las cascadas de Reforma en el río Limón hasta la desembocadura del río San Pedro en el río Usumacinta (Fig. 1a, b). El río San Pedro es una subcuenca calcárea que contiene agua con una débil carga de material suspendido (Castillo-Domínguez et al. 2011), que es la condición normal del sistema hasta el río Limón. La última sección del sistema se extiende desde la desembocadura del río San Pedro hasta 6.5 km río arriba e incluye los arroyos Susil y Balmoc (Fig. 1a). Esta sección se encuentra dentro de las terrazas aluviales del río Usumacinta (West et al. 1985) y es fuertemente afectada por grandes cargas de partículas en suspensión que llegan del Usumacinta. En esta última sección hay 2 lagunas que no fueron incluidas en este estudio. El río Limón, que es continuación aguas arriba del río San Pedro, fue parcialmente incluido en navegaciones específicas (Fig. 1b).

El río San Pedro es alimentado por el Usumacinta, por lo que está sujeto a importantes cambios en el nivel del agua. En el período de inundación (septiembre a octubre), los ríos vierten sus aguas sobre extensas áreas e interconectan todos los cuerpos de agua en los humedales y pastizales (González-Socoloske 2013, Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014). Por el contrario, en el período seco (de marzo a junio), los ríos alcanzan niveles de agua bajos, exponiendo sus muros ribereños de 6 m de altura en algunas zonas y dejando grandes cuerpos de agua sin acceso en otras. La condición de aumentos rápidos del nivel del agua se conoce localmente como “*rezumo*” (julio–agosto), y cuando el nivel del agua está disminuyendo, la condición se conoce como “*vaciante*” (noviembre–febrero). Estos cambios en el nivel del agua tienen un efecto directo en la disponibilidad de distintas plantas que son alimento para el manatí, ya que la riqueza y la abundancia de especies de plantas disminuye conforme los niveles del agua descienden (González-Socoloske 2013).

La vegetación presente en las secciones evaluadas del río San Pedro, los arroyos asociados y los 5 km del río Limón fue homogénea en composición y cobertura, y estuvo representada principalmente por *Dalbergia glabra*, *Parmentiera parviflora*, *Lonchocarpus guatemalensis* y *Mimosa pigra*. El río Limón presenta un cambio en la vegetación río arriba, cerca de las cascadas de Reforma, donde hay mangle (*Rhizophora mangle*). Los efectos de la elevación y disminución en los niveles de agua se reflejan en todos los cuerpos de agua.

En los alrededores del río San Pedro y de los arroyos Susil y Balmoc hay lagunas permanentes, y lagunas intermitentes durante la temporada de inundación. En el río Limón, las lagunas son escasas por la permeabilidad que presenta el suelo tipo calcáreo (Fig. 1a).

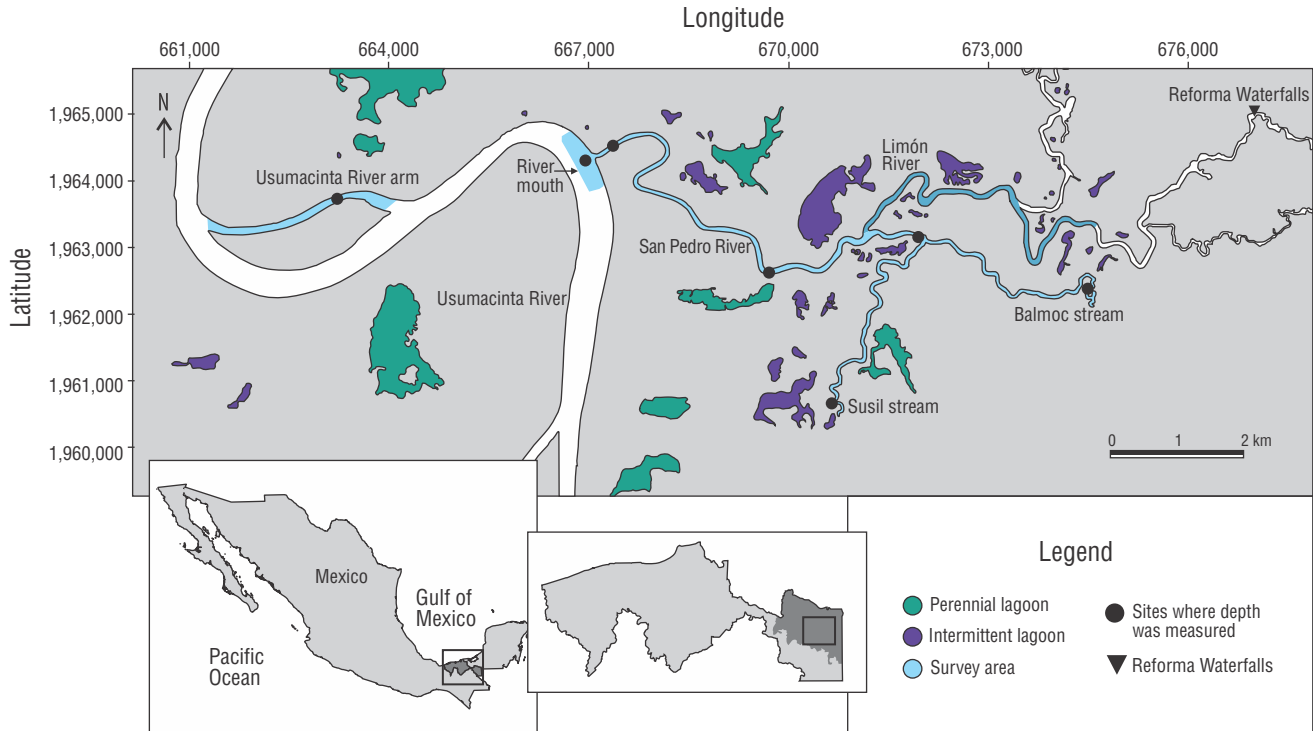


Figure 1. Map showing the southern portion of the Usumacinta River, and the San Pedro River system. The shaded river segments were surveyed using side-scan sonar. The darker shaded segment indicates the segment of the Limón River that was sampled during the last 4 sessions. Filled circles indicate the sites where depth was measured and the filled triangle indicates the location of Reforma Waterfalls.

Figura 1. Mapa donde se muestra la parte sur del río Usumacinta, y el sistema del río San Pedro. Los segmentos sombreados de los ríos fueron muestreados con un sonar de barrido lateral. El segmento sombreado más oscuro indica el segmento del río Limón que fue muestreado durante las últimas 4 sesiones. Los círculos rellenos indican los sitios donde se midió la profundidad y el triángulo relleno indica la ubicación de las cascadas Reforma.

sporadic cases of manatee hunting in some areas of Tabasco (Colmenero-Rolón and Hoz-Zavala 1986); however, there were no confirmed reports of hunting in the past decade. Fishermen in the San Pedro River system stated that manatees are not hunted in the area, and there were no hunting reports during the study period. People that were interviewed in areas bordering rivers know that manatees are protected by federal laws. They also have some knowledge about this species, its ecological importance, and the areas it inhabits (Guzmán-Nieto 2008).

Sampling scheme

Surveys were conducted on a 5-m-long fiberglass boat powered by a 15-HP outboard engine, at a maximum speed of 10 km/h. We used a Humminbird 899ci HD SI Combo system (Johnson Outdoors, Eufaula, AL, USA; 455 kHz frequency, 180° water column coverage) to detect manatees and estimate manatee density (González-Socoloske et al. 2009). The SSS system was calibrated to cover 25 m on each side of the boat to maintain clear manatee distinction across a 50-m bandwidth (Fig. 2). The crew included a local guide with experience in manatee observations and detection of their

La pesca es una de las actividades económicas locales que se practican en el área de estudio. Para pescar, los pobladores construyen lo que ellos llaman “tapes”, que son grandes mallas de nailon semipermanentes que cubren todo el ancho del caudal de un río para capturar, así, a los peces durante sus movimientos en el sector fluvial. Este arte de pesca es abandonado o removido en la temporada de inundación. En algunos sitios de esta región, los tapes son la principal causa de muerte de manatíes (Romero-Berny et al.2014); en el río San Pedro, los manatíes han aprendido a levantar la base de los tapes eficientemente (Morales-Vela 2016). A mediados de la década de los ochenta, aún se registraban casos esporádicos de caza de manatí en algunos sitios de Tabasco (Colmenero-Rolón y Hoz-Zavala 1986); sin embargo, en la última década, no han habido informes confirmados de caza. Los pescadores del sistema del río San Pedro mencionaron que los manatíes no son cazados en la zona, ni tampoco se escuchó algún reporte de caza durante el tiempo del estudio en campo. Las personas entrevistadas en áreas aledañas a los ríos saben que el manatí está protegido por leyes federales. También tienen conocimiento intermedio acerca de la especie, de su importancia ecológica y las áreas donde viven (Guzmán-Nieto 2008).

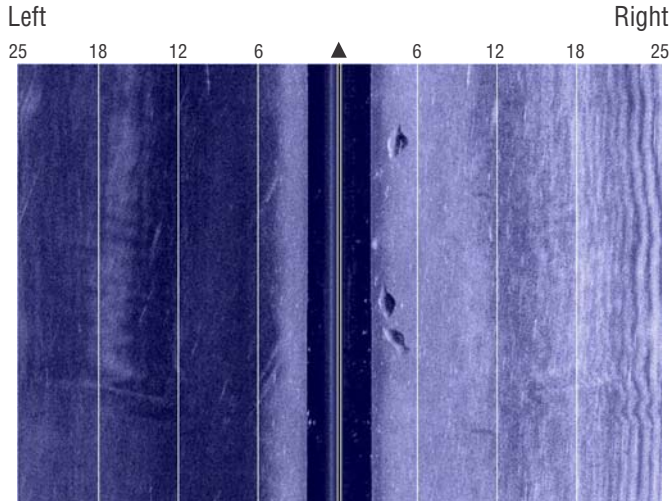


Figure 2. Side-scan sonar image showing 3 adult manatees recorded at the San Pedro River; 2 manatees are close together.

Figura 2. Imagen de sonar de barrido lateral que muestra el registro de 3 manatíes en el río San Pedro; 2 de ellos están juntos.

traces; this person did visual scanning and controlled the boat. There was also an observer with experience in manatee detection who monitored the SSS and took notes. Both crewmembers performed the same activity during the entire study.

All surveys took place from January to June 2016, over a course of 2 non-consecutive weeks of field work (i.e., 2 sessions) per month. Each session consisted of 3 consecutive sampling days, running one SSS boat survey per day, for a total of 6 surveys per month. Boat surveys were conducted from 08:00 to 11:00 local time, but sometimes this time period was extended to 13:00 because of the number of detected manatees and the additional time needed to collect all complementary information. In all, we implemented 36 sampling surveys using the SSS technique over 12 sessions.

To observe possible changes in manatee detection by SSS between hours, 2 additional partial survey rounds were conducted during the last 5 sessions (April–June), one from 13:00 to 15:00 and the other from 18:00 to 20:00. These 2 surveys covered the segment from the San Pedro River entrance to the Limón River confluence. This was also done to observe changes in manatee preferences for the central (from the transect line to 12 m on each side) or lateral (13 to 25 m from the transect line) parts of the river.

Water depth was recorded at 5 fixed points throughout the system and at 2 fixed points in the Usumacinta River to compare changes in water depth throughout the study period (Fig. 1). These points were chosen because they were easy to recognize in the field (i.e., there was something characteristic at each point, for example a tree trunk) and we had geographic coordinates for those points.

Método de muestreo

Los muestreos se llevaron a cabo en una embarcación de fibra de vidrio de 5m de largo con motor fuera de borda de 15 HP, a una velocidad de 10 km/h. Para detectar a los manatíes y estimar la densidad, se utilizó un SBL Humminbird 899ci HD SI Combo (Johnson Outdoors, Eufala, AL, EUA); la frecuencia fue de 455 kHz, que ofrece 180° de cobertura de la columna de agua. El SBL se calibró para tener un ancho de banda de 25 m por lado y mantener una clara distinción de los manatíes sobre una banda total de 50 m de ancho (Fig.2). La tripulación incluyó un guía local con experiencia en la observación de manatíes y detección de sus rastros; esta persona se responsabilizó de los registros visuales y de manejar el bote. Un segundo observador con experiencia en la detección de manatíes se responsabilizó del monitoreo con el SBL y la toma de notas. Ambos participantes realizaron su misma actividad durante este estudio.

Todos los muestreos se realizaron de enero a junio de 2016 en un curso de 2 semanas no consecutivas de trabajo en campo (i.e., 2 sesiones) por mes. Cada sesión consistió en 3 días continuos de muestreo con el SBL, y se realizó un transecto por día (6 transectos por mes). Cada transecto se recorrió en un bote de 08:00 a 11:00 (horario local). En ocasiones, este horario se extendió hasta 13:00 debido al número de manatíes detectados y al tiempo adicional necesario para obtener la información complementaria de los avistamientos. En total, se recorrieron 36 transectos utilizando el SBL durante 12 sesiones.

Con el fin de observar posibles cambios en la detección de los manatíes con el SBL a diferentes horas, en las últimas 5 sesiones (abril a junio) se realizaron 2 recorridos parciales adicionales al recorrido regular, uno en horario de 13:00 a 15:00 h y el otro de 18:00 a 20:00. Estos 2 recorridos cubrieron sólo el tramo de la entrada al río San Pedro hasta la confluencia con el río Limón. Esto también permitió evaluar cambios en la preferencia de los manatíes por la parte central del río (a partir de la línea del transecto hasta 12 m por lado) o las orillas (desde los 13 m hasta los 25 m de la línea de transecto).

La profundidad del agua se registró en 5 puntos fijos predeterminados dentro del sistema y en 2 puntos fijos sobre el río Usumacinta para comparar los cambios en la profundidad a lo largo del periodo de estudio (Fig.1). Estos puntos fueron elegidos porque era fácil ubicarlos físicamente (i.e., había algo característico en cada punto, como el tronco de un árbol) y se tenían sus coordenadas geográficas.

Áreas muestreadas

Para obtener las longitudes del transecto, en una visita prospectiva se obtuvieron las coordenadas UTM de los puntos de cada área de interés con un GPS (GARMIN Model

Coverage area

To obtain transect lengths, during a prospective visit UTM coordinates were obtained for several points in the study area using a GPS (Garmin eTrex 30). These geographic locations were used in Google Earth, and distance between geographic coordinates was measured with the Route tool. To calculate the square area, we used the layer from the National Institute of Statistics and Geography (INEGI, Mexico) Hydrological Network in ArcGIS 10.3 (.shp file; scale = 1:50,000).

The study area covered the first 6.5 km upstream of the San Pedro River (area = 0.45 km²), the Susil and Balmoc streams (3.5 and 4.0 km long, respectively; both comprising an area of 0.19 km²), the San Pedro River mouth (500 × 200 m; 0.17 km²), and an arm of shallow water (area 0.42 km²) that is 3.3 km away from the San Pedro River mouth (Fig. 1a). Within the San Pedro River system, there are 2 lagoons connected to the Susil and Balmoc streams (both lagoons go by the same name of the streams) that were not included in the study. The Limón River was surveyed along 5 km (0.44 km²) from its confluence with the San Pedro River and only during the May and June sessions (9–12) (Fig. 1b). We followed a zigzag pattern at the San Pedro River mouth and a linear pattern at the arm. The streams were not surveyed during sessions 8 (April), 9, and 10 (May), nor was the Usumacinta arm during sessions 8–12 (April–June) because low water levels hindered access. The total sampling area was 1.67 km² (Fig. 1).

Positive confirmation of manatees

There are 2 errors associated with the observer using the SSS to detect manatees: false positive, when another object is mistaken for a manatee, and false negative, when a manatee is detected by the sonar unit but goes undetected by the observer (González-Socoloske y Olivera-Gómez 2012). These errors are called perception biases (Reynolds et al. 2012). Thus, to minimize both errors, when a manatee or a possible sighting was detected, an image was recorded by the sonar unit and we passed over the same location a couple of times as a preliminary procedure for confirmation. A positive record on the sonar unit display should have met the following criteria: shape, size, shadow projection, and acoustic reflection (Fig. 2) (González-Socoloske et al. 2009). Simultaneous visual scanning was done to directly find a manatee or to look for indirect evidence of its presence, such as bubbles on the water surface, suspended sediment in the water column, floating feces, or chewed plants. All recorded SSS images were examined using the above criteria. As a second measure to minimize human error, we made short stops to rest and eat. Also, an umbrella was used to protect the sonar display from the sun, improving detection and reducing glare.

eTrex 30). Las ubicaciones geográficas se proyectaron en el programa Google Earth y la distancia entre puntos se midió con la herramienta Ruta. Para el cálculo del área, se utilizó la capa de la Red Hidrológica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, México) en el programa ArcGIS 10.3 (archivo .shp; escala = 1:50.000.).

El área de estudio cubrió los primeros 6.5 km del río San Pedro (área = 0.45 km²), 3.5 km del arroyo Susil y 4.0 km del arroyo Balmoc (área de ambos = 0.19 km²), un área de 500 × 200 m en la desembocadura del río San Pedro (0.17 km²) y un brazo de aguas someras (0.42 km²) del Usumacinta que se ubica a 3.3 km de dicha desembocadura. Dentro del delta del río San Pedro existen 2 lagunas conectadas a los arroyos Susil y Balmoc (ambas lagunas llevan el mismo nombre que los arroyos) que no fueron incluidas en este estudio. El río Limón sólo fue muestreado en las sesiones de mayo y junio (9–12) a lo largo de 5 km (0.44 km²), a partir de su confluencia con el río San Pedro (Fig. 1b). En la desembocadura del río San Pedro el transecto siguió un patrón en zigzag y en el brazo el transecto fue lineal. Debido a la inaccesibilidad por las bajas profundidades del agua, los arroyos dentro del río San Pedro no se recorrieron en las sesiones 8 (abril), 9 y 10 (mayo), tampoco el área del brazo del río Usumacinta en las sesiones 8–12 (abril–junio). El área total evaluada fue de 1.67 km² (Fig. 1).

Confirmación positiva de manatíes

Existen 2 errores asociados al observador en el uso del SBL para la detección de manatíes: falso positivo, que se refiere a tomar un registro como un manatí cuando realmente se trata de otro objeto, y falso negativo, cuando el sonar detecta un manatí pero no es tomado en cuenta por el observador (González-Socoloske y Olivera-Gómez 2012). Estos errores se conocen como errores de percepción (Reynolds et al. 2012). Para minimizar ambos errores, cuando se detectó un manatí o un posible registro con el sonar, se grabó una imagen y se hicieron un par de pases sobre el sitio donde ocurrió el registro como procedimiento inmediato de confirmación. Un registro positivo en la pantalla del sonar debió cumplir con los siguientes criterios: forma, tamaño, proyección de la sombra y reflexión acústica (Fig. 2) (González-Socoloske et al. (2009). Simultáneamente, se realizó un barrido visual para encontrar directamente al manatí o para buscar evidencia indirecta de su presencia, como burbujas en la superficie del agua, sedimento suspendido en la columna de agua, excretas flotando o plantas masticadas. Todas las imágenes del SBL fueron usadas para una revisión posterior tomando en cuenta los criterios antes mencionados. Como una segunda medida para minimizar el error del observador por fatiga en los transectos, se realizaron paradas cortas en sitios específicos para descansar y comer. También se utilizó una sombrilla o camisola para cubrir la pantalla del

Statistical analysis

Density was expressed as the number of detected manatees per square kilometer. To calculate manatee density at the San Pedro and Limón Rivers, the system was divided into 2 sections (Fig. 1b). The first section included the survey areas at the San Pedro River and its streams, for a total of 0.64 km². The second section was 0.44 km² and included the Limón River. Total area for the 2 sections was 1.08 km². Sectioning of areas was done because the Limón River was surveyed during only 4 sessions and because its physical characteristics are different from those of the San Pedro River and its streams. The Usumacinta River arm and the San Pedro River mouth were not taken into account because manatees were not detected during the SSS surveys.

To identify differences in mean density among survey sessions, we used the Friedman test ($\alpha = 0.05$) with an *a posteriori* mean range comparative analysis. This test works with related (dependent) samples and compares population means. The test allows for the analysis of repeated measures data if participants are assessed on 2 or more occasions or under 2 or more conditions. The null hypothesis indicates no differences between datasets and the alternative hypothesis indicates that there are differences between groups (Siegel and Castellan 1995). The test was chosen because of the dependency of the data, as sampling was done over the same area and observations possibly belonged to the same set of animals seen at different times.

Confidence intervals for manatee density in the San Pedro River system were calculated using the bootstrap method (1,000 samples) (Efron 1979, Good 2006), taking the population mean as a parameter. Estimates were computed using Infostat statistical software (Di Rienzo et al. 2016).

Total number of animals in the system

To determine how many manatees were in the system, 2 strata were defined: the San Pedro River (including Susil and Balmok streams) and the Limón River survey areas (during sessions 9–12). We estimated the number of manatees by using mean and maximum density (Table 1). As a possible alternative scenario, we extrapolated density at the Limón River sampled area to the non-sampled area (0.29 km²) upriver to the Reforma Waterfalls, which act as natural barriers for manatee dispersion (Fig. 1b).

RESULTS

A total of 471 manatees were counted at the San Pedro River system, 3 of which were found near the mouth of the system. No manatees were observed at the Usumacinta River arm. Only 12 manatees were found in the Limón River sampled area. From the total count, 450 (95%) manatees were positively confirmed during the first sonar scan and 21 (5%) were confirmed by the second or third pass.

sonar, lo que mejora la detección y evita el reflejo de los rayos del sol.

Análisis estadístico

La densidad fue expresada como el número de manatíes detectados por kilómetro cuadrado. Para el cálculo de la densidad de manatíes en los ríos San Pedro y Limón, el sistema se dividió en 2 secciones (Fig. 1b). La primera sección tuvo un área de 0.64 km² e incluyó el río San Pedro y sus arroyos. La segunda sección fue de 0.44 km² e incluyó el río Limón. El área total de las 2 secciones fue de 1.08 km². Esta división de áreas se realizó porque el río Limón fue evaluado sólo en 4 sesiones y porque sus características físicas son diferentes a las del río San Pedro y sus arroyos. El brazo del río Usumacinta y el área de la desembocadura del río San Pedro no se tomaron en cuenta porque en estas zonas no se detectó la presencia de manatí con el SBL.

Para identificar diferencias en la densidad entre sesiones, se utilizó la prueba de Friedman ($\alpha = 0.05$) con un análisis comparativo *a posteriori* de las medias de los rangos. Esta prueba funciona con muestras relacionadas (dependientes) y compara las medias poblacionales, es decir, permite el análisis de medias repetidas. Los participantes pueden ser evaluados en 2 o más ocasiones o en 2 o más condiciones. La hipótesis nula indica que no hay diferencias entre los conjuntos de datos y la alternativa indica que hay diferencias entre los grupos (Siegel y Castellan 1995). Esta prueba fue elegida por la dependencia que presentan los datos, al ser muestreos de la misma área y observaciones posibles del mismo grupo de animales en diferentes momentos del tiempo.

Para fines descriptivos, se calcularon los intervalos de confianza para la densidad de manatíes de todo el sistema del río San Pedro utilizando 1,000 muestras al azar (*bootstrap*) (Efron 1979, Good 2006) y tomando como parámetro la media de la población. Los análisis estadísticos se realizaron en el *software* estadístico Infostat (Di Rienzo et al. 2016).

Número total de manatíes en el sistema

Para saber cuántos manatíes podrían haber en el sistema se definieron 2 estratos: el del río San Pedro, incluyendo los arroyos Susil y Balmoc, y el del área muestreada del río Limón (en las sesiones 9–12). Se estimó el número de manatíes utilizando la densidad media y la densidad más alta (Tabla 1). Como posible escenario alternativo, se extrapoló la densidad del área de muestreo del río Limón al área no muestreada (0.29 km²) río arriba hasta las cascadas Reforma, que son una barrera natural para la dispersión del manatí (Fig. 1b).

RESULTADOS

Un total de 471 manatíes fueron registrados para el sistema del río San Pedro, 3 de estos se ubicaron cerca de la

Table 1. Mean manatee density (no. of manatees per square kilometer) in the San Pedro River system from January through June 2016. Values in parentheses indicate the estimated mean density for the Limón River.

Tabla 1. Densidad promedio de manatíes (no. de manatíes por kilómetro cuadrado) en el sistema del río San Pedro de enero a junio de 2016. Los valores entre paréntesis indican la densidad promedio calculada para el río Limón.

Month	Session	Density	Standard deviation
January	1*	3.7	1.8
	2*	9.9	4.8
February	3†	12.0	3.3
	4*†	21.9	3.1
March	5*	26.6	1.6
	6*	22.5	7.4
April	7*	12.0	0.9
	8	14.9	3.4
May	9*	25.4 (3.0)	0.7
	10*	32.9 (5.3)	1.3
June	11*	43.3 (0.8)	3.8
	12*	35.0 (0.0)	7.1
Overall		21.7	3.2

*Female with calf

†Dead calf

‡Newborn calf

Calves represent ~10% ($n = 46$) of the total count. Four different calves were identified: one was found dead in February (during session 3) and the other 3 were seen in company of an adult female on the same day at different sites. One of these calves was repeatedly assisted by its mother for swimming, so it was considered a newborn. The dead calf was a 110-cm-long male. Its state of decomposition indicated it may have been dead for a couple of days, but it was not possible to determine the cause of death. The presence of female-calf pairs was regularly observed within the San Pedro River system throughout the study (Table 1).

Density

Manatee Density in the San Pedro River and the 2 streams increased from January to June, with an average density of 21.7 manatees/km² (Table 1). Minimum average density was 3.7 manatees/km² in mid-January (Table 1, Fig. 3). By the end of January, density continuously increased until it reached 26.6 manatees/km² in early March, after which it decreased rapidly until the first week of April (session 7), when water level dropped (Fig. 3). Density then increased at a constant speed (session 9), reaching an average maximum of 43.3 manatees/km² in mid-June (session 11), when water

desembocadura del río San Pedro. No hubo ningún registro de manatíes en el brazo del río Usumacinta. En el área de muestreo del río Limón sólo se registraron 12 manatíes. Del total de manatíes, 450 (95%) fueron confirmados como positivos desde el primer pase del sonar y sólo 21 (5%) fueron corroborados como positivos en el segundo o tercer pase.

Las crías representaron casi el 10% ($n = 46$) del total de manatíes. Se pudieron diferenciar a 4 crías en el sistema: una cría fue encontrada muerta en febrero (sesión 3) y 3 crías fueron observadas en compañía de sus madres y fueron registradas el mismo día en distintos puntos. Una de las crías se consideró que tenía poco tiempo de nacida por la constante atención que le ofrecía la madre en su nado. La cría muerta era un macho de 110 cm de largo, considerado como neonato; por el grado de descomposición, se consideró que tenía un par de días muerto, pero no fue posible determinar la causa de muerte. La presencia de las madres y sus crías dentro del sistema San Pedro fue constante a lo largo de los meses que duró este estudio (Tabla 1).

Densidad

La densidad promedio de manatíes para el río San Pedro y los arroyos se incrementó de enero a junio, con una densidad promedio de 21.7 manatíes/km² (Tabla 1). La densidad mínima promedio de 3.7 manatíes/km² ocurrió a mediados de enero (Tabla 1, Fig. 3). Desde finales de enero, la densidad aumentó constantemente hasta alcanzar 26.6 manatíes/km² a principios de marzo y después decreció rápidamente hasta la primera semana de abril (sesión 7), cuando disminuyó el nivel del agua (Fig. 3). En la sesión 9, la densidad retomó su crecimiento hasta alcanzar un máximo de 43.3 manatíes/km² a mediados de junio (sesión 11), cuando incrementó el nivel del agua (Fig. 3). El análisis global de la variación de las densidades entre sesiones mostró diferencias significativas (χ^2 de Friedman = 40.719, g.l. = 11, $P < 0.01$). Con el análisis *a posteriori* de media de los rangos, se observaron similitudes entre las sesiones 1–3, 7–8, 4–6 y 9, y 10–12, y hubieron diferencias significativas entre los grupos.

La densidad promedio calculada para la sección del río Limón (sesiones 9 a 12) fue de 2.3 manatíes/km², con un máximo de 5.3 manatíes/km² en la sesión 10 y un mínimo de 0.0 manatíes/km² en la sesión 12 (Tabla 1 y Fig. 3).

Número de manatíes en el sistema

El número máximo de manatíes estimado para el sistema del río San Pedro (1.08 km²) fue de 28 y ocurrió en junio (sesión 11) (Tabla 2). Este número es la suma de la estimación de 27.7 manatíes en el río San Pedro y los arroyos Susil y Balmoc (considerando 43.3 manatíes/km² sobre 0.64 km²) y 0.3 manatíes en el río Limón (usando la densidad

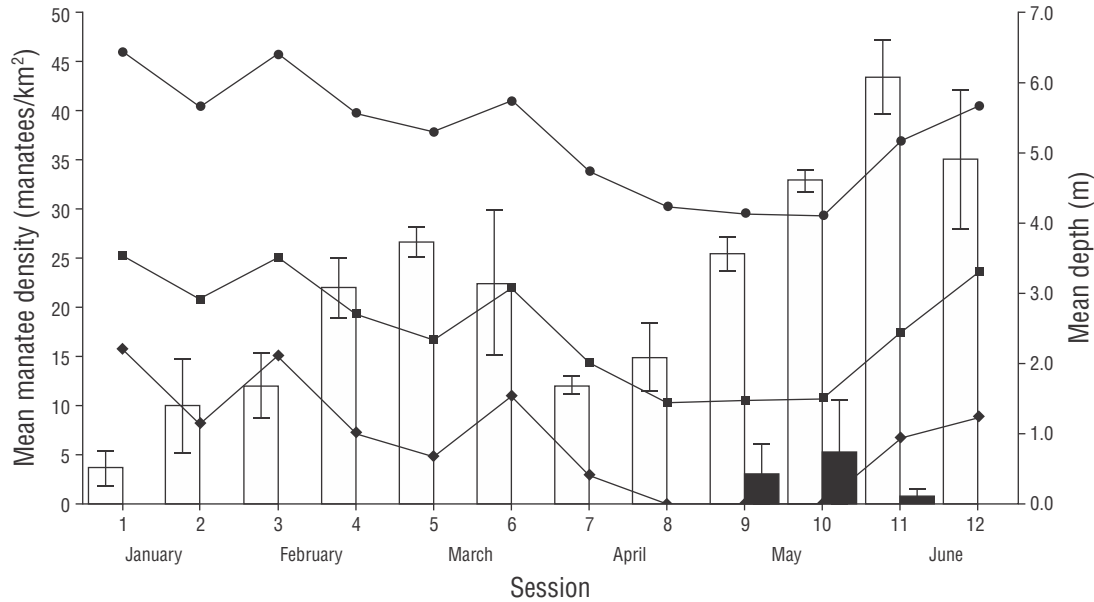


Figure 3. Graph showing the fluctuations of manatee density and mean water depth in the San Pedro River system from January to June 2016. Bars show mean manatee density in the San Pedro River and Balmoc and Susil streams (white), and in the Limón River (black); vertical lines on bars indicate standard deviation. Lines with symbols indicate mean depth at a fixed point in the San Pedro River (circles), at the entrance of the streams (squares), and in the Balmoc stream (diamonds).

Figura 3. Gráfica que muestra las fluctuaciones de la densidad de manatíes y la profundidad promedio del agua en el sistema del río San Pedro de enero a junio de 2016. Las barras muestran la densidad promedio de manatíes en el río San Pedro y los arroyos Susil y Balmoc (blanco) y en el río Limón (negro); las rayas verticales sobre las barras indican la desviación estándar. Las líneas con símbolos indican la profundidad promedio del agua en un punto fijo en el río San Pedro (círculos), en la entrada de los arroyos (cuadros) y en el arroyo Balmoc (rombos).

level increased (Fig. 3). A global analysis of density variation between sessions showed significant differences (Friedman $\chi^2 = 40.719$, $df = 11$, $P < 0.01$). According to the *a posteriori* mean range analysis, similarities were observed between sessions 1–3, 7–8, 4–6 and 9, and 10–12, with significant differences among these groups. The average estimated density for the Limón River sampled area (sessions 9–12) was 2.3 manatees/km², with a maximum of 5.3 manatees/km² during session 10 and a minimum of 0.0 manatees/km² during session 12 (Table 1, Fig. 3).

Number of manatees in the system

The maximum number of manatees estimated for the San Pedro River system (1.08 km²) was 28 and occurred in June (session 11) (Table 2). This number is the sum of the 27.7 manatees estimated for the San Pedro River and the Susil and Balmoc streams (considering 43.3 manatees/km² in 0.64 km²) and the 0.3 manatees estimated for the Limón River (considering 0.8 manatees in 0.44 km², per data from session 11).

When we extrapolated the density from the Limón River sampled area to the non-sampled area (total area = 0.73 km²), the estimated number of manatees in the Limón River was 5 using mean density and 1 using the density estimated from

en la sesión 11 de 0.8 manatíes/km² sobre un área de 0.44 km².

Cuando se extrapoló la densidad del área de muestreo del río Limón a la zona no muestreada de este río (un total de 0.73 km²), el número de manatíes en el río Limón fue 5 utilizando la densidad media, y 1 utilizando la densidad obtenida en la sesión 11 (Tabla 2). Bajo este escenario, el número de manatíes en el sistema podría ser 33 (27.7 más 5) o 29 (27.7 más 1), pero como no se evaluaron las 2 lagunas del sistema, el número de manatíes podría ser un poco mayor. Bajo un escenario óptimo, tomando en cuenta las densidades máximas combinadas de las secciones de los ríos San Pedro y Limón, el número esperado de manatíes podría ser de cerca de 59 animales, pero este es un escenario no realista.

Disponibilidad de manatíes entre los horarios de muestreo

El número de manatíes no varió entre los 3 distintos intervalos de tiempo (Friedman, $\chi^2 = 0.5$, g.l. = 2, $P = 0.814$), lo que sustenta que el horario usado en este estudio no presentó sesgo. Los manatíes se ubicaron principalmente en la parte central del río San Pedro por la mañana (8:00–10:00) y al medio día (13:00–15:00), pero en el horario crepuscular (18:00–20:00) tendieron a estar cerca de las orillas.

Table 2. Mean manatee density in the San Pedro River and the Susil and Balmoc streams, and in the sampled and unsampled segments of the Limón River. Maximum density corresponding to session 11 was used to obtain the number of manatees that may have been present in the San Pedro River system.

Tabla 2. Densidad promedio de manatíes en el río San Pedro y los arroyos Balmoc y Susil, y en las zonas muestreadas y no muestreadas del río Limón. Se utilizó la densidad máxima correspondiente a la sesión 11 para obtener el número de manatíes que pudieron haber estado presentes en el sistema del río San Pedro.

	Area (km ²)	Mean density (manatees/km ²)	Estimated <i>N</i>	Peak density for session 11	Estimated <i>N</i>
San Pedro River and streams	0.64	21.7	13.8	43.3	27.7
Limón River (sampled area)	0.44	2.3	1.0	0.8	0.3
Limón River (un-sampled area)	0.29	2.3*	0.7	0.8	0.2

*Using mean density for sampled area

the session 11 data (Table 2). Under this scenario, the number of manatees in the system was 33 (27.7 plus 5) or 29 (27.7 plus 1), but since 2 lagoons in the system were not surveyed, the number of manatees could be somewhat larger. Under an optimal scenario, combining the peak densities from the San Pedro and Limón Rivers, the expected number of manatees could be nearly 59 animals, but this is a nonrealistic scenario.

Manatee availability between survey hours

The number of recorded manatees did not vary among the 3 different time intervals (Friedman $\chi^2 = 0.5$, d.f. = 2, $P = 0.8145$), indicating that the survey hours were unbiased. Manatees preferred the central part of the river in the morning (8:00–10:00) and afternoon (13:00–15:00) but tended to be near the river banks at twilight (18:00–20:00).

DISCUSSION

Lack of manatee sightings at the Usumacinta River arm and the 3 manatees counted at the San Pedro River mouth indicate manatee preference for the San Pedro River system over the Usumacinta River. The San Pedro River system is an ideal site for females with calves because these individuals remained in that system throughout the study. We even observed helping behavior from a mother as she assisted her calf to reach the water surface and breathe; this usually occurs immediately after birth (Hartman 1979). This mother and calf pair remained at the same location during 3 consecutive days. The area where the mother-calf pairs were repeatedly sighted (Balmoc stream, near the Susil stream confluence) had very weak water flow (2 m/min), available vegetation, and little boat traffic (Fig. 1b). In Florida and the lower Usumacinta River basin, mothers with calves prefer to be in calm waters with food availability (Gannon et al. 2007, Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014), which is in agreement with our observations.

The percentage of calves during the present study (10%) is slightly higher than that reported for Belize and Chetumal Bay (Mexico) (7.4%), a region with one of the largest

DISCUSIÓN

La falta de detección de manatíes en el brazo del río Usumacinta y los 3 únicos manatíes en la desembocadura del río San Pedro indican la preferencia de los manatíes por estar en las aguas del sistema del río San Pedro en lugar de las aguas del río Usumacinta. El sistema del río San Pedro mostró ser un sitio idóneo para la presencia de hembras con cría, ya que estos individuos permanecieron dentro del sistema a lo largo del estudio. Incluso, se observó la conducta de apoyo de una madre a su cría para salir a respirar; esta conducta normalmente ocurre justo después del parto (Hartman 1979). La madre y su cría permanecieron en el mismo sitio durante 3 días consecutivos. El área donde se encontraron todas las parejas madre-cría fue en el arroyo Balmoc, cerca de la confluencia con el arroyo Susil, que es un sitio con bajas velocidades de corriente (2 m/min), acceso a la vegetación en las orillas y poco tráfico de lanchas (Fig. 1b). En Florida y la cuenca baja del río Usumacinta, las madres con cría prefieren los sitios con baja velocidad de corriente y con acceso al alimento (Gannon et al. 2007, Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014), lo que coincide con lo observado en este estudio.

El porcentaje de crías obtenido (10%) es un valor ligeramente mayor que el obtenido para la bahía de Chetumal-Belice (7.4%), donde existe una de las poblaciones más grandes de manatíes en el Caribe (Morales-Vela et al. 2000), lo cual resalta aún más la importancia del sistema del río San Pedro para la reproducción de los manatíes.

Las variaciones en la densidad de manatíes entre sesiones parecen estar relacionadas principalmente con el movimiento de los animales entre el sistema del río San Pedro y las zonas circundantes durante el rezumo y la vaciante (Fig. 4). Los manatíes utilizan 3 rutas como entrada y salida al sistema: la desembocadura del río San Pedro, el río Limón y las lagunas Susil y Balmoc. Las bajas densidades de manatíes en enero y el constante incremento hacia marzo se pueden explicar como sigue. En enero, cuando el nivel del agua en el sistema (incluyendo ambas lagunas no muestreadas) era alto, los manatíes pudieron haberse dispersado en toda el área

manatee populations in the Caribbean (Morales-Vela et al. 2000). This highlights the reproductive importance of the San Pedro River system for manatees.

Variation in manatee density between sessions appears to be related to the movement of animals throughout the San Pedro River system and surrounding areas during the rising and falling of the water level (Fig. 4). Manatees used 3 routes to enter and exit the system: the mouth of the San Pedro River, the Limón River, and the Susil and Balmoc lagoons. The low manatee density observed in January and the ensuing constant increase through March can be explained as follows. In January, water level was high and manatees could have scattered throughout the flooded areas (including the 2 un-surveyed lagoons) instead of moving to the Usumacinta River. In fact, in January, only one manatee was recorded in the first section of the San Pedro River system and none were observed at the mouth. When water level was falling, manatees gathered in the San Pedro and Limón Rivers and the 2 streams because flooded areas were reduced and depth of perennial lagoons decreased. The low number of manatees in April and May is explained by the drastic reduction of accessible areas within the system. During this time manatees could have redistributed to the Limón River, areas outside the system, and areas nearby the Usumacinta River. However, we do not have records for these areas since we did not survey the Limón River during this time and coverage of the Usumacinta River was limited. The increased density values observed in June may be explained by the rising water level, when access to streams and lagoons was regained. Thus, changes in density are related to the rising and falling of the water level in the lagoon system, supporting the assertion that manatees respond to flood pulses and desiccation periods (Fig. 4).

We did not observe the possible evasive behavior of manatees in the presence of boats mentioned by González-Socoloske and Olivera-Gómez (2012). These authors indicated that manatees seem to avoid boats by swimming towards the river banks or to the deepest parts of the channel. During our study, manatees remained in almost the same positions after a couple of sampling rounds over them. The fact that manatees tended to stay in the central part of the river during the surveys reduced the error of absence, that is, that manatees were outside sonar detection range during the survey. A change in site preferences was evident at twilight, when manatees tended to remain near the river banks, but in the morning (8:00–10:00) and afternoon (13:00–15:00) they stayed in the central part of the water course. This change in site preferences may be related to feeding habits, since local fishermen have reported manatees feeding on the San Pedro River shore vegetation at sunrise. Some authors have reported that manatees move to feeding areas at sunrise, twilight, and nighttime (Powell 1996, Jiménez 2002).

The present study is the first to estimate manatee density in the San Pedro River System during flood pulses, and we were able to determine maximum and mean density in a key

inundada en lugar de moverse hacia el río Usumacinta. Esto se sustenta porque en enero sólo se registró un manatí en la primera sección del río San Pedro y no se observaron manatíes en la desembocadura. Durante la vaciante, al ir disminuyendo los niveles de agua, los manatíes se fueron concentrando en el río San Pedro, río Limón y los 2 arroyos debido a la reducción de las áreas inundadas y a la disminución de la profundidad en las lagunas perenes. La disminución en el número de manatíes en abril y mayo se debió a la drástica reducción de las áreas disponibles dentro del sistema. En esta época, los manatíes debieron redistribuirse hacia el río Limón, fuera del sistema y áreas cercanas al río Usumacinta. Sin embargo, no se tiene evidencia de registros en estas áreas ya que el río Limón no fue recorrido en ese momento y la cobertura del río Usumacinta fue limitada. El aumento de la densidad en junio podría estar relacionado con el rezumo, cuando el acceso a los arroyos y lagunas se estaba recuperando. Por tanto, los cambios en la densidad de manatíes están relacionados con los periodos de creciente y vaciante del sistema, lo que refuerza la idea de que los manatíes responden a los pulsos de inundación y desecación (Fig. 4).

No se observó el posible comportamiento de evasión de los manatíes hacia las lanchas sugerido por González-Socoloske y Olivera-Gómez (2012), quienes comentan que los manatíes parecen evitar las lanchas al nadar hacia las orillas del río o hacia las partes más profundas del canal. Durante nuestro estudio, los manatíes permanecieron casi en las mismas posiciones después de hacer un par de pases sobre ellos. El hecho de que los manatíes permanecieron en la parte central del río durante los recorridos redujo el error de ausencia, es decir, que los manatíes estuvieran fuera del rango de detección del sonar al momento del muestreo. Sin embargo, un cambio en la posición de los manatíes fue evidente en el horario crepuscular, cuando tendieron a estar cerca de las orillas del río, mientras que en las mañanas (8:00–10:00) y las tardes (13:00–15:00) estuvieron en la parte central del río. Este cambio en sus posiciones parece estar relacionado con la alimentación, pues los pescadores locales afirman haber visto a los manatíes alimentándose de la vegetación de las orillas del río San Pedro al amanecer. Algunos autores han descrito que los manatíes se mueven a las zonas de alimentación al amanecer, durante el crepúsculo y por la noche (Powell 1996, Jiménez 2002).

Este estudio es el primero en estimar la densidad de manatíes en el sistema del río San Pedro durante los pulsos de inundación, y se pudo conocer la densidad máxima y densidad media en esta área reconocida como importante. La cuenca hidrológica del Usumacinta es conocida como una de las regiones más importantes para los manatíes en México (Colmenero-Rolón 1984, SEMARNAT/CONANP 2010). Considerando que el sistema del río San Pedro es uno de los sitios más importantes para los manatíes en esta cuenca (Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez 2014, Puc-Carrasco et al. 2016) y que el tamaño de la población es de alrededor

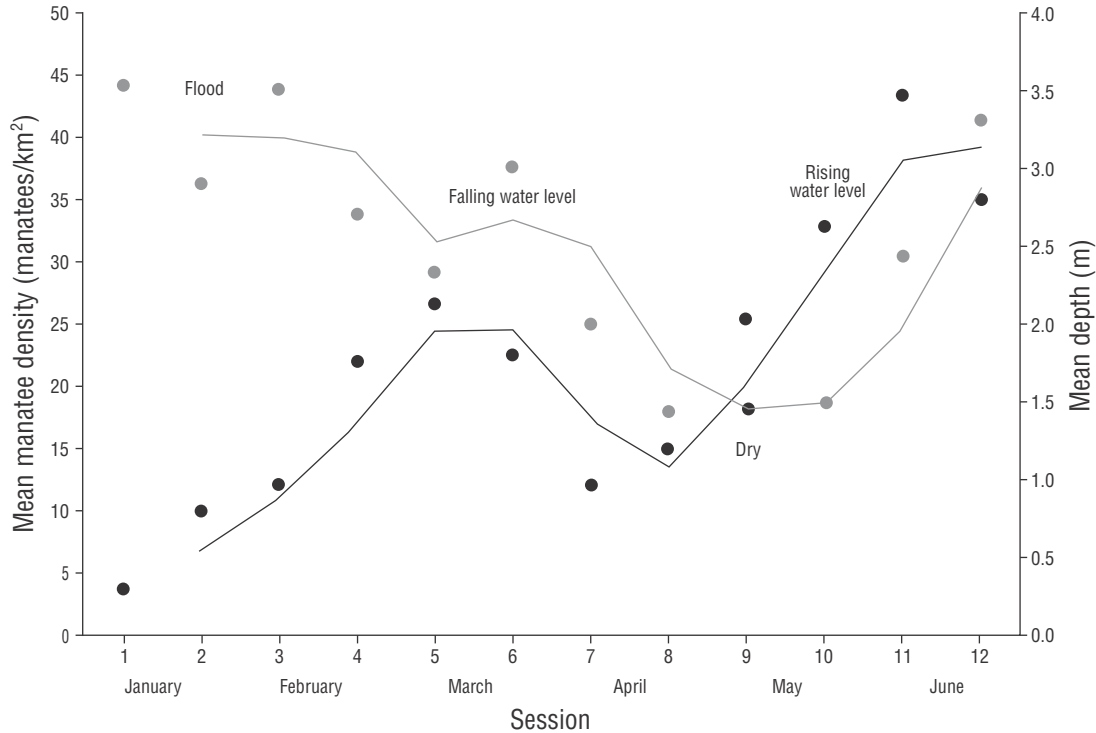


Figure 4. Plot of mean (gray dots) and smoothed mean (gray line) water depth, and of mean (Black dots) and smoothed mean (black line) manatee density.

Figura 4. Diagrama del promedio (puntos grises) y el promedio suavizado (línea gris) de la profundidad del agua, y del promedio (puntos negros) y promedio suavizado (línea negra) de la densidad de manatíes.

area. The Usumacinta Basin is one of the most important habitat regions for manatees in Mexico (Colmenero-Rolón 1984, SEMARNAT/CONANP 2010). Considering that the San Pedro River system is one of the most important habitat areas for manatees in that basin (Jiménez-Domínguez and Olivera-Gómez 2014, Puc-Carrasco et al. 2016) and that population size in it is ~28 (or at most 59 using unrealistic scenarios), the current number of manatees in the Usumacinta Basin might be extremely lower than previously estimated. Our results indicate that earlier best guesses overestimated the number of manatees in the Usumacinta Basin. Other recent data increasing this concern include densities obtained from 35 SSS surveys at 6 selected sites on the coastal plain of Tabasco and in the San Pedro River, which indicate maximum mean abundance of 5.2 manatees/10 km (Puc-Carrasco et al. 2016), suggesting 66 to 93 manatees at these sites. Other regional sites where manatee abundance is probably significant are the Bitzales River (Puc-Carrasco et al. 2016); the Chico-Catazajá River system, shared by Tabasco and northern Chiapas (Rodas et al. 2008, Romero-Berny et al. 2014); and the Chacamax River and nearby Pochote fluviolagoon system (Álvarez-Flores et al. 1988) located 68.5 and 73.0 km from the San Pedro River, respectively. These areas, especially the last 2, need to be studied because there are no field-based estimates of manatee abundance for them.

de 28 manatíes (o hasta 59 utilizando escenarios no realistas), el número actual de manatíes en la cuenca del Usumacinta podría ser extremadamente menor que las estimaciones anteriores. Nuestros resultados indican que las primeras estimaciones sobreestimaron el número de manatíes presentes en esta cuenca. Otros datos recientes que incrementan esta preocupación son las densidades obtenidas con base en 35 evaluaciones con SBL en 6 sitios seleccionados en la planicie costera de Tabasco y en el río San Pedro, que indican una abundancia media máxima de 5.2 manatíes/10 km (Puc-Carrasco et al. 2016), lo que sugiere de 66 a 93 manatíes para esos sitios. Otros sitios en la región donde la abundancia de manatíes podría ser importante son el río Bitzales (Puc-Carrasco et al. 2016); el sistema fluviolagunar Chico-Catazajá, compartido por Tabasco y el norte de Chiapas (Rodas et al. 2008, Romero-Berny et al. 2014); y el río Chacamax y el sistema fluviolagunar Pochote (Álvarez-Flores et al. 1988), ubicados a 68.5 y 73.0 km del río San Pedro, respectivamente. Estas áreas, y especialmente las 2 últimas, necesitan ser evaluadas porque no hay estimaciones de la densidad de manatíes basadas en datos de campo.

La bahía de Chetumal, ubicada frente al sur del estado de Quintana Roo, alberga la población de manatíes más grande de la costa caribeña de México (Morales-Vela y Olivera-Gómez 1997); para esta población se calculó un índice de

The largest population of manatees on the Caribbean coast of Mexico is located in Chetumal Bay, off the southern part of the state of Quintana Roo (Morales-Vela and Olivera-Gómez 1997); Morales-Vela and Olivera-Gómez (1994) reported a relative abundance index of 12.3 manatees per flight hour and an estimated number of 90 animals (range 51–130) for this population. Manatee abundance is very low along the northern and western coasts of the Yucatán Peninsula (Mexico), as confirmed by the only manatee sighted after 17 h of aerial surveys (Morales-Vela et al. 2003). There are other areas in Mexico where manatee abundance is high, but Chetumal Bay and the Usumacinta River basin are some of the most important. The low manatee density estimated for the San Pedro River system signals an urgent need to determine the current population status of these animals in Mexico.

Belize and Mexico are reportedly the only 2 countries with populations of several hundred Antillean manatees (Deutsch et al. 2008). In Belize, great efforts have been made to determine manatee abundance via aerial surveys (O’Shea and Salisbury 1991, Morales-Vela et al. 2000, Auil 2004), and currently the best count from nationwide surveys is 507 (Auil-Gomez 2014).

All field-based studies contrast the expected 1,500 (1,000–2,000) manatees reported for Mexico and the 1,000 manatees reported for Belize (UNEP 2010). The minimum estimated population sizes for Mexico (1,000) and Belize (700), which are the current estimates reported in the IUCN Red List of Threatened Species (Deutsch et al. 2008), could be overestimated. These estimates appear to be approximate maximum rather than minimum population sizes.

More efforts should be made to estimate manatee population density in different parts of the world with murky waters and where manatees have been reported. The use of sonar is a valuable technique to obtain a more precise estimation of actual manatee population sizes, as shown by the present study.

ACKNOWLEDGMENTS

Funding was jointly provided by the Federal Electricity Commission (Mexico) and ECOSUR (project no. 13141). The National Council for Science and Technology (Mexico) and ECOSUR granted an MSc scholarship to the first author. We are grateful to the Cruz-Flores family, especially Pablito Cruz-Flores, Carlos Acosta-Tafoya, and Manuel Alberto-Hernández May for their assistance during field work. Thanks are due to Juan Enrique Mendoza-Martínez for his assistance in software analysis. This study was conducted under research permit SGPA/DGVS/03333/15 from the General Directorate of Wildlife (SEMARNAT). We also thank the reviewers and the editors for their comments, which helped improve the manuscript.

abundancia relativa de 12.3 manatíes por hora de vuelo y un número estimado de 90 manatíes (rango de 51 a 130) (Morales-Vela y Olivera-Gómez 1994). A lo largo de las costas norte y oeste de la península de Yucatán, 17 h de búsqueda y un único avistamiento de manatí adulto confirman que la abundancia es muy baja en esta región de México (Morales-Vela et al. 2003). Hay otras zonas en el país donde la abundancia de manatíes es significativa, pero la bahía de Chetumal y la cuenca del río Usumacinta son de las de mayor importancia. La baja densidad de manatíes obtenida para el sistema del río San Pedro señala la urgente necesidad de conocer el estado actual de la población de manatíes en México.

Belice y México son los únicos 2 países con registros de poblaciones de varios cientos de manatíes antillanos (Deutsch et al. 2008). En Belice se han hecho grandes esfuerzos para estimar la abundancia de manatíes mediante conteos aéreos (O’Shea y Salisbury 1991, Morales-Vela et al. 2000, Auil 2004), y actualmente el mejor conteo a nivel país es de 507 manatíes (Auil-Gomez 2014).

Todos los datos obtenidos en el campo contrastan con las estimaciones esperadas de 1,500 (1,000–2,000) manatíes para México (UNEP 2010) y con los 1,000 reportados para Belice (UNEP 2010). Las estimaciones de tamaño mínimo poblacional de 1,000 manatíes para México y de 700 manatíes para Belice, estimaciones actualmente registradas en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (Deutsch et al. 2008), podrían estar sobrevaloradas. Estas estimaciones parecen aproximarse a tamaños poblacionales máximos en vez de mínimos.

Se recomienda dirigir un mayor esfuerzo a estimar la densidad de manatíes presentes en las distintas regiones del mundo con aguas oscuras y donde se ha informado la presencia de manatíes. El sonar es un método valioso para obtener una estimación más precisa de las poblaciones reales de manatíes, como se mostró con este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado conjuntamente por la Comisión Federal de Electricidad (México) y ECOSUR (no. de proyecto 13141). El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (México) y ECOSUR otorgaron una beca de posgrado al primer autor. Agradecemos a la familia Cruz Flores, particularmente a Pablito Cruz-Flores, Carlos Acosta Tafoya y Manuel Alberto Hernández May su apoyo durante el trabajo de campo. Juan Enrique Mendoza-Martínez nos apoyó en el manejo de programas para el análisis de datos. Este estudio se realizó con el permiso de investigación SGPA/DGVS/03333/15 emitido por la Dirección General de Vida Silvestre (SEMARNAT). Agradecemos a los revisores y al editor sus comentarios, que ayudaron a mejorar el manuscrito.

REFERENCES

- Álvarez-Flores C, Aguayo-Lobo A, Johnson L. 1988. Observaciones sobre el manatí *Trichechus manatus* en la región media del Usumacinta, Tabasco. In: Chávez-Lomelí MO (ed.), Memorias del Simposio Ecología de los Ríos Usumacinta y Grijalva. Instituto Nacional de Investigación sobre Recursos Bióticos, División Regional Tabasco y Gobierno del Estado de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México. pp. 617–624.
- Arraut EM, Marmontel M, Mantovani JE, Novo EMLM, Macdonald DW, Kenward RE. 2010. The lesser of two evils: seasonal migrations of Amazonian manatees in the Western Amazon. *J. Zool.* 280(3): 247–256. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2009.00655.x>.
- Auil N. 2004. Abundance and distribution trends of the West Indian Manatee in the coastal zone of Belize: Implications for conservation. MSc thesis, Texas A&M University, Texas, USA, 83 pp.
- Auil-Gomez N. 2014. Marine Mammals. In: Auil-Gomez N (ed.), Coastal Zone Management Authority & Institute (CZMAI). State of Belize Coastal Zone Report 2003–2013. CZMAI, Belize City, pp. 65–72.
- Campbell HW, Gicca D. 1978. Reseña preliminar del estado actual y distribución del manatí (*Trichechus manatus*) en México. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Mex. (Zool.)* 49: 257–265.
- Castelblanco-Martínez DN, Bermúdez-Romero AL, Gómez-Camelo IV, Weber-Rosas FC, Trujillo F, Zerda-Ordoñez E. 2009. Seasonality of habitat use, mortality and reproduction of the vulnerable Antillean manatee *Trichechus manatus manatus* in the Orinoco River, Colombia: implications for conservation. *Oryx* 43(2): 235–242. <http://dx.doi.org/10.1017/S0030605307000944>.
- Castillo-Domínguez A, Barba Macías E, Navarrete A de J, Rodiles-Hernández R, Jiménez Badillo M de L. 2011. Ictiofauna de los humedales del río San Pedro, Balancán, Tabasco, México. *Rev. Biol. Trop.* 59: 693–708.
- Colmenero-Rolón LC. 1984. Nuevos registros del manatí (*Trichechus manatus*) en el sureste de México. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Aut. Mex. (Zool.)* 1: 243–254.
- Colmenero-Rolón LC, Hoz-Zavala ME. 1986. Distribución de los manatíes, situación y su conservación en México. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Aut. Mex. (Zool.)* 3: 955–1020.
- Deutsch CJ, Self-Sullivan C, Mignucci-Giannoni A. 2008. *Trichechus manatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T22103A9356917 [Downloaded 28 February 2017]. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T22103A9356917.en>.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW. 2016. Grupo InfoStat [statistical software]. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Efron B. 1979. Bootstrap methods: Another look at the Jackknife. *Ann. Stat.* 7: 1–29.
- Gannon JG, Scolardi KM, Reynolds JE 3rd, Koelsch JK, Kessenich TJ. 2007. Habitat selection by manatees in Sarasota Bay, Florida. *Mar Mamm. Sci.* 23(1): 133–143. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-7692.2006.00096.x>.
- Gaumer GF. 1917. Monografía de los mamíferos de Yucatán. Departamento de Talleres Gráficos de la Secretaría de Fomento, Mexico, 331 pp.
- González-Socoloske D. 2013. Aspects of the feeding ecology of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) in the wetlands of Tabasco, Mexico. Dissertation, Duke University, Durham, NC, USA, 188 pp.
- González-Socoloske D, Olivera-Gómez LD. 2012. Gentle giants in dark waters: using side-scan sonar for manatee research. *Open Remote Sens. J.* 5(1): 1–14. <http://dx.doi.org/10.2174/1875413901205010001>.
- González-Socoloske D, Olivera-Gómez LD, Ford RE. 2009. Detection of free-ranging West Indian manatees *Trichechus manatus* using side-scan sonar. *Endang. Species Res.* 8: 249–257. <http://dx.doi.org/10.3354/esr00232>.
- Good PI. 2006. Resampling Methods: A Practical Guide to Data Analysis. 3rd ed. Birkhauser, Boston, MA, 218 pp.
- Guzmán-Nieto JE. 2008. Conocimiento y Apreciación del Manatí y su Relación con la Calidad del Hábitat en la Cuenca del Río Usumacinta. BSc thesis, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 68 pp.
- Hartman DS. 1979. Ecology and Behavior of the Manatee (*Trichechus manatus*) in Florida. American Society of Mammalogists, New York, NY, 151 pp.
- Jaramillo-Villa Ú. 2015. El pulso de inundación. Los latidos del agua. In: Jaramillo-Villa Ú, Cortez-Duque J, Flórez-Ayala C (eds.), Colombia Anfibia: Un País de Humedales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia, pp. 30–31.
- Jiménez I. 2002. Heavy poaching in prime habitat: the conservation status of the West Indian manatee in Nicaragua. *Oryx* 36(3): 272–278. <http://dx.doi.org/10.1017/S0030605302000492>.
- Jiménez-Domínguez D, Olivera-Gómez LD. 2014. Características del hábitat del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en sistemas fluvio lagunares del sur del Golfo de México. *Therya* 5(2): 601–614. <http://dx.doi.org/10.12933/therya-14-205>.
- Morales-Vela B. 2016. Los intocables del río San Pedro. *Ecofronteras.* 20(56): 22–25.
- Morales-Vela B, Olivera-Gómez LD. 1994. Distribución espacial y estimación poblacional de los manatíes en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Rev. Inv. Cient. (No. Esp. SOMEMMA 2)*: 27–52.
- Morales-Vela B, Olivera-Gómez LD. 1997. Distribución del manatí (*Trichechus manatus*) en la costa norte y centro-norte del estado de Quintana Roo. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Aut. Méx., Ser. Zool.* 68: 153–164.
- Morales-Vela B, Olivera-Gómez D, Reynolds III JE, Rathbun GB. 2000. Distribution and habitat use by manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Belize and Chetumal Bay, Mexico. *Biol. Conserv.* 95(1): 67–75. [http://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00009-4](http://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00009-4).
- Morales-Vela B, Padilla-Saldivar JA, Mignucci-Giannoni A. 2003. Status of the manatee (*Trichechus manatus*) along the northern and western coasts of the Yucatan Peninsula, México. *Caribb. J. Sci.* 39(1): 42–49.
- O’Shea TJ, Salisbury CA. 1991. Belize—a last stronghold for manatees in the Caribbean. *Oryx* 25(3): 156–164.
- Powell JA. 1996. The distribution and biology of the West African manatee (*Trichechus senegalensis* Link 1795). United Nations Environmental Program, Regional Seas Program, Ocean and Coastal Areas. Nairobi, Kenya, 68 pp.
- Puc-Carrasco G, Olivera-Gómez LD, Ariaga-Hernández S, Jiménez-Domínguez D. 2016. Abundancia relativa del manatí antillano en la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla en la planicie costera de Tabasco, México = Relative abundance of Antillean manatees in the Pantanos de Centla Biosphere Reserve in the coastal plain of Tabasco, Mexico. *Cienc. Mar.* 42(4): 261–270.

- <http://dx.doi.org/10.7773/cm.v42i4.2678>.
- Reynolds JE 3rd, Morales-Vela B, Lawler IR, Edwards H. 2012. Utility and design of aerial surveys for sirenians. In: Hines H, Reynolds JE 3rd, Aragonés LV, Mignucci-Giannoni A, Marmontel M (eds.), *Sirenian Conservation: Issues and Strategies in Developing Countries*, University Press of Florida, Gainesville, FL, pp. 186–195.
- Rivas-Rodríguez BA, Ferrer-Pérez A, Colonnello G. 2012. Distribución, uso de hábitat y status poblacional del manatí (*Trichechus manatus*) en el tramo central del bajo. *Mem. Fund. La Salle Cienc. Nat.* 173: 155–172.
- Rodas-Trejo J, Romero-Berny E, Estrada A. 2008. Distribution and conservation of the West Indian manatee (*Trichechus manatus manatus*) in the Catazajá wetlands of northeast Chiapas, Mexico. *Trop. Conserv. Sci.* 1(4): 321–333. <http://dx.doi.org/10.1177/194008290800100403>.
- Romero-Berny EI, Rodas-Trejo J, Méndez-López C. 2014. Registro de muertes y varamientos de manatíes del Caribe (*Trichechus manatus*), periodo 2001–2010, en el sistema lagunar de Catazajá, Chiapas. *Lacandonia* 8(1): 105–111.
- Self-Sullivan C, Mignucci-Giannoni A. 2008. *Trichechus manatus* ssp. *Manatus*. The IUCN red list of threatened species 2008: T22105A9359161. [Downloaded 7 December 2016]. Available from: <http://www.iucnredlist.org/details/22105/0>.
- [SEMARNAT/CONANP] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2010. Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Manatí (*Trichechus manatus manatus*). SEMARNAT, Mexico City, Mexico. 50 pp.
- Siegel S, Castellan NJ. 1995. *Estadística No Paramétrica: Aplicada a las ciencias de la conducta*. 4th ed. Editorial Trillas, Mexico City, Mexico, 437pp.
- [UNEP] United Nations Environment Programme. 2010. Regional management plan for the West Indian manatee (*Trichechus manatus*) compiled by Ester Quintana-Rizzo and John Reynolds III. CEP Technical Report no. 48 UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston, Jamaica, 169 pp.
- West RC, Psuty NP, Thom BG. 1985. Las tierras bajas de Tabasco en el Sureste de México. Gobierno del Estado de Tabasco, Tabasco, Mexico, 199 pp.

Received December 2016,
accepted April 2017.