



El Colegio de la Frontera Sur

**Evaluación de la translocación de ejemplares de
Crocodylus moreletii al Área de Protección de Flora y
Fauna Yum Balam, Quintana Roo, México**

Tesis

Presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Con orientación en manejo y conservación de recursos naturales

Por

Julio Cesar Gutiérrez Ramírez

2020



El Colegio de la Frontera Sur

Chetumal, Quintana Roo, 20 de julio de 2020

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

Julio Cesar Gutiérrez Ramírez

hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada

Evaluación de la translocación de ejemplares de *Crocodylus moreletii* al Área de Protección de
Flora y Fauna Yum Balam, Quintana Roo, México

para obtener el grado de **Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural**

Nombre	Firma
Director Dr. José Rogelio Cedeño Vázquez	_____
Codirector Dr. Mauricio González Jáuregui	_____
Asesor Dr. José Benjamín Morales Vela	_____
Sinodal adicional Dr. Jorge Correa Sandoval	_____
Sinodal adicional Dr. Joan Alberto Sánchez Sánchez	_____
Sinodal adicional M. en C. Holger Weissenberger	_____
Sinodal suplente M.T.I. Janneth Padilla Saldívar	_____

“Aunque nadie puede volver atrás y lograr un nuevo comienzo, cualquiera puede empezar ahora y lograr un nuevo final”

Roberto Pérez

Agradecimientos

A mi familia, por creer en mí, impulsarme y apoyarme durante la maestría y en cada una de mis metas.

A mis compañeros, por su valiosa amistad, alegría y por ser grandes personas. Gracias a ustedes compartimos momentos increíbles y experiencias inolvidables. Irlanda Itzamar Hernández Silva y Francisco Antonio Martínez, por su extensa amistad previo al posgrado.

A José Omar Ku May, Jorge Alberto López Hernández, José Antonio Lemos Barão Nóbrega, Sergio Padilla Paz, Marco Antonio López Luna, Gabriel Barrios Quiroz, Luis Daniel Santana Moreno, Asela Marisol Buenfil Rojas, José Antele Marcial (Don Chepe), por su ayuda durante el proceso de translocación y monitoreo de cocodrilos en este estudio. Gracias por brindarme algo de su apreciado tiempo para apoyarme, enseñarme y aconsejarme durante el trabajo de campo, las buenas desveladas y lluvias torrenciales.

A mi director de tesis José Rogelio Cedeño Vázquez, por su apoyo, asesoría y amistad. Gracias por compartir su valioso conocimiento sobre la herpetofauna y ser una parte esencial de mi formación académica.

A mi codirector Mauricio González Jáuregui, por su constante apoyo, asesoría y amistad. Por todo su apoyo en el desarrollo del trabajo de campo y en la revisión del escrito. Gracias por los consejos brindados y las aventuras que pasamos en campo, sin duda alguna inolvidables.

A mi asesor Benjamín Morales Vela por su contribución y recomendación del escrito para su mejora. Gracias por compartir el conocimiento y su experiencia sobre la ecología del movimiento.

Al personal del Sistema Bibliotecario de ECOSUR (SIBE): José Santos Gómez Morales y Gabriela Zacarías de León por su apoyo en la adquisición de literatura especializada.

Al Grupo Experiencias XCARET por el financiamiento del equipo de radio telemetría y parte del trabajo de campo. Al programa de Apoyo a Tesis de Maestría (PATM) de El

Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) por los recursos para realizar parte del trabajo de campo y un sobrevuelo en avioneta.

Al personal de la CONANP adscrito al Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam por sus facilidades administrativas y operativas.

A la Dirección General de Vida Silvestre de la SEMARNAT por la autorización del permiso de colecta científica (OFICIO NÚM. SGPA/DGVS/004761/18) para realizar esta investigación.

Al CONACYT (Beca No. 882377), por el apoyo financiero para llevar en tiempo y forma mi formación académica, ya que sin ella no hubiera sido posible.

A ECOSUR, por brindarme la oportunidad y el espacio académico para desarrollarme tanto profesionalmente como personalmente.

Tabla de contenido

Resumen 7

Capitulo I. Introducción 9

Capítulo II. Publicación enviada..... 13

Capítulo III. Conclusiones 44

Referencias bibliográficas 46

Resumen

Los cocodrilianos son un grupo de reptiles que se distribuye en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Durante la década de los 70`s sus poblaciones estuvieron a punto de desaparecer. Con los avances en las investigaciones se lograron desarrollar planes de manejo para su conservación, lo que resultó en efectos positivos en la recuperación de las poblaciones a nivel mundial.

Crocodylus moreletii y *C. acutus* comparten su área de distribución en la región costera del Caribe mexicano; en el norte de Quintana Roo, se ha extendido la mancha urbana provocando la pérdida de hábitat de los cocodrilos. Para contribuir a la conservación de la especie y preservar su integridad, se translocaron 22 ejemplares adultos de *Crocodylus moreletii* rescatados de un parque recreativo en construcción hacia el Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam.

La evaluación del impacto de la translocación sobre las poblaciones locales y la sobrevivencia y dispersión de los ejemplares translocados son clave para el desarrollo de futuras estrategias de reubicación.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la sobrevivencia y desplazamientos de los 22 ejemplares de *Crocodylus moreletii* reubicados en el Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam y los posibles impactos en las poblaciones locales de *C. moreletii* y *C. acutus*.

Para evaluar la translocación se requiere el monitoreo de las poblaciones locales y el seguimiento de los ejemplares translocados, en esta investigación se emplearon las técnicas detección visual nocturna, captura-marca-recaptura y la colocación de radiotransmisores VHF en 10 de los ejemplares translocados.

Los resultados indican que la población local permaneció estable, sin presentar cambios evidentes un año posterior a la translocación de los 22 ejemplares. Se estima que el tamaño de la población del canal Río Yalikín se encuentra entre 25 y 35 ejemplares y en contraste con estudios previos, se observó que los cocodrilos jóvenes y sub-adultos guardan proporciones similares, mientras que la de los adultos se incrementó. Lo anterior se puede atribuir a la introducción de los individuos translocados. Solo fueron registradas dos crías ya que los muestreos no se realizaron en la temporada de eclosión. La

proporción de machos y hembras en 26 ejemplares capturados está equilibrada (paridad, 1:1).

En cuanto a la sobrevivencia y dispersión de los ejemplares translocados, al parecer estos sobrevivieron y se dispersaron más allá del sitio de translocación, lo anterior debido a que: i) no fue registrado algún cadáver de cocodrilo durante el estudio, ii) no se recapturaron los ejemplares translocados, iii) no se detectó alguna señal de los 10 radiotransmisores colocados a los ejemplares translocados dentro del área de trabajo y iv) se detectaron las señales de tres radiotransmisores más allá de los límites del área de estudio durante un sobrevuelo de la zona.

Este estudio es el primero en aportar información sobre la dispersión de ejemplares de *C. moreletii* translocados y el efecto sobre las poblaciones locales, por lo que es de gran importancia para el desarrollo de estrategias de rescate y reubicación de ejemplares, la toma de decisiones de manejo de ejemplares rescatados o de riesgo para los humanos, así como en la conservación de estas y otras especies de cocodrilianos.

Palabras clave: cocodrilos silvestres, cocodrilos mexicanos, ecología poblacional, evaluación de efectos poblacionales, reubicación, translocación.

Capítulo I. Introducción

Los cocodrilianos (cocodrilos, caimanes y gaviales) son los poiquiloterms más grandes del mundo de los reptiles, con una distribución amplia en las regiones tropicales y subtropicales del planeta (Ross y Magnusson 1989). Presentan el tipo de caza al acecho, por lo que pueden permanecer quietos durante horas y moverse rápidamente de forma explosiva y con una fuerza impresionante para la captura de sus presas (Rueda-Almonacid et al. 2007; Grigg y Kirshner 2015). Su eficiencia como depredadores históricamente ha generado miedo en los humanos que cohabitan con ellos; el temor a sus posibles ataques, así como el aprecio por su piel y carne ha provocado su cacería indiscriminada, ilegal y no regulada.

En la década de 1970, las poblaciones de cocodrilos en México disminuyeron drásticamente, hasta el punto de que era muy difícil observar un individuo en vida silvestre (Sánchez-Herrera et al. 2011), esto despertó el interés de científicos, así como de organizaciones del sector público y privado por la conservación de estos reptiles, dando lugar a un gran número de estudios sobre la biología, ecología y manejo de las diversas especies, en particular del cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*; Barrios-Quiroz y Cremieux-Grimaldi 2018).

El cocodrilo de pantano puede llegar a medir hasta 3.5 metros de longitud total, su mayor distribución ocurre en México (de ahí el nombre común de cocodrilo mexicano), seguida de Belice y Guatemala (Kelly 2006). En la actualidad, se encuentra enlistado como especie sujeta a protección especial por la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), como una especie de preocupación menor según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestre (CITES).

La piel de *C. moreletii* es de las más apreciadas para su aprovechamiento por la industria peletera (Kelly 2006). Durante la primera mitad del siglo pasado y hasta la década de 1970 se produjo una presión y extracción masiva de ejemplares, con un fuerte impacto negativo para sus poblaciones en vida silvestre. A pesar de la veda total establecida en

dicha década, los cocodrilos se siguieron explotando en México de manera clandestina, aunque con menor intensidad (Casas-Andreu 2002).

A finales del siglo XX se diseñaron diversas estrategias de manejo para la conservación y aprovechamiento sustentable de *C. moreletii*, siendo las granjas de ciclo cerrado y los zoológicos las más reconocidas (Barrios-Quiroz y Cremieux-Grimaldi 2018). Este esquema consiste en mantener en cautiverio a individuos de todas las tallas para su crecimiento, desarrollo y reproducción, la cual tiene como objetivo la producción de ejemplares para el aprovechamiento de productos y subproductos, considerando una proporción de la producción para realizar repoblamiento o reintroducción de ejemplares en el hábitat natural (Robles de Benito 2009).

En general, la mayor parte de la información generada por los criaderos y los zoológicos se enfoca en la reproducción, la morfología, la incubación, la dieta y el crecimiento (Sigler 1996). Con estos estudios se mejoraron las tasas de eclosión y sobrevivencia, optimizando los sistemas productivos y generando ejemplares para la satisfacción de la demanda de nuevo pie de cría y pieles, reduciendo la presión sobre las poblaciones silvestre (Casas-Andreu et al. 2011). Posteriormente se incrementaron los estudios de anidación en vida silvestre y la ecología poblacional (Sigler 1996).

El manejo de los cocodrilos para su aprovechamiento se remonta mucho antes de que surgieran los criaderos y los zoológicos, se sabe que las civilizaciones prehispánicas mantenían cocodrilos en cautiverio con fines rituales, colecciones vivas y producción entre otros usos (Rice 2017). De tal forma que la translocación y reubicación de ejemplares de cocodrilo es una estrategia de manejo ampliamente usada en la gestión de los cocodrilos y puede resultar en una medida de manejo útil para la conservación de las poblaciones, siempre y cuando sea planificada y se cuente con la información necesaria sobre el estado y la dinámica de los ecosistemas destino (Palomo-Ramos et al. 2018).

Actualmente, las poblaciones de *C. moreletii* en México se encuentran aparentemente recuperadas y con abundancias relativamente altas (Sigler y Gallegos-Michel 2017). Esta recuperación se ha dado de forma acelerada al grado que surgen interacciones negativas

con el ser humano en ambos sentidos. Una amenaza importante para la conservación de las poblaciones es la pérdida del hábitat, su transformación y destrucción son el resultado del desarrollo de las actividades humanas (García-Grajales 2013; Tellería 2013).

El “rescate” de ejemplares de cocodrilo de los sitios de construcción y recreación es una práctica común en México, de tal modo que se realizan un gran número de translocaciones y reubicaciones de las que no se cuenta con registro ni control y mucho menos del seguimiento de los ejemplares y su posible impacto en las poblaciones locales, así como de las posibles interacciones de los ejemplares translocados con las poblaciones humanas próximas al sitio de reubicación (Salgado-Negret y Paz 2016).

La translocación es una estrategia de manejo poderosa para la conservación de la fauna silvestre (Griffithh et al. 1989), sin embargo, debe cumplir los siguientes criterios para que tenga éxito: revisar y dar cumplimiento con la legislación aplicable en la región objetivo; contar con información de calidad y suficiente sobre la ecología del sitio de liberación y en caso de existir una población local de la especie, su tamaño y dinámica; el estado de salud y medidas sanitarias para evitar la introducción de patógenos a las poblaciones locales; programa de seguimiento de ejemplares translocados y de evaluación de los efectos de la translocación en el ecosistema y en las poblaciones naturales de la localidad de liberación (Griffithh et al. 1989; Soriguer et al. 1998; Serio-Silva 2011). Con frecuencia resulta complicado cubrir todos los criterios previos, sobre todo en caso de emergencia. Es recomendable contar con el visto bueno de las autoridades ambientales, evaluar el estado de salud de los ejemplares translocados, contar con información previa del sitio de liberación y desarrollar un programa de monitoreo de la población local y del destino de los ejemplares translocados por al menos un año posterior a la translocación (Dodd y Seigel 1991; Fisher y Lindenmayer 2000).

Una de las herramientas de monitoreo del efecto y destino de los ejemplares translocados es el muestreo en intervalos de tiempo regulares, para detectar cambios en la abundancia y estructura de la población local; estos muestreos pueden ser de forma visual y sin perturbar a los ejemplares, complementando la información con métodos de captura-marca-recaptura. Esto permite, además de estimar abundancia y estructura de la población, conocer la condición de los ejemplares, su edad (tamaño), peso, sexo, etapa

de vida, especie (en caso de existir más de una en simpatria), así como la toma de muestras biológicas para estudios de genética y toxicología (Sánchez-Herrera et al. 2011).

A partir de los métodos visuales y captura-marca-recaptura ejecutados a través del tiempo, es posible analizar los cambios en la estructura y dinámica poblacional, información que es fundamental para la evaluación de los efectos de una translocación en el sitio de liberación.

Por otra parte, un método complementario es la radiotelemetría, herramienta útil para la evaluación de la sobrevivencia y movimiento de ejemplares translocados. A través de dispositivos de radio frecuencia que permite la localización de los ejemplares, hacer un seguimiento de sus movimientos. En este sentido pueden ser usados radiotransmisores, unidades GPS registrador de posiciones con o sin radiotransmisor (de retardo o transmisión en tiempo real) que, dependiendo de los objetivos del seguimiento así como de los recursos económicos disponibles, generan datos de ubicación de los ejemplares con menor o mayor cantidad y calidad de información. Con estos datos se pueden analizar de manera detallada los movimientos y dispersión, así como la sobrevivencia de los ejemplares translocados, evaluando así la efectividad de la translocación.

Durante la construcción de un parque temático de diversiones en la costa norte del estado, se rescataron 22 ejemplares de *Crocodylus moreletii* del sitio de la obra civil. Estos cocodrilos fueron mantenidos en semi-cautiverio por un periodo de 2.5 años, mientras se resolvían los aspectos legales para su traslado.

La reubicación de los ejemplares se llevó a cabo entre enero y febrero de 2018. Se implementó un programa de monitoreo de los ejemplares translocados y de la población nativa de cocodrilos. El objetivo de esta investigación fue evaluar la sobrevivencia y movimientos de los 22 ejemplares de *Crocodylus moreletii* reubicados en el Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam (APFF Yum Balam) y los posibles impactos en las poblaciones locales de *C. moreletii* y *C. acutus*.

Capítulo II. Publicación enviada

1 RH: Gutiérrez-Ramírez et al. – Evaluation of a Morelet’s crocodile translocation

2 **Evaluation of the translocation of *Crocodylus moreletii* individuals to Área de Protección de**
3 **Flora y Fauna Yum Balam, Quintana Roo, Mexico**

4 Julio Cesar Gutiérrez-Ramírez, *El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, Pacto Obrero*
5 *Campesino, 77014, Othón P. Blanco, Quintana Roo.*

6 Mauricio González-Jáuregui, *Biosistemas Productivos Cocodrilo, 24522, Campeche, México.*

7 Benjamín Morales-Vela, *Departamento de Sistemática y Ecología Acuática. El Colegio de la*
8 *Frontera Sur, Unidad Chetumal, Av. Centenario Km 5.5, Pacto Obrero Campesino, 77014,*
9 *Chetumal, Quintana Roo, México.*

10 José Rogelio Cedeño-Vázquez¹, *Departamento de Sistemática y Ecología Acuática, El Colegio*
11 *de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, Av. Centenario Km 5.5, Pacto Obrero Campesino, 77014,*
12 *Chetumal, Quintana Roo, México.*

13 _____

14 ¹*Email: rogeliocedeno@gmail.com, rcedenov@ecosur.mx*

15 **ABSTRACT**

16 We rescued a total of 22 *C. moreletii* adult individuals from an area designated to become a
17 theme park in the Riviera Maya tourist corridor in Quintana Roo, Mexico. We translocated these
18 individuals to Rio Yalikín stream located in the wildlife sanctuary Área de Protección de Flora y
19 Fauna Yum Balam. We aimed to evaluate the survival and dispersion of the translocated
20 specimens, and their possible impact on the local crocodiles’ populations (*C. moreletii*, *C. acutus*)

21 and possible hybrids) already established in the Yum Balam protected area. Ten of the
22 translocated crocodiles (5 females and 5 males) were tagged with VHF radio transmitters. Our
23 results revealed that the spatial distribution of all crocodiles is aggregated with possible
24 segregations as they move away from the stream's delta. The estimated total abundance was 26
25 crocodiles with an encounter rate of 3.64 ind/km. The population structure by size classes
26 consisted of yearlings (1.14%), juveniles (9.66%), sub-adults (11.36%), adults (13.64%), and
27 large adults (5.68%). An important fraction of sightings (58.52%) was assigned to the "Eyes
28 Only" category. The sex ratio for both species was 1:1. We did not recapture any of the
29 translocated crocodiles, and failed to detect individuals with radio transmitters after spending 36
30 h in a fixed point and actively searching aboard the boat (2748 km traveled in total and 254 h).
31 However, we detected VHF signals from three individuals outside of Rio Yalikín during an aerial
32 survey. Population studies prior to translocation revealed whether specific categories or sexes
33 need to be managed. Additionally, the dynamics of the local population and the possible impacts
34 of the introduced specimens, provided relevant information to determine the best practices that
35 managers should pursue to achieve sustainable crocodiles management and conservation.

36 **KEY WORDS:** Crocodiles, impact assessment on local populations, wildlife protected areas,
37 population dynamics, translocation.

38 The Morelet's crocodile (*Crocodylus moreletii*) is a medium-sized species that can weigh more
39 than 200 kg (Sigler and Gallegos-Michael 2017) and grows up to 3.5 m or even 4 m in total
40 length (Platt et al. 2010, Barrios-Quiroz and Cremieux-Grimaldi 2018). Nevertheless, adults in
41 the wild range in size between 2 to 2.50 m (Sigler and Gallegos-Michael 2017). This species
42 inhabits the Gulf coast of Mexico, from Tamaulipas southward to the Yucatan Peninsula,
43 including Belize and northern Guatemala (Platt et al. 2010, Casas-Andreu et al. 2013). It prefers

44 freshwater ecosystems such as lakes, swamps, mangroves, streams, marshes, lagoons within
45 forests, temporary lagoons (“aguadas”) and jungles, in slow-flowing rivers and occasionally
46 rushing rivers. However, it has been also found in brackish water areas (Ross 1998, Webb and
47 Manolis 1998) and saline environments, although this is less common (Platt et al. 2010, García-
48 Aguilera 2010).

49 Wildlife translocation is a management strategy that is increasingly used as a means of
50 conservation (Field et al. 2007). The IUCN defines traslocation as the human-mediated
51 movement of a living organism from one area, with release in another (IUCN/SSC 2013). This
52 usually involves transferring one or a group of individuals with the intention of introducing,
53 reintroducing, relocating or repopulating a habitat. This is a very powerful conservation
54 technique that helps to maintain the long-term composition of populations (Griffithh et al. 1989),
55 decrease the loss of biodiversity, decrease the number of threatened species, and aid in the
56 recovery of populations, and their ecosystems (Soriguer et al. 1998, IUCN/SSC 2013, Dirzo et al.
57 2014).

58 Unfortunately, many translocations only focus on releasing individuals and not in monitoring the
59 relocated specimens. This is an insufficient approach because it does not evaluate the impact of
60 the introduced specimens on existing local populations. As a result, any behavioral or
61 reproductive dynamics modifications go undetected. To avoid this, population studies should be
62 conducted before, during, and after the execution of each management strategy, including the
63 translocation of individuals.

64 Habitat loss is one of the greatest threats for species conservation. In Quintana Roo, recreational
65 and touristic developments are the main cause of habitat loss. Agriculture and deforestation are

66 also responsible, and together with tourism, account for an annual rate of forest loss of 1.8% and
67 2.1%, respectively. These activities significantly contributed to the transformation of the
68 environment and loss of habitat between 1993 and 2000 (Thomassiny-Acosta and Chan-Rivas
69 2011).

70 National and international regulations currently require project developers to carry out actions to
71 reduce, mitigate, and compensate for any environmental impacts (Coria 2008). Rescuing fauna
72 from one site to be relocated nearby is one of the most common mitigation strategies (Dodd and
73 Seigel 1991). However, to implement a successful translocation strategy, it is necessary to know
74 the dynamics of local populations at the relocation site, the survival and dispersion of the
75 relocated individuals, and their impact on local populations (Dodd and Seigel 1991, Soriguer et
76 al. 1998, Fisher and Lindenmayer 2000, Serio-Silva 2011, IUCN/SSC 2013).

77 Consequently, our objective in this study was to evaluate the survival and dispersion of *C.*
78 *moreletii* individuals that we rescued from an area under development for a recreational park in
79 the Riviera Maya, Quintana Roo, and translocated to a federal protected area. We also aimed to
80 measure the possible impact of the introduction of foreign specimens in this site where already
81 occur sympatric "stable" populations of *C. moreletii*, *C. acutus* and possible hybrid crocodiles
82 (CONABIO 2015; Gutiérrez-Ramírez 2016). We considered this to be a multispecific population
83 since they share the same space and reproduce with one another.

84 **STUDY AREA**

85 The study area is Rio Yalikín, a well conserved stream inside of the Yalahau coastal lagoon
86 system. This lagoon is part of the Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam (hereafter
87 Yum Balam protected area), located in the northern end of the State of Quintana Roo, Mexico

88 (Figure 1). The Yum Balam protected area was decreed by the Mexican government on June 6,
89 1994 with a territorial extension of 154,052 ha (DOF 2018). The crocodiles inhabiting this
90 protected area are very important because of their role as indicators of ecological health, as
91 ecosystem engineers, top predators, keystone species, and as contributors to nutrient and energy
92 transference across ecosystems (Somaweera et al. 2020). This system has freshwater inputs from
93 springs and underground rivers formed by geo-hydrological processes (CONANP 2018, DOF
94 2018). The vegetation surrounding the canal system is dominated by mangrove forest, composed
95 of red mangrove (*Rhizophora mangle*), white mangrove (*Laguncularia racemosa*), and black
96 mangrove (*Avicennia germinans*). The mangrove forest strip is replaced by medium and low forest
97 further inland (Villanueva-Fragoso et al. 2010).

98 **METHODS**

99 **Translocation, Release Site and Field Work**

100 During the month of January and February 2018, we rescued and released 22 adult individuals of
101 *C. moreletii* (8 females and 14 males) from a park in development located in the tourist corridor
102 at 21.5 km south from Cancún, Mexican Caribbean (Figure 1). We moved the rescued specimens
103 to the Rio Yalikín stream to be released, we chose this site because (i) specimens can disperse
104 through a system that branches into secondary canals, (ii) individuals will coexist with natural
105 populations of *C. moreletii* and *C. acutus*; and (iii) estimates of the relative abundance and
106 density of crocodiles already exist (CONABIO 2015, Gutiérrez-Ramírez 2016). The crocodiles
107 were released on a wooden pier located at Rio Yalikín (21° 26' 9.91" N, 87° 10' 26.64" W;
108 Figure 1).

109 We conducted six monthly samplings from January to June 2019 in the Yum Balam protected
110 area. During the fieldwork, we counted individuals (at the tourist development site and the local
111 population in Rio Yalikín), captured the crocodiles that would be translocated, and used radio
112 transmitters to locate the released specimens. During each sampling in Rio Yalikín, we conducted
113 three tours.

114 **Telemetry**

115 We attached VHF radio-telemetry devices with GPS (model TGB-325/311B by Telenax®) to 10
116 of the 22 translocated crocodiles (five males and five females; Table 1). First, we cleaned the skin
117 with ethanol and then we attached each device below the shield of nuchal scales with surgical
118 grade polymer (Figure 2; Brien et al. 2008, Calverley and Downs 2015).

119 We tracked the VHF-tagged crocodiles from a fixed point (at the top of a 15 m high tower), and
120 searching for them aboard a boat with a portable receiver radio (Communications Specialists Inc,
121 model R-600-A) with an H or a five-element Yagi antenna (Kay 2004, Brien et al. 2008, Pough et
122 al. 2016, Landeo-Yauri et al. 2017).

123 To assist in the detection of the tagged animals, we conducted an aerial survey from a high
124 winged Cessna (May 7th, 2019) in the Rio Yalikín area at an altitude of 300 m and an air-speed of
125 166.68 km/h. We made seven searching zigzag passes for five repeated routes (Figure 3A).

126 **Night Visual Detection**

127 In order to evaluate the density and abundance of crocodiles at Yum Balam protected area, we
128 made night trips aboard an aluminium flat-bottomed boat powered by an outboard motor. We
129 also used oars when necessary. We registered the presence of crocodiles by detecting the red

130 reflection of their eyes as a result of direct illumination by a hand or head lamp. Each survey
131 started 30 minutes after sunset (Sigler et al. 2011).

132 Once we observed the reflection of a crocodile's eyes, the boat approached to individual as close
133 as possible to estimate the size (total length in meters) and identify the species. When we could
134 not confirm the size of the individual, we recorded the sighting as "*Crocodylus sp*" and assigned
135 it to the "Eyes Only" category (Sigler et al. 2011). Using a GPS we also recorded the
136 geographical coordinates of each sighting, survey route, average speed, distance travelled, and
137 the water-air temperatures at the beginning and end of every survey.

138 **Capture-Mark and Recapture**

139 Immediately after concluding the night surveys, we performed intensive searches using the same
140 night vision detection procedures. These searches allowed us to classify each individual at the
141 species level, assess the structure of the population, and follow-up with the translocated
142 specimens.

143 Once we located an individual, we slowly approached the specimen and captured it with the aid
144 of a pole with a steel bow, an anti-opening brooch, and a rope (for specimens larger than 70 cm;
145 Carvajal et al. 2005, García-Grajales and Buenrostro-Silva 2017). We recorded the geographic
146 location with a GPS immediately after we caught each individual.

147 We secured the snouts of each captured crocodiles with duct tape and covered their eyes to
148 reduce stress from handling. Once secured, we recorded the specimen, morphometric data (e.g.,
149 total length, snout-vent length, base perimeter of the tail), and weight. We sexed individuals by
150 eversion of the penis or by opening the cloaca of juveniles with a nasal speculum.

151 We marked each individual by amputating the keels of the caudal scutes following a unique
152 numerical code and by adding a numbered interdigital metal plate. After collecting the necessary
153 data, we released each individual at the capture site (García-Grajales et al. 2007, Cedeño-
154 Vázquez and Pérez-Rivera 2010, Sánchez-Herrera et al. 2011).

155 We used this capture-mark-recapture technique for individuals of the local population from Rio
156 Yalikín, as well as with the translocated crocodiles, in order to determine abundance and
157 dispersion.

158 **Data Analyses**

159 We performed all mathematical analyses and graphics in R Software (R Core Team, 2019). We
160 used ArcView Gis (version 3.2, Environmental Systems Research Institute, Inc) to create each
161 map. To perform the analyses, we considered *C. moreletii*, *C. acutus* and their possible hybrids to
162 be a single population.

163 We calculated the relative density using the encounter rate, which corresponds to the number of
164 crocodiles observed per kilometer traveled (García-Grajales and Buenrostro-Silva 2014, Sánchez-
165 Herrera et al. 2011, Barrios-Quiroz and Cremieux- Grimaldi 2018).

$$166 \quad dr = \frac{n}{RE}$$

167 Where *n* is the number of crocodiles we counted and **RE** is the survey distance (García-Grajales
168 and Buenrostro-Silva 2014, Barrios-Quiroz and Cremieux-Grimaldi 2018). From the counts, we
169 estimated abundance using the visible fraction method (Messel et al. 1981). This uses the
170 proportion of crocodiles observed during a sampling period in relation to the total number of
171 crocodiles that may exist in the site (Cupul-Magaña et al. 2009).

172 The visible fraction is calculated as:

173
$$FV = 1 - \frac{S^2}{m}$$

174 Where FV is the visible fraction, S^2 is the variance between the samples and m is the average
175 number of crocodiles that we observed.

176 If $FV < 0$, then:

177
$$FV = \frac{m}{LS}$$

178 Where LS is the maximum value of crocodiles that we observed in the samples.

179 To estimate the population size (\bar{N}), we multiplied the maximum value of crocodiles counted by
180 100 and this, in turn, is divided by the visible fraction (Lara-López 1991).

181
$$\bar{N} = LS * 100 / FV$$

182 By catching individuals and employing the Peterson-Lincoln abundance and confidence intervals
183 (Southwood and Henderson 2000), we estimated the resulting values and compared them with the
184 results that we obtained by the counting method (visible fraction).

185 We classified the crocodiles that we observed and captured as: class I (yearlings), II (juveniles),
186 III (subadults), IV (adults), V (large adults) and VI “Eyes Only” (Sigler et al. 2011). We
187 constructed a histogram using the size class categories (Aguilar-Galindo 2005, Sánchez 2009,
188 Gallina-Tessaro and López-González 2011, Barrios-Quiroz and Cremieux-Grimaldi 2018). We
189 calculated the sex ratio by dividing the number of males by the number of females (Sánchez
190 2009, Gallina-Tessaro and López-González 2011). To analyze spatial distribution, we projected

191 the geographic coordinates of sightings and captures on a map using ArcView Gis versión 3.2
192 (Environmental Systems Research Institute, Inc). To determine the relationship between the
193 geographic positions of crocodiles and the density at each site, we included complete spatial
194 randomness distribution or negative binomial distribution in the analysis (Cabrero-Ortega and
195 García-Pérez 2015, Hooten et al. 2017, Hernández et al. 2018).

196 Despite our large search effort, we were only able to locate crocodiles fitted with radio
197 transmitters during the aerial survey. We projected their locations on a map to illustrate their
198 range of movements.

199 **RESULTS**

200 The 22 *C. moreletii* translocated individuals (14 males, 8 females) measured an average total
201 length of 199.68 cm (min. 167, max. 241) and an average weight of 34.86 kg (min. 16.6, max.
202 75). None of the translocated animals were recaptured in the study area. We failed to detect
203 individuals with radio transmitters despite spending 36 h at the fixed point and actively searching
204 for them aboard the boat (2748 km traveled in total and 254 h). However, we were able to detect
205 signals from three radiotransmitters during the aerial survey (Figure 3A, Table 3).

206 Using the locations of the crocodiles detected via aerial survey, they traveled an average linear
207 distance of 2.60 km from the release site (Table 3). The crocodiles were detected in zones with
208 high mangrove coverage that were difficult to access by land or boat. In light of this information,
209 we traveled approximately 36 km by boat along the shore of the Yalahau lagoon to search and
210 recover GPS data records attached to the radio transmitters, without success (Figure 3B).

211 In the Yum Balam protected area, the spatial distribution of the crocodiles adjusted to the Poisson
212 homogeneous process ($\chi^2 = 56.08$, $gl = 32$, $p = 0.04$), and was corroborated with negative

213 binomial distribution ($\chi^2 = 36.49$, $gl = 32$, $p = 0.00$), where the functional population presented a
214 grouped distribution.

215 The mean journey distance by boat was 7.53 km (min. 4.8, max. 9.8). The estimated abundance
216 through night visual detection was 26.01 ($CI_{95\%} = 24.09$ to 27.93) individuals, with an average
217 encounter rate of 3.64 ind / km ($CI_{95\%} = 2.88$ - 4.40 ; Figure 4). We counted an average of 25
218 individuals (min. 20, max. 35) per survey with a 71.42 % visible fraction.

219 The population structure in terms of size classes was as follows: yearlings (I; 1.14%), juveniles
220 (II; 9.66%), subadults (III; 11.36%), adults (IV; 13.64%), and large adults (V; 5.68%) (Figure 5);
221 while the sex ratio was 1:1. The “Eyes Only” category included 103 (58.52%) of the 176
222 observed individuals.

223 Twenty-six crocodiles were captured: 12 *C. moreletii* (six females, six males), and 14 *C. acutus*
224 (seven males, seven females). Among the captured individuals, some had morphological
225 characteristics of both *C. acutus* and *C. moreletii*, with possible unique genotypical
226 characteristics (Pacheco-Sierra et al. 2018). Seven individuals were recaptured (Figure 6B).

227 Three were captured in a previous study (Gutiérrez-Ramírez 2016) and the rest were captured
228 twice in our study. Through the capture-mark and recapture method, we estimated a population
229 size of 88 individuals ($SE = \pm 9.70$) considering the seven recaptures. The average distance that
230 the recaptured crocodiles traveled was 0.17 km (Table 2). The spatial location of sightings,
231 captures, recaptures and radiodetections are shown in Figure 6.

232 **DISCUSSION**

233 Our results indicate that *C. moreletii* specimens rescued from a disturbed habitat and translocated
234 to the Yum Balam protected area, were able to survive and thrive in a new suitable habitat,

235 contributing to their conservation. Translocation gives individuals the opportunity to survive,
236 search available areas for establishment and integrate into the local population dynamics.
237 Predation decreases in higher size class categories, which was the case for the translocated
238 crocodile specimens in this study.

239 The lack of radiotransmitters signals received from the boat and search stations, as well as the
240 limited detections from the aerial survey, suggest that translocated crocodiles tended to move and
241 disperse at superior distances and through different routes than what we initially thought. These
242 dispersal movements can be attributed to that the fact that spatial-temporal movement patterns are
243 influenced by territoriality, social hierarchy, seasonal proximity to breeding or nesting zones,
244 thermal conditions, feeding zones and seasonally fluctuating water levels (Tucker et al. 1997), as
245 well as the relationship between the sex and size of individuals (Kay 2004). Crocodile species are
246 either sedentary and move little (0.3 to 2.5 km; Kay 2004) or are highly mobile, traveling long
247 distances that can vary between 10 km to 87 km (Tucker et al. 1997, Kay 2004). Generally,
248 juveniles and subadults are the ones who travel the furthest outside of their home range in search
249 of new territories. However, some return to their original area after failed hunting or dispersal
250 attempts (Brien et al. 2008).

251 The translocation of conspecific crocodiles does not affect the dynamics or dispersion of the local
252 population. Therefore, relocated crocodiles tend to move in search of preferential sub-optimal
253 areas or habitats for to establishment and development. Although there is a possibility that some
254 remain in coexistence with the local population. For this reason, we conclude that the
255 translocation of individuals does not negatively affect the local population, since specimens are
256 conspecifics and autochthonous. The results show that some individuals probably look for
257 preferential sites to establish their home range area while others remain within the release zone.

258 Conducting studies on movement ecology and population genetics are necessary to better
259 understand movement patterns, spatial-temporal ecology, hybridization, and populations
260 dynamics of *C. moreletii*, *C. acutus*, and *C. moreletii* x *C. acutus* hybrids. Further research will
261 provide relevant information on the management and conservation of *C. moreletii* and can also be
262 used for other endangered species. Public and private sectors may also implement these results to
263 build successful and sustainable management programs.

264 The individuals of the local population that inhabit this area range from yearlings to adults
265 (Sánchez-Herrera et al. 2011, Sigler and Gallegos-Michael 2017). This indicates that it is a
266 “healthy” and functional population. The encounter rates and abundance estimates remained
267 stable after individuals were translocated, suggesting that the introduction of new specimens did
268 not generate a negative impact on the local population. Even though the encounter rates
269 apparently decreased over time, this may be due to the previous knowledge available from other
270 studies, and that the distance traveled in each survey also increased. Abundance estimates
271 remained stable regardless of the increase in sampling distance suggesting that our counts and
272 abundance estimates were close to the real crocodile abundance in the study area. Regardless of
273 how the sampling distance increased, we did not find any other individuals (Martella et al. 2012).
274 Our results also indicate that crocodiles tend to form groups in larger channels (Figure 6A), due
275 to a greater diversity of potential prey (Hanson et al. 2015). However, the degree of aggregation
276 of a particular population varies according to food availability, water-air temperature (Mazzotti et
277 al. 1986), development status (Southwood and Henderson 2000) and levels of salinity (Escobedo-
278 Galván et al. 2007, Mazzotti et al. 2019).

279 The population structure of crocodiles in the study area is apparently stable. Crocodile
280 populations do not necessarily require a large number of young per cohort, high longevity and
281 long reproductive life leads to a slow recruitment of juveniles (Grigg and Kirshner 2015). Our
282 population pyramid represents a large number of breeding individuals. The increase of
283 individuals of this class could be partially attributed to the addition of the translocated crocodiles.
284 This category is highly relevant, since this determines if a population will recover from the
285 effects of hunting and habitat destruction (Grigg and Kirshner 2015).

286 The sex ratio parity (1:1) also indicates that this is a healthy population. Nevertheless, there is
287 cause for caution in the interpretation of this relationship, because diverse intrinsic and extrinsic
288 characteristics also influence this ratio (Grigg and Kirshner 2015).

289 **MANAGEMENT IMPLICATIONS**

290 The present study provides an evaluation of the practice of translocating Mexican crocodiles and
291 its effectiveness as a management strategy. Our results contribute to conservation actions through
292 spatial, population and movement ecology. Additionally, this research can be used to update
293 sustainable management strategies in both the public and private sectors. Our study emphasizes
294 the need to implement a program to monitor populations. Since complications arose when we
295 tried to collect data from individuals fitted with radiotransmitters, future studies should continue
296 to research movements of individuals through space and time. This translocation evaluation
297 opens up new opportunities for the management of crocodiles, such as studying long-term
298 population trends. This study is a primordial source of information for wildlife conservation and
299 management, as well as provides the foundation for future research concerning the translocation
300 of crocodiles and other species.

301 **ACKNOWLEDGMENTS**

302 We thank the staff of the Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) and of
303 the Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam. Thank you to J. O. Ku May, J. A. López
304 Hernández, J. A. Lemos Barão Nóbrega and S. E. Padilla Paz for their support in the field. We
305 appreciate and thank the support of Brianna Jacobson for the English review. This study was
306 financed by Experiencias Xcaret group; the Master's Thesis Support Program of El Colegio de la
307 Frontera Sur provided resources for part of the fieldwork and aerial survey. We would also like to
308 thank the Crocodile Specialist Group (CSG) and the Zoological Society of Hertfordshire for the
309 provision of funds for auxiliary tools. This research was carried out under the permit OFICIO No.
310 SGPA/DGVS/004761/18 issued by the General Directorate of Wildlife of the Secretaría de
311 Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

312 **LITERATURE CITED**

313 Aguilar-Galindo, A. 2005. Evaluación del estado de conservación del Caiman *crocodilus fuscus*
314 durante el año 2003-2004, en el sistema Lagunar de Chantuto, Reserva de la Biosfera La
315 Encrucijada, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma
316 Metropolitana, Xochimilco. México, D.F.

317 Barrios-Quiroz, G., and J. C. Cremieux-Grimaldi. 2018. Protocolo de ranqueo para cocodrilo de
318 pantano (*Crocodylus moreletii*) en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y
319 Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.

320 Brien, M. L., M. A. Read, H. I. McCallum, and G. C. Grigg. 2008. Home range and movements
321 of radio-tracked estuarine crocodiles (*Crocodylus porosus*) within a non-tidal waterhole.
322 Wildlife Research 35:140–149.

323 Cabrero-Ortega, Y., and A. García-Pérez. 2015. Análisis estadístico de datos espaciales con
324 QGIS y R. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid.

325 Calverley, P. M., and C. T. Downs. 2015. Movement and Home Range of Nile Crocodiles in
326 Ndumo Game Reserve, South Africa. *Koedoe* 57, Art. #1234, 13 pages.

327 Carvajal, R. I., M. Saavedra, and J. J. Alava. 2005. Ecología poblacional, distribución y estudio
328 de hábitat de *Crocodylus acutus* en la “Resera de producción de fauna manglares El
329 Salado” del estuario del Golfo de Guayaquil, Ecuador. *Revista de Biología Marina y*
330 *Oceanografía* 40:141-150.

331 Casas-Andreu, G., G. Barrios-Quiroz, A. Escobedo-Galván, and X. Aguilar-Miguel. 2013.
332 Sinopsis de datos biológicos y ecológicos del cocodrilo de pantano (*Crocodylus*
333 *moreletii*). Universidad Nacional Autónoma de México. México.

334 Cedeño-Vázquez, J. R., and S. D. Pérez-Rivera. 2010. El Cocodrilo de Pantano (*Crocodylus*
335 *moreletii*) en Laguna Esmeralda, Quintana Roo, México. *Revista Latinoamericana de*
336 *Conservación* 1:91–98.

337 Coria, I. D. 2008. El estudio de impacto ambiental: características y metodologías. *Invenio*
338 11:125-135.

339 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. 2015. Base de
340 datos del programa de monitoreo del cocodrilo de pantano (*C. moreletii*) temporada(s)
341 2011, 2012 y 2013, proyectos SNIB-CONABIO JE007, JE008, JE009, JE010, LE01.
342 México.

343 Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP]. 2018. Programa de manejo del
344 Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam.
345 <[https://www.conanp.gob.mx/programademanejo/PMYumBalamparaconsultadelpublico.](https://www.conanp.gob.mx/programademanejo/PMYumBalamparaconsultadelpublico.pdf)
346 pdf>. Acceso el 5 de octubre del 2018.

347 Cupul-Magaña, F., A. Rubio-Delgado, A. Reyes-Juárez, and H. Hernández-Hurtado. 2009.
348 Sondeo poblacional de *Crocodylus acutus* en el Estero Boca negra, Jalisco. Ciencia y Mar
349 6(16):45-50.

350 Diario Oficial de la Federación [DOF]. 2018. Resumen del programa de manejo del área natural
351 protegida con categoría de Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, ubicada en
352 el municipio de Lázaro Cárdenas, Quintana Roo. Órgano de Gobierno Constitucional de
353 los Estados Unidos Mexicanos, Gobierno Federal, Secretaría de Medio Ambiente y
354 Recursos Naturales, México, CDMX. Tercera sección, viernes 5 de octubre. 1-97.

355 Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Issac, N. J. B., and Collen, B. 2014.
356 Defaunation in the Anthropocene. Science 345:401-406.

357 Dodd, C. K. Jr., and R. A. Seigel. 1991. Relocation, repatriation, and translocation of amphibians
358 and reptiles: are they conservation strategies that work?. Herpetologica 47:336-350.

359 Escobedo-Galván, A., V. Palacios-Chávez, and A. Vovides-Tejera. 2007. *Crocodylus moreletii*
360 (Morelet's Crocodile) salinity tolerance. Herpetological Review 39:346-347.

361 Field, K. J., C. R. Tracy, P. A. Medica, R. W. Marlow, and P. S. Corn. 2007. Return to the wild:
362 Translocation as a tool in conservation of the Desert Tortoise (*Gopherus agassizii*).
363 Biological Conservation 136:232-245.

364 Fisher, J., and D. B. Lindenmayer. 2000. An assessment of the published results of animal
365 relocations. *Biological Conservation* 96:1-11.

366 García-Aguilera, J. R. 2010. El cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) y su conservación en
367 México. Universidad Nacional Autónoma de México, FESI. México.

368 García-Grajales, J., G. Aguirre-León, and A. Contreras-Hernández. 2007. Tamaño y estructura
369 poblacional de *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) en el Estero la Ventanilla,
370 Oaxaca México. *Acta Zoológica Mexicana* 23:53-71.

371 García-Grajales, J., and A. Buenrostro-Silva. 2017. Estimación poblacional del cocodrilo
372 americano (*Crocodylus acutus*) en el Parque Nacional Lagunas de Chacahua, Oaxaca,
373 México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88:936-943.

374 García-Grajales, J., and A. Buenrostro-Silva. 2014. Abundancia y estructura poblacional de
375 *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) en la laguna Palmasola, Oaxaca, México.
376 *Revista de Biología Tropical* 62:165-172.

377 Gallina-Tessaro, S., and C. López-González. 2011. Manual de técnicas para el estudio de la
378 fauna. El Instituto de Ecología. Querétaro.

379 Griffithh, B., J. M. Scott, J. W. Carpenter, and C. Reed. 1989. Translocation as a species
380 conservation Tool: Status and Strategy. *Science* 245:477-480.

381 Grigg, G., and D. Kirshner. 2015. *Biology and evolution of crocodylians*. CSIRO Publishing-
382 Comstock Publishing Associates a division of Cornell University Press Ithaca and
383 London. Australia.

384 Gutiérrez-Ramírez, J. C. 2016. Estado de las poblaciones de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus*
385 *moreletii* en el Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, Quintana Roo, México.
386 Tesis de Licenciatura. Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan.

387 Hanson, J. O., S. W. Salisbury, H. A. Campbell, R. G. Dwyer, T. D. Jardine, and C. E. Franklin.
388 2015. Feeding across the food web: The interaction between diet, movement and body
389 size in estuarine crocodiles (*Crocodylus porosus*). *Austral Ecology* 40:275-286.

390 Hernández, F. J., C. B. Navarro-Mata, R. Peña-Montañez, and A. Nájera-Luna. 2018. Patrón de
391 distribución espacial de las especies arbóreas de la región de El Salto, Durango. *Revista*
392 *Mexicana de Ciencias Forestales* 9:169-186.

393 Hooten, M. B., D. S. Johnson, B. T. McClintock, and J. M. Morales. 2017. *Animal Movement;*
394 *statistical models for telemetry data.* CRC Press – Taylor & Francis Group. Boca Raton.

395 IUCN/SSC. 2013. *Guidelines for reintroductions and other conservation translocations.* Version
396 1.0. IUCN Species Survival Commission, Viii + 57 pp. Gland, Switzerland.

397 Kay, W. R. 2004. Movements and home ranges of radio-tracked *Crocodylus porosus* in the
398 Cambridge Gulf region of Western Australia. *Wildlife Research* 31:495–508.

399 Landeo-Yauri, S., N. Castelblanco-Martínez, and M. Williams. 2017. Behavior and habitat use of
400 released rehabilitated Amazonian manatees in Peru. *Latin American Journal of Aquatic*
401 *Mammals* 12:17-27.

402 Lara-López, O. F. 1991. Estimacion del tamaño y estructura de la población de *Crocodylus*
403 *moreletii* (Crocodylidae-Reptilia), en los lagos Péten Itzá, Sal-Péten, Petenchel y Yaxha, el
404 Péten, Guatemala. Universidad Nacional de Heredia. Costa Rica.

405 Martella, M. B., E. Trumper, L. M. Bellis, D. Renison, P. F. Giordano, G. Bazzano, and R. M.
406 Gleiser. 2012. Manual de ecología. Poblaciones: introducción a las técnicas para el
407 estudio de las poblaciones silvestres. Reduca (Biología) 5:1-31.

408 Mazzotti, F. J., B. Bohnsack, M. P. McMahon, and J. R. Wilcox. 1986. Field and laboratory
409 observations on the effects of high temperature and salinity on hatchling *Crocodylus*
410 *acutus*. Herpetologica 42:191-196.

411 Mazzotti, F. J., B. J. Smith, M. A. Squires, M. S. Cherkiss, S. C. Farris, C. Hackett, K. M. Hart,
412 V. Briggs-Gonzalez, and L. A. Brandt. 2019. Influence of salinity on relative density of
413 American crocodiles (*Crocodylus acutus*) in Everglades National Park: Implications for
414 restoration of Everglades ecosystems. Ecological Indicators 102:608-616.

415 Messel, H., G. C. Vorlicek, A. G. Wells, and W. J. Green. 1981. Surveys of tidal river systems in
416 Northern Territory of Australia and their crocodile populations. Monograph 1. Pergamon
417 press. Sydney.

418 Pacheco-Sierra, G., E. Vázquez-Domínguez, J. Pérez-Alquicira, M. Suárez-Atilano, and J.
419 Domínguez-Laso. 2018. Ancestral hybridization yields evolutionary distinct hybrids
420 lineages and species boundaries in crocodiles, posing unique conservation conundrums.
421 Frontiers in Ecology and Evolution 6. Art. 138. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00138>

422 Platt, S.G., L. Sigler, and T. R. Rainwater. 2010. Morelet's Crocodile *Crocodylus moreletii*. Pp.
423 79-83 in S.C. Manolis and C. Stevenson (ed). Crocodiles. Status Survey and Conservation
424 Action Plan. Third Edition, Crocodile Specialist Group: Darwin.

425 Pough, F. H., R. M. Andrews, M. L. Crump, A. H. Savitzky, K. D. Wells, and M. C. Brandley.
426 2016. Spatial ecology. In Herpetology fourth edition. USA. Sinauer Associates.

427 R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for
428 Statistical Computing, Vienna, Austria. URL. <https://www.R-project.org/>.

429 Ross, J. P. 1998. Crocodiles. Status Survey and Conservation Action Plan. Group IUCN/SSC
430 Crocodile Specialist. Florida.

431 Sánchez-Herrera, Ó., G. López-Segurajáregui, H. Benítez-Díaz, and A. Garcia-Naranjo. 2011.
432 Programa de monitoreo del cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) México, Belice,
433 Guatemala. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

434 Sánchez, O. 2009. Evaluación y monitoreo de poblaciones silvestres de reptiles. Comisión
435 Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

436 Serio-Silva, J. C. 2011. La traslocación y reintroducción en el manejo y conservación de las
437 especies. En: S. Gallina-Tessaro, C. López-González (eds). Manual de técnicas para el
438 estudio de la fauna. (pp. 221-234). Universidad Autónoma de Querétaro – Instituto de
439 Ecología, AC.

440 Sigler, L., J. R. Cedeño-Vázquez, and F. Cupul-Magaña. 2011. Método de detección visual
441 nocturna (DVN). In: O. Sanchez-Herrera, G. López-Segurajáregui, A. García Naranjo-
442 Ortíz de la Huerta, and H. Benítez-Díaz (eds). Programa de monitoreo del cocodrilo de
443 pantano (*Crocodylus moreletii*) México, Belice, Guatemala (pp. 105-127). México, D.F.:
444 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Medio
445 Ambiente y Recursos Naturales.

446 Sigler, L., and J. Gallegos-Michael. 2017. El conocimiento sobre el cocodrilo de Morelet.
447 *Crocodylus moreletii* (Duméril y Duméril 1851) en México, BÉlice y Guatemala. México,
448 D.F.

449 Somaweera, R., J. Nifong, A. Rosenblatt, M. L. Brien, X. Combrink, R. M. Elsey, G. Grigg, W.
450 E. Magnusson, F. J. Mazzotti, A. Percy, S. G. Platt, M. H. Shirley, M. Tellez, J. van der
451 Ploeg, G. Webb, R. Whitaker, and B. L. Webber (2020). The ecological importance of
452 crocodylians: towards evidence-based justification for their conservation. Biological
453 Reviews. <https://doi.org/10.1111/brv.12594>

454 Soriguer, R. C., F. J. Márquez, y J. M. Pérez. 1998. Las traslocaciones (introducciones y
455 reintroducciones) de especies cinegéticas y sus efectos medioambientales. Revisiones en
456 Mastozoología, Galemys 10:19-35.

457 Southwood, T. R. E. and P. A. Henderson. 2000. Ecological Methods. Blackwell Science,
458 Australia.

459 Thomassiny-Acosta, J. S., and E. Chan-Rivas. 2011. Cambios en el uso de suelos. In: C. Pozo.
460 (ed.). Riqueza biológica de Quintana Roo: Un análisis para su conservación, Tomo 1. (Pp.
461 132-135). El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Comisión Nacional para el
462 Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Quintana
463 Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (PPD). México, D.F.

464 Tucker, A. D., C. J. Limpus, H. I. McCallum, and K. R. McDonald. 1997. Movements and Home
465 Ranges of *Crocodylus johnstoni* in the Lynd River, Queensland. Wildlife Research.
466 CSIRO Australia and the Australian Academy of Science 24:379–396.

467 Villanueva-Fragoso, S., G. Ponce-Vélez, C. García, and J. Presa. 2010. Vulnerabilidad de la zona
468 costera. Ecosistemas costeros, p. 37-72. In: Botello, A.V., S. Villanueva-Fragoso, J.
469 Gutiérrez, and J. L. Rojas-Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas
470 ante el cambio climático. Gobierno del Estado de Tabasco. SEMARNAT-INE, UNAM-
471 ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche.

472 Webb, G., and C. Manolis. 1998. Australian crocodiles. New Holland Publishers. Australia.

473

474

475

476

477

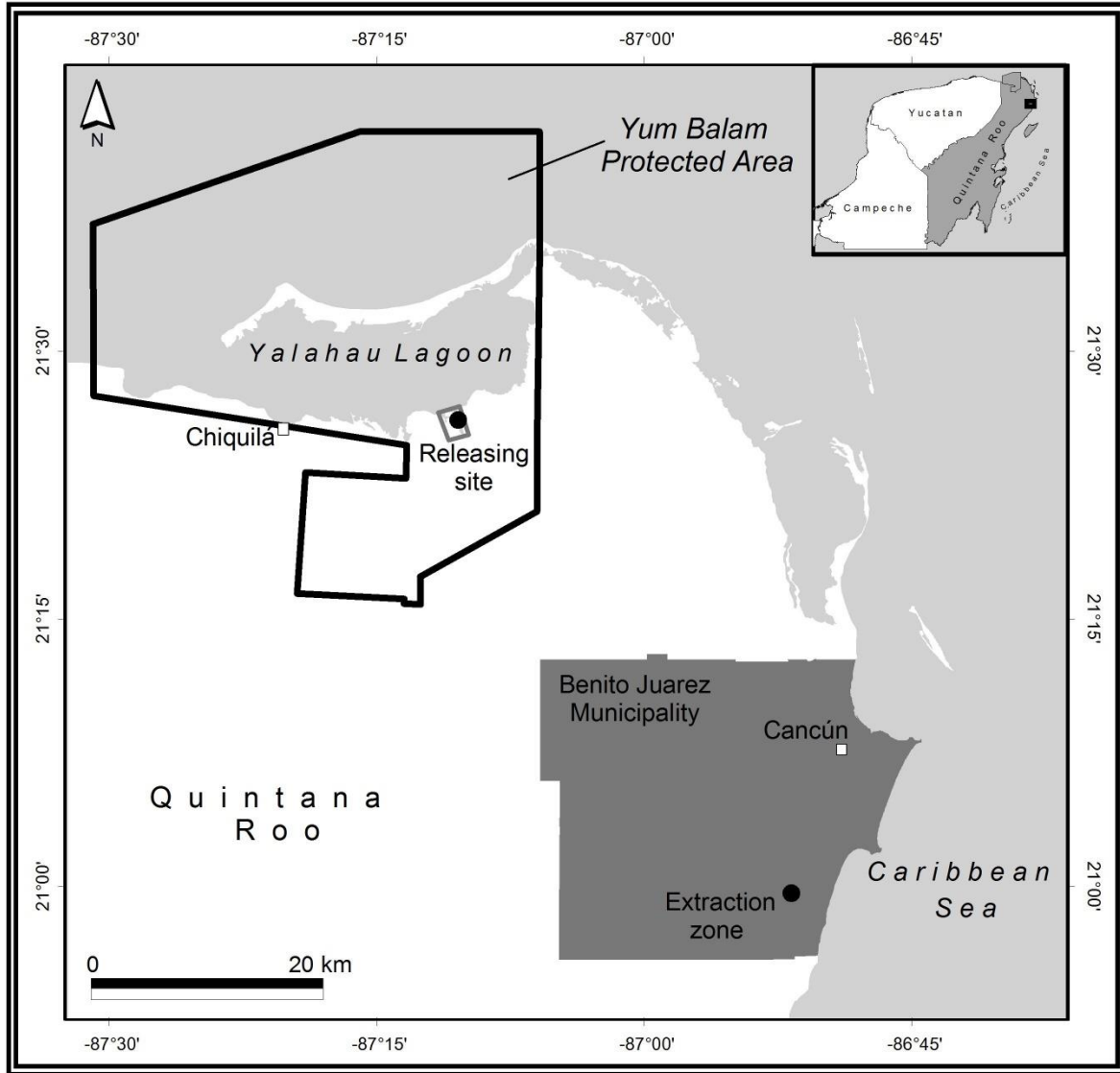
478

479

480

481

482



483

484 **Figure 1.** Map of the study area. Black dots = extraction and releasing site.

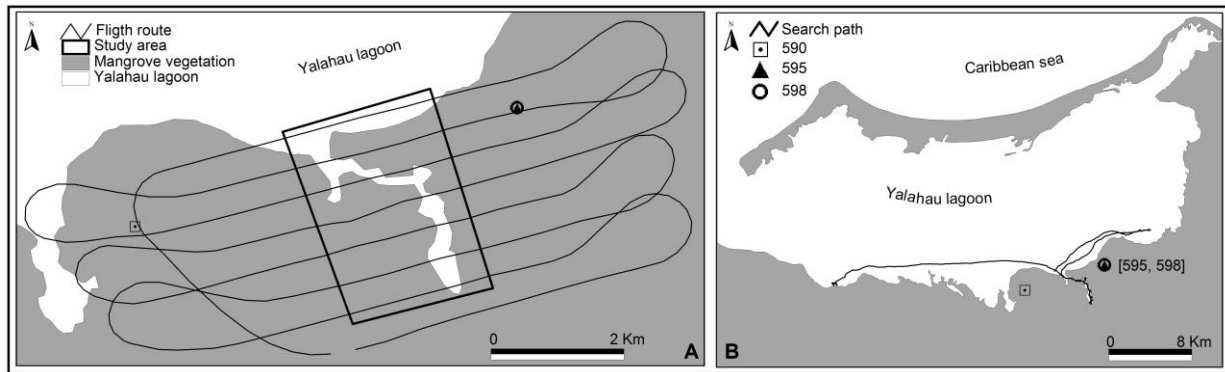
485



486

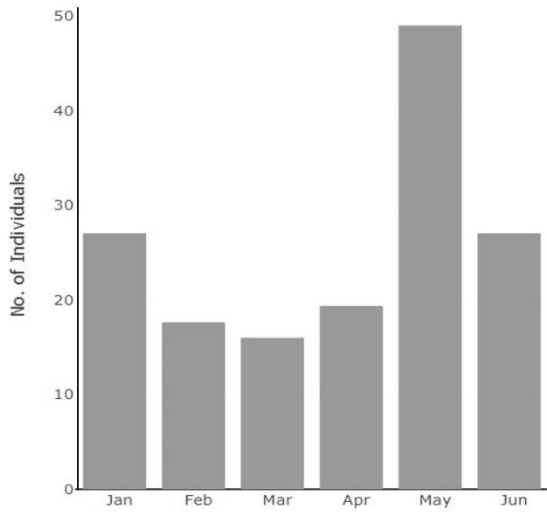
487 **Figure 2.** Placement of the VHF transmitter crocodile nuchal shields and the application of the
 488 aluminium spray used as an antiseptic, prior to the liberation in the Rio Yalikín stream at Yum
 489 Balam protected area.

490



491

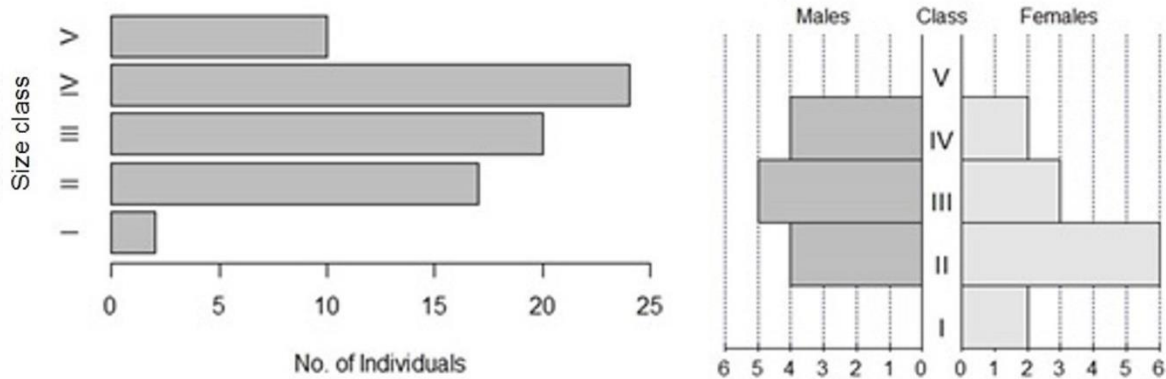
492 **Figure 3.** A) Aerial transect surveys used to locate crocodiles with radiotransmitters. B) Boat
 493 survey route used to locate the crocodiles with radiotransmitters at Yum Balam protected area.



494

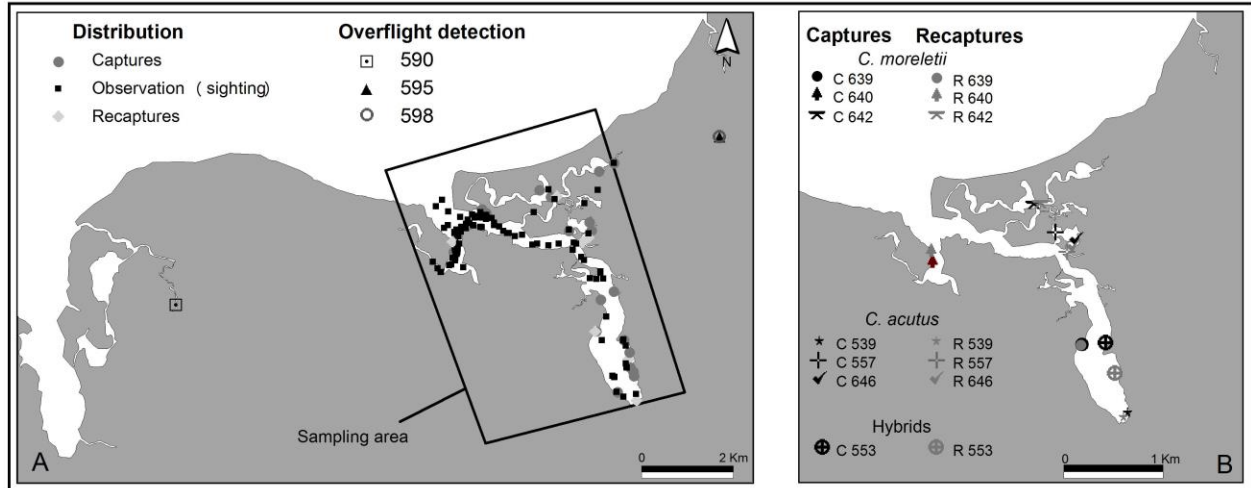
495 **Figure 4.** Estimated crocodile abundance per sampling month during 2019 in the Rio Yalikín
 496 stream at Yum Balam protected area.

497



498

499 **Figure 5.** Population structure by size classes for sighted crocodiles (left) and sex of captured
 500 individuals (right) in the Rio Yalikín stream at Yum Balam protected area.



501

502 **Figure 6.** A) Crocodiles spatial distribution, visual records, captures, recaptures and radiolocation

503 in the Rio Yalikín stream at Yum Balam protected area. B) Location of captured and recaptured

504 crocodiles in the study area.

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514 **Table 1.** Translocated Morelet`s crocodiles and radio frequency of transmitters. TL= Total
 515 Length, SVL= Snout-Vent Length.

ID Cut	ID Tag	Sex	Weight (kg)	TL (m)	SVL (m)	Size class	Frequency (MHz)
583	MX1999	Male	37	2.05	1.03	V	
584	MX1994	Female	34	1.98	1.01	IV	
585	MX1993	Male	36.6	2.09	1.06	V	
586	MX1996	Male	28.5	1.97	0.95	IV	
587	MX1997	Female	29	1.92	0.94	IV	
588	MX1998	Male	59	2.41	1.18	V	216.937
589	MX1992	Female	25	1.67	0.82	IV	216.876
590	MX2000	Female	36	1.95	1.08	IV	216.636
591	MX1991	Male	36.8	2.07	1.04	V	
592	141	Male	33	1.88	1	IV	
593	142	Male	39.4	2.14	1.07	V	216.497
594	143	Male	54.2	2.31	1.14	V	216.256
595	144	Male	37	2	1.01	IV	216.596
597	148	Male	37.2	2.11	1.06	V	
598	146	Female	40	2.09	1.07	V	216.134
599	147	Female	23	1.85	0.92	IV	216.977
600	MX1995	Male	75	2.41	1.21	V	216.897
601	149	Female	26.5	1.9	0.97	IV	
602	150	Male	23.6	1.83	0.93	IV	216.196
603	MX0140	Female	16.6	1.69	0.86	IV	
604	130	Male	19.2	1.73	0.85	IV	
605	129	Male	20.5	1.88	0.96	IV	

516

517

518

519

520

521

522 **Table 2.** Displacement of recaptured crocodiles in the Rio Yalikín stream at Yum Balam
 523 protected area.

Species	# Flake cut	Travel distance (km)	Capture date	Recapture date
<i>C. acutus</i>	539	0.37	February 2015	June 2015, January 2019
<i>Hybrid</i>	553	0.32	May 2015	May 2019
<i>C. acutus</i>	557	0.23	June 2015	January 2019
<i>C. moreletii</i>	642	0.12	January 2019	April 2019
<i>C. moreletii</i>	640	0.06	January 2019	May 2019
<i>C. acutus</i>	646	0.08	May 2019	June 2019
<i>C. moreletii</i>	639	0.01	January 2019	January 2019

524

525

526 **Table 3.** The ID tags detected, estimated location of the crocodiles, and linear distances
 527 calculated relative to the release site at the Rio Yalikín stream.

528

ID cut	ID tag	Frequency (MHz)	Latitude N	Longitude W	Sex	Distance (km)
598	146	216.134	21°26'46.20"	87° 9'38.20"	Female	1.90
595	144	216.596	21°26'46.20"	87° 9'38.20"	Male	1.81
590	MX2000	216.636	21°25'48.90"	87°12'44.00"	Female	4.08

533

534

535

536

537

538

539

540 **Summary**

541 The abundance and structure of crocodiles' local population in the Yum Balam protected area,
542 remained stable after the introduction of foreign. None of the translocated crocodiles were
543 recaptured in the study area, and none tagged with radiotransmitters was located by land nor
544 during boat searching; nevertheless, VHF signals of three individuals were detected outside the
545 Río Yalikín stream during the aerial survey, which suggest that translocated crocodiles tended to
546 move and disperse and they were able to survive and thrive in a new suitable habitat.

Capítulo III. Conclusiones

La población de cocodrilos en el Río Yalikín se encuentra aparentemente estable. De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que los individuos de *C. moreletii* que fueron translocados al Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam no causaron un efecto negativo en la población local. Esta conclusión se sustenta en que los datos poblacionales previos a la liberación y los obtenidos después de la translocación no indican cambios significativos en la estructura, proporción de sexos, densidad relativa y tamaño de la población. El tamaño estimado de la población es de 26.01 (IC_{95%}= 24.09-27.93) individuos, manteniéndose constante después de la liberación de los animales translocados en el Río Yalikín.

La densidad relativa varió de forma negativa con respecto a la distancia recorrida, es decir, mientras más largo fue el recorrido de muestreo, el número de cocodrilos contado permaneció estable, por lo que la densidad relativa tendió a decrecer. Lo anterior permite argumentar que el número de cocodrilos observados es un buen indicador de la abundancia local y a través del cálculo de la fracción visible de la población y la estimación del tamaño de la población realizada en el presente trabajo es plausible que sea aproximada a la abundancia real. Es importante seguir realizando muestreos en el sitio para validar ésta aseveración de forma robusta.

La presente tesis es el primer reporte científico en México en el cual se realiza la evaluación de la sobrevivencia y dispersión de ejemplares de cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) translocados, así como de su impacto en las poblaciones de cocodrilos locales. Si bien existen algunos casos de translocaciones puntuales previas en los que se pretende evaluar la eficacia del uso de imanes para evitar el regreso de los cocodrilos a la zona de extracción (Domínguez-Laso 2008), esta práctica carece de rigor científico como para ser tomada en consideración.

La información generada en esta tesis proporciona datos relevantes sobre manejo de cocodrilos, lo que puede contribuir en futuros rescates y translocaciones de cocodrilos o aplicarlo a la fauna silvestre en general, además pueden contribuir para que los tomadores de decisiones cuenten con información y argumentos en proyectos de

desarrollo sustentable, es decir no solo enfocarse en la cuestión económica, sino que también en los aspectos social y ecológico.

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo, surgen nuevas preguntas sobre manejo, algunas de las cuales se podrían contestar en proyectos futuros: ¿De qué forma el cocodrilo de pantano se desplaza en el paisaje?, ¿dónde prefieren estar?, ¿cuánto se mueve?, ¿qué factores influyen en su desplazamiento y eventual establecimiento?, ¿los cocodrilos realmente regresan al sitio donde fueron extraídos?, ¿qué herramientas innovadoras pueden ayudar a tener mejores resultados en la ecología del movimiento en cocodrilos?, ¿en cuánto tiempo los cocodrilos translocados pueden encontrar un área para establecerse?.

Referencias bibliográficas

- Barrios-Quiroz G, Cremieux-Grimaldi JC. 2018. Protocolo de rancheo para cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México.
- Casas-Andreu G. 2002. Hacia la conservación y manejo sustentable del lagarto o cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) en México. Pp. 27-45. En: Verdade LM, Larriera A. (eds). La conservación y el manejo de caimanes y cocodrilos de América Latina. Vol. 2. CN Editoria. Piracicaba, Sao Paulo.
- Casas-Andreu G, Barrios-Quiroz G, Macip-Ríos R. 2011. Reproducción en cautiverio de *Crocodylus moreletii* en Tabasco, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 82:261-273.
- Dodd CK Jr, Seigel RA. 1991. Relocation, repatriation, and translocation of amphibians and reptiles: are they conservation strategies that work?. Herpetologica 47(3):336-350.
- Domínguez-Laso, J. 2008 Relocation of crocodylians using magnets. Crocodile Specialist Group Newsletter 27(3):5-6.
- Fisher J, Lindenmayer DB. 2000. An assessment of the published results of animal relocations. Biological Conservation 96:1-11.
- García-Grajales J. 2013. El conflicto hombre-cocodrilo en México: causas e implicaciones. Interciencia 38(12):881-884.
- Griffithh B, Scott JM, Carpenter JW, Reed C. 1989. Translocation as a species conservation Tool: Status and Strategy. Science 245:477-480.
- Grigg G, Kirshner D. 2015. Biology and evolution of crocodylians. CSIRO Publishing-Comstock Publishing Associates a division of Cornell University Press Ithaca and London. Australia
- Kelly L. 2006. Crocodile: evolutions greatest survivor. Allen & Unwin. Sydney, Australia. 272 p.

- Palomo-Ramos R, Gatica-Colima A.B, Ríos-Arana J.V. 2018. Translocation as a conservation tool for endangered tortoises in Mexico. *Revista Bio Ciencias* 5(2018), 17 pages, Article ID: 05.2018.01.
- Rice PM. 2017. *Maya Crocodilians: intersections of myth and the Natural World at Early Nixtun-Ch`ich`*, Petén, Guatemala. Springer, DOI 10.1007/s10816-017-9352-0.
- Robles de Benito R. 2009. *Las unidades de manejo para la conservación de vida silvestre y el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Ross CA, Ernest Magnusson W. 1989. Living crocodilians. Pp. 58-73. In: Ross CA and Garnett S (eds). *Crocodiles and alligators. Facts On File An Infobase Holdings Company*. United States.
- Rueda-Almonacid JV, Carr JL, Mittermeier RA, Rodríguez-Mahecha JV, Mast RB; Vogt RC, Rhodin AGJ, J. de la Ossa-Velázquez, Rueda JN, Mittermeier CG. 2007. *Las tortugas y los cocodrilos de los países andinos del trópico*. Series de guías tropicales de campo No. 6. Conservación Internacional. Editorial Panamericana, Formas e Impresos, 538 p. Bogotá.
- Sánchez-Herrera Ó, López-Segurajáregui G, Benítez-Díaz H, Garcia-Naranjo A. 2011. Programa de monitoreo del cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) México, Belice, Guatemala. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Salgado-Negret B, Paz H. 2016. Escalando de los rasgos funcionales a procesos poblacionales, comunitarios y ecosistémicos. Pp. 12-35. En: Salgado-Negret B. (ed). *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá.
- Serio-Silva JC. 2011. La translocación y reintroducción en el manejo y conservación de las especies. Pp. 221-234. En: Gallina-Tessaro S, López-González C. (eds).

Manual de técnicas para el estudio de la fauna. Universidad Autónoma de Querétaro – Instituto de Ecología, A.C.

Sigler L. 1996. Reproducción de cocodrilianos en zoológicos mexicanos: pasado y futuro. *Revista de la Asociación de Zoológicos, Criaderos y Acuarios de la República Mexicana* 4(6):7-8.

Sigler L, Gallegos-Michael J. 2017. El conocimiento sobre el cocodrilo de Morelet. *Crocodylus moreletii* (Duméril y Duméril 1851) en México, Bélize y Guatemala. México, D.F. 216 pp.

Soriguer RC, Márquez FJ, Pérez JM. 1998. Las traslocaciones (introducciones y reintroducciones) de especies cinegéticas y sus efectos medioambientales. *Galemys* 10(2).

Tellería JL. 2013. Pérdida de biodiversidad. Causas y consecuencias de la desaparición de las especies. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. Pp. 13-25. En: Muñoz-Araujo B, Refoyo-Román P. (ed). *Pérdida de biodiversidad. Responsabilidades y soluciones*. Real Sociedad Española de Historia Natural. Madrid.