



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE
LA FAMILIA *CROCODYLIDAE* EN
MÉXICO Y LOS EFECTOS DEL
CAMBIO CLIMÁTICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

P R E S E N T A

JOSÉ ÁVILA CERVANTES



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM

DIRECTOR DE TESIS:
DR. VÍCTOR HUGO REYNOSO ROSALES

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Ávila

Cervantes

José

56 31 87 79

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

400048093

2. Datos del tutor

Dr.

Víctor Hugo

Reynoso

Rosales

3. Datos del sinodal 1

Dra.

Marisol

Montellano

Ballesteros

4. Datos del sinodal 2

Dr.

Oswaldo

Téllez

Valdés

5. Datos del sinodal 3

M. en C.

Claudia

Ballesteros

Barrera

6. Datos del sinodal 4

M. en C.

Elisa

Cabrera

Guzmán

7. Datos del trabajo escrito

Análisis de la distribución de la familia Crocodylidae en México y los efectos del cambio climático.

64 p.

2007

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres José y Gloria por todo el apoyo y confianza que me han brindado siempre.

A mi hermano Rodrigo por apoyarme y siempre estar ahí cuando lo necesito.

A mi hermano Héctor por enseñarme a luchar hasta el cansancio.

A Valeria por ayudarme, apoyarme, creer en mi, aguantar mi mal humor, desesperación y por ser parte fundamental de mi vida te AMO VaLuna de mi corazón!

A Víctor Hugo por darme la oportunidad de trabajar con él y enseñarme que los logros no llegan, los logros se obtienen.

Al Dr. Oswaldo Téllez, gracias a él esta tesis logró consolidarse.

A Margarita que es como mi segunda madre o madre académica.

A toda la gente que me hizo crecer y madurar durante todo el tiempo que pase en la facultad de Ciencias.

A Marcos y Elena ya que sin ellos los tiempos difíciles habrían sido imposibles.

A mis amigos, en especial a Gaby, Cheche, Martí, Habacuc.

A mis compañeros del laboratorio a los que quiero mucho por aguantarme en el laboratorio cuando hacia bromas y no dejaba de hablar, perdón por distraerlos tanto.

A la China, Robert y Martín por contestar mis preguntas tontas mientras escribía esta tesis.

Y a todos los que han entrado y salido de mi vida quedando como recuerdos en el tiempo...

GRACIAS.....

ÍNDICE

	Página
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN y ANTECEDENTES.....	2
1.1 Cambio climático.....	2
1.2 Modelaje de nicho ecológico.....	3
1.3 Descripción y distribución de las especies de cocodrilos mexicanos.....	5
1.3.1 Orden Crocodylia.....	5
1.3.2 Estado de conservación de los crocodilianos en México.....	5
1.3.3 <i>Crocodylus acutus</i> (Cuvier, 1807).....	6
1.3.4 <i>Crocodylus moreletii</i> (Duméril y Duméril, 1851).....	7
1.4 Registro fósil de Cocodrilos.....	9
1.5 Fisiología de Cocodrilos.....	9
1.5.1 Temperatura de incubación de <i>Crocodylus acutus</i> y <i>Crocodylus moreletii</i>	9
1.5.2 Humedad de incubación en el nido.....	10
1.5.3 Termorregulación.....	10
1.5.4 Relación de los cocodrilos con el agua.....	10
1.6 Efectos del cambio climático en la distribución de las especies.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo general.....	12
2.2 Objetivos particulares.....	12
3. HIPÓTESIS.....	13
4. MÉTODO.....	14
4.1 Obtención de datos.....	14
4.2 Elaboración de la base de datos.....	14
4.3 Modelaje bioclimático.....	15
4.3.1 Modelos de distribución potencial.....	16
4.3.2 Modelos de distribución potencial con cambio climático.....	17
4.4 Análisis de datos.....	17
4.4.1 Análisis de componentes principales.....	17

5. RESULTADOS.....	19
5.1 <i>Crocodylus acutus</i>.....	19
5.1.1 Distribución.....	19
5.1.2 Perfil de la especie.....	20
5.1.3 Análisis de componentes principales.....	21
5.1.4 Análisis de conglomerados (tree clustering).....	22
5.1.5 Modelos de distribución potencial.....	23
5.1.6 Modelos de distribución potencial con cambio climático.....	25
5.1.7 Registro fósil de <i>Crocodylus acutus</i>	31
5.2 <i>Crocodylus moreletii</i>.....	32
5.2.1 Distribución.....	32
5.2.2 Perfil de la especie.....	33
5.2.3 Análisis de componentes principales.....	34
5.2.4 Análisis de conglomerados (tree clustering).....	35
5.2.5 Modelos de distribución potencial.....	36
5.2.6 Modelos de distribución potencial con cambio climático.....	38
5.3 Análisis de componentes principales (ACP) de <i>Crocodylus acutus</i> y <i>Crocodylus moreletii</i>.....	43
6. DISCUSIÓN.....	46
6.1 Mapas de distribución de <i>Crocodylus acutus</i> y <i>Crocodylus moreletii</i>	46
6.2 Perfiles bioclimáticos de <i>Crocodylus acutus</i> y <i>Crocodylus moreletii</i>	46
6.3 Variables climáticas que determinan la distribución de <i>Crocodylus acutus</i> y <i>Crocodylus moreletii</i>	47
6.4 Distribución potencial de <i>Crocodylus acutus</i> y <i>Crocodylus moreletii</i>	47
6.5 Registro fósil de <i>Crocodylus acutus</i>	48
6.6 Modelos de distribución potencial de <i>Crocodylus acutus</i> y <i>Crocodylus moreletii</i> bajo escenarios de cambio climático.....	49
7. CONCLUSIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
APÉNDICE.....	61

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA FAMILIA CROCODYLIDAE EN MÉXICO Y LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

RESUMEN

Se realizó un análisis bioclimático de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*, para establecer los factores climáticos que determinan su distribución, usando registros bibliográficos de presencia de ambas especies. La distribución de *Crocodylus acutus* depende de la temperatura y la de *Crocodylus moreletii* de la precipitación. Se utilizaron datos de 47 localidades de *Crocodylus acutus* y 53 de *Crocodylus moreletii* para el modelaje bioclimático. Se utilizó el programa BIOCLIM para generar un perfil bioclimático, distribución potencial y distribución potencial bajo el efecto del cambio climático de cada especie. Los escenarios de cambio climático utilizados fueron: + 1 °C y -10% en la precipitación y +0.5 °C y -10% en la precipitación, ambos predicen la contracción drástica de la distribución de ambas especies. Los cocodrilos en México han sido poco estudiados y sus poblaciones han declinado por la caza furtiva y la fragmentación de su hábitat, además son organismos de importancia biológica y económica para el país, por lo que los resultados de este estudio pueden contribuir a crear programas de conservación, investigación y manejo sustentable de ambas especies ante el cambio climático.

1. INTRODUCCIÓN y ANTECEDENTES

1.1 Cambio climático

Los cambios en el clima durante el siglo pasado se han registrado como un aumento en la temperatura media superficial, particularmente en latitudes medias y altas, y cambios en las tasas e intensidad de la precipitación (Watson, et al., 1997). Por ejemplo, los promedios anuales de la temperatura en Mesoamérica se han incrementado en casi 1 °C desde 1900. En esta región también se registraron aumentos porcentuales en las precipitaciones, presentándose la mayoría de ellos en la estación lluviosa del verano, sin embargo algunas áreas han tenido reducción en las lluvias (Hullme y Sheard, 1999). El aumento en la temperatura media global esperado para el año 2100 es de entre 1.8 y 4 °C dependiendo del escenario (Fig. 1); y predominancia de sequías en la región con disminución en la precipitación anual promedio de 5% a 20% (Hullme y Sheard, 1999).

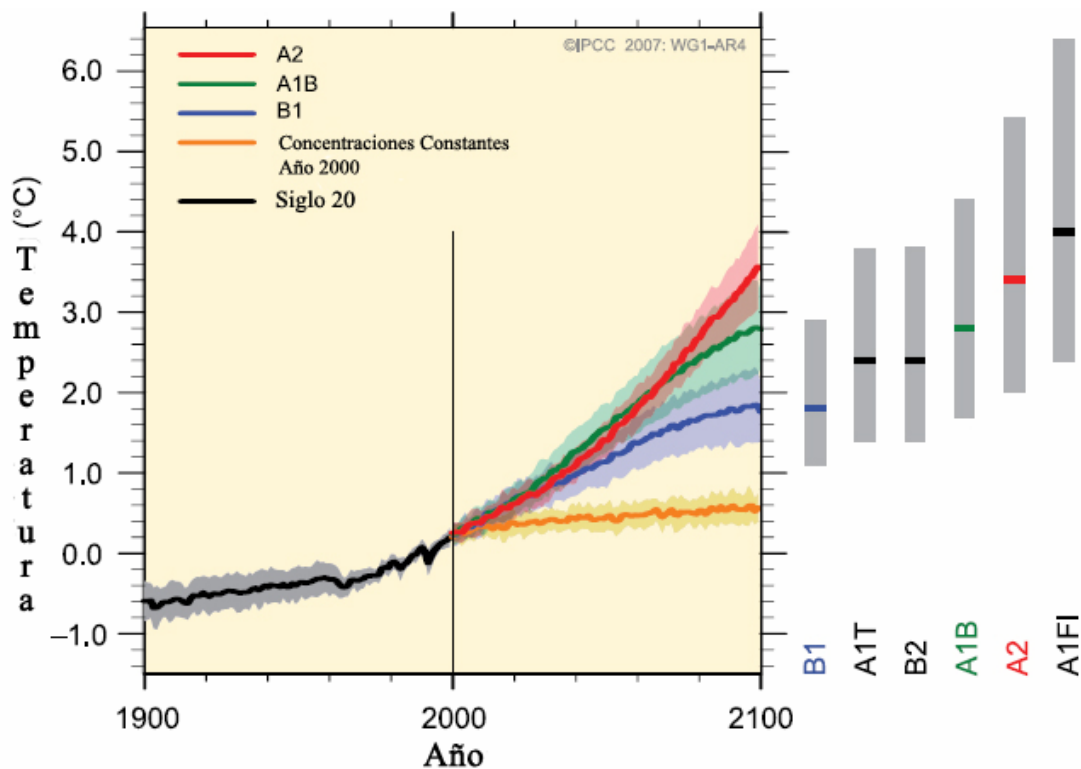


Figura 1. Cambios observados en la temperatura desde 1900 hasta 2000 y escenarios de cambio climático para 2100 (IPCC, 2007).

1.2 Modelaje de nicho ecológico

El modelaje de nicho ecológico, también conocido como modelaje bioclimático, se basa en la teoría del nicho ecológico de Hutchinson (1957) y explica el concepto de nicho como un hipervolumen definido por los intervalos de tolerancia de una especie a todas las variables ambientales que determinan su supervivencia. Este hipervolumen de n dimensiones (cada dimensión es una variable abiótica) se conoce como *nicho fundamental* y corresponde a las condiciones ambientales dentro de las cuáles la especie puede sobrevivir. Sin embargo, las interacciones bióticas negativas (competencia y depredación) no permiten a la especie ocupar todo el espacio físico del nicho fundamental. Así de acuerdo a esta teoría, la porción del nicho fundamental ocupada por la especie en el espacio geográfico es llamada *nicho realizado* (Fig. 2).

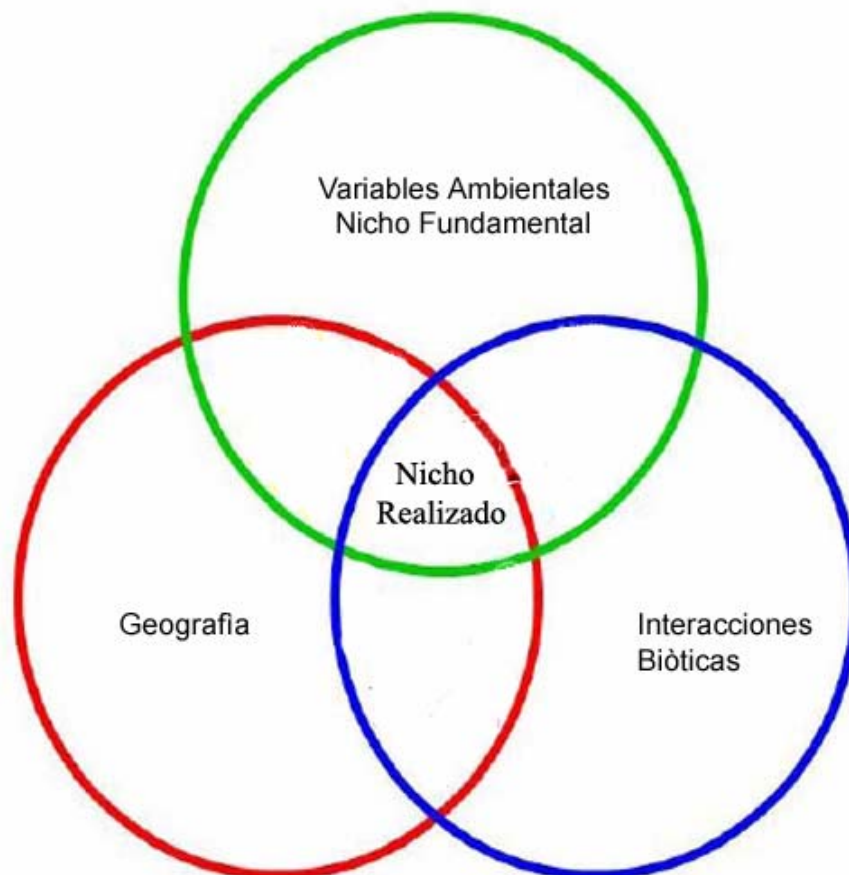


Figura 2. Diagrama de factores que determinan la distribución de las especies (Modificado de Soberón y Peterson, 2005).

Las colecciones científicas de los museos, grupos ambientales y gobiernos cuentan con una gran cantidad de información sobre biodiversidad. Una porción significativa de la información son registros de puntos geográficos de presencia de las especies. Debido a que la mayoría de los datos de especies tienen una cobertura geográfica incompleta, la predicción de distribuciones como superficies probables puede proveer una cobertura de distribución potencial incluso en áreas donde no hay datos disponibles (Stockwell y Peters, 1999).

Dos de los métodos de modelaje bioclimático más usados en México son GARP (Stockwell y Peters, 1999) y BIOCLIM (Nix, 1986a), ambos programas de cómputo utilizan un algoritmo para predecir la distribución potencial de las especies. GARP (por sus siglas en inglés *Genetic Algorithms for Rule-set Prediction*) implementa un algoritmo genético que infiere el nicho ecológico a partir de algoritmos computacionales múltiples en un ambiente de “aprendizaje”; en este sentido GARP relaciona las características ecológicas de los puntos de ocurrencia a un conjunto de puntos que se remuestran, con la finalidad de producir una lista de reglas condicionales que predicen presencia o ausencia de la especie a través del escenario geográfico que se está analizando (Navarro, et al., 2003).

Por su parte, el algoritmo implementado en BIOCLIM (Nix, 1986a) se basa en los intervalos de los valores obtenidos para cada cobertura climática electrónica con base en los valores observados que se obtienen a partir de los puntos de presencia conocidos del taxón estudiado. El método considera a cada variable como independiente, de tal manera que ignora las relaciones entre variables (Navarro, et al., 2003). BIOCLIM ha sido utilizado para modelaje de mamíferos (Fischer, et al., 2001;), reptiles (Nix, 1986b; Fischer y Lindenmayer, 2005), aves (Manning, et al., 2005), anfibios (Penman, et al., 2005), plantas (Lindenmayer, et al., 1996; Téllez, et al. 2004) e impactos del cambio climático (Beaumont y Hughes, 2002; Téllez y Dávila-Aranda, 2003; Téllez, et al., 2006).

1.3 Descripción y distribución de las especies de cocodrilos mexicanos

1.3.1 Orden Crocodylia. Los cocodrilos son largos, cuadrúpedos y semiacuáticos con colas robustas, musculosas y comprimidas lateralmente que utilizan para impulsarse en el nado. Tienen 4 dedos palmeados en las extremidades anteriores y 5 en las posteriores. La cabeza es comprimida y el hocico alargado. Los ojos y las narinas externas están elevados y sobresalen del agua mientras el animal se encuentra sumergido. La apertura auditiva y las narinas externas son valvulares. También tienen una válvula en la garganta, anterior a las narinas internas que permite al animal respirar mientras sujeta con las mandíbulas a su presa bajo el agua. Todos los cocodrilos son ovíparos, algunas especies muestran comportamientos sociales elaborados, como cuidado maternal. Los cocodrilos son considerados circuntropicales en distribución, aunque ciertas especies se distribuyen en los subtrópicos (Lee, 1996; 2000)

1.3.2 Estado de conservación de los crocodilianos en México. Los cocodrilos en México han sido sobre explotados para el comercio de sus pieles causando declinación y extinción de poblaciones locales. Para conservar los cocodrilos se han tomado medidas que prohíben su comercio, pero también son necesarios estudios sobre su biología y distribución, que permitan implementar programas de conservación frente al ya inevitable cambio climático global. La pérdida de hábitat es otro factor de riesgo para su supervivencia (Álvarez y Sigler, 2001), Magnusson (2002) propone que la conservación y protección de los ambientes acuáticos es necesaria para tener éxito en la conservación de los crocodilianos.

El familia Crocodylidae se encuentra representada en México por dos especies: *Crocodylus acutus* (cocodrilo de río), *Crocodylus moreletii* (cocodrilo de pantano) (INE, 2000; Lee, 1996; 2000). Ambas se encuentran en el Apéndice 1 de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) están consideradas en peligro de extinción. CITES prohíbe el comercio internacional de sus ejemplares, excepto cuando la

importación se realiza con fines no comerciales. También se encuentran en la NOM-059-ECOL-2001 bajo la categoría “sujetas a protección especial (Pr)”.

1.3.3 *Crocodylus acutus* (Cuvier, 1807). *C. acutus* presenta un hocico relativamente alargado. Puede alcanzar un longitud de hasta 6 mts., pero en promedio mide entre 2.3 y 4 mts. Los machos tienden a ser más grandes que las hembras y a tener una mandíbula más musculosa. Los adultos tienen un color dorsal verde grisáceo, café grisáceo o verde olivo, con bandas oscuras en el cuerpo y la cola, este patrón es más visible en juveniles. El vientre es color crema, blanco o amarillo. Las escamas subcaudales están dispuestas en verticilos generalmente sin interrupción por grupos irregulares de escamas más pequeñas (Fig. 3), hocico relativamente delgado, dos veces más largo que ancho y sutura premaxilar-maxilar en forma de V ó W (Lee, 1996; 2000) (Fig.4).

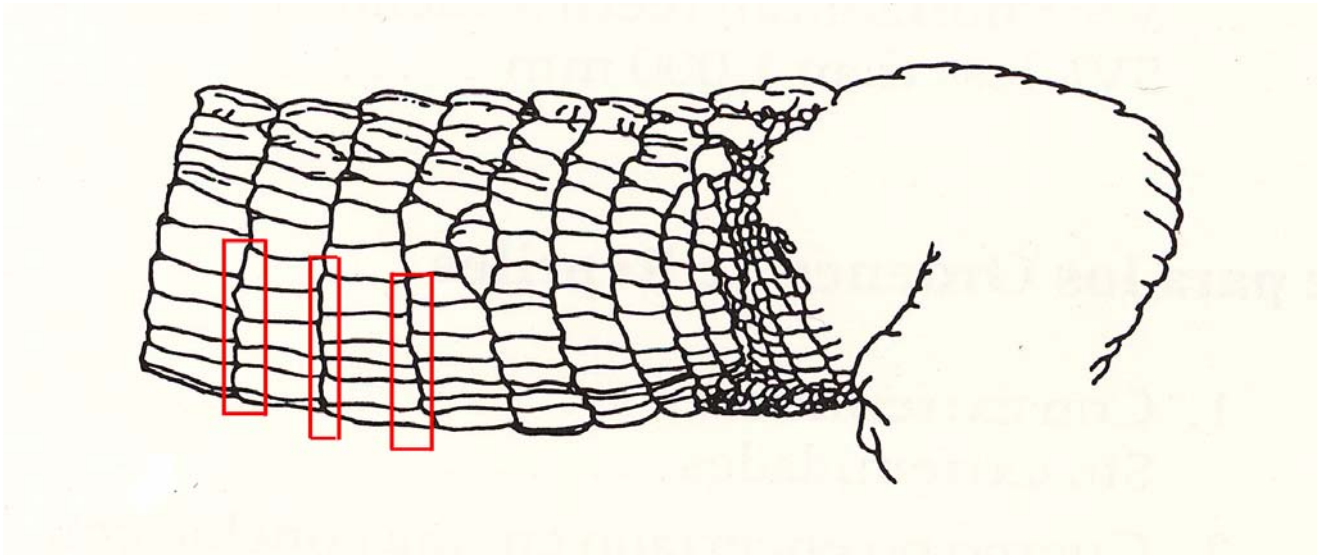


Figura 3. Vista ventrolateral de la cola de *Crocodylus acutus* (Lee, 2000).

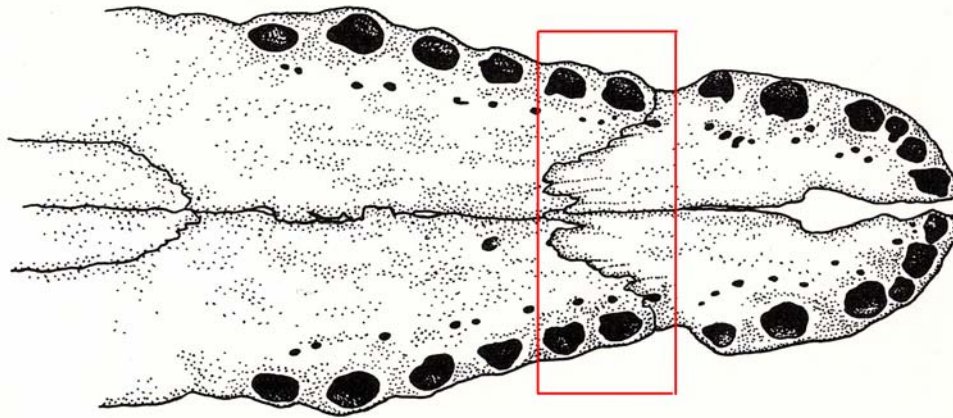


Figura 4. Vista ventral de la porción anterior del cráneo de *Crocodylus acutus* (Lee, 2000).

Esta especie se distribuye en las costas del Pacífico y el Atlántico desde los Estados Unidos de Norteamérica y México hasta Colombia a través del Caribe y la Isla de Pinos. En México está registrado para los estados de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Chiapas, Yucatán y Quintana Roo. Habita ríos caudalosos, lagos, lagunas profundas y zonas costeras como manglares, estuarios y lagunas costeras (INE, 2000).

1.3.4 *Crocodylus moreletii* (Duméril y Duméril, 1851). *C. moreletii* tiene el hocico redondeado y relativamente corto. Mide en promedio entre 2 y 3.5 mts. de longitud. La parte dorsal de la cabeza y el cuerpo están cubiertos de escamas óseas. La cola está lateralmente comprimida y presenta grupos de pequeñas escamas intercaladas entre los verticilos subcaudales (Fig. 5). Los adultos tienen una coloración café oscuro que puede llegar a ser casi negra. Los juveniles son de color amarillo en el dorso con bandas negras transversales en la cola y en el cuerpo. El hocico es relativamente ancho, 1.5 veces más largo que ancho, la sutura premaxilar-maxilar es transversal (Lee, 1996; 2000) (Fig. 6).

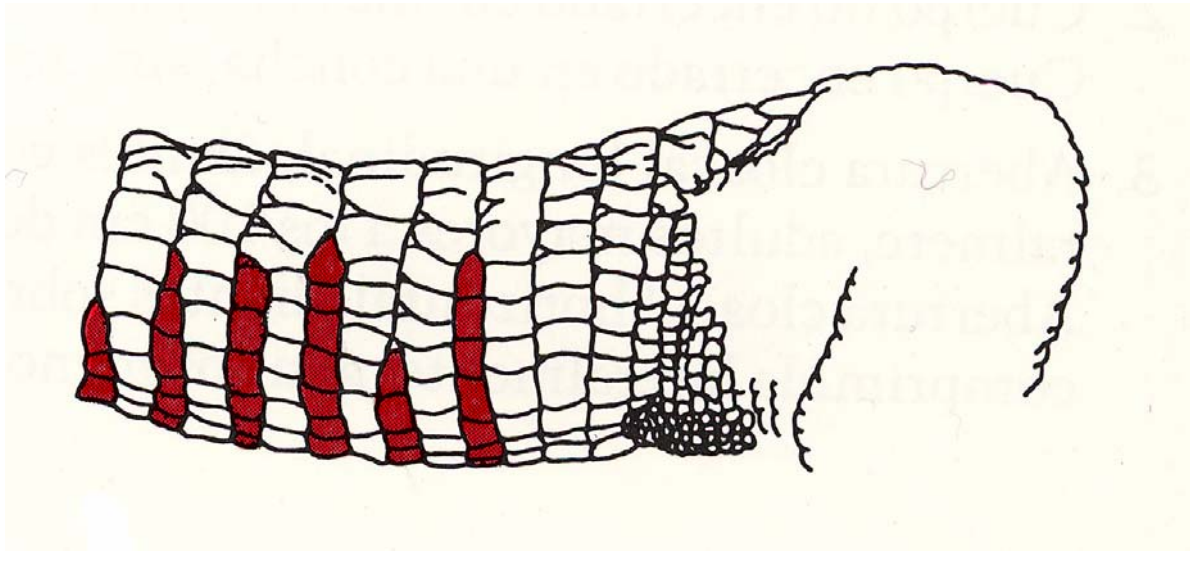


Figura 5. Vista ventrolateral de la cola de *Crocodylus moreletii* (Lee, 2000).

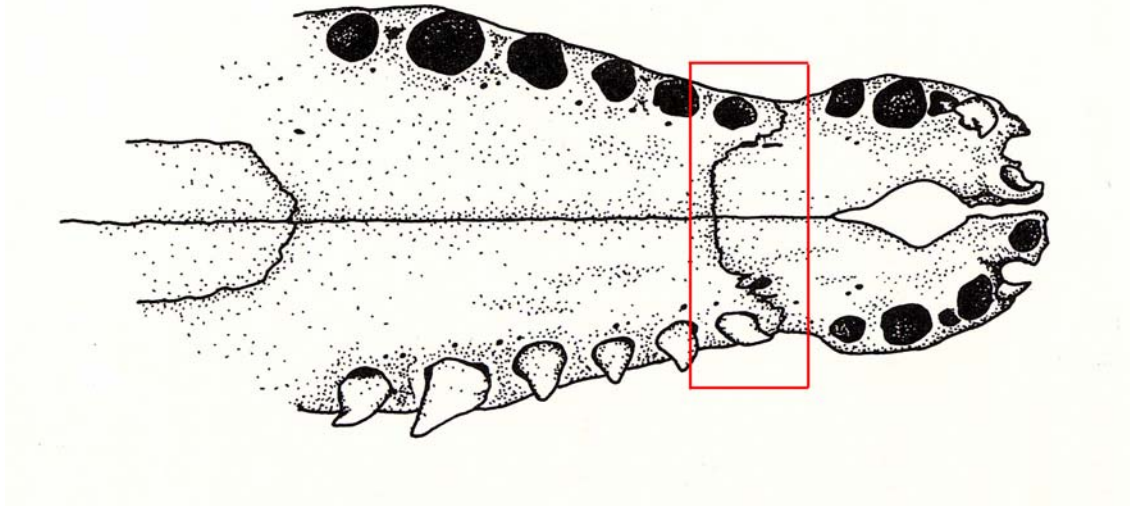


Figura 6. Vista ventral de la porción anterior del cráneo de *Crocodylus moreletii* (Lee, 2000).

Se distribuye en la costa del Golfo de México hasta la Península de Yucatán, Belice y norte de Guatemala. En México está registrado para los estados de Tamaulipas, San Luis Potosí, Veracruz, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Yucatán y Chiapas. Habita arroyos, ciénagas, lagunas, ríos de corriente lenta y raras veces en ríos caudalosos, no vive en aguas salobres (INE, 2000).

1.4 Registro fósil de cocodrilos

Markwick (1998) utilizó el registro fósil de cocodrilos para la reconstrucción de paleoclimas y concluyó que los cocodrilos extendieron su distribución a latitudes altas en los intervalos de calentamiento de la tierra (Cretácico) y restringieron su distribución a latitudes bajas en los intervalos de enfriamiento de la tierra (Oligoceno-Plioceno). La restricción de la distribución en el Plioceno coincide con cambios en la estacionalidad de la temperatura en latitudes altas y con la aridificación y calentamiento de los interiores continentales en latitudes medias. Con base en lo anterior Markwick (1998) concluyó que la temperatura fue el principal factor climático responsable de limitar la distribución de los cocodrilos del Reciente y debido a que los cuerpos de agua son un amortiguador para los cocodrilos contra temperaturas extremas la aridez también fue un factor limitante en su distribución.

1.5 Fisiología de cocodrilos

1.5.1 Temperatura de incubación de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*. La determinación sexual dependiente de la temperatura en crocodilianos se reportó por primera vez en el Lagarto Americano (*Alligator mississippiensis*) por Ferguson y Joanen (1982). Estudios subsecuentes en el laboratorio y en el campo han demostrado que la determinación sexual dependiente de la temperatura ocurre en las familias Crocodylidae, Alligatoridae y Gavialidae. Todos los crocodilianos presentan un patrón de determinación sexual hembra-macho-hembra, esto es, las hembras se producen a bajas y altas temperaturas dentro del intervalo viable y los machos en temperaturas intermedias. El intervalo de temperatura de incubación que produce nidadas viables en crocodilianos va de los 28 °C a los 34 °C (Deeming, 2004).

Para *Crocodylus acutus* a 30 y 34 °C se producen 100% hembras, mientras que a 32°C se producen machos y hembras en proporción 1:1 (Aguilar, 1995). Para *Crocodylus moreletii* a 34 °C se producen 100% machos, a 30 y 32 °C se

producen 100% hembras, y a 33 °C se producen machos y hembras en proporción 1:1 (Aguilar, 1995; Lang y Andrews, 1994).

El periodo de incubación depende tanto de la especie como de la temperatura de incubación. Este periodo aumenta si la temperatura es baja y disminuye si la temperatura aumenta siendo el intervalo del periodo de 60 a 90 días (Huchzermeyer, 2003).

1.5.2 Humedad de incubación en el nido. Un desarrollo embrionario correcto depende no sólo de la temperatura sino también de la humedad. Se ha demostrado que las sequías prolongadas causan deshidratación del huevo, un factor importante de mortalidad (Joanen y McNease, 1989). El periodo de anidación corresponde al periodo del año en el que las condiciones de humedad y temperatura se encuentran sincronizadas (Webb, 1989). En los meses de abril y mayo, y los nacimientos en los meses de junio y agosto (Álvarez del Toro y Sigler, 2001; Casas-Andreu, 2003).

1.5.3 Termorregulación. Los cocodrilos han sido caracterizados como buscadores de calor y termorreguladores, sin embargo las especies que viven en climas tropicales evitan temperaturas ambientales altas. Las preferencias térmicas (temperaturas corporales) controlan directamente las tasas metabólicas y el uso de energía. Las especies tropicales evitan calentarse para reducir la tasa metabólica y así ahorrar cantidades significativas de energía. Si los cocodrilos se mantienen a temperaturas altas constantes y no hay comida disponible sufren pérdida de peso, estrés y hasta la muerte. Por esto se infiere que el ambiente térmico juega un papel muy importante en la salud y crecimiento de los cocodrilos (Lang, 1987).

1.5.4 Relación de los cocodrilos con el agua. Un recurso limitante en la distribución de los cocodrilos es la presencia de cuerpos de agua y/o ambientes acuáticos (Magnusson, 2002) su forma de vida es anfibia y se encuentran cerca o en los cuerpos de agua (Trutnau y Somerland, 2006). Los cuerpos de agua son

indispensables para los cocodrilos puesto que sirven como amortiguadores en contra de temperaturas extremas. La respuesta de los cocodrilos ante calor extremo o frío extremo es buscar agua (Spotila, et al., 1972; Lang, 1987).

1.6 Efectos del cambio climático en la distribución de las especies

Las dimensiones físicas de los cambios han sido analizadas en detalle, pero los efectos en la biodiversidad no están bien estudiados ni entendidos y sólo existen algunos ejemplos sobre los efectos estimados para algunas especies o tipos de hábitat. Existen tres posibilidades de respuesta de las especies al cambio climático: migración, adaptación y extinción. Si las especies son suficientemente móviles se trasladarán geográficamente a nuevas áreas siguiendo en concordancia con sus nichos ecológicos, que les permitan mantener sus poblaciones. Si son capaces de tener un cambio evolutivo rápido o sus límites de tolerancia son altos se adaptarán a las nuevas condiciones. En caso que no sucediera ninguna de las dos posibilidades, las especies se extinguirán (Holt, 1990).

Para entender el impacto del cambio climático es importante poder predecir de manera confiable las distribuciones potenciales actuales y futuras de las especies (Beaumont, et al., 2005). Los modelos de distribución potencial de las especies tienen una gran cantidad de aplicaciones entre ellas dar una idea de la biología y biogeografía de las mismas (Anderson, et al., 2002; Steinbauer, et al., 2002), identificar sitios de riesgo de especies en peligro (Godown y Peterson, 2000) o identificar áreas prioritarias de conservación (Chen y Peterson, 2002). Es importante remarcar que actualmente los modelos de distribución de las especies son el único medio para evaluar la magnitud potencial de los cambios en la distribución de múltiples especies en respuesta al cambio climático (Beaumont, et al., 2005).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Evaluar los efectos que el cambio climático tendrá en la distribución de la familia Crocodylidae en México.

2.2 Objetivos Particulares

- Obtener los mapas de distribución de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii* en México.
- Obtener el mapa de distribución de fósiles de *Crocodylus acutus*.
- Determinar en que áreas hidrológicas prioritarias se distribuye *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*.
- Obtener los perfiles bioclimáticos para *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*.
- Modelar el nicho ecológico de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii* utilizando BIOCLIM para obtener la distribución potencial de ambas especies.
- Determinar qué variables climáticas son importantes para la distribución de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*.

3. HIPÓTESIS

- Por las características fisiológicas y requerimientos de hábitat de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*, los factores limitantes para su distribución serán la temperatura y la precipitación.
- Las especies presentarán un cambio de distribución como respuesta al cambio climático. Migrando a latitudes mayores y/o al interior del continente, en busca de nichos ecológicos o áreas que les permitan mantener sus poblaciones. No se espera que migren a latitudes medias debido a que estas sufrirán un mayor calentamiento que las latitudes altas.
- Suponemos que *Crocodylus acutus* migrara a latitudinalmente al norte y al interior del continente regresando a su distribución en el pasado, la cual es conocida a partir del registro fósil.
- En caso de que no existan nuevos nichos ecológicos en concordancia con sus nichos ecológicos, las especies restringirán su distribución.

4. MÉTODO

4.1 Obtención de datos

Los datos se obtuvieron a partir de una revisión bibliográfica de trabajos que registraron localidades de *Crocodylus acutus*, *Crocodylus moreletii* y de registros de fósiles de *Crocodylus acutus* en México, se revisaron los acervos de la Biblioteca de la Facultad de Ciencias, UNAM; Biblioteca del Instituto de Biología, UNAM; Biblioteca del Instituto de Ecología, UNAM; Biblioteca del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM; Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana y la *Crocodile Specialist Group Newsletter*.

4.2 Elaboración de la base de datos

Se construyó una base de datos para cada especie con la siguiente información: especie, estado, localidad, latitud, longitud y altitud. Las referencias geográficas en grados decimales de latitud y longitud se obtuvieron del gacetero Calle (www.calle.com) y de la base de localidades del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, <http://www.inegi.gob.mx>). Las localidades no encontradas por estos medios se buscaron directamente en los mapas de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, <http://www.conabio.gob.mx>). Los datos de altitud se obtuvieron utilizando un modelo digital de elevación de México y el programa ArcView 3.2 (ESRI, 2000). Las tablas resultantes de la base de datos se guardaron en formato D-Base IV para visualizarlas en el programa ArcView 3.2 (ESRI, 2000). Se creó una vista para cada especie en la que se incluyó el mapa digitalizado de división política de México y el de regiones hidrológicas prioritarias de la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO).

4.3 Modelaje bioclimático

El programa empleado en el modelaje bioclimático fue ANUCLIM (Houlder, et al., 2000) que utiliza superficies climáticas (archivos digitales en formato *raster*) interpoladas matemática y estadísticamente, creadas a partir de la información de una red de estaciones meteorológicas. Las superficies climáticas usadas fueron proporcionadas por el Dr. Oswaldo Téllez, generadas mediante el método de “*thin plate smoothing spline*” con el paquete ANUSPLIN (Hutchinson, 1999), incluyendo valores mensuales promedio de precipitación y temperatura para periodos a largo plazo (mayores a 20 años) en más de 6500 estaciones meteorológicas (datos de 4000 estaciones fueron usados para los valores de temperatura y datos de 6218 estaciones para los valores de precipitación). Los errores promedio estimados de estas superficies climáticas varían entre 8% y 13% para los valores de precipitación promedio y de 0.4 °C a 0.5 °C para los valores de temperatura (Hutchinson, 1995; Nix, 1986b).

BIOCLIM es un programa del paquete ANUCLIM que requiere de un modelo digital de elevación (MDE) del área de estudio y registros georeferenciados de presencia de la especie (localidad, longitud, latitud y altitud). Con estos datos el programa genera un perfil bioclimático (máximos, mínimos, promedio y desviación estándar) de cada localidad y de toda la especie con base en la acumulación de frecuencias de las celdas en que los registros de presencia de la especie ocurren a partir de los 19 parámetros de temperatura y precipitación mostrados en el Cuadro 1 (Lindenmayer, et al., 1996).

Los datos del perfil bioclimático de la especie por cada localidad se sometieron a un análisis de conglomerados (cluster analysis), que tiene como finalidad clasificar distintos objetos (localidades) en grupos, de manera que el grado de asociación entre los objetos (localidades) sea el máximo si pertenecen al mismo grupo y el mínimo si no (Hill y Lewicki, 2006). El programa usado para hacer este análisis fue PATN (Belbin, 1995a; 1995b) y el tipo de análisis de conglomerados fue el de árbol de conglomerados (tree clustering) con el criterio de métrica de Gower.

Cuadro 1. Parámetros utilizados en el modelaje bioclimático (BIOCLIM).

No.	Parámetros
1	Temperatura promedio anual
2	Oscilación diurna de la temperatura
3	Isotermalidad
4	Estacionalidad de la temperatura
5	Temperatura máxima promedio del mes más cálido
6	Temperatura mínima promedio del mes más frío
7	Oscilación anual de la temperatura
8	Temperatura promedio del trimestre más lluvioso
9	Temperatura promedio del trimestre más seco
10	Temperatura promedio del trimestre más cálido
11	Temperatura promedio del trimestre más frío
12	Precipitación anual
13	Precipitación del periodo más lluvioso
14	Precipitación del periodo más seco
15	Estacionalidad de la precipitación
16	Precipitación del trimestre más lluvioso
17	Precipitación del trimestre más seco
18	Precipitación del trimestre más cálido
19	Precipitación del trimestre más frío

Con base en los árboles obtenidos del análisis se hicieron nuevas bases de datos de las localidades para cada especie (7 para *Crocodylus acutus* y 8 para *Crocodylus moreletii*), con la finalidad de disminuir el error de sobreestimación en los modelos.

4.3.1 Modelos de distribución potencial. BIOCLIM utiliza el principio de *homoclima* que consiste en comparar el perfil bioclimático de la especie con una cuadrícula de índices bioclimáticos (Cuadro 1), de esta manera se obtiene un archivo con una cuadrícula de puntos cuyas condiciones climáticas encajan con las del perfil bioclimático de la especie (Lindenmeyer, et al., 1996). La búsqueda homoclimática se llevó a cabo en cinco intervalos percentiles del perfil bioclimático: valores extremos mínimos y máximos (entre 0% y 100%) y menos extremos (2.5%-97.5%, 5%-95%, 10%-90% y 25%-75%), (Téllez, et al., 2004). Se obtuvo una cuadrícula de índices en formato ARCINFO ASCII GRID con el programa BIOMAP y el modelo digital de elevación (MDE) para cada especie. La resolución de las cuadrículas fue de 30arc segundos (aproximadamente 1km² de

superficie) y se visualizaron con el programa ArcView 3.2 (ESRI, 2000). Para cada especie se hicieron dos mapas, uno que modeló los datos de todas las localidades y otro que usó los resultados del análisis de conglomerados para hacer una serie de modelos por zona que fueron unificados para hacer un modelo nacional. A los modelos se les sobrepuso el mapa de Hidrología de la CONABIO.

4.3.2 Modelos de distribución potencial con cambio climático. La magnitud del cambio climático es incierta y se han propuesto una gran cantidad de escenarios del mismo. Con BIOCLIM y el modelo digital de elevación (MDE) se generaron sólo dos escenarios en formato ARCINFO ASCII GRID que proponen: (1) incremento en la temperatura de 1 °C y una reducción del 10% en la precipitación, (2) incremento en la temperatura de 0.5 °C y una reducción del 10% en la precipitación. Para cada escenario se hicieron dos mapas por especie, uno que modeló los datos de todas las localidades y otro que usó los resultados del análisis de conglomerados para hacer una serie de modelos por zona que fueron unificados para hacer un modelo nacional. Las distribuciones predichas por dichos escenarios se visualizaron de la misma manera que los modelos de distribución potencial (Téllez, et al., 2006). Los datos de fósiles no fueron tomados en cuenta para el modelaje.

4.4 Análisis de datos

4.4.1 Análisis de componentes principales (ACP). Asumiendo que cada parámetro climático controla la distribución de las especies de cocodrilos, es esencial determinar la contribución relativa de cada uno de estos parámetros que se encuentran limitando la distribución espacial. Para resolver este problema se usó el Análisis de componentes Principales (ACP), este análisis se realizó con el fin de determinar qué parámetros climáticos son los más importantes en la distribución de cada especie. Sólo se consideraron significativas las variables de BIOCLIM con contribución a los factores mayor a 0.8 (Penman, et al., 2005). El ACP es usado frecuentemente en reducción de datos para identificar un pequeño

número de factores fundamentales que explican la mayor parte de la varianza observada en un número grande de variables (SPSS Inc., 2004). Se utilizó el programa Statistica Ver. 6 (StatSoft, Inc., 2001). Para comprobar si la distribución de las dos especies se explica por factores distintos, se realizó un ACP con los datos de las dos especies juntas.

Las áreas hidrológicas prioritarias dentro de las cuales se encuentran *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii* se obtuvieron con el programa ArcView 3.2 (ESRI, 2000).

La superficie de la distribución potencial actual y la distribución potencial bajo efectos del cambio climático por especie fue calculada con el mismo programa.

5. RESULTADOS

5.1 *Crocodylus acutus*

5.1.1 Distribución. Se encontraron 16 registros bibliográficos con datos de distribución para *Crocodylus acutus* (Casas-Andreu y Reyna, 1994; Castillo, 1996; Cedeño-Vázquez, et al., 1996; Cupul-Magaña, et al., 2003; INE, 2000; Lee, 1996; 2000; Meraz, 2006; Muñiz, 1997; Navarro-Serment, 2003; Ponce-Campos y Huerta-Ortega, 1996; Ross, 2000; Sigler, 1995; 2002a; 2002b; Thorbjarnarson, 1998).

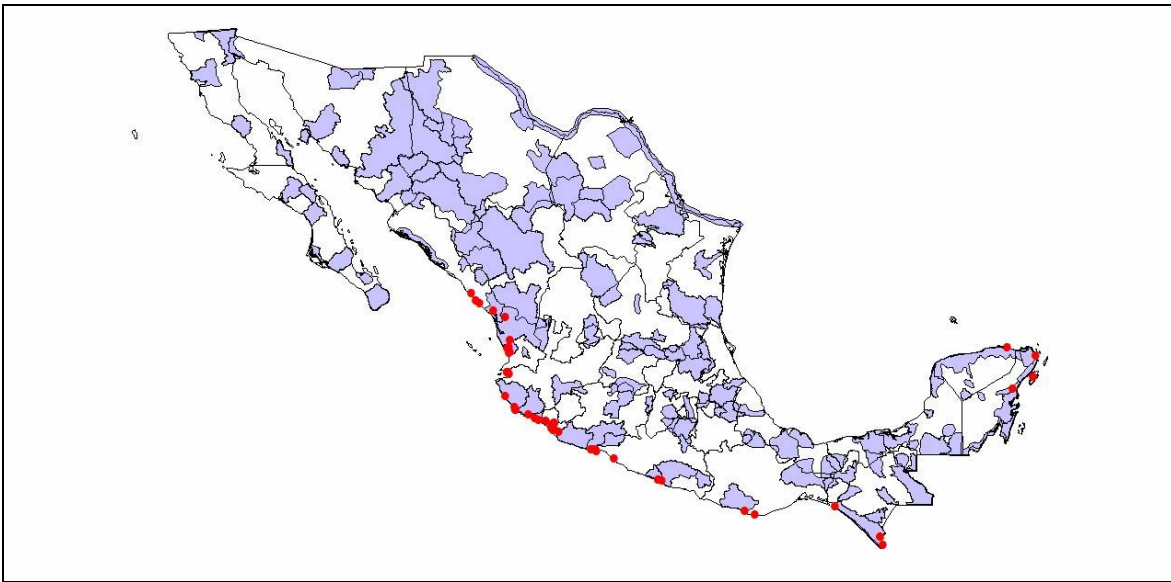


Figura 7. Distribución de *Crocodylus acutus* con relación a las regiones hidrológicas prioritarias.

Con las referencias bibliográficas se creó una base de datos que arrojó un total de 47 localidades únicas (Cuadro 1 del Apéndice) para los estados de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Quintana Roo y Yucatán (Fig.7). El número de localidades por estado se muestran en el cuadro 4 del apéndice. *Crocodylus acutus* se distribuye en 15 de las 110 regiones hidrológicas prioritarias de México (Cuadro 4 del Apéndice).

5.1.2 Perfil de la especie El perfil bioclimático de la especie obtenido tras procesar los datos de las 47 localidades de *Crocodylus acutus* en BIOCLIM con las georeferencias (localidad, longitud, latitud y altitud) y el modelo digital de elevación (MDE), se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Perfil bioclimático de *Crocodylus acutus*.

Parámetro bioclimático	Mínimo-Máximo (Promedio \pm DS)
Temperatura promedio anual (°C)	25-28 (26.3 \pm 0.66)
Oscilación diurna de la temperatura (°C)	8.7-14.8 (12.1 \pm 1.34)
Isotermalidad (2/7) (°C)	0.59-0.79 (0.7 \pm 0.05)
Estacionalidad de la temperatura (C de V) (%)	0.2-1.11 (0.6 \pm 0.24)
Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)	32.4-36.1 (33.9 \pm 0.83)
Temperatura mínima promedio de periodo más frío (°C)	12.5-20.8 (16.6 \pm 2.11)
Oscilación anual de la temperatura (5-6) (°C)	11.5-23.4 (17.3 \pm 2.56)
Temperatura promedio del trimestre más lluvioso (°C)	26.1-29.1 (28.1 \pm 0.61)
Temperatura promedio del trimestre más seco (°C)	23.7-27.4 (25.1 \pm 0.93)
Temperatura promedio del trimestre más cálido (°C)	27.1-29.1 (28.3 \pm 0.44)
Temperatura promedio del trimestre más frío (°C)	21-27.3 (24 \pm 1.51)
Precipitación anual (mm)	688-2929 (1104 \pm 383.08)
Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	33-133 (70 \pm 20.84)
Precipitación del periodo más seco (mm)	-
Estacionalidad de la precipitación (C de V) (%)	52-131 (110 \pm 19.19)
Precipitación del trimestre más lluvioso (mm)	324-1406 (718 \pm 237.91)
Precipitación del trimestre más seco (mm)	0-150 (11 \pm 34.88)
Precipitación del trimestre más cálido (mm)	231-1028 (578 \pm 210.7)
Precipitación de trimestre más frío (mm)	9-228 (44 \pm 46.11)

El perfil bioclimático de *Crocodylus acutus* para los 19 parámetros climáticos utilizados se muestra en el cuadro 2. La precipitación del periodo más seco del año (semana más seca del año) es 0, esto se debe a que en todos los sitios donde se encuentra la especie hay por lo menos toda una semana al año en la que no hay precipitación.

5.1.3 Análisis de componentes principales. BIOCLIM generó un perfil general de *Crocodylus acutus* y también un perfil para cada localidad, lo que resultó en 47 perfiles distintos.

Cuadro 3. Contribución de cada parámetro bioclimático a los factores (CP) para *Crocodylus acutus*.

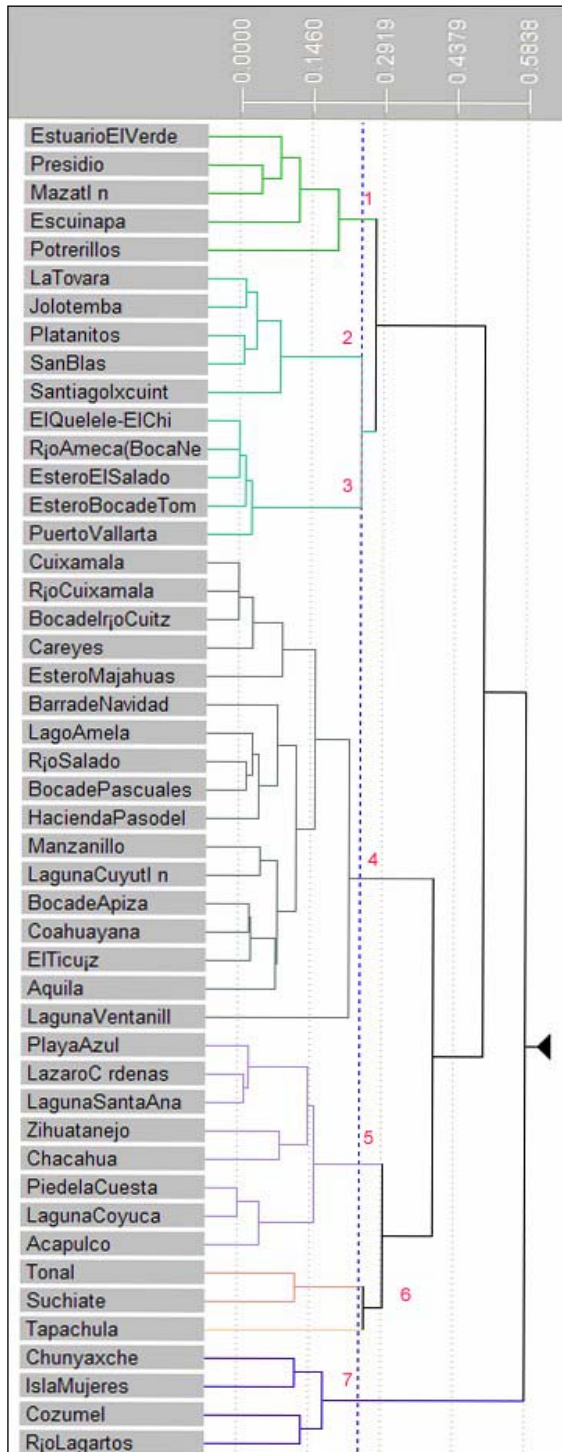
Parámetro Climático	CP 1	CP 2	CP 3
Temperatura promedio anual	0.788087	0.504016	-0.212731
Oscilación diurna de la temperatura	-0.709109	0.165256	-0.191135
Isotermalidad	0.815366	0.409895	-0.169274
Estacionalidad de la temperatura	-0.965202	-0.191682	0.048510
Temperatura máxima promedio del mes más cálido	-0.396447	0.374244	-0.127385
Temperatura mínima promedio del mes más frío	0.948987	0.208413	0.024618
Oscilación anual de la temperatura	-0.917907	-0.053377	-0.060002
Temperatura promedio del trimestre más lluvioso	-0.673221	0.404283	-0.379818
Temperatura promedio del trimestre más seco	0.840347	0.371777	-0.047187
Temperatura promedio del trimestre más cálido	-0.608215	0.479358	-0.326155
Temperatura promedio del trimestre más frío	0.905865	0.363307	-0.145204
Precipitación anual	0.154688	0.335360	0.857650
Precipitación del periodo más lluvioso	-0.082433	0.638761	0.749505
Estacionalidad de la precipitación	-0.503746	0.728632	-0.164764
Precipitación del trimestre más lluvioso	-0.212794	0.570074	0.790858
Precipitación del trimestre más seco	0.292548	-0.827064	0.371955
Precipitación del trimestre más cálido	-0.554877	0.378935	0.552520
Precipitación del trimestre más frío	0.040387	-0.844623	0.428458
Porcentaje de Varianza	0.427525	0.236293	0.165795

El análisis de componentes principales (ACP) de los 47 perfiles bioclimáticos para los parámetros climáticos de temperatura y precipitación (Cuadro 1) redujo el número de parámetros a tres componentes principales interpretables que explican el 83% de la varianza de los datos (Cuadro 3). El primer componente (CP1) representa el 42.75% de la varianza y se encuentra dominado por la temperatura (estacionalidad de la temperatura y temperatura mínima promedio del mes más frío). El segundo componente (CP2) representa 23.62% de la varianza, los valores del CP2 están más correlacionados con la precipitación (precipitación del trimestre más frío y precipitación del trimestre más seco). El tercer componente (CP3), con el 16.57% de la varianza, está correlacionado con la precipitación al

igual que el CP2, siendo la precipitación anual el parámetro climático más relacionado con el CP3.

La temperatura parece ser el principal factor climático limitante para la distribución de *Crocodylus acutus* en la actualidad.

5.1.4 Análisis de conglomerados (tree clustering)



El análisis de conglomerados realizado para *Crocodylus acutus* (Fig. 8) mostró el grado de asociación de las 47 localidades, resultando así un árbol de conglomerados con siete ramas principales. La primera rama son localidades en Sinaloa y la frontera con Nayarit, la segunda rama corresponde Nayarit, la tercera rama a Bahía Banderas (Norte de Jalisco y Sur Nayarit), la cuarta rama a Jalisco, Colima y Norte de Michoacán, la quinta al Sur de Michoacán y Guerrero, la sexta a Chiapas y la séptima a Quintana Roo y Yucatán. Con base en estas ramas se hicieron nuevas bases de datos que fueron usadas para correr los modelos de distribución potencial de *Crocodylus acutus* con análisis de conglomerados.

Figura 8. Análisis de Conglomerados (tree clustering) para *Crocodylus acutus*

5.1.5 Modelos de distribución potencial. Se obtuvieron dos modelos de distribución potencial de *Crocodylus acutus*, uno fue obtenido usando los datos de las 47 localidades (Fig. 9) y para el otro se usaron los datos de cada una de las ramas del análisis de conglomerados por separado para obtener 7 modelos regionales que fueron unificados en un solo modelo nacional (Fig. 10)

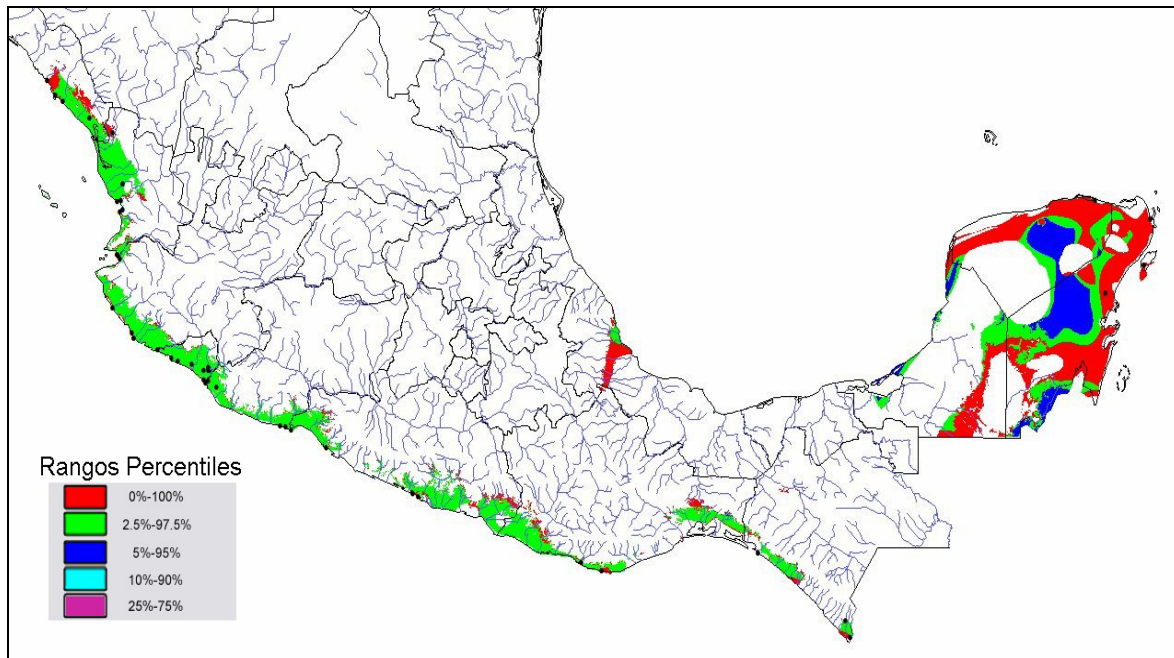


Figura 9. Distribución potencial de *Crocodylus acutus*.

Cuadro 4. Área potencial de *Crocodylus acutus*.

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	53,261
2.5%-97.5%	73,423
5%-95%	18,635
10%-90%	0
25%-75%	0
Total	145,319

La figura 9 muestra la distribución potencial de *Crocodylus acutus* que cubre un área total de 145,319 km² (Cuadro 4). Todas las localidades utilizadas se encuentran dentro del área de distribución potencial. El modelo predijo un área de distribución potencial para los estados de Veracruz y Campeche, por que las

condiciones de temperatura y precipitación encajan con las del perfil de *Crocodylus acutus*. Sin embargo no hay registros de la especie para estos estados.



Figura 10. Distribución potencial de *Crocodylus acutus* con análisis de conglomerados (tree clustering).

Cuadro 5. Área potencial de *Crocodylus acutus* con análisis de conglomerados (tree clustering).

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	437
2.5%-97.5%	758
5%-95%	1,367
10%-90%	2,467
25%-75%	403
Total	5,512

El área de distribución potencial de *Crocodylus acutus* con análisis de conglomerados fue de 5,512 km² (Cuadro 5). Las áreas obtenidas en este modelo son menores que las del modelo sin este análisis. Las siete ramas del análisis de conglomerados solo predicen áreas cercanas a los puntos de presencia (Fig. 10).

5.1.6 Modelos de distribución potencial con cambio climático. Se obtuvieron dos modelos por cada escenario de cambio climático usado, uno considerando todas las localidades y el otro usando las siete ramas del análisis de conglomerados. El primer escenario predijo pérdidas de áreas de distribución. Las áreas que cumplen con las características del perfil de la especie se redujeron por estos cambios en temperatura y precipitación (Fig. 11 y 12).

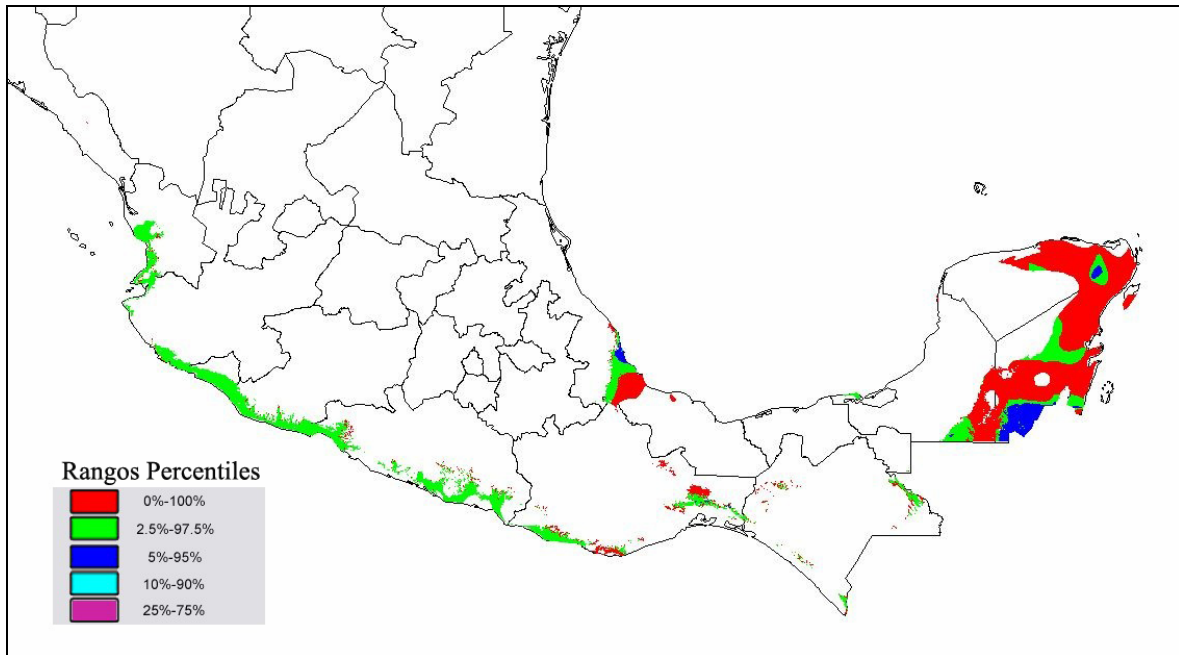


Figura 11. Distribución potencial de *Crocodylus acutus* bajo el escenario de cambio climático de +0.5 °C y -10% de precipitación.

La figura 11 muestra el área de distribución potencial de *Crocodylus acutus* bajo el escenario con aumento en la temperatura de 0.5 °C y menos 10% de precipitación, esta área cubre un total de 108,377 km² (Cuadro 6). En el estado de Sinaloa la especie dejaría de estar presente. En la costa de Jalisco, en Chiapas y en la península de Yucatán se pierden áreas grandes de distribución. La tendencia general del modelo es la pérdida de áreas de distribución en latitudes altas así como en las zonas interiores costeras. Los puntos de presencia de la especie se encuentran dentro de las áreas predichas, excepto los de Sinaloa y la localidad de Potrerillos en Nayarit.

Cuadro 6. Área potencial de *Crocodylus acutus* bajo el escenario de cambio climático de +0.5 °C y -10% de precipitación.

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	60,380
2.5%-97.5%	41,431
5%-95%	6,549
10%-90%	17
25%-75%	0
Total	108,377

El modelo bajo el escenario con aumento en la temperatura de 0.5 °C y menos 10% de precipitación usando las siete ramas del análisis de conglomerados predijo un área de 1,064 km² (Cuadro 7). El modelo predijo distribución únicamente para las localidades de Careyes, Cuixamala, Río Cuixamala, Boca del Río Cuitzamala, Barra de Navidad, Estero Majahuas, Lago Amela, Manzanillo, Laguna Cuyutlán, Hacienda Paso del Río, Río Salado, Boca de Pascuales, Boca de Apiza, El Ticuíz, Coahuayana, Aquila y Laguna Ventanilla, estas corresponden a la rama cuatro del análisis de conglomerados (Fig. 8). Esto significa que las condiciones climáticas de las localidades de las seis ramas restantes cambian de tal manera que la especie no puede sobrevivir, y que tampoco hay otros sitios en donde las condiciones sean las adecuadas para ser ocupadas por *Crocodylus acutus*. Su distribución quedaría restringida a los estados de Jalisco, Colima y Michoacán (Fig. 12).

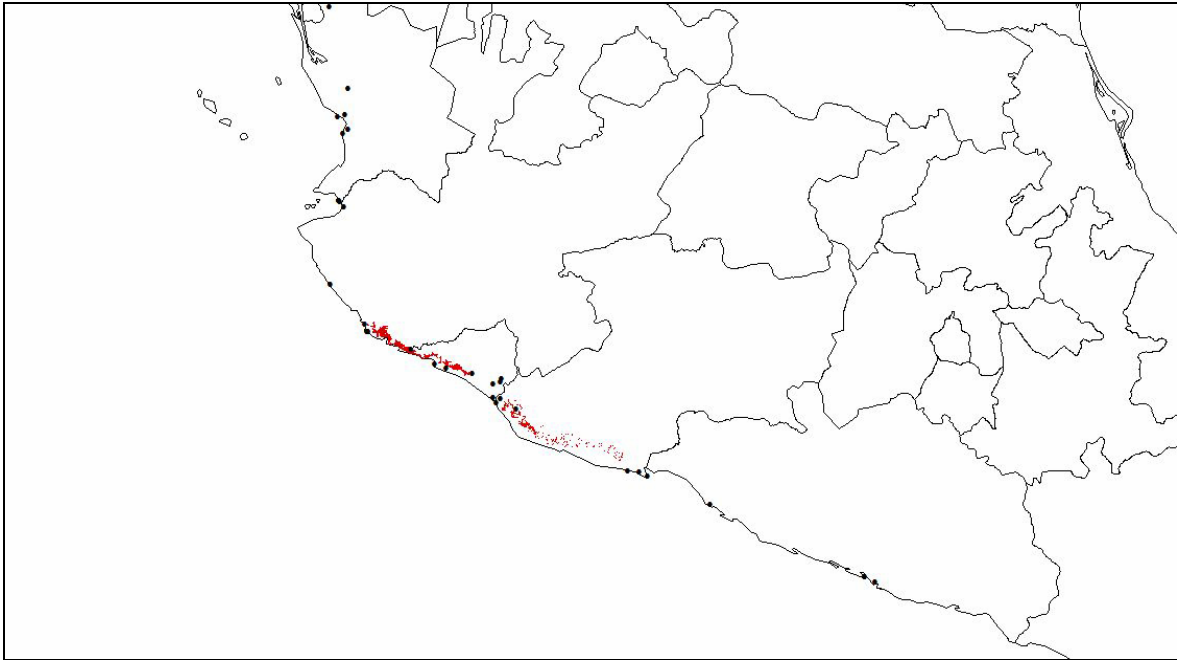


Figura 12. Distribución potencial de *Crocodylus acutus* bajo el escenario de cambio climático de +0.5 °C y -10% de precipitación con análisis de conglomerados (tree clustering).

Cuadro 7. Área potencial de *Crocodylus acutus* bajo el escenario de cambio climático de +0.5 °C y -10% de precipitación con análisis de conglomerados (tree clustering).

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	58
2.5%-97.5%	110
5%-95%	576
10%-90%	320
25%-75%	0
Total	1,064

El segundo escenario que es un poco más drástico, predijo mayor pérdida de áreas de distribución que el primer escenario (Fig. 13 y 14).

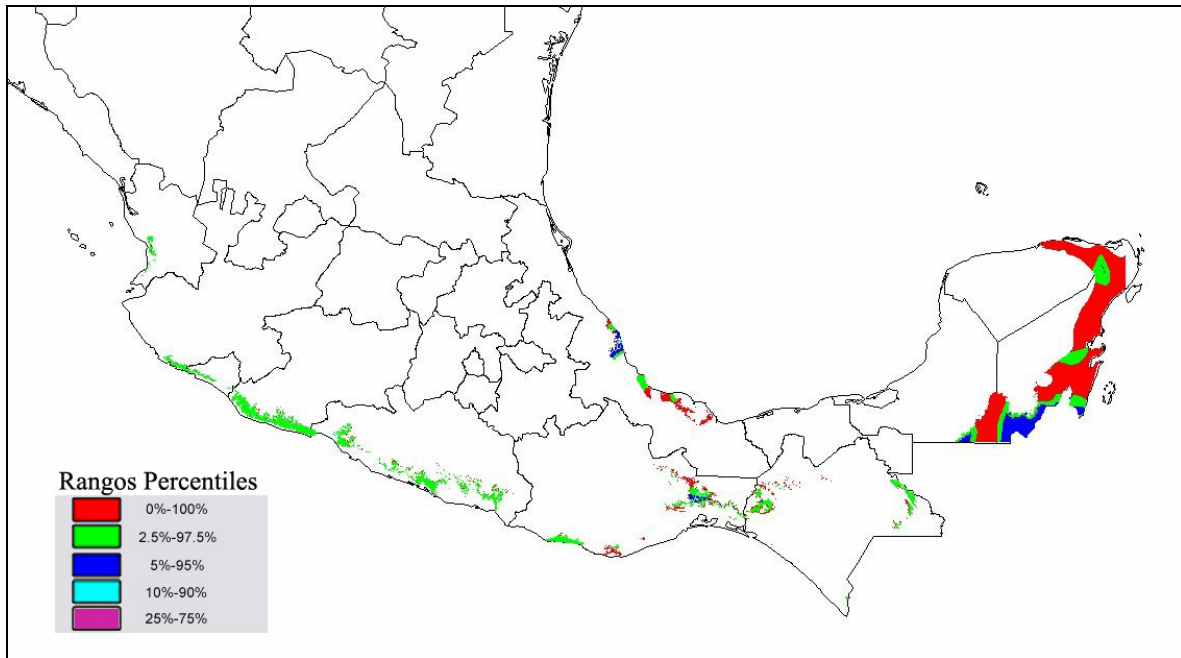


Figura 13. Distribución potencial de *Crocodylus acutus* bajo el escenario de cambio climático de +1 °C y -10% de precipitación.

Cuadro 8. Área potencial de *Crocodylus acutus* bajo el escenario de cambio climático de +1 °C y -10% de precipitación.

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	32,358
2.5%-97.5%	21,138
5%-95%	5,382
10%-90%	90
25%-75%	0
Total	58,968

La figura 13 muestra el área potencial de distribución de *Crocodylus acutus* bajo el escenario de cambio climático de aumento en la temperatura de 1 °C y menos 10% de precipitación. Se pierde la distribución en el estado de Sinaloa. Se

predijo pérdida importante de áreas en Nayarit, Jalisco, Colima, Guerrero, Oaxaca, Chiapas y la Península de Yucatán, sin embargo hay áreas nuevas de distribución en Chiapas y Oaxaca que cumplen con los requerimientos de la especie. El área total predicha fue de 58, 968 km² (Cuadro 8).



Figura 14. Distribución potencial de *Crocodylus acutus* bajo el escenario de cambio climático de +1 °C y -10% de precipitación con análisis de conglomerados (tree clustering).

Cuadro 9. Área potencial de *Crocodylus acutus* bajo el escenario de cambio climático de +1 °C y -10% de precipitación con análisis de conglomerados (tree clustering).

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	6
2.5%-97.5%	8
5%-95%	20
10%-90%	0
25%-75%	0
Total	34

La figura 14 muestra el modelo bajo el escenario de cambio climático con aumento en la temperatura de 1 °C y menos 10% de precipitación con análisis de

conglomerados. Sucedió lo mismo que con el otro modelo de cambio climático para esta especie, de todas las localidades utilizadas solo se conserva la rama cuatro (Fig. 8). El área de distribución potencial de la especie fue de 34 km² (Cuadro 9) y se restringió al estado de Michoacán.

Los modelos de distribución potencial de *Crocodylus acutus* en el presente y bajo los escenarios de cambio climático, sin análisis de conglomerados predicen áreas mayores que con este análisis. Las áreas quedan restringidas a zonas cercanas a los puntos de presencia de la especie, pero no predicen áreas más allá de estos puntos.

Cuadro 10. Distribución potencial (km²) para *Crocodylus acutus*.

	Distribución potencial en el presente	Escenario 1 +0.5°C -10% precipitación (mm)	Escenario 2 +1°C -10% precipitación (mm)
Sin análisis de conglomerados	145,319 km²	108,377 km²	58,969 km²
Con análisis de conglomerados	5,432 km²	1,064 km²	34 km²

La tendencia de los modelos sin importar el tipo de análisis es la contracción de áreas potenciales de distribución (Cuadro 10). El área predicha sin el análisis de conglomerados en el presente es de 145,319 km², bajo el escenario 1 se perdió el 25.42% del área potencial actual y bajo el escenario 2 se perdió el 59.42 % de esta.

En el caso de los modelos con análisis de conglomerados se predijo un área potencial en el presente de 5,432 km², bajo el escenario 1 se perdió el 80.41% del área potencial actual y bajo el escenario 2 se perdió el 99.37% de la misma. El cambio climático provocará la pérdida de áreas donde *Crocodylus acutus* se distribuye actualmente y causará extinciones de poblaciones llevándola a una distribución más restringida en el futuro.

5.1.7 Registro fósil de *Crocodylus acutus*. Se localizaron tres registros fósiles del Plioceno-Plesitoceno tardío de *Crocodylus acutus* (Mead, et al., 2006; Miller, 1980; Miller y Carranza-Castañeda, 1988)



Figura 15. Localidades de fósiles de cocodrilos.

Las localidades se encuentran en los estados de Baja California Sur, Sonora y Jalisco (Fig.15).

5.2 *Crocodylus moreletii*

5.2.1 Distribución. Para *Crocodylus moreletii* se ubicaron 15 registros bibliográficos (Casas-Andreu, 2002; 2003; Cedeño-Vázquez, 1999; Cedeño-Vázquez y Calderon, 2002; Figueroa-Ocaña, 2003; Gonzáles, et al., 1997; INE, 2000; Lazcano, 1996; 1999; Lee, 1996; 2000; Leyte-Maneique y Ramírez-Bautista, 2005; Merediz, 1999; Ross, 1995; Sigler, 2002).

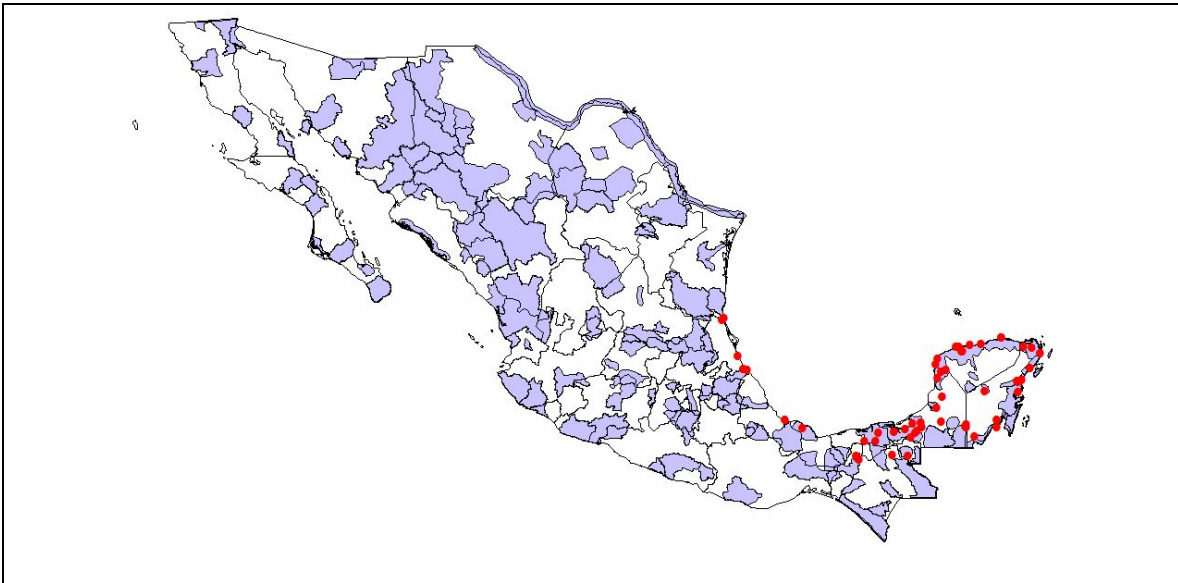


Figura 17. Distribución de *Crocodylus moreletii* con relación a las regiones hidrológicas prioritarias.

Se obtuvieron un total de 53 localidades únicas (Cuadro 2 del apéndice) para los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo (Fig. 17). El número de localidades por estado se muestra en el cuadro 5 del apéndice. *Crocodylus moreletii* se distribuye en 17 de las 110 regiones hidrológicas prioritarias de México (Cuadro 5 del apéndice).

5.2.2 Perfil de la especie. Al haber procesado los datos de las 53 localidades de *Crocodylus moreletii* en BIOCLIM con las georeferencias (localidad, longitud, latitud y altitud) y el modelo digital de elevación (MDE), se obtuvo el perfil bioclimático de la especie (Cuadro 12).

Cuadro 12. Perfil bioclimático de *Crocodylus moreletii*.

Parámetro bioclimático	Mínimo-Máximo (Promedio \pm DS)
Temperatura promedio anual ($^{\circ}$ C)	23.6-27.1 (25.7 \pm 0.87)
Oscilación diurna de la temperatura ($^{\circ}$ C)	8.4-14.6 (11.3 \pm 1.47)
Isotermalidad (2/7) ($^{\circ}$ C)	0.46-0.7 (0.63 \pm 0.06)
Estacionalidad de la temperatura (C de V) (%)	0.52-1.21 (0.7 \pm 0.16)
Temperatura máxima promedio del periodo más cálido ($^{\circ}$ C)	31.9-37.3 (34.6 \pm 1.57)
Temperatura mínima promedio de periodo más frío ($^{\circ}$ C)	13.1-18.7 (16.6 \pm 1.45)
Oscilación anual de la temperatura (5-6) ($^{\circ}$ C)	14.4-22.5 (18 \pm 1.91)
Temperatura promedio del trimestre más lluvioso ($^{\circ}$ C)	24.7-28.5 (27.1 \pm 0.78)
Temperatura promedio del trimestre más seco ($^{\circ}$ C)	19.4-28.1 (25 \pm 1.67)
Temperatura promedio del trimestre más cálido ($^{\circ}$ C)	26-29.1 (27.9 \pm 0.7)
Temperatura promedio del trimestre más frío ($^{\circ}$ C)	18.8-24.3 (22.7 \pm 1.38)
Precipitación anual (mm)	571-3931 (1384 \pm 632.94)
Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	26-140 (60 \pm 23.15)
Precipitación del periodo más seco (mm)	0-26 (2 \pm 5.57)
Estacionalidad de la precipitación (C de V) (%)	46-91 (65 \pm 11.5)
Precipitación del trimestre más lluvioso (mm)	250-1587 (622 \pm 263.31)
Precipitación del trimestre más seco (mm)	25-414 (116 \pm 73.43)
Precipitación del trimestre más cálido (mm)	185-729 (385 \pm 108.76)
Precipitación de trimestre más frío (mm)	71-817 (186 \pm 138.52)

El perfil bioclimático de *Crocodylus moreletii* para los 19 parámetros climáticos utilizados se muestra en el cuadro 12. Estos valores indican los intervalos de precipitación y de temperatura en los cuales la especie se encuentra presente.

5.2.3 Análisis de componentes principales. BIOCLIM generó un perfil general de *Crocodylus moreletii* y también un perfil para cada localidad, lo que resultó en 53 perfiles distintos.

Cuadro 13. Contribución de cada parámetro bioclimático a los componentes principales para *Crocodylus moreletii*.

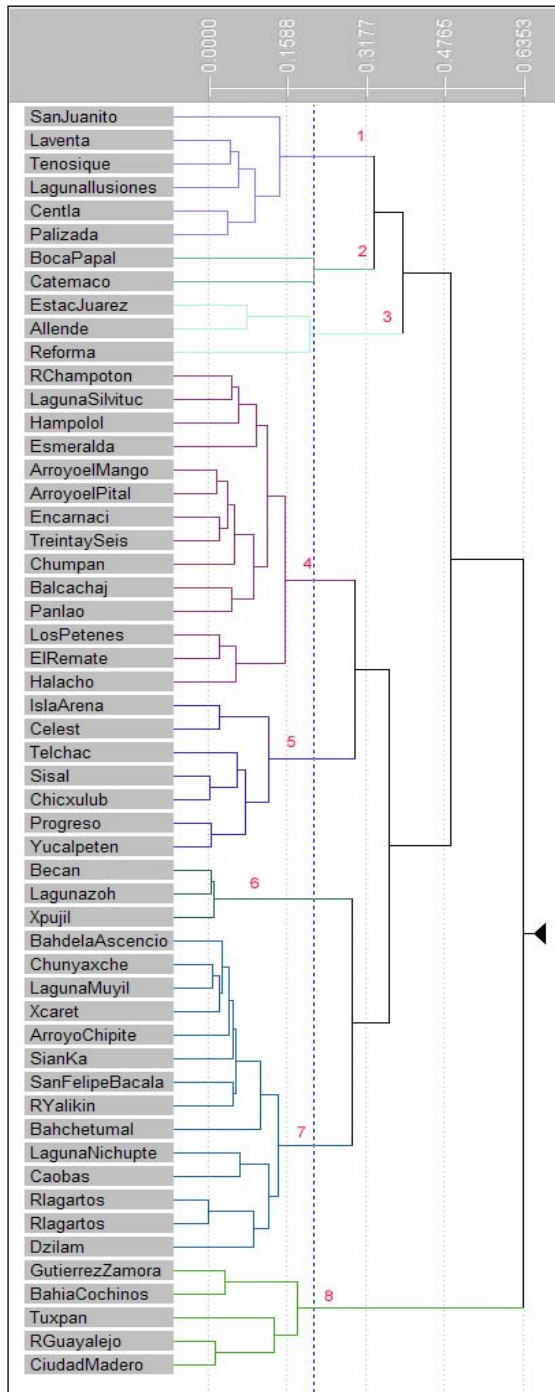
Parámetro Climático	CP 1	CP 2	CP 3
Temperatura promedio anual	0.572451	-0.779246	-0.079280
Oscilación diurna de la temperatura	0.499043	-0.193296	-0.488594
Isotermalidad	0.597460	-0.453257	0.378741
Estacionalidad de la temperatura	-0.450849	0.626546	-0.461575
Temperatura máxima promedio del mes más cálido	0.332651	-0.542111	-0.717059
Temperatura mínima promedio del mes más frío	0.242385	-0.818821	0.393975
Oscilación anual de la temperatura	0.091109	0.173716	-0.889830
Temperatura promedio del trimestre más lluvioso	0.660839	-0.403146	-0.232244
Temperatura promedio del trimestre más seco	0.247552	-0.908551	-0.051804
Temperatura promedio del trimestre más cálido	0.385970	-0.565524	-0.499134
Temperatura promedio del trimestre más frío	0.578964	-0.788326	0.170347
Precipitación anual	-0.844624	-0.492359	-0.159419
Precipitación del periodo más lluvioso	-0.852617	-0.331894	-0.325193
Precipitación del periodo más seco	-0.719709	-0.564244	-0.085318
Estacionalidad de la precipitación	0.420196	0.316318	-0.672218
Precipitación del trimestre más lluvioso	-0.788107	-0.461432	-0.326319
Precipitación del trimestre más seco	-0.860161	-0.434794	0.114379
Precipitación del trimestre más cálido	-0.879756	-0.231633	-0.030640
Precipitación del trimestre más frío	-0.808431	-0.551117	0.046185
Porcentaje de Varianza	0.380013	0.299828	0.163707

El análisis de componentes principales (ACP) de los 53 perfiles bioclimáticos para los parámetros climáticos de temperatura y precipitación (Cuadro 1) reduce el número de parámetros a tres componentes principales interpretables que explican el 84.4% de la varianza de los datos (Cuadro 13). El primer componente principal (CP1) está dominado por los parámetros de precipitación (precipitación del trimestre más cálido y precipitación del trimestre más lluvioso), el CP1 representa el 38% de la varianza. El segundo componente (CP2) representa el 29.98% de la varianza, y se encuentra correlacionado con la temperatura (temperatura promedio del trimestre más seco y temperatura promedio del mes más frío). El tercer

componente (CP3) también se encuentra correlacionado con la temperatura (oscilación anual de la temperatura).

Esto parece indicar que el principal factor limitante en la distribución de *Crocodylus moreletii* es la precipitación.

5.2.4 Análisis de conglomerados (tree clustering)



La figura 18 muestra el análisis de conglomerados (tree clustering) para *Crocodylus moreletii*. Por el grado de asociación de las localidades el árbol se divide en 8 ramas principales que fueron procesadas de igual manera que para *Crocodylus acutus*. La primera rama abarca localidades en los estados de Chiapas y Tabasco, la segunda el Norte de Veracruz, la tercera Chiapas, la cuarta el sur de Veracruz, Campeche y Yucatán, la quinta Yucatán, la Sexta Campeche, la séptima Quintana Roo y Yucatán y la octava el Norte de Veracruz y Tamaulipas.

Figura 18. Análisis de Conglomerados (tree clustering) para *Crocodylus moreletii*.

5.2.5 Modelos de distribución potencial. Se obtuvieron dos modelos de distribución potencial de *Crocodylus moreletii*, uno en el que se usaron los datos de las 53 localidades para crear un solo modelo (Fig.19) y otro en el que se usaron los datos de cada una de las ramas del análisis de conglomerados por separado para obtener 8 modelos regionales que fueron unificados en un solo modelo nacional (Fig. 20)

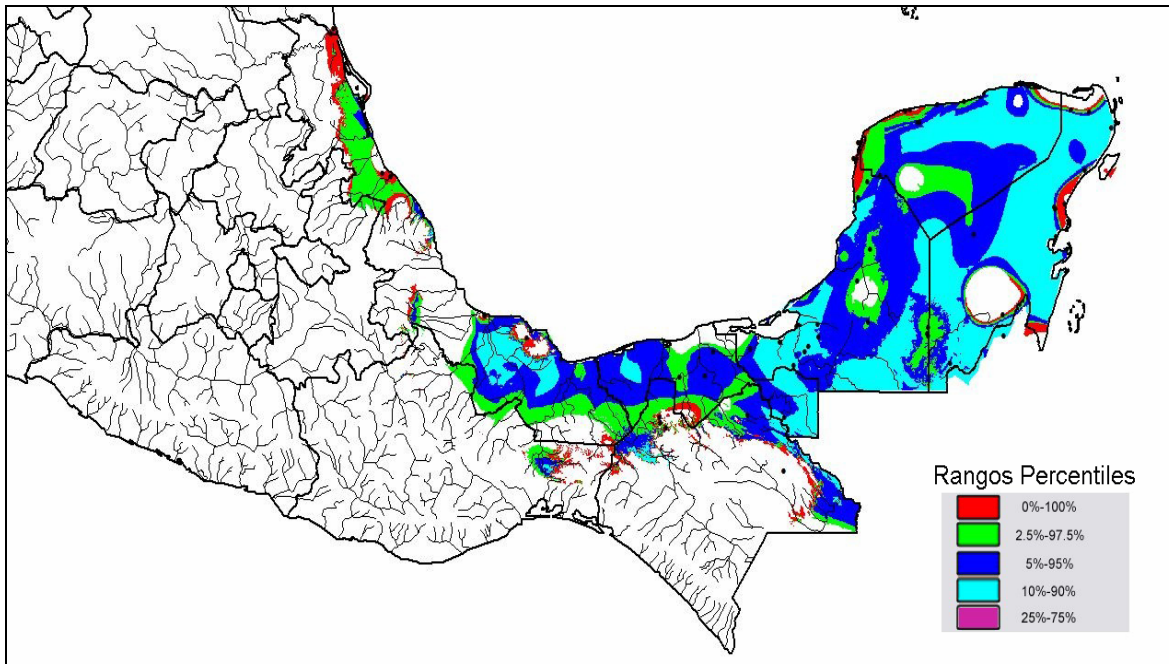


Figura 19. Distribución potencial de *Crocodylus moreletii*.

Cuadro 14. Área potencial de *Crocodylus moreletii*.

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	15,206
2.5%-97.5%	50,181
5%-95%	101,661
10%-90%	87,340
25%-75%	0
Total	254,388

La figura 19 muestra la distribución potencial de *Crocodylus moreletii*, que cubre un total de 254,388 km² (Cuadro 14). Todos los puntos conocidos de

presencia de la especie se encuentran dentro de las áreas de distribución potencial.

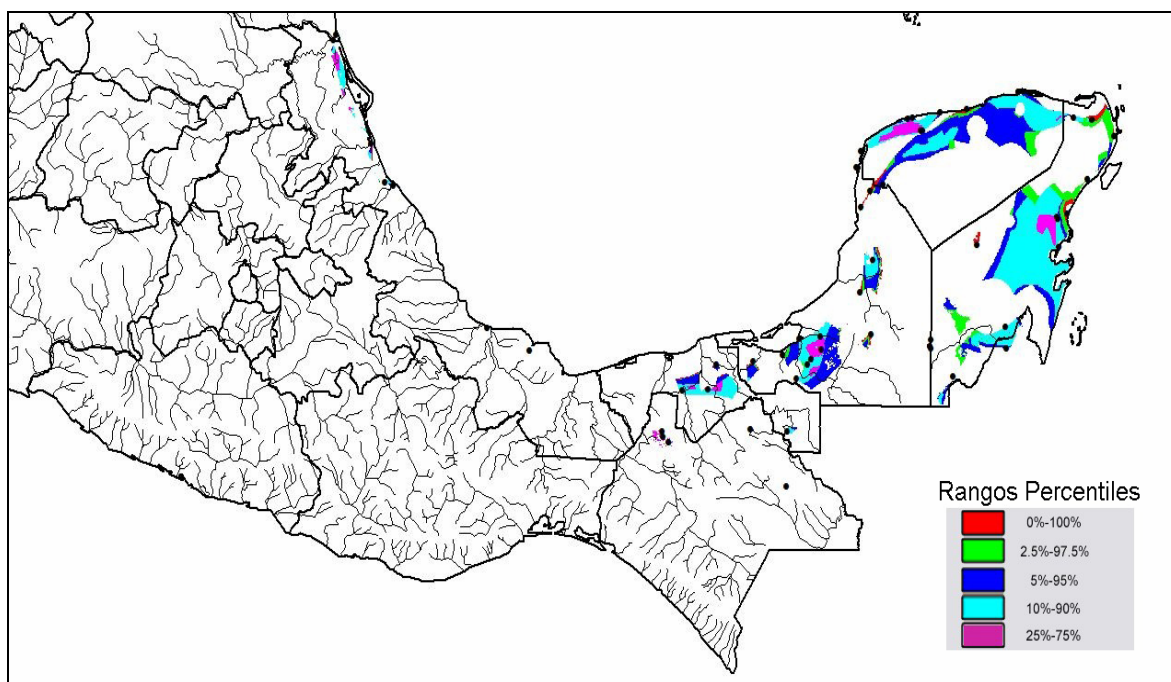


Figura 20. Distribución potencial de *Crocodylus moreletii* con análisis de conglomerados (tree clustering).

Cuadro 15. Área potencial de *Crocodylus moreletii* con análisis de conglomerados (tree clustering).

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	1,429
2.5%-97.5%	4,968
5%-95%	15,136
10%-90%	22,828
25%-75%	3,483
Total	48,043

El modelo con análisis de conglomerados (tree clustering) representado en la figura 20, predijo un área total potencial para *Crocodylus moreletii* de 48,043 km² (Cuadro 15). Para las localidades de Boca del Río Papaloapan y Catemaco que corresponden a la rama dos del análisis de conglomerados (Fig. 18) no se

predijeron áreas. No todas las localidades donde se distribuye la especie se encuentran dentro de las áreas predichas por el modelo.

5.2.6 Modelo de distribución potencial con cambio climático. Se obtuvieron dos modelos por cada escenario de cambio climático usado, uno usando todas las localidades y el otro usando las ocho ramas del análisis de conglomerados. El primer escenario predijo pérdidas de áreas de distribución. Las áreas que cumplen con las características del perfil de la especie se vieron reducidas por estos cambios en temperatura y precipitación (Fig. 21 y 22).

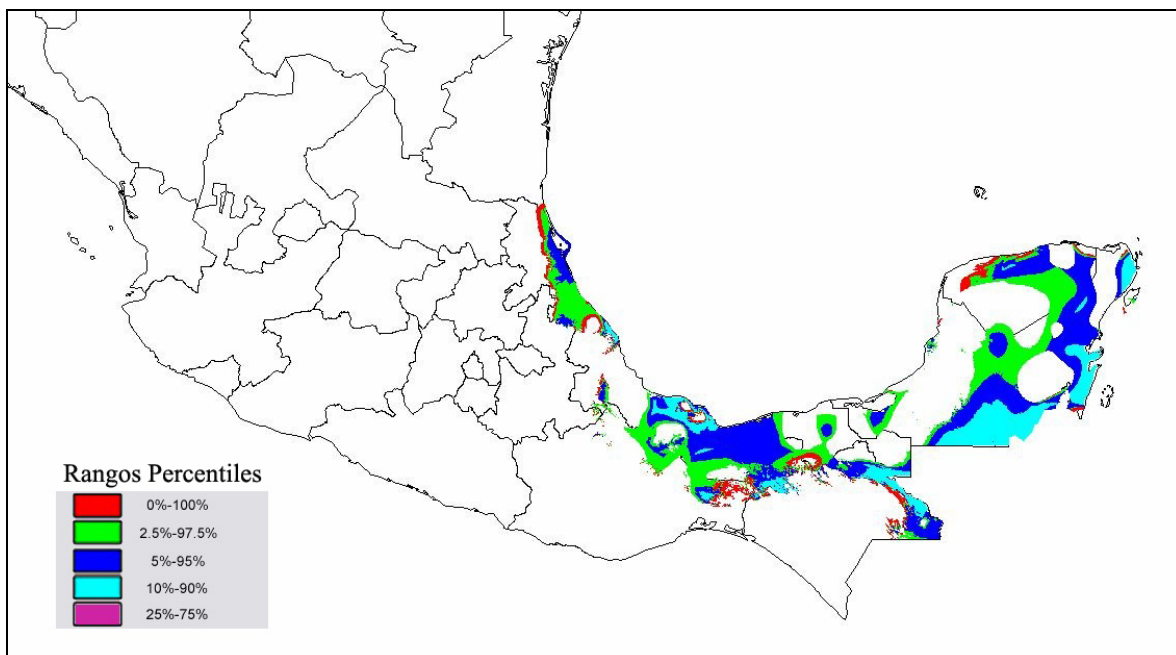


Figura 21. Distribución potencial de *Crocodylus moreletii* bajo el escenario de cambio climático de +0.5 °C y -10% de precipitación.

El modelo de distribución potencial bajo el escenario de cambio climático con aumento en la temperatura de 0.5 °C y menos 10% de precipitación predice un área total de 173,148 km² (Cuadro 16). Hay una pérdida de áreas potenciales de distribución en Campeche, Tabasco y Yucatán (Fig. 21).

Cuadro 16. Área potencial de *Crocodylus moreletii* bajo el escenario de cambio climático de +0.5 °C y -10% de precipitación.

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	13,066
2.5%-97.5%	57,263
5%-95%	70,669
10%-90%	32,150
25%-75%	0
Total	173,148

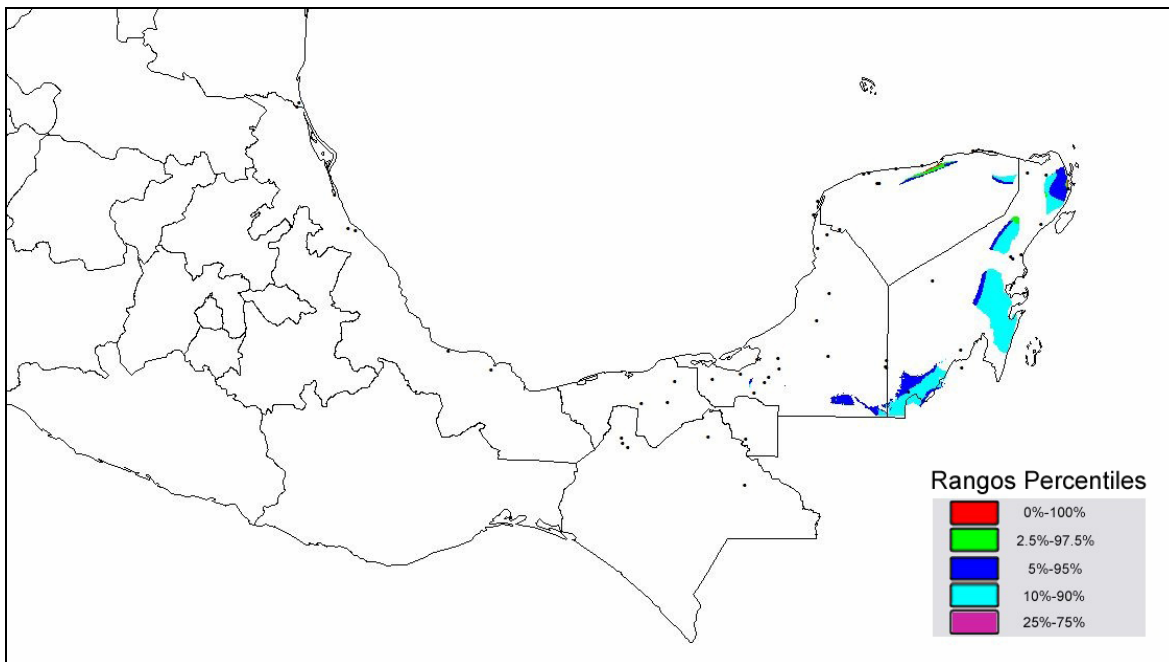


Figura 22. Distribución potencial de *Crocodylus moreletii* bajo el escenario de cambio climático de +0.5 °C y -10% de precipitación con análisis de conglomerados (tree clustering).

Con el modelo bajo el escenario con aumento en la temperatura de 0.5 °C y menos 10% de precipitación con las ocho ramas del análisis de conglomerados (Fig. 22) el programa predijo distribución únicamente para las localidades de Río Champoton, Laguna Silvituc, Hampolol, Esmeralda, Arroyo el Mango, Arroyo el Pital, Encarnación, Treinta y Seis, Chumpan, Balcachaj, Panlao, Los Petenes, El Remate, Bahía de la Ascención, Chunyaxche, Laguna Nichupte, Sian Kaan,

Laguna Muyil, San Felipe Bacalar, Río Yalikin, Caobas, Xcaret, Halacho, Río Lagartos, Dzilam, Arroyo Chipite, y la Bahía de Chetumal. Estas localidades corresponden a las ramas cinco y ocho del análisis de conglomerados (Fig. 18). Esto significa que las condiciones climáticas de las localidades de las seis ramas restantes cambian de tal manera que la especie no puede sobrevivir, y que tampoco hay otros sitios en donde las condiciones sean las adecuadas para que *Crocodylus moreletii* las ocupe. Su distribución quedaría restringida a los estados de Quintana Roo, Yucatán y Campeche, a un área de 16,294 km² (Cuadro 17)

Cuadro 17. Área potencial de *Crocodylus moreletii* bajo el escenario de cambio climático de +0.5 °C y -10% de precipitación con análisis de conglomerados (tree clustering).

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	123
2.5%-97.5%	565
5%-95%	4,815
10%-90%	10,791
25%-75%	0
Total	16,294

El segundo escenario que propone un cambio de temperatura más drástico predijo pérdida de áreas de distribución mayores a las del primer escenario (Fig. 23 y 24).

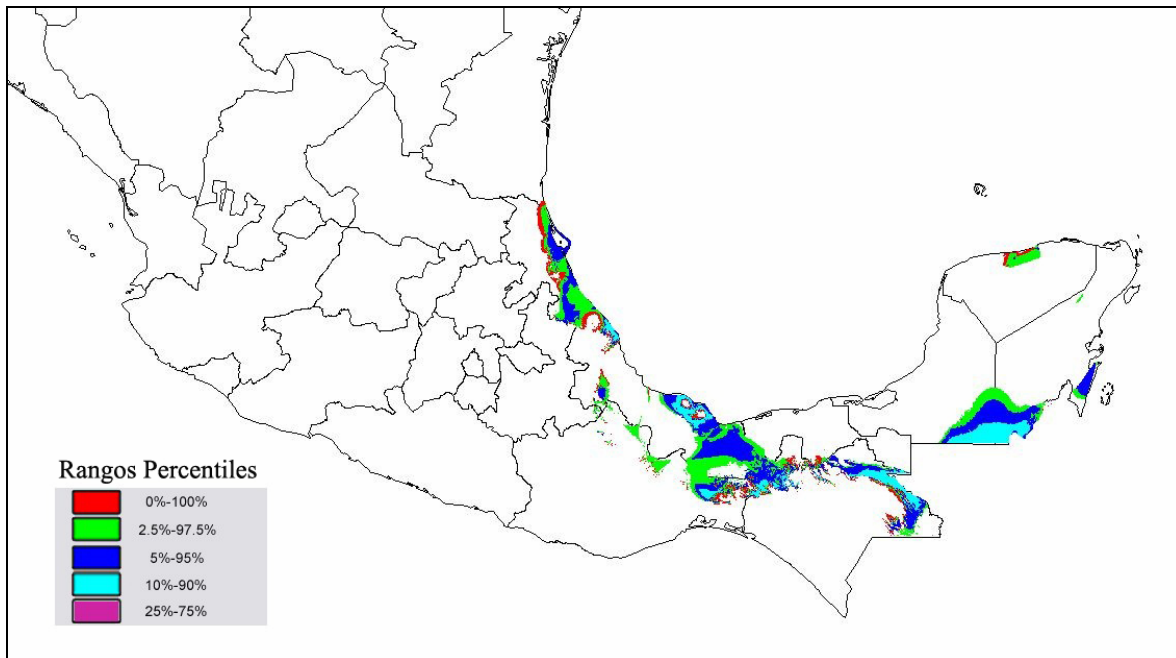


Figura 23. Distribución potencial de *Crocodylus moreletii* bajo el escenario de cambio climático de +1 °C y -10% de precipitación.

Cuadro 18. Área potencial de *Crocodylus moreletii* bajo el escenario de cambio climático de +1 °C y -10% de precipitación.

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	8,704
2.5%-97.5%	29,047
5%-95%	31,507
10%-90%	13,542
25%-75%	0
Total	82,800

En el escenario de cambio climático de aumento en la temperatura de 1 °C y menos 10% de precipitación se pierden áreas de distribución potencial en los estados de Quintana Roo, Yucatán, Campeche, Tabasco y Veracruz (Fig.23). El área total que predijo el modelo fue de 82,800 km² (Cuadro 18).

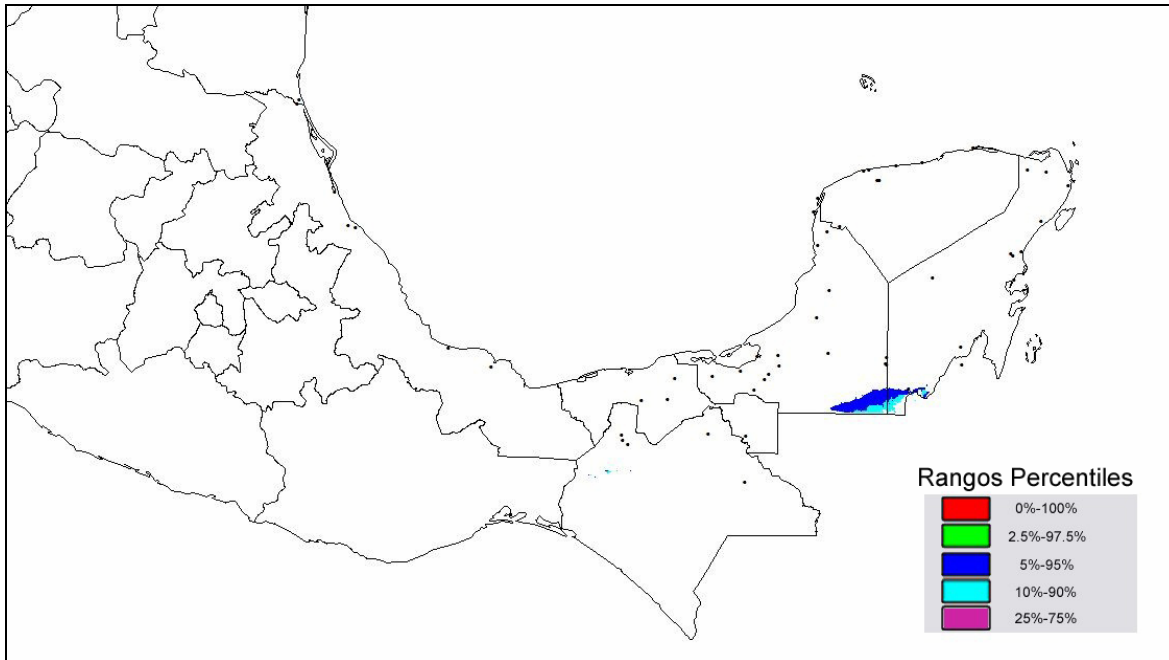


Figura 24. Distribución potencial de *Crocodylus moreletii* bajo el escenario de cambio climático de +1 °C y -10% de precipitación con análisis de conglomerados (tree clustering).

Cuadro 19. Área potencial de *Crocodylus moreletii* bajo el escenario de cambio climático de +1 °C y -10% de precipitación con análisis de conglomerados (tree clustering).

Rango percentil	Área (km ²)
0%-100%	1
2.5%-97.5%	2
5%-95%	2,694
10%-90%	1,040
25%-75%	0
Total	3,737

La figura 24 muestra el modelo bajo el escenario de cambio climático con aumento en la temperatura de 1 °C y menos 10% de precipitación con análisis de conglomerados. Sucede lo mismo que con el otro modelo de cambio climático para esta especie, de todas las localidades utilizadas solo se conservan las ramas cinco y ocho (Fig. 18). El área de distribución potencial de la especie fue de 3,737 km² (Cuadro 19) y se restringió a los estados de Chiapas, Quintana Roo y Campeche.

El cuadro 20 muestra las áreas totales de distribución potencial para *Crocodylus moreletii*, las áreas potenciales obtenidas con el análisis de conglomerados son menores a las áreas sin este análisis.

Cuadro 20. Distribución potencial (km²) para *Crocodylus moreletii*.

		Escenario 1	Escenario 2
<i>Crocodylus moreletii</i>	Distribución Potencial	+0.5°C	+1°C
	en el Presente	-10% precipitación (mm)	-10% precipitación (mm)
Sin análisis de conglomerados	254,388 km²	173, 148 km²	82,800 km²
Con análisis de conglomerados	47,844 km²	16,294 km²	3,737 km²

Se predijo la pérdida de áreas de distribución potencial para la especie bajo los dos escenarios de cambio climático con el análisis de conglomerados y sin este análisis. En el modelo sin análisis de conglomerados se predijo un área potencial para el presente de 47,844 km², bajo el escenario 1 se perdió el 31.93% del área potencial actual y bajo el escenario 2 se perdió el 67.45% de dicha área. El modelo con análisis de conglomerados predijo un área total para el presente de 47,844 km². Bajo el escenario 1 se perdió el 64.95% del área potencial actual y bajo el escenario 2 se perdió el 92.19% de la misma. Los modelos predicen la extinción de *Crocodylus moreletii* en algunas zonas y contracción en su distribución por el cambio climático.

5.3 Análisis de componentes principales (ACP) de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*

El ACP de todos los datos de los perfiles bioclimáticos de las localidades de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii* mostró que al analizar las dos especies juntas se obtienen cuatro componentes principales que explican el 88.5% de la varianza (Cuadro 1). El primer componente (CP1) representa el 31.8% de la varianza y está correlacionado con los parámetros de temperatura promedio

anual, isothermalidad, temperatura promedio del trimestre más frío, precipitación del trimestre más seco y precipitación del trimestre más frío. El segundo componente (CP2) explica el 24.49% de la varianza, y esta correlacionado con los parámetros climáticos de temperatura mínima promedio del mes más frío y temperatura promedio del mes más seco. El tercer componente (CP3) explica el 19.75% de la varianza y está correlacionado con los parámetros de precipitación del periodo más lluvioso, precipitación del trimestre más lluvioso y precipitación del trimestre más frío.

Cuadro 21. Contribución de cada parámetro bioclimático a los componentes principales para *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*.

Parámetro Climático	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
Temperatura promedio anual	-0.842675	-0.437729	0.159655	-0.174094
Oscilación diurna de la temperatura	-0.313406	0.433551	0.444621	-0.491885
Isotermalidad	-0.834961	-0.236892	-0.039698	0.117920
Estacionalidad de la temperatura	0.657350	0.610834	0.277874	-0.049435
Temperatura máxima promedio del mes más cálido	-0.112543	-0.063557	0.442941	-0.843351
Temperatura mínima promedio del mes más frío	-0.483048	-0.801540	-0.249327	0.061183
Oscilación anual de la temperatura	0.319183	0.599206	0.457918	-0.544176
Temperatura promedio del trimestre más lluvioso	-0.678096	0.302473	0.466139	0.010578
Temperatura promedio del trimestre más seco	-0.489887	-0.708834	0.164780	-0.354383
Temperatura promedio del trimestre más cálido	-0.506577	0.098234	0.610399	-0.291366
Temperatura promedio del trimestre más frío	-0.840196	-0.521572	-0.017787	-0.040393
Precipitación anual	0.550908	-0.662973	0.454500	0.030137
Precipitación del periodo más lluvioso	0.250250	-0.389699	0.755667	0.367184
Precipitación del periodo más seco	0.494582	-0.616036	0.350340	-0.127700
Estacionalidad de la precipitación	-0.561429	0.401343	0.535633	0.406896
Precipitación del trimestre más lluvioso	0.264836	-0.395172	0.797085	0.289318
Precipitación del trimestre más seco	0.761510	-0.554601	-0.106310	-0.232388
Precipitación del trimestre más cálido	0.055571	0.073002	0.725591	0.591488
Precipitación del trimestre más frío	0.718646	-0.602254	0.069443	-0.221199
Porcentaje de Varianza	0.318071	0.244934	0.197503	0.124529

El cuarto componente (CP4) explica el 12.5% de la varianza y está correlacionado principalmente con la temperatura máxima promedio del mes más cálido. Este análisis explica que la distribución de las dos especies se encuentra limitada por variables de temperatura y precipitación. Al graficar la correlación de las localidades de las dos especies con respecto al CP1 y el CP2 (Fig. 25), observamos que las localidades de las especies se encuentran separadas. Existen

5 localidades de *Crocodylus acutus* (A) que están dentro del área de distribución de *Crocodylus moreletii* (M). También existe una localidad de *Crocodylus moreletii* (M) que se encuentra dentro de la distribución de *Crocodylus acutus* (A).

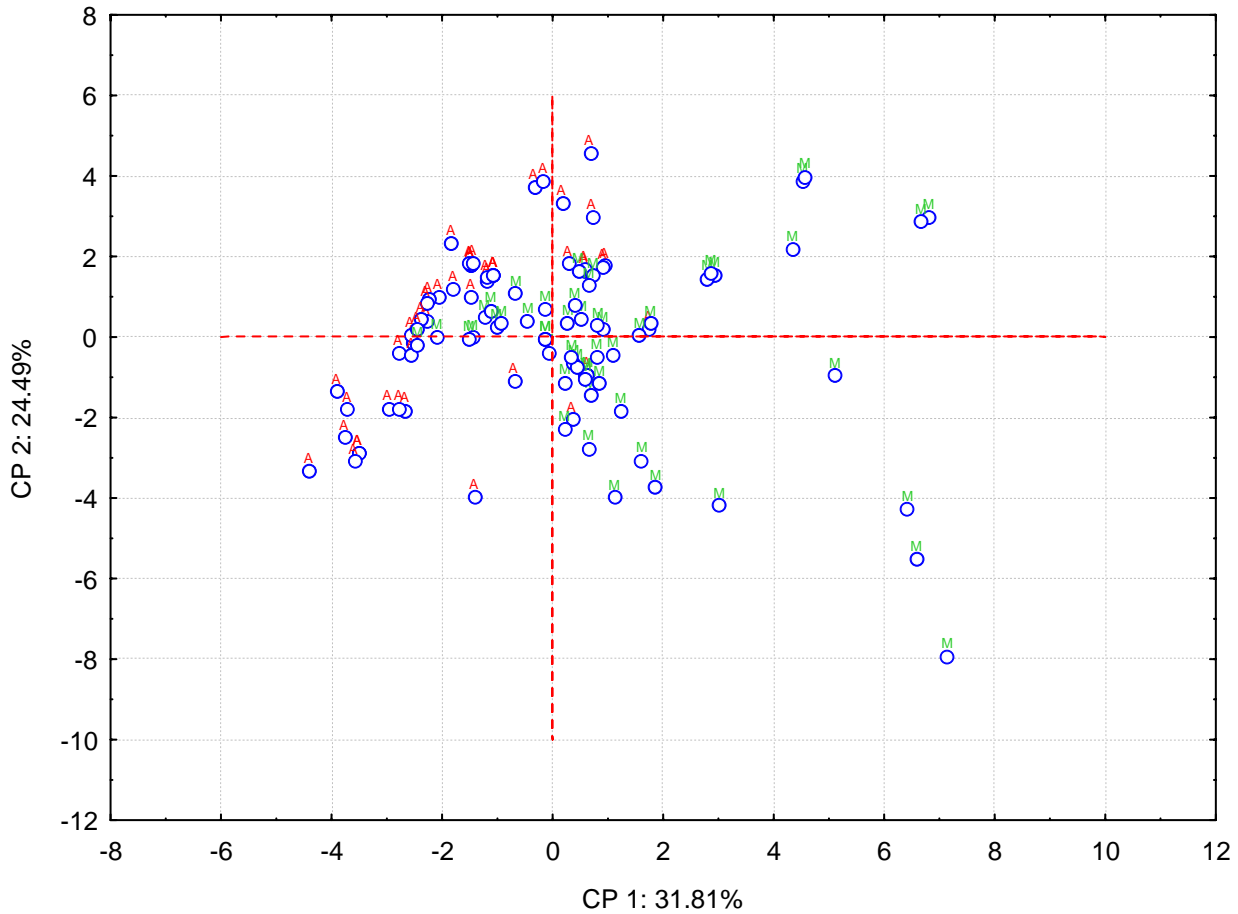


Figura 25. Correlación de las localidades de *Crocodylus acutus* (A) y *Crocodylus moreletii* (M) con respecto al CP1 y el CP2.

El solapamiento se debe a que las condiciones climáticas de las localidades son muy similares, pero la distribución de cada especie está explicada por diferentes variables. La distribución de *C. acutus* se correlaciona principalmente con variables de temperatura, mientras que la de *C. moreletii* se correlaciona principalmente con variables de precipitación.

6. DISCUSIÓN

6.1 Mapas de distribución de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*

La obtención de los datos para este análisis no fue sencilla puesto que los trabajos sobre el tema son escasos. Sólo se encontraron 31 trabajos de *Crocodylus acutus* y/o *Crocodylus moreletii* que registran zonas donde se estudiaron estas especies con otros propósitos. Los trabajos se encuentran en publicaciones que no son fáciles conseguir y no contienen toda la información sobre la distribución (latitud, longitud, altitud).

La distribución de *Crocodylus acutus* se conoce bien para los estados de Nayarit, Jalisco, Colima y Michoacán, pero para los estados de Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Sinaloa se necesitan más muestreos (Cuadro 6 del apéndice). Sobre la distribución de *Crocodylus moreletii* existe más información por estado que de la de *Crocodylus acutus*. En los estados de Quintana Roo, Campeche, Yucatán y Veracruz se conocen más localidades, que en Tamaulipas, Tabasco y Chiapas (Cuadro 7 del apéndice).

Debido a la escasez de datos es necesario obtener más información sobre la distribución de ambas especies, esta información debe ser precisa, completa y estar disponible para realizar predicciones más certeras.

6.2 Perfiles bioclimáticos de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*

Los perfiles bioclimáticos representan los intervalos de tolerancia de *Crocodylus acutus* (Cuadro 2) y *Crocodylus moreletii* (Cuadro 12) para los 19 parámetros climáticos de temperatura y precipitación usados en este estudio. Los intervalos son teóricos por lo que sería importante obtener los valores directamente en el campo y compararlos para determinar su similitud con los reales. Los valores de estos perfiles pueden ser útiles para conservar las especies fuera de su hábitat natural, bajo condiciones controladas.

6.3 Variables climáticas que determinan la distribución de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*.

Las variables que determinan la distribución de cada especie son distintas. La distribución de *Crocodylus moreletii* está estrechamente correlacionada con la precipitación (Cuadro 13). Esta especie habita en cuerpos de agua dulce como pantanos, estanques, lagunas y ríos de corriente lenta, con vegetación densa (Trutnau, 2006). En la temporada de sequía cuando los niveles de agua bajan se meten a hoyos y estivan hasta que las lluvias regresan (Álvarez del Toro y Sigler, 2001; Alderton, 2004). Por otro lado la distribución de *Crocodylus acutus* está más correlacionada con la temperatura que con la precipitación (Cuadro 3). Esta especie tolera más la salinidad que *Crocodylus moreletii* y habita principalmente en zonas costeras, cerca de cuerpos de agua dulce y salobre, así como en ríos caudalosos (Alderton, 2004; Trutnau, 2006). Estos cuerpos de agua no dependen directamente de la precipitación para mantener sus niveles de agua.

6.4 Distribución potencial de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*

Existen dos tipos de errores al modelar los nichos de las especies y su distribución: Error de *omisión*, cuando el modelo no incluye áreas de predicción que se encuentran dentro del potencial ecológico de la especie y Error de *comisión* cuando se incluyen áreas de predicción fuera del potencial ecológico de la especie (Peterson, 2006).

Los modelos obtenidos sin realizar el análisis de conglomerados son modelos robustos con un error de comisión alto. Para reducir las áreas sobreestimadas del nicho fundamental se pueden usar variables geográficas que limitan la distribución de las especies (Soberón y Peterson, 2005). Los cuerpos de agua juegan un papel fundamental en la biología de los cocodrilianos, siendo un recurso limitante en su distribución (Markwick, 1998). Al sobreponer los mapas de ríos con los mapas de distribución potencial obtenemos una distribución potencial más cercana a la real, y más acotada.

Se realizó el análisis de conglomerados con el propósito de reducir el error de comisión. Los modelos obtenidos predijeron áreas cercanas a los puntos de

presencia de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*. Estos modelos no muestran una distribución potencial tan amplia de las especies como los modelos sin este análisis, pero tampoco sabemos que tanto están subestimando. Para mejorar las predicciones bajo este tipo de análisis son necesarios más registros de presencia de las especies. Beaumont, et al. (2005) dicen que al tener registros escasos de localidades para crear modelos, las áreas de distribución potencial se reducen mucho, obteniendo así distribuciones potenciales poco precisas.

Domínguez-Laso (2005) realizó un proyecto para determinar el estado actual de las poblaciones silvestres de *Crocodylus moreletii* en México y evaluar su estatus en la CITES. Para *Crocodylus acutus* en México también se debe hacer un proyecto que permita determinar como se encuentran las poblaciones silvestres actualmente y recopilar toda la información posible sobre su distribución histórica para saber si han ocurrido extinciones locales de poblaciones. Y con base en esta información crear modelos de distribución potencial que sirvan para proponer áreas de conservación, reintroducción y aprovechamiento sustentable de la especie.

6.5 Registro fósil de *Crocodylus acutus*

La restricción en la distribución de los cocodrilianos coincide con cambios en la estacionalidad de la temperatura en latitudes altas y con la aridificación y calentamiento de los interiores continentales en latitudes medias en el Oligoceno Plioceno (Markwick, 1998). El registro fósil indica que *Crocodylus acutus* se distribuía en Baja California Sur y Sonora en el Plioceno y que las condiciones climáticas, hidrológicas y de fauna eran propias de Sabana y pantano tropical (Miller, 1980; Mead, et al., 2006). Al conocer la distribución, condiciones y las razones por las cuales ha cambiado esta distribución en el pasado a como se conoce actualmente, podemos predecir que en el futuro los cocodrilos restringirán su distribución a áreas que cumplan con los requerimientos de agua y temperatura necesarios para su supervivencia.

Anderson, et al. (2006) dicen que los datos paleoecológicos brindan información para entender los cambios de los ecosistemas en el pasado y pueden

ser útiles para validar modelos a largo plazo, debido a que la manera en la que los ecosistemas responden actualmente puede ser un legado de la historia del sistema.

6.6 Modelos de distribución potencial de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii* bajo escenarios de cambio climático.

La evidencia del registro fósil indica que los cambios en el clima, tienen influencia en la expansión y contracción de la distribución de los cocodrilos, pero la distribución no depende sólo del clima, también depende de la hidrología (Markwick, 1998). En este trabajo se usó el nicho fundamental de *Crocodylus acutus* (Cuadro 2) y *Crocodylus moreletii* (Cuadro 12) asumiendo que las especies no tienen límites para su dispersión, bajo este supuesto se estudiaron los efectos del cambio climático en la distribución potencial.

Los modelos sin el análisis de conglomerados predicen pérdida de áreas para las dos especies, los resultados son similares a los obtenidos en otros estudios en plantas (Tellez y Dávila, 2003; Tellez, et al., 2006), anfibios y reptiles (Araújo, et al., 2006), aves (Peterson, et al., 2001) en los que se predice pérdida de área de distribución potencial por el cambio climático. No se puede decir con exactitud cual será el efecto del cambio climático global en la biología de *C. acutus* y de *C. moreletii*. Pero son de esperarse cambios en la proporción de sexos de las nidadas por el aumento en la temperatura, para determinar la magnitud de estos cambios es necesario un estudio que correlacione la temperatura ambiental con la temperatura del nido. Mayor mortalidad en las nidadas por la falta de humedad, que causa deshidratación del huevo (Joanen y McNease, 1989). Cambios en la temporada de anidación, ya que el periodo de anidación corresponde al periodo del año en el que las condiciones de humedad y temperatura se encuentran sincronizadas (Webb, 1989) Problemas en el desarrollo y salud de los cocodrilos por estrés térmico (Lang, 1987). Para poder predecir de manera correcta como afectará el cambio climático a las dos especies es necesario realizar estudios sobre su biología.

El área de distribución de las dos especies de la familia Crocodylidae en México se restringirá, *Crocodylus moreletii* será más afectado por el cambio climático global, perdiendo hasta el 64.95% de su distribución potencial actual y *Crocodylus acutus* perderá hasta el 59.42% de la misma. Son pérdidas de área considerables, por lo que para las poblaciones de las dos especies de cocodrilos mexicanos que se distribuyen en regiones hidrológicas prioritarias deben hacerse planes de conservación, estudio y aprovechamiento sustentable.

Los modelos de cambio climático obtenidos del modelaje con análisis de conglomerados resultaron ser muy drásticos. Las pérdidas de áreas de distribución potencial son muy altas (hasta 90%) e improbables, por lo que no deben tomarse en cuenta como predicciones posibles.

7. CONCLUSIONES

Crocodylus acutus se distribuye desde Sinaloa hasta Chiapas en la costa del Pacífico y en Quintana Roo y Yucatán en la costa del Atlántico. *Crocodylus moreletii* se distribuye desde Tamaulipas hasta Quintana Roo en la costa del Atlántico y en ríos y lagos de Chiapas.

La distribución de los cocodrilos mexicanos esta restringida por factores de temperatura y precipitación. La distribución de *Crocodylus acutus* está limitada por la temperatura ya que habita cuerpos de agua en zonas costeras que no dependen de la precipitación. Mientras que la distribución de *Crocodylus moreletii* está determinada por la precipitación debido a que habita cuerpos de agua dulce que dependen directamente de la precipitación.

Los modelos de distribución potencial actual de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii* sirven para conocer los requerimientos ecológicos, biogeografía, poblaciones no conocidas, sitios de reintroducción y para seleccionar áreas para la conservación de las dos especies. Los factores geográficos que limitan su distribución (cuerpos de agua), también deben ser considerados para estos propósitos.

El cambio climático provocará la pérdida de más del 50% de las áreas que cumplen con los requerimientos de temperatura y precipitación de *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii* ocasionando contracción en su distribución. Por lo que para poder conservarlos es primordial realizar más estudios sobre la biología, fisiología, distribución y estado de las poblaciones de cocodrilos. También se deben desarrollar planes de investigación, conservación y uso sostenido de los cocodrilos en las regiones hidrológicas prioritarias en las que actualmente se distribuyen.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, X. 1995. Efecto de la temperatura de incubación sobre la determinación del sexo en *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletii*. *Boletín Sociedad Herpetológica Mexicana*, 6(2): 43.
- ALDERTON, D. 2004. Crocodiles and alligators of the world. Facts on File, Inc. China. 190pp.
- ÁLVAREZ DEL TORO, M. Y L. SIGLER. 2001. *Los Crocodylia de México*. IMERNAR, PROFEPA. México. Pp.134.
- ANDERSON, N. J., H. BUGMANN., J. A. DEARING Y M. GAILLARD. 2006. Linking palaeoenvironmental data and models to understand the past and to predict the future. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(12): 696-704.
- ANDERSON, R. P., M. GÓMEZ-LAVERDE Y A. T. PETERSON. 2002. Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: Insights from predictive models. *Global Ecology and Biogeography*, 11(2): 131-141.
- ARAÚJO, M. B., W. THULLER Y R. G. PEARSON. 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, 33: 1712-1728.
- ARRIAGA L., V. AGUILAR Y J. ALCOCER. 2002. *Áreas Continentales y Diversidad Biológica de México*. CONABIO. México.
- BEAUMONT, L. J. Y L. HUGHES. 2002. Potential changes in the distributions of latitudinally restricted Australian butterfly species in response to climate change. *Global Change Biology*, 8(10): 954-971.
- BEAUMONT, L. J., L. HUGHES Y M. POULSEN. 2005. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impacts on predictions of species current and future distributions. *Ecological Modelling*, 186: 250-269.
- BELBIN, L. 1995a. *PATN Pattern analysis package user's guide*. CSIRO Division of Wildlife and Ecology, Canberra, Australia.
- BELBIN, L. 1995b. *PATN Pattern analysis package technical reference*. CSIRO Division of Wildlife and Ecology, Canberra, Australia

CALLE, www.calle.com

CASAS-ANDREU, G. Y T, REYNA TRUJILLO. 1994. Climate and Distribution of *Crocodylus acutus* in the Mexican Pacific coast. *Biogeographica*, 70(2): 69-75.

CASAS-ANDREU, G. 2002. Hacia la conservación y manejo sustentable del lagarto o cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) en México. Pags. 27-45 en (Verdade L. M. y A. Larriera, eds.) La Conservación y el manejo de caimanes y cocodrilos de América Latina V.2. C.N Editoria. Argentina.

CASAS-ANDREU, G. 2003. Ecología de la anidación de *Crocodylus acutus* en la desembocadura del río Cuitzmala, Jalisco, México. *Acta Zoologica Mexicana*, 89: 111-128.

CASTILLO, F. 1996. American Crocodile in the Central Pacific Region. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 15(3).

CEDEÑO-VÁZQUES, R., E. DOLORES-HUACUZ Y G. CASAS-ANDREU. 1996. *Crocodylus acutus* in the coast of Michoacan. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 15(1).

CEDEÑO-VÁZQUES, R. 1999. Preliminary records of *Crocodylus acutus* and *Crocodylus moreletii* on Bahía de Chetumal, Quintana Roo, Mexico. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 18(1).

CEDEÑO-VÁZQUES, R., R. CALDERÓN Y C. POZO. Morelet's crocodile on Ría Celestun, Yucatán. 2002. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 21(1).

CHEN, G. Y A. T. PETERSON. 2002. Prioritization of areas in China for the conservation of endangered birds using modelled geographical distributions. *Bird Conservation International*, 12: 197-209.

CONABIO, <http://www.conabio.gob.mx>

CUPUL-MAGAÑA, F., A. RUBIO-DELGADO Y A. REYES-JUÁREZ. 2003. American Crocodile In Puerto Vallarta, Mexico. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 22(2): 21-22.

CUVIER, G. 1807. Sur les différentes espèces de crocodilos vivants et sur leurs caracteres distinctifs. *Annals Museum of Natural History (Paris)*,10: 8-66.

- DEEMING, D.C. 2004. Prevalence of TSD in Crocodylians. Págs. 33-41 en (Valenzuela N. y V.A. Lance, eds) *Temperature-Dependent Sex Determination in Vertebrates*. Smithsonian Institution, E.U.A.
- DOMINGUEZ-LASO, J. 2005. Determinación del estado actual de las poblaciones silvestres del cocodrilo de pantano (*Crocodylus acutus*) en México y evaluación de su estatus en la CITES. *Informe final proyecto CS009 COPAN*. Pp.45
- DUMÉRIL, A. M. Y A. H. DUMÉRIL. 1852. *Catalogue méthodique de la collection des reptiles du Museum d'Histoire naturelle*. Gide y Boudry, Paris. IV 227pp.
- ELITH, J., C. H. GRAHAM, R. P. ANDERSON, M. DUDIK, S. FERRIER, A. GUISAN, R. J. HIJMAN, F. HUETTMANN, J. R. LEATHWICK, A. LEHMANN, J. LI, L. G. LOHMANN, B. A. LOISELLE, G. MANNION, C. MORITZ, M. NAKAMURA, Y. NAKAZAWA, J. OVERTON, A. T. PETERSON, S. J. PHILLIPS, K. S. RICHARDSON, R. SCACHETTI-PEREIRA, R. E. SCHAPIRE, J. SOBERON, S. WILLIAMS, S. WISZ Y N. E. ZIMMERMANN. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129-151.
- ESRI (Environmental Scientific Research Institute) 2000. ArcView 3.2. ESRI. Redlands, California.
- FERGUSON, M.J.W. Y T. JOANEN. 1982. Temperature of egg incubation determines sex in *Alligator mississippiensis*. *Nature*, 296: 850-853.
- FIGUEROA-OCAÑA, B. 2003. Use of Geographical Information System (GIS) to develop a land management model that incorporates viable alternatives for *C. moreletii* Conservation in the Pantanos de Centla Biosphere reserve, Tabasco. *Crocodile Specialis Group Newsletter*, 22(4).
- FISCHER, J., D. B. LINDENMAYER, H. A. NIX Y J. L. STEIN. 2001. Climate and animal distribution: a climatic analysis of the Australian marsupial *Trichosurus caninus*. *Journal of Biogeography*, 28(3): 293-304.
- FISCHER, J. Y D. B. LINDENMAYER. 2005. The sensitivity of lizards to elevation: A case study from south-eastern Australia. *Diversity and Distributions*, 11(3): 225-233.

- GODOWN, M. E. Y A. T. PETERSON. 2000. Preliminary distributional analysis of US endangered bird species. *Biodiversity and Conservation*, 9(9): 1313-1322.
- GONZÁLES S. E., R. DIRZO Y R. C. VOGT. 1997. *Historia Natural de los Tuxtlas*. Universidad Nacional Autónoma de México. 647pp.
- HILL, T. Y P. LEWICKI. 2006. *STATISTICS Methods and Applications*. Statsoft, Tulsa, OK.
- HOLT, R. D. 1990. The Microevolutionary Consequences of Climate Change. *TREEK*, 5(9).
- HOULDER, D. J., M. F. HUTCHINSON, H. A. NIX Y J. P. MCMAHON. 2000. *ANUCLIM 5.1 User Guide*. Centre for Resource and Environmental Studies, The Australian National University, Canberra, Australia. 73pp.
- HUCHZERMAYER, F. W. 2003. *Crocodiles: Biology, Husbandry and Diseases*. CABI Publishing, UK. 337 pp.
- HULLME, M. Y N. SHEARD. 1999. *Escenarios de Cambio Climático para Mesoamérica*. Unidad de Investigación Climática, Norwich, UK. Pp. 6.
- HUTCHINSON, G. F. 1957. Concluding Remarks. *Population studies: Animal Ecology and Demography*. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, 22: 415-427.
- HUTCHINSON, M. F. 1995. Stochastic Space-Time Weather models from ground-based data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 73: 237- 264.
- HUTCHINSON, M. F. 1999. *ANUSPLIN User Guide Version 4.0*. Centre for Resource and Environmental Studies, The Australian National University, Canberra, Australia.
- INEGI, <http://www.inegi.gob.mx>
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE). 2000. *Proyecto para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de los Crocodylia en México (COMACROM)*. 107pp.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group 1 to the fourth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M.

- Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller eds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- JOANEN, T. Y L. MCNEASE. 1989. Ecology and physiology of nesting and early development of the American alligator. *American Zoologist*, 29: 987-998.
- LANG, J.W. 1987. Crocodylian thermal selection. Pags. 301-317 en (Webb, G. J. W., S. C. Manolis y P. J. Whitehead, eds.) *Wildlife Management: Crocodiles and Alligators*. Surrey Beatty and Sons, Canberra AU.
- LANG, J.W. Y H.V. ANDREWS. 1994. Temperature-dependent sex determination in crocodylians. *Journal of Experimental Zoology*, 270: 28-44.
- LAZCANO, M. 1996. Crocodile attack's in Cancun. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 15(4).
- LAZCANO, M. 1999. Mixed news for Cancun crocs. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 18(3).
- LEE, C. J. 1996. *The amphibians and reptiles of the Yucatan Peninsula*. Cornell University Press. U.S.A. 500pp.
- LEE, C.J. 2000. *A Field Guide to the Amphibians and Reptiles of the Maya World*. Cornell University Press. U.S.A. 402pp.
- LEYTE-MANEIQUE, A. Y A. RAMÍREZ-BAUTISTA. 2005. Contribución a la ecología de *Crocodylus moreletii* en el sistema Yucalpetén-Progreso-Chicxulub, Yucatán, México. *Boletín Sociedad Herpetológica Mexicana*, 13(2).
- LINDENMAYER, D. B., B. G. MACKEY Y H. A. NIX. 1996. The bioclimatic domains of four species of commercially important eucalypts from southeastern Australia. *Australian Forestry*, 59(2): 74-89.
- MAGNUSSON, W. E. 2002. La conservación de crocodylios en america latina. Pags. 5-17 en (Verdade L. M. y A. Larriera, eds.) *La Conservación y el manejo de caimanes y cocodrilos de América Latina*. V.2. C.N Editoria. Argentina.
- MANNING, A. D., D. B. LINDENMAYER, H. A. NIX Y S. C. BARRY. 2005. A bioclimatic analysis for the highly mobile Superb Parrot of south-eastern Australia. *EMU*, 105(3): 193-201.

- MARKWICK, P.J. 1998. Fossil crocodylians as indicators of Late Cretaceous and Cenozoic climates: Implications for using paleontological data in reconstructing palaeoclimate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 137: 205-271.
- MARTINEZ-MEYER, E. 2005. Climate change and biodiversity: some considerations in forecasting shifts in species potential distributions. *Biodiversity Informatics*, 2: 42-55.
- MEAD, J. I., A. BAEZ., S. L. SWIFT., M. C. CARPENTER., M. HOLLENSHEAD., N. J. CZAPLEWSKI., D. W. STEADMAN., J. BRIGHT Y J. ARROYO-CABRALES. 2006. Tropical marsh and savanna of the late Pleistocene in northeastern Sonora, México. *The Southwestern Naturalist*, 51(2): 226-239.
- MERAZ, J. 2006. Observations of young captive crocodiles (*Crocodylus acutus*) at La Ventanilla, Oaxaca, México. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 25(2).
- MEREDIZ, A. 1999. Ecology and use of Morelet's crocodile. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 18(3).
- MILLER, W. E. 1980. The Late Pliocene Las Tunas local fauna from southernmost Baja California, México. *Journal of Paleontology*, 54: 762-805.
- MILLER, W. E. Y O. CARRANZA-CASTAÑEDA. 1988. The Tecolotlan basin Central México: A new area for late Cenozoic terrestrial vertebrates. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 14(supl. 3): 21A.
- MUÑIZ, C.M. 1997. Crocodiles of Nayarit. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 16(3).
- NAVARRO, A. G., A. T. PETERSON, Y. J. NAKAZAWA E I. LIEBIG-FOSSAS. 2003. Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. Págs. 115-122 en (Morrone, J. y J. Llorente, eds.) *Una perspectiva latinoamericana de la Biogeografía*. UNAM-CONABIO. México.
- NAVARRO-SERMENT, C. J. 2003. Abundance, Habitat Use and Conservation of the American Crocodile in Sinaloa. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 22(2).

- NIX, H. A. 1986a. BIOCLIM, a bioclimatic analysis and prediction system. Págs. 59-60 en *CSIRO Division Water and Land Resources Research Annual Report*. CSIRO. Canberra, Australia.
- NIX, H. A. 1986b. A Biogeographic Analysis of Australian Elapid Snakes. Págs. 4-15 en (Longmore eds.). *Atlas of Elapid Snakes*. Australian Flora and Fauna Series No. 7, Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-059-ECOL-2001. 2001. *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo*. SEMARNAT.
- PENMAN, T.D., M. J. MAHONY, A. L. TOWERTON Y F. L. LEMCKERT. 2005. Bioclimatic analysis of disjunct populations of the giant burrowing frog, *Heleioporus australiacus*. *Journal of Biogeography*, 32(3): 397-405.
- PETERSON, A. T., V. SÁNCHEZ-CORDERO, J. SOBERÓN, J. BARTLEY, R. W. BUDDEMEIER, Y A. G. NAVARRO-SIGÜENZA. 2006. Effects of climate change on geographic distributions of mexican Cracidae. *Ecological Modelling*, 144: 21-30.
- PETERSON, A. T. 2006. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity informatics*, 3: 59-72.
- PONCE-CAMPOS, P. Y S. M. HUERTA-ORTEGA. 1996. Contribution to the status of 'Caiman' or 'River Crocodile' (*Crocodylus acutus*) in the Jalisco coast, Mexico. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 15(2).
- ROSS, P. 1995. Conservation of morelet's crocodile. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 14(4).
- ROSS, P. 2000. American Crocodiles in the Jalisco Coast. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 19(2).
- SIGLER, L. 1995. A new Habitat for *Crocodylus acutus*. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 14(1).
- SIGLER, L. 2002a. Morelet's crocodile at Yucatan Peninsula. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 21(1).

- SIGLER, L. 2002b. . Conservación y Manejo de *Crocodylus acutus* en México. Pags. 167-148 en (Verdade L. M. y A. Larriera, eds.) La Conservación y el manejo de caimanes y cocodrilos de América Latina V.2. C.N Editorial. Argentina.
- SOBERÓN, J. Y A. T. PETERSON. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2:1-10.
- SPOTILA, J. R., O. H. SOULE Y D. M. GATES. 1972. The biophysical ecology of the alligator: heat energy budgets and climate spaces. *Ecology*, 53(6): 1094-1102.
- SPSS INC. 2004. SPSS 13.0 Base User's Guide. SPSS Inc. United States of America. Pp 744.
- SPSS INC. 2004. SPSS, Version 13.0. <http://www.spss.com>.
- STATSOFT, INC. 2001. STATISTICA (data analysis software system), Version 6. <http://www.statsoft.com>.
- STEINBAUER, M. J., T. YANOW., I. A. REID Y R. CANT. 2002. Ecological Biogeography of species *Gelonus*, *Acantholybas* and *Amorbus* in Australia. *Australian Ecology*, 27(1) :1-25.
- STOCKWELL, D. Y D. PETERS. 1999. The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial distribution. *International Journal of Geographical Information Science*,13(2:): 143-158.
- TÉLLEZ, O., Y. M. CHÁVEZ., A. GÓMEZ-TAGLE Y M. V. GUTIÉRREZ. 2004. Modelado bioclimático como herramienta para el manejo forestal: estudio de cuatro especies de *Pinus*. *Revista de Ciencia Forestal en México*, 29(95): 61-82.
- TÉLLEZ, O. Y P. DÁVILA-ARANDA. 2003. Protected Areas and climate change: a case study of the cacti in the Tehuacán-Cuicatlán biosphere reserve, México. *Conservation Biology*, 17(3): 846-853.
- TÉLLEZ, O., P. DÁVILA-ARANDA Y R. LIRA-SAADE. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandifolia* var. *mexicana*, an important species of the Cloud Forest in Eastern México. *Biodiversity and Conservation*, 15: 1095-1107.

- THORBJARNARSON, J. 1998. Crocodiles in the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, Jalisco, Mexico. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 17(4).
- TRUTNAU, L. Y R. SOMMERLAND. 2006. *Crocodylians: Their natural history and captive husbandry*. Edition Chimaira, Germany. 646pp.
- WATSON, R. T., M. C. ZINYOWERA Y R. H. MOSS. 1997. *The Regional Impacts of Climate Change: an Assessment of Vulnerability*. Cambridge University Press, UK. Pp. 517.
- WEBB, G. J. W. 1989. Effects of Incubation Temperatures in Crocodiles and the Evolution of Reptilian Oviparity. *American Zoologist*, 29: 953-971.

APÉNDICE

Cuadro 1. Registros de Localidades de *Crocodylus acutus*.

Estado	Localidad	Longitud	Latitud	Altitud
Sinaloa	Estuario El Verde	-106.5461	23.4372	3
Sinaloa	Mazatlán	-106.3986	23.2014	5
Sinaloa	Presidio	-106.2608	23.1042	4
Sinaloa	Escuinapa	-105.7753	22.8472	53
Nayarit	La Tovar	-105.2205	21.5392	63
Nayarit	Platanitos	-105.2386	21.3550	15
Nayarit	Jolotemba	-105.1872	21.3964	59
Nayarit	Potreros	-105.3703	22.6133	89
Nayarit	San Blas	-105.2936	21.5217	5
Nayarit	Santiago Ixcuintla	-105.1855	21.8044	18
Jalisco	El Quelele-El Chino	-105.2789	20.6839	1
Jalisco	Río Ameca (Boca Negra)	-105.2789	20.6839	1
Jalisco	Careyes	-105.0233	19.4444	31
Jalisco	Cuitzamala	-104.9917	19.37	2
Jalisco	Río Cuitzamala	-104.9919	19.3705	2
Jalisco	Puerto Vallarta	-105.2311	20.6133	29
Jalisco	Boca del Río Cuitzamala	-104.9942	19.3680	1
Jalisco	Barra de Navidad	-104.5627	19.1944	36
Jalisco	Estero Majahuas	-105.3647	19.8417	5
Jalisco	Estero Boca de Tomates	-105.2747	20.6703	1
Jalisco	Estero El Salado	-105.2789	20.6839	1
Colima	Lago Amela	-103.7339	18.8508	72
Colima	Manzanillo	-104.3155	19.0517	6
Colima	Laguna Cuyutlán	-104.2000	19.0000	2
Colima	Hacienda Paso del Río	-103.9450	18.9547	17
Colima	Río Salado	-103.6517	18.9017	91
Colima	Boca de Pascuales	-103.6536	18.8644	85
Michoacán	Boca de Apiza	-103.7319	18.7064	2
Michoacán	El Ticuiz	-103.6989	18.6544	1
Michoacán	Playa Azul	-102.3753	17.9828	5
Michoacán	Coahuayana	-103.6619	18.6961	21
Michoacán	Aguila	-103.5042	18.5986	208
Michoacán	Lázaro Cárdenas	-102.1794	17.9239	1
Michoacán	Laguna Santa Ana	-102.2667	17.9667	3
Guerrero	Zihuatanejo	-101.5492	17.6458	21
Guerrero	Pie de la Cuesta	-100.0000	16.9189	4
Guerrero	Acapulco	-99.8978	16.8711	93
Guerrero	Laguna Coyuca	-100.0000	16.9189	4
Oaxaca	Chacahua	-96.6180	15.6911	5
Oaxaca	Laguna Ventanilla	-96.9917	15.8194	71
Chiapas	Tonalá	-93.8203	15.9811	82
Chiapas	Tapachula	-92.2605	14.9080	171
Chiapas	Suchiate	-92.1744	14.6394	15
Quintana Roo	Chunyahche	-87.6167	20.0833	8
Quintana Roo	Cozumel	-86.9167	20.5167	1
Quintana Roo	Isla Mujeres	-86.8000	21.2500	5
Yucatán	Río Lagartos	-87.8000	21.5500	5

Cuadro 2. Registro de Localidades de *Crocodylus moreletii*.

Estado	Localidad	Longitud	Latitud	Altitud
Chiapas	Laguna Ocotal	-91.45	16.8167	990
Chiapas	San Juanito	-91.9667	17.5167	92
Chiapas	Estación Juárez	-93.1208	17.355	538
Chiapas	Allende	-93.198	17.4276	500
Chiapas	Reforma	-93.2083	17.4926	206
Tabasco	La Venta	-92.5579	18.002	8
Tabasco	Tenosique	-91.4333	17.4833	19
Tabasco	Centra	-92.45	18.3	1
Tabasco	Laguna Ilusiones	-92.928	17.9905	10
Campeche	Río Champotón	-90.4092	19.1757	66
Campeche	Arroyo el Mango	-91.1535	18.2944	51
Campeche	Arroyo el Pital	-91.1039	18.3632	53
Campeche	Los Retenes	-90.3995	20.2038	5
Campeche	Chumpan	-91.3128	18.1339	25
Campeche	Balcachaj	-91.5	18.4167	1
Campeche	Becan	-89.4167	18.5167	276
Campeche	El Remate	-90.2606	20.4053	6
Campeche	Encarnación	-90.95	18.4833	51
Campeche	Laguna Silvituc	-90.25	18.6667	68
Campeche	Palizada	-91.9167	18.3333	1
Campeche	Panlao	-91.2667	18.6167	5
Campeche	Treinta y Seis	-90.9667	18.6333	33
Campeche	Xpujil	-89.4	18.5	263
Campeche	Laguna Zoh	-89.4	18.6	278
Campeche	Hampolol	-90.2253	19.5652	35
Campeche	Isla Arena	-90.455	20.6917	1
Quintana Roo	Bahía de la Ascensión	-87.5833	19.7167	5
Quintana Roo	Chunyahche	-87.6167	20.0833	8
Quintana Roo	Laguna Nichupte	-86.8	21.07	5
Quintana Roo	Sian Kaan	-87.4667	20.1267	1
Quintana Roo	Laguna Muyil	-87.5983	20.0667	3
Quintana Roo	San Felipe Bacalar	-88.3417	18.7589	24
Quintana Roo	Río Yalikin	-87.1137	21.2644	1
Quintana Roo	Caobas	-89.0857	18.1495	133
Quintana Roo	Xcaret	-87.1833	20.55	1
Yucatán	Halacho	-90.0833	20.4833	14
Yucatán	Río Lagartos	-88.1667	21.6	5
Yucatán	Telchac	-89.2667	21.35	5
Yucatán	Celestun	-90.39	20.88	1
Yucatán	Sisal	-89.5385	21.1323	5
Yucatán	Dzilam	-88.89	21.39	1
Yucatán	Arroyo Chipite	-87.3824	21.2943	3
Yucatán	Yucalpeten	-89.73	21.28	5
Yucatán	Progreso	-89.6633	21.2844	1
Yucatán	Chicxulub	-89.5167	21.1364	6
Veracruz	Boca Río Papaloapan	-95.6952	18.7377	1
Veracruz	Catemaco	-95.0952	18.4645	475
Veracruz	Gutiérrez Zamora	-97.03	20.47	5
Veracruz	Bahía de Cochinos	-97.1414	20.5023	71
Veracruz	Tuxpan	-97.34	20.97	5
Veracruz	Esmeralda	-88.75	19.75	47
Veracruz	Ciudad Madero	-97.84	22.29	8
Tamaulipas	Río Guayalejo	-97.88	22.23	4
Quintana Roo	Bahía de Chetumal	-88.33	18.5	1

Cuadro 3. Registro de localidades de fósiles de cocodrilos.

Estado	Localidad	Longitud	Latitud	Altitud
Sonora	Río Moctezuma	-109.65	29.5167	683
B.C.S	Las Tunas	-109.7333	23.2667	137
Jalisco	Tecolotlan	-104.05	20.2167	1214

Cuadro 4. Regiones hidrológicas prioritarias en donde se distribuye *Crocodylus acutus*.

Región	Nombre
Noroeste	Río Baluarte-Marismas Nacionales
Pacífico Tropical	San Blas-La Tovar
Pacífico Tropical	Cajón de Peñas-Chamela
Pacífico Tropical	Río Purificación-Manantlán
Pacífico Tropical	Río Coalcomán y Nexpa
Pacífico Tropical	Cuenca Baja del río Balsas
Pacífico Tropical	Río Atoyac-Laguna Coyuca
Pacífico Tropical	Río Papagayo-Acapulco
Pacífico Tropical	Río Verde-Laguna de Chacahua
Pacífico Tropical	Soconusco
Sureste	Sian Ka'an
Sureste	Cenotes Tulum-Coba
Sureste	Cozumel
Sureste	Convoy
Sureste	Anillo de Cenotes

Cuadro 5. Regiones hidrológicas prioritarias en donde se distribuye *Crocodylus moreletii*.

Región	Nombre
Golfo de México	Cenotes de Aldama
Golfo de México	Río Tecolutla
Golfo de México	Humedales del Papalopan, San Vicente y San Juan
Golfo de México	Los Tuxtlas
Sureste	Malpaso-Pichucalco
Sureste	Laguna de Términos-Pantanos de Centra
Sureste	Cabecera del Río Candelaria
Sureste	Balancán
Sureste	Calakmul
Sureste	Río Hondo
Sureste	Humedales y lagunas de la Bahía de Chetumal
Sureste	Sian Ka'an
Sureste	Cenotes Tulum-Coba
Sureste	Corredor Cancun-Tulum
Sureste	Convoy
Sureste	Anillo de Cenotes
Sureste	Boca del Río Champoton

Cuadro 6. Número de localidades por estado de *Crocodylus acutus*.

	Sinaloa	Nayarit	Jalisco	Colima	Michoacán	Guerrero	Oaxaca	Chiapas	Quintana Roo	Yucatán
No. Localidades	4	6	11	6	7	4	2	3	3	1

Cuadro 7. Número de localidades por estado de *Crocodylus moreletii*.

	Tamaulipas	Veracruz	Tabasco	Chiapas	Campeche	Yucatán	Quintana Roo
No. Localidades por estado	1	7	4	5	17	10	10