FINAL REPORT-IUCN-SSC Crocodile Specialist Group- Student Research Assistance Scheme

PROYECT

Microclimate of *Crocodylus acutus* nests and its effect on incubation, sex ratio, survival and physical characteristics of hatchlings

PROYECTO

Microclima de los nidos de *Crocodylus acutus* y su efecto en la incubación, proporción de sexos, supervivencia y características físicas de las crías

FINAL TITLE

Incubation temperatures of *Crocodylus acutus* nests, its relation with environment variables and its effect on the incubation period, hatching success and sex ratio

TÍTULO FINAL

Temperaturas de incubación de nidos de *Crocodylus acutus*, su relación con variables ambientales y su efecto en el periodo de incubación, éxito de eclosión y proporción sexual

FRANKLIN CUAPIO CHAVARRÍA

Posgrado en Ciencias Biológicas

Instituto de Biología

Universidad Nacional Autónoma de México

El texto completo se encuentra disponible en:

http://www.dgbiblio.unam.mx/index.php/catalogos

ABSTRACT

Climate change represents an evident threat both for species and ecosystems. The impact of climate change has been documented in the phenology, geographic distribution range, abundance, breeding biology and species extinction. Perhaps the most vulnerable organisms to climate change effects are ectotherms, specifically those which show the temperature- dependent sex determination (TSD) mechanism, because both temperature and humidity affect the breeding success and therefore their population dynamic. Hence, the study aim was to characterize the nesting areas, nests and clutches of *Crocodylus acutus* and record the incubation temperatures, its fluctuation level and its relation with environment variables, as well as the effect on the incubation period, hatching success and sex ratio, this in the ChamelaCuixmala Biosphere Reserve, Jalisco, Mexico. 30 nests were registered, all distributed in 4 nesting areas, of which 11 were predated by coatis, 1 did not hatch and the remaining 18 were successful (60%). The physicochemical features of the four nest areas are different: Estero Cajones and Cabeza de Indio were cataloged as warm areas and, Manzanillera and Laguna de Corte as cold areas. The average of eggs per nest was 32.24±9.49 (16-60) and there weren't any differences between areas. Incubation temperatures ranged between 29.03 and 33.37°C, being E. Cajones the warmest site (33.37°C) and Manzanillera the coldest (29.03°C). During thermo sensitive period "TSP", incubation temperatures (28.36-32.93) are highest and lowest than pre and post TSP respectively. Solar radiation and metabolic heat were described like the main sources of heat in the nest and the distance to a water body, soil texture, canopy opening and rainfall as causing temperature fluctuations. The incubation period was 87.6±3.9 (81.94) days and was negatively correlated with incubation temperature. The hatchling overall sex ratio, estimated with TSP's temperatures, was female-biased with 68.4%. Five of the fourteen nests were female unisexual and none produced exclusively males. In Manzanillera there were 2 female unisexual nests and a bias toward females with 78.4%. L. Corte had 3 female unisexual nests and a bias toward females with 68.6%. Finally, E. Cajones, classified as the warm place and a single nest, was skewed toward males with 72.7%. It's believed that Chamela-Cuixmala presents a heterogeneous habitat, where *C. acutus* is able to adapt and nest in different substrates, generating an incubation temperature range, which benefits both females and males.

RESUMEN

El cambio climático representa una amenaza evidente tanto para las especies como para los ecosistemas. Se ha documentado el impacto del cambio climático global en la fenología, rango de distribución, abundancia, biología reproductiva y en la extinción de las especies. Quizá los organismos más vulnerables al efecto del cambio climático son los ectotermos, en especial los que presentan el mecanismo de determinación sexual por temperatura (DST), puesto que la temperatura y la humedad afectan directamente el éxito de reproducción y por tanto su dinámica poblacional. El objetivo de este estudio fue caracterizar las áreas de anidación, nidos y nidadas de *Crocodylus acutus* y registrar las temperaturas de incubación, su fluctuación y su relación con variables ambientales, así como el efecto en el periodo de incubación, éxito de eclosión y proporción sexual en la Reserva de Biósfera Chamela-Cuixmala, Jalisco, México. Se registraron un total de 30 nidos distribuidos en 4 áreas de anidación, de los cuales 11 fueron depredados por coatíes, 1 no eclosionó y los 18 restantes fueron exitosos (60%). Las características físico-químicas en las 4 áreas de anidación son diferentes: Estero Cajones y Cabeza de Indio se catalogaron como zonas cálidas y la Manzanillera y Laguna de Corte como frías. El promedio de huevos por nido fue de 32.24±9.49 (16-60) y no difiere entre áreas. Las temperaturas de incubación oscilaron entre 29.03 y 33.37°C, siendo E. Cajones el sitio más cálido (33.37°C) y la Manzanillera el más frio (29.03°C). Durante el periodo termo sensible “PTS”, las temperaturas del nido (28.36-32.93°C) son más altas y más bajas que previo y post PTS respectivamente. Se describió a la radiación solar y al calor metabólico como las principales fuentes de calor en el nido y la distancia a un cuerpo de agua, la textura de suelo, la apertura del dosel y la precipitación como los causantes de fluctuación de la temperatura. El periodo de incubación fue de 87.6±3.9 (81-94) días y se correlacionó negativamente con la temperatura de incubación, a mayor temperatura en el nido el periodo de incubación disminuye. La proporción sexual global de neonatos, calculada con temperaturas del PTS, estuvo sesgada hacia hembras con un 68.4%. Cinco de los catorce nidos fueron unisexuales femeninos y ninguno produjo exclusivamente machos. En la Manzanillera hubo 2 nidos unisexuales femeninos y un sesgo hacia hembras con un 78.4%. L. Corte presentó 3 nidos unisexuales femeninos y un sesgo hacia hembras con un 68.6%. Finalmente E. Cajones, catalogado como el sitio cálido y con un único nido, fue sesgado hacia machos con 72.7%. Chamela-Cuixmala presenta un hábitat heterogéneo donde *C. acutus* es capaz de adaptarse y anidar en diferentes sustratos, generando un intervalo de temperaturas de incubación que benefician tanto a hembras como a machos.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 100 años la temperatura promedio de la superficie terrestre ha incrementado en 0.74°C lo cual representa una amenaza evidente para las especies, especialmente para aquellas que presentan el mecanismo de Determinación Sexual por Temperatura (DST) las cuales dependen de la temperatura ambiental para realizar funciones fisiológicas básicas (Gibbons *et al*, 2000; López-Alcaide & Macip-Ríos, 2011; Deutsch *et al.*, 2008; Neuwald & Valenzuela, 2011; Paaijmans *et al.,* 2013), y de la temperatura de incubación para determinar el sexo de los neonatos (Bull, 1980; Deeming & Ferguson, 1988; Janzen &Paukstis, 1991; Lang & Andrews, 1994).

Dentro de los reptiles que presentan DST, en el grupo de los cocodrilianos, se ha observado un patrón conocido como II o Female-Male-Female (F-M-F) donde a temperaturas de incubación bajas (<32°C) y altas (>34°C) producen un 100% o una predominancia de hembras, mientras que los machos sólo se benefician a temperaturas intermedias (33°C) (Aguilar-Miguel, 1994; Deeming, 2004a; Lang & Andrews, 1994; Ewert *et al*., 1994). Tal condición podría aumentar su riesgo de extinción, ya que, por efecto del cambio climático, podrían originarse sesgos en las proporciones sexuales de neonatos (Janzen, 1994) o sobrepasar el intervalo de temperatura óptimo en el desarrollo embrionario (28-34°C), afectando el éxito de eclosión (Deeming, 2004a).

La temperatura de incubación de los nidos naturales de cocodrilos está influenciada por múltiples factores ambientales y biológicos (Magnusson, 1979; Rhodes & Lang, 1996; Thorbjarnarson *et al.,* 2001; Charruau, 2012), sin embargo se ha planteado que la hembra puede influir en la regulación de la temperatura del nido, modificando algunos de estos factores a través de su comportamiento: en la selección del sitio de anidación, la fecha de desove, la construcción del nido y la asistencia al mismo (Lang *et al.,* 1989; Valenzuela & Janzen, 2001; Ewert *et al.* 2005; Doody *et al*., 2006; Warner & Shine, 2008; Escobedo, 2012) y así influir en las proporciones sexuales de la población, amortiguando el efecto del cambio climático.

Para poder evaluar la amenaza del calentamiento global en organismos con DST es necesario estudiar las temperaturas de incubación en nidos naturales, su variación diaria, su relación con las variables ambientales y su relación con las proporciones sexuales, tal y como hizo Charruau (2012) quien analizó las temperaturas de incubación de 20 nidos silvestres de *C. acutus* dentro de la Reserva de la Biósfera Banco Chinchorro,

y las relacionó con el período de incubación, supervivencia de embriones proporción sexual de neonatos, confirmando así el patrón FMF.

Por su parte, Escobedo (2012) analizó la fluctuación termal diaria en 11 nidos de *Crocodylus moreletii* a 3 profundidades dentro del nido y encontró que las temperaturas de incubación siguen el patrón de la temperatura ambiental y la precipitación es la mayor fuente de disminución de la temperatura del nido.

Simoncini e*t al*. (2014) analizó el efecto de las condiciones climáticas en las temperaturas de nidos y en el porcentaje de hembras producidas por *Caiman latirostris* para 7 temporadas reproductivas y sus resultados globales muestran una proporción sexual sesgada hacia hembras con un 71%; mientras que Elsey y Lang (2014) registraron las temperaturas de incubación y las proporciones sexuales de neonatos de *A. mississippiensis* para un periodo de 5 años y así mismo observaron un fuerte sesgo hacía hembras del 71.9%.

Por tanto, pese a la capacidad de adaptación a los cambios climáticos que han demostrados los cocodrilianos través del tiempo (Booth, 2006), el acelerado incremento actual en la temperatura, aunado a la problemática global de contaminación ambiental, cacería ilegal, introducción de especies invasoras y la modificación y degradación de su hábitat (Hall *et al.,* 1979; Kushlan & Mazzotti, 1989; Mazzotti, 1999; Gibbons *et al.,* 2000; Cupul-Magaña *et al*., 2004); obliga a realizar un mayor esfuerzo en el monitoreo de las temperaturas de incubación y los posibles efectos del clima en la fenología, éxito de eclosión y proporción sexual de neonatos en *Crocodylus acutus,* parámetros importantes para la permanencia y conservación de la especies (Mazzotti, 1989).

OBJETIVOS

Objetivo general

- Realizar un estudio sobre la ecología de anidación del cocodrilo de río en la RBCC, enfatizando el efecto de las condiciones ambientales sobre las temperaturas de incubación y el efecto de dichas temperaturas en el periodo de incubación, éxito de eclosión y proporción sexual.

Objetivos particulares

- Caracterizar los registros de áreas de anidación, nidos y nidadas del cocodrilo de río para este estudio y compararlo con los registros previos
- Registrar las temperaturas y sus oscilaciones en el nido durante el periodo de incubación
- Conocer el efecto de las variables climáticas sobre las temperaturas de incubación registradas
- Analizar la relación entre la temperatura de los nidos con el periodo de incubación, éxito de eclosión y proporción sexual

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala (RBCC), se localiza en la costa central del estado de Jalisco y abarca un total de 13,142 ha; su altitud va de 0 a 500 msnm., el clima es tropical, con una temperatura y precipitación media anual de 24.9°C (19.5-30°C) y 782 mm respectivamente; presenta una estacionalidad bien marcada con periodos de lluvias de julio a octubre y secas de noviembre a junio. La reserva está dividida en dos secciones por la carretera federal 200 Barra de Navidad a Puerto Vallarta, al este de la carretera se localiza Chamela y al oeste Cuixmala (Ceballos et al., 1999; Noguera et al., 2002). Aquí se puede observar vegetación de manglar, manzanillera, palma de coco, tule, carrizal y vegetación flotante (Casas-Andreu, 2003; García et al., 2010) y es aquí donde se localiza la población del cocodrilo de río. Sin embargo por problemas de acceso no se pudo trabajar en toda el área, restringiéndose únicamente a las áreas más cercanas a Playa Teopa.

Caracterización de áreas de anidación

Se realizó una salida prospectiva durante el mes de febrero de 2013 para ubicar posibles sitios de anidación. La búsqueda de los nidos se realizó del 16 de abril al 02 de mayo del 2013 en un horario de 9 a 14 y de 17 a 19 horas. Se buscó a orillas de los cuerpos de agua, intensificando la búsqueda en sitios donde se encontraron huellas y rastros de excavaciones de cocodrilos. De cada área de anidación se determinó el tipo de vegetación predominante, si el área está sujeta a inundación y se tomó 1 kg de suelo a

una profundidad promedio de la cámara de incubación de los nidos, para elaborar un perfil de los sitios que elige el cocodrilo de río para anidar.

Se colocaron registradores de temperatura (HOBO UA-001-08, Onset Comp. Corp., Bourne, MA, USA) siempre a la sombra y a 3 o 4 metros de distancia del nido más cercano. Los datos de precipitación fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en la Estación de Biología Chamela-Cuixmala, UNAM.

Caracterización de nidos y nidadas

Cada nido encontrado fue excavado para medir: profundidad hasta el primer y último huevo, así como el largo y ancho de la cámara de incubación; además, de pesar, medir y determinar viabilidad de cada huevo. Del exterior se midió la distancia hasta el cuerpo de agua y arbusto más cercano y la apertura del dosel. Para registrar la variación de temperatura en los nidos durante el periodo de incubación se colocaron registradores de temperatura (HOBO UA-001-08), uno al centro de cada nidada (14 en total) y otro a un metro de la nidada pero a la misma profundidad que la cámara de incubación,

Hacia el final del periodo de incubación (del 08 al 20 de julio de 2013), se volvieron a visitar las áreas de anidación, con el fin de registrar el éxito de eclosión basándose en el criterio de Mazzotti (1999).

Cálculo de la proporción sexual

Se procedió a hacer el estimado con ayuda del programa TSD versión 4.0.3., el cual se basa en un modelo matemático desarrollado por Girondot (1999) y Godfrey (2003) cuya finalidad es estudiar la relación de las temperaturas de incubación y la proporción sexual de neonatos de reptiles a partir de datos obtenidos de incubaciones en laboratorio

Para cada nido registrado en este estudio, se obtuvo la temperatura promedio de incubación durante el PTS, se introdujo al programa y se obtuvo la posible proporción sexual en frecuencia de machos y se convirtió a porcentaje.

Análisis de datos

Todos los estadísticos se realizaron en el programa SigmaPlot 11.0 y son considerados como significativos con $P<0.05$. El periodo termosensible (PTS) se estableció entre los días 25-45 de acuerdo a otros estudios (Lang y Andrews, 1994;

Charruau, 2012). El periodo pre-PTS corresponde a los días del 1 al 24 de incubación y el post-PTS del 46 hasta la eclosión. Cabe resaltar que en E. Cajones solo se registró un nido, por lo que todas las comparaciones estadísticas en las cuales aparece, deben ser tratadas con cautela ya que el estadístico no comparó varianzas.

RESULTADOS

Áreas de anidación y sus características físico-químicas

Se registraron un total de 30 nidos distribuidos en 4 áreas de anidación (cuadro 1). Las áreas de C. Indio y E. Cajones son las áreas más cercanas al mar, mientras que la Manzanillera y L. Corte, son las más lejanas.

Cuadro 1. Nidos registrados, depredados y eclosionados por área de anidación. Temporada 2013, Chamela-Cuixmala.

Área de anidación	Nidos		Depredación	No eclosionado	Exitoso
	Hoyo	Montículo			
Estero Cajones	1	0	0	0	1
Cabeza de Indio	3	0	2	0	1
La Manzanillera	10	0	5	1	4
Laguna de Corte	11	5	4	0	12
Total	*25*	*5*	*11*	*1*	*18*

La mayoría de las áreas presentan una textura arenosa (80-100% arena), sin embargo, en L. Corte el porcentaje de arenas es menor (72-88%) y el de limos y arcillas mayor (8-14%) con respecto al resto de las áreas. En este sitio se tomaron 2 muestras de suelo, una para los nidos tipo montículo y otra para los tipo hoyo, siendo estos últimos los que mayor porcentaje de limos y arcillas contienen (14%). Ninguna de las áreas es salina y el pH registrado va de ligeramente ácido (6.02) a ligeramente alcalino (7.5).

Los sitios de E. Cajones y C. Indio son los que presentan menor cobertura vegetal arriba del nido. Estos sitios son los más cercanos al área de playa y están desprovistos de vegetación lo cual influye en que posean una textura 100% arenosa y un porcentaje de materia orgánica de medio (2.1) a rico (7.5). La Manzanillera y L. Corte son sitios con mayor cobertura vegetal, lo cual influye para que el suelo contenga mayor cantidad de materia orgánica (rico-extremadamente rico) y mayor porcentaje de limos y arcillas en textura (6-14%). En L. Corte se encuentran los nidos tipo montículo, los cuales son una

mezcla de arena-limo-arcilla y una gran cantidad de hojarasca, por lo cual la cantidad de materia orgánica es extremadamente rica (17.25).

El monitoreo de la temperatura ambiental solo se realizó en 3 áreas (E. Cajones, L. Corte y la Manzanillera) las cuales no difiere estadísticamente entre sitios (Kruskal-Wallis; $H_{0.05,\ 2}$=5.572; p=0.062) y presenta un promedio de 26.8°C (14.99 - 40.7°C) y una variación diaria promedio de 11.3°C (2.81-16-48°C).

Características de los nidos y nidadas

Los sitios donde anida el cocodrilo de río son áreas abiertas y soleadas entre la vegetación, con distancias promedio de 7.2±3.9m (1.3-16m) hasta el cuerpo de agua más cercano y de 0.98±0.6m (0.1-2.7m) hasta el árbol o arbusto más cercano.

Las medidas promedio de la cámara de incubación son de 30.8±5.7cm (20-44cm) de ancho y 37.9±8.9cm (28-69) de largo. La profundidad promedio de los nidos, hasta el primer y último huevo, es de 26.13±10 (7-43) y 38.47±9.3 (23-55) cm respectivamente.

De los nidos registrados, 25 fueron típicos hoyos excavados a ras de suelo y en 5 se observaron indicios de formación de montículos de tierra, rocas y hojarasca, con dimensiones de 2m de ancho x 2.37m de largo x 0.375m de alto en promedio y fueron encontrados únicamente en el sitio De los 10 nidos registrados dentro del islote, 7 se encuentran en pendientes entre 17.5 y 31.2 ° poco usuales en *C. acutu*s.

Se tomaron datos de un total de 692 huevos pertenecientes a 21 nidos. Cada nido en promedio tiene 34.24±9.49 huevos, con un mínimo de 16 y un máximo de 60; sin diferencias significativas en cuanto a las características físicas de los huevos se refiere.

Temperaturas de incubación, su fluctuación y relación con variables ambientales

Las temperaturas promedio, durante todo el periodo de incubación, de los 14 nidos de *C. acutus*, oscilaron entre 29.03 y 33.37°C, temperaturas idóneas para la supervivencia y desarrollo de los embriones. E. Cajones (nido 13) presenta la temperatura más alta (33.37°C) registrada al centro del nido y la Manzanillera (nido 9) la más baja (29.03°C).

Durante el PTS las temperaturas de incubación oscilan entre 28.36 y 32.93°C, siendo más altas que las previas al PTS y más bajas que las posteriores al PTS y que las temperaturas promedio de todo el periodo de incubación. Durante este mismo periodo, la

temperatura más alta registrada sigue siendo la del nido 13 (32.93°C) (E. Cajones) y la más baja corresponde a los nidos 5 (28.36°C) (L. Corte) y 9 (28.39) (Manzanillera).

Se compararon las temperaturas promedio de nidos tipo hueco *vs* tipo montículo, sin encontrar diferencias significativas en las dos pruebas realizadas: la primera para las temperaturas de todos los nidos ($t\ _{12}^{0.025}$=0.286; P=0.780) y la segunda únicamente para las temperaturas registradas en nidos de L. Corte ($t\ _{7}^{0.025}$=0.520; P=0.619), sitio en el cual se encontraron dichos nidos.

Las temperaturas de incubación, en general, presentan ciclos diarios de máximos y mínimos inversos a los de la temperatura ambiental. Durante el día el nido registra la mínima temperatura y durante la noche la máxima (fig. 1).

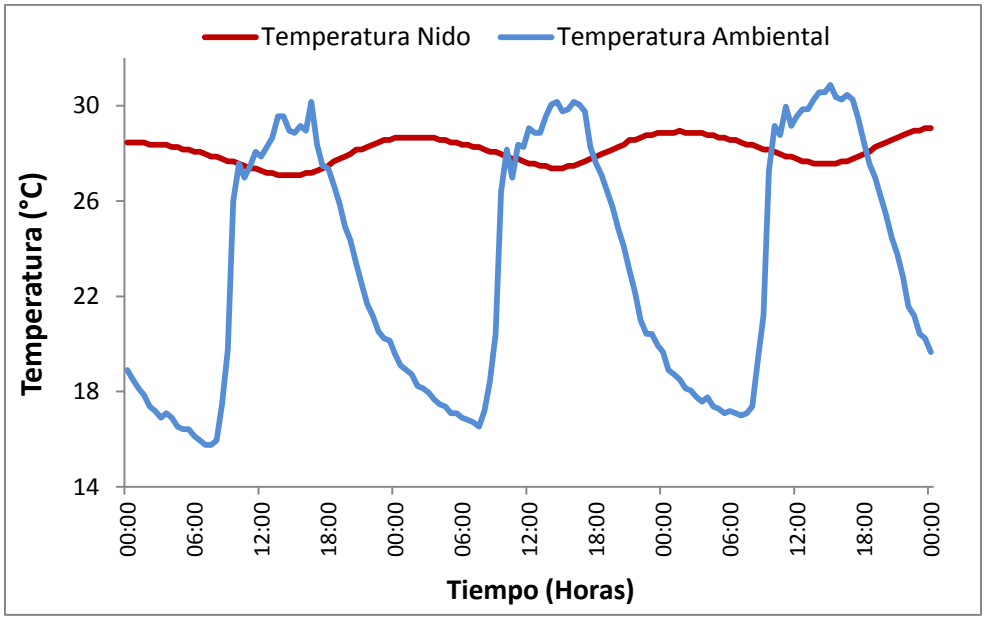


Figura1. Ciclos diarios de la temperatura del centro del nido 3 (Lagua de Corte) y de la temperatura ambiental en 3 días de incubación: del 30 de abril al 03 de mayo de 2013. Datos no promediados.

Todas las temperaturas de los nidos presentan un incremento a través del periodo de incubación, producto de la temperatura ambiental y del calor metabólico generado por los embriones (fig. 2), dicho incremento es significativamente mayor hacia el final de la incubación (pos PTS) comparado con el inicio (pre PTS) (Kruskal-Wallis, P<0.05). La temperatura ambiental es la principal fuente de calor y de fluctuación de la temperatura al centro del nido, además de factores como la precipitación, la cual coincide con el final de la incubación y la eclosión, y causa disminuciones abruptas en la temperatura (fig. 3).

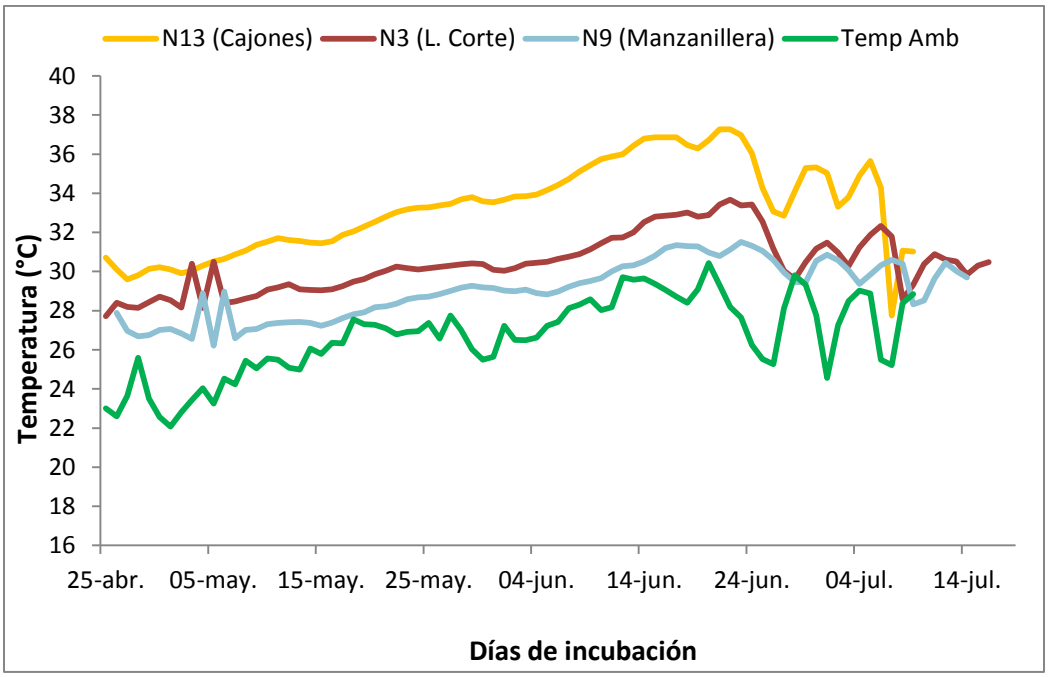


Figura 2. Registro de temperaturas de incubación de 3 nidos de *Crocodylus acutus* (N13: nido 13, N3: nido 3 y N9: nido 9) y temperatura ambiental del área. Temporada 2013, Chamela-Cuixmala.

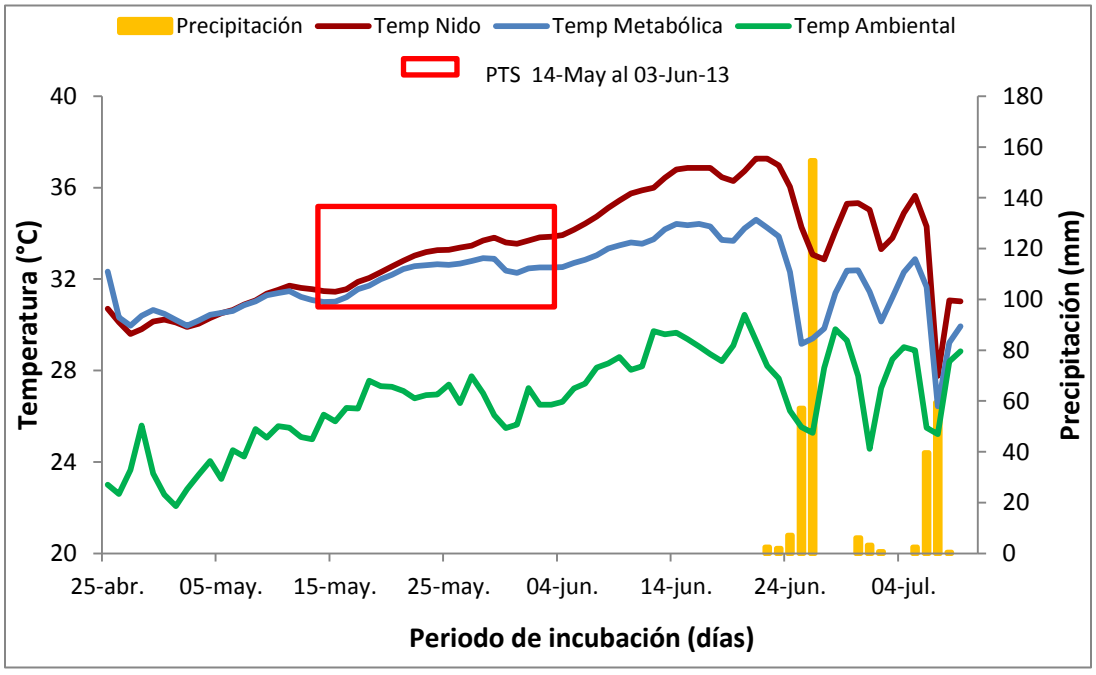


Figura 3. Diferencias y fluctuaciones en la temperatura de incubación (pre-PTS, PTS, post-PTS), metabólica y ambiental en función de la precipitación. Temporada 2013, Chamela-Cuixmala.

Temperatura de los nidos respecto al periodo de incubación

De cada nido se estimó la fecha de desove de acuerdo al tamaño de la banda de desarrollo embrionario, con fechas del 12 al 24 de abril. Con ayuda de los registradores de temperatura se determinó la fecha de eclosión entre el 09 y el 20 de julio; por lo que el periodo de incubación fue en promedio de 87.6±3.9 días (mínimo de 81 y máximo de 94). Posteriormente se realizó un análisis de regresión entre la temperatura promedio del nido y la duración del periodo de incubación, encontrando una relación de tipo negativa (fig. 4) y significativa ($r=-0.901$; $F_{1, 12}=51.84$; $P<0.001$).

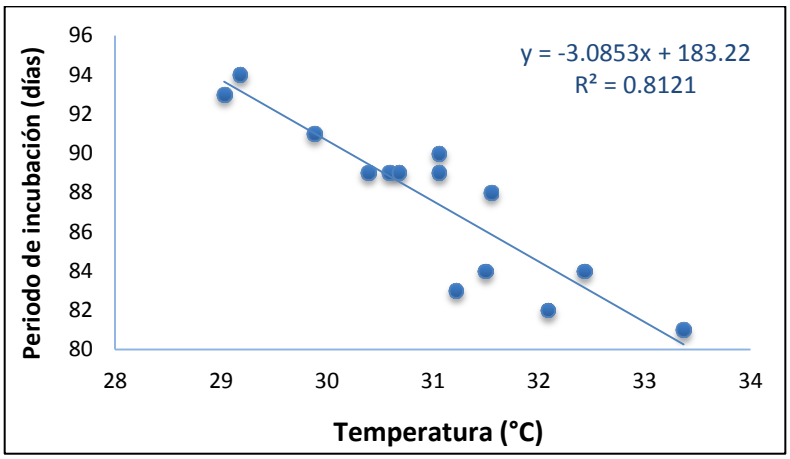


Figura 4. Relación entre la temperatura promedio al centro del nido y la duración del periodo de incubación.

Éxito de eclosión

Del total de nidos registrados, 18 fueron exitosos, lo cual equivale a un 60%, un nido no eclosionó, y el resto fueron depredados por coatíes (*obs. pers.*) (cuadro 1). Todos los nidos exitosos muestran rasgos de asistencia por parte de la madre y todos registraron temperaturas dentro del intervalo de supervivencia de embriones de cocodrilianos (28-34°C) (Ferguson & Joanen, 1982, Lang & Andrews, 1994).

Temperaturas de incubación y proporción sexual

En la curva del modelo matemático para calcular las proporciones sexuales de la población de *C. acutus* en Chamela-Cuixmal (fig. 5) se observa que temperaturas por debajo de 29.8°C benefician a un 100% de hembras, mientras que el intervalo de 29.8 a 34°C produce una proporción variable de hembras y machos. Entre 29.8 y 30.7°C la proporción de machos aumenta de 0 a 50%. La curva de proporción de machos sigue aumentando conforme aumenta la temperatura, alcanzando su máxima frecuencia

(0.8=80%) a los 31.6°C, posteriormente comienza a disminuir hasta un 60% a los 34°C, que es la temperatura máxima crítica de supervivencia de embriones. El modelo arroja dos posibles **TP:** 30.7 y 35.6°C, sin embargo, las temperaturas de incubación no rebasan los 34°C durante el **PTS**, por tanto únicamente se tiene como **TP** 30.7°C.

Podemos observar que la frecuencia de hembras puede tomar valores desde un 100 a un 20%, sin llegar a 0; por el contrario, los machos presentan frecuencias desde 0 a 80%, sin llegar a 100 (nido unisexual) (fig. 11).

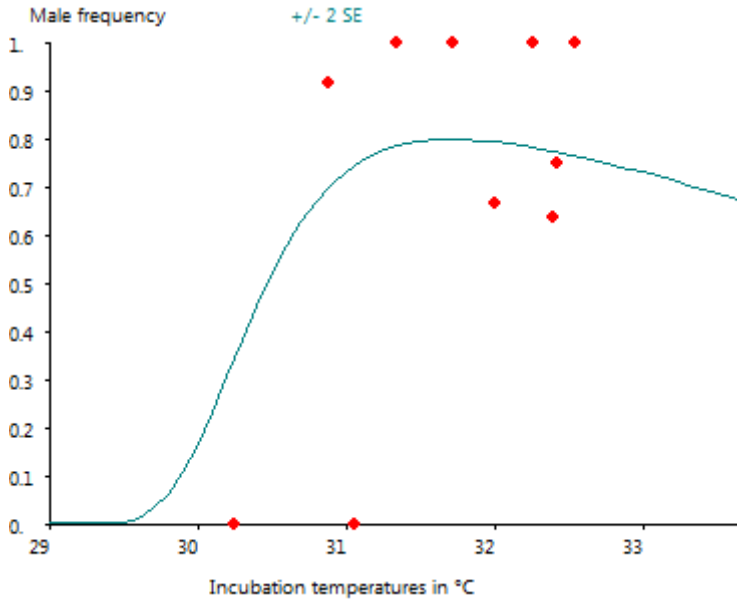


Figura 5. Modelo matemático de la relación de la temperatura de incubación (°C) y la frecuencia de machos, obtenido con ayuda del programa **TSD versión 4.0.3.** La curva representa el modelo mejor ajustado a partir de datos de campo de Charruau (2012) (puntos rojos).

Los 14 nidos estudiados presentaron temperaturas de incubación promedio entre 28.36 y 32.93°C (cuadro 7). Cinco de ellos (nidos: 3, 5, 6, 9 y 19) (35.7%) presentan temperaturas promedio entre 28.36 y 29.87°C, por lo tanto se clasifican como nidos unisexuales, es decir nidos que solo producen un sexo, en este caso hembras. Otros cuatro nidos (nidos: 4, 26, 12 y 23) (28.6%) con temperaturas promedio entre 30.39 y 30.52°C, produjeron una proporción sesgada hacia hembras, con porcentajes de 81.3 a 65.8%. Finalmente, los cinco nidos restantes (nidos: 18, 11, 10, 7 y 13) (35.7%), con temperaturas promedio de 30.75 a 32.93°C, se inclinan hacia una proporción mayor de machos, con porcentajes de 58.4 a 75.7%. De acuerdo al modelo matemático elaborado

temperaturas intermedias (30 - 34°C) originan una proporción variable de hembras y machos.

La proporción sexual global de neonatos de *C. acutus* para Chamela-Cuixmala, durante la temporada 2013, fue sesgada hacia hembras con un 68.4%, por un 31.6% de machos (fig. 6), lo cual equivale a aproximadamente 151 machos y 328 hembras de un total de 479 huevos incubados, esto significa que hay en promedio 2.17 hembras por 1 macho.

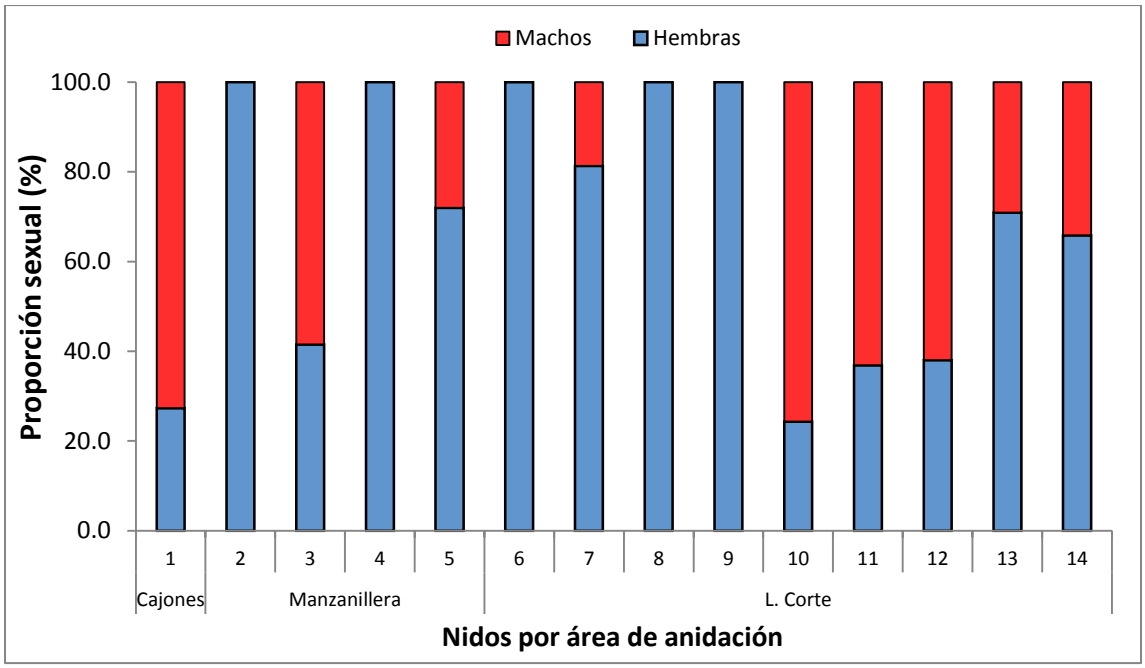


Figura 6. Proporción sexual de neonatos de *Crocodylus acutus* por nido y áreas de anidación.

CONCLUSIONES

- C. acutus es una especie adaptable para anidar en una gran variedad de sustratos ya que las áreas de anidación aquí descritas difieren en cuanto a características físico-químicas, poniendo en evidencia la heterogeneidad del hábitat.
- El promedio del tamaño de la nidada es de 34.24 huevos, con un mínimo de 16 y un máximo de 60.
- Las temperaturas de incubación de los nidos de C. acutus, en Chamela-Cuixmala, oscilaron entre 29.03 y 33.37°C, la cuales se encuentran dentro del intervalo de temperaturas de supervivencia de embriones de cocodrilianos.
- El periodo de incubación es de 87.6±3.9 días con un intervalo de 81-94 y se correlaciona de forma negativa con la temperatura de incubación.

- El número elevado de nidos sugiere un buen estado de conservación de la población, con un éxito de eclosión de 60% y la depredación como el principal factor de pérdida del nido.
- La proporción sexual global está sesgada hacia hembras con un 68.4%
- Se presenta a la heterogeneidad ambiental como un factor que puede ayudar a amortiguar el efecto del cambio climático en la proporción de sexos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Grupo de Especialistas de Cocodrilos de UICN por el apoyo económico brindado para poder realizar este proyecto, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para poder realizar mis estudios de posgrado (Maestría) y a la Universidad Nacional Autónoma de México por las facilidades brindadas durante dichos estudios. Por otro lado quiero agradecer al Dr Pierre Charruau, miembro del Grupo de Especialistas de Cocodrilos, por el conocimiento compartido y la ayuda brindada en campo y laboratorio.

INVERSIÓN DEL APOYO ECONÓMICO

La beca otorgada ($1000. US.) fue invertida en su totalidad para la adquisición de equipo de campo (fig.1), necesario para el registro de las temperaturas de incubación en nidos silvestres de *C. acutus.*

Descripción del equipo adquirido

Equipo	Precio unitario	Cantidad	Total
Registrador de datos HOBO pendant para temperatura. Modelo UA-001-08	$684.40	20	$13,688.00

Figura 1. Registrador de temperatura Hobo Pendant, UA-001-08



Fuente: Onset Computer Corporation, 2015

LITERATURA CITADA

Aguilar-Miguel, X. 1994. Efecto de la temperatura de incubación sobre la determinación del sexo en *Crocodylus acutus* y *C. moreletii*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 63pp.

Booth, D. T. 2006. Influence of incubation temperature on hatchling phenotype in reptiles. Physiological and Biochemical Zoology. 79(2): 274-281.

Bull, J. J. 1980. Sex determination in reptiles. The Quarterly Review of Biology. 55: 3-21.

Casas-Andreu, G. 2003. Ecología de la anidación de *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) en la desembocadura del rio Cuitzmala, Jalisco, México. Acta Zoológica Mexicana (n.s.). 89: 111-128.

Ceballos G., A. Szekely, A. García, P. Rodríguez & F. Noguera. 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP, México, D.F.

Charruau, P. 2012. Microclimate of American crocodile nests in Banco Chinchorro biosphere reserve, Mexico: effect on incubation length, embryos survival and hatchlings sex. Journal of Thermal Biology. 37: 6-14.

Cupul-Magaña, F. G., De Niz-Villaseñor, A., Reyes-Juárez, A. & Rubio-Delgado, A. 2004. Historia natural del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en el estero Boca Negra, Jalisco, México: anidación y crecimiento de neonatos. Ciencia y Mar. 8(23): 31-42.

Deeming, D. C. & Ferguson, M. W. J. 1988. Environmental regulation of sex determination in reptiles. Philosophical Transaction of the Royal Society of London. Series B, Biological Science. 322(1208): 19-39.

Deeming, D. C. 2004a. Prevalence of TSD in crocodilians. In: Valenzuela N and Lance VA (eds), Temperature-Dependent Sex Determination in Vertebrates. Smithsonian Institute Press, Washington, DC. Pp. 33-41.

Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Hakk, D. C. & Martin, P. R. 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. Proceedings of the National Academy of Sciences. 105(18): 6668-6672.

Doody J. S., Guarino, E., Georges, A., Corey, B., Murray, G. & Ewert, M. 2006. Nest site choice compensates for climate effects on sex ratios in a lizard with environmental sex determination. Evolutionary Ecology. 20:307-330.

Elsey, R. M. & Lang, W. J. 2014. Sex Ratios of Wild American Alligator hatchlings in Southwest Louisiana. Southeastern naturalist. 13(2):191-199.

Escobedo, G. A. H. 2012. Efecto del clima sobre la proporción de sexos del cocodrilo Americano (*Crocodylus acutus*) y cocodrilo de pantano (*C. moreletii*), y posibles implicaciones ante el cambio climático. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 60pp.

Ewert, M. A., Jackson, D. R. & Nelson, C. E. 1994. Patterns of temperature-dependent sex determination in turtles. Journal of Experimental Zoology. 270: 3-15.

Ewert, M. A., Lang, J. W. & Nelson, C. E. 2005. Geographic variation in the pattern of temperature-dependent sex determination in the American snapping turtle (Chelidra serpentina). Journal of Zoology. 265: 81-95.

García, A., Valtierra-Azotla, M., Cuarón, A & Ceballos, G. 2010. Tendencias poblacionales de *Crocodylus acutus* en condiciones de protección en la Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala, Jalisco, México. Revista Latinoamericana de Conservación. 1(2): 52-62.

Gibbons, J. W., Scott, D. E., Ryan, T. J., Buhlmann, K. A., Tuberville, T. D., Metts, B. S., Greene, J. L., Mills, T., Leiden, Y., Poppy, S. & Winne, C. T. 2000. The Global Decline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians. BioScience. 50(8): 653-666.

Girondot, M. 1999. Statistical description of temperature-dependent sex determination using maximum likelihood. Evolutionary Ecology Reseach. 1:479-486.

Godfrey, M. H., Delman, V. & Girondot, M. 2003. Assessment of patterns of temperature-dependent sex determination using maximum likelihood model selection. Ecoscience. 10:265-172.

Hall, R.J., Kaiser, T. E., Robertson, W. B. & Patty, P. C. 1979. Organochlorine residues in eggs of the endangered American crocodile (*Crocodylus acutus*). Bull. Environm. Contam. Toxicol. 23: 87-90.

Janzen, F. J. & Paukstis, G. L. 1991. Environmental sex determination in Reptiles: Ecology, Evolution, and Experimental design. The Quarterly Review of Biology, 66(2): 149-179.

Janzen, F. J. 1994. Climate change and temperature-dependent sex determination in reptiles. Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A. 91:7487-7490.

Kushlan, J. A. & Mazzotti, F. J. 1989. Population biology of the American crocodile. Journal of Herpetology. 23 (1): 7-21.

Lang, J. W., Andrews, H. & Whitaker, R. 1989. Sex determination and sex ratios in *Crocodylus palustris*. American Zoologist. 29(3): 935-952.

Lang, J. W. & Andrews H.V. 1994. Temperature-dependent sex determination in Crocodilians. The Journal of Experimental Zoology. 270: 28-44.

López-Alcaide, S. & Macip-Ríos, R. 2011. Effects of Climate Change in Amphibians and Reptiles. *Biodiversity Loss in a Changing Planet*, PhD. Oscar Grillo (Ed.), ISBN: 978-953-307-707-9, InTech, Available from: http://www.intechopen.com/books/biodiversity-loss-in-a-changing-planet/effects-of-climate-change-inamphibians-and-reptiles.

Magnusson, W. E. 1979. Maintenance of temperature of crocodile nests (Reptilia, Crocodilidae). Journal of Herpetology. 13(4): 439-443.

Mazzotti, F. J. 1989. Factors affecting the nesting success of the American Crocodile, *Crocodylus acutus*, in Florida Bay. Bulletin of Marine Science. 44(1): 220-228.

Mazzotti, F. J. 1999. The American Crocodile in Florida Bay. Estuaries. 22(2B): 552-561.

Neuwald, J. L. & Valenzuela, N. 2011. The lesser known challenge of climate change: thermal variance and sex-reversal in vertebrates with Temperature-Dependent Sex Determination. Plos ONE. 6(3): e18117.

Noguera, F. A., Vega, R. J. H., García, A. A. N. & Quesada, A. M. 2002. Historia Natural de Chamela. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F. 568pp

Rhodes, W. E. & Lang, J. W. 1996. Alligator nest temperatures and hatchling sex ratios in Coastal South Carolina. Proceedings of the Annual Conference of the Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies. 50: 521-531.

Simoncini, M. S., Cruz, F. B., Larriera, A & Piña C. I. 2014. Effects of climatic conditions on sex ratios in nest of broad-snouted caiman. Journal of Zoology. doi: 10.1111/jzo.12140.

Thorbjarnarson, J. Wang, X. & He, L. 2001. Reproductive ecology of the Chinese Alligator (*Alligator sinensis*) and implications for conservation. Journal of Herpetology. 35(4): 553-558.

Valenzuela, N. & Janzen, F. J. 2001. Nest-site philopatry and the evolution of temperature-dependent sex determination. Evolutionary Ecology Research. 3: 779-794.

Warner, D. A. & Shine, R. 2008. Maternal nest-site choice in lizard with temperature-dependent sex determination. Animal Behaviour. 75: 861-870.