

Análisis del paisaje del hábitat del cocodrilo *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) en Costa Rica, tendencias poblacionales y conflicto con humanos.

Iván Sandoval Hernández

Tesis doctoral. Enero 2022

Directores:

Juan S. Monrós González y Mahmood Sasa Marín



Universitat de

Programa de Doctorado en Biodiversidad y Biología Evolutiva



Imagen de portada: Cocodrilo (*Crocodylus acutus*) en la Laguna Nicaragua del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica. Foto: Iván Sandoval Hernández.





Universitat de València

Programa de Doctorado en Biodiversidad y Biología Evolutiva

2022

---

**Análisis del paisaje del hábitat del Cocodrilo *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) en Costa Rica, tendencias poblacionales y conflicto con humanos.**

---

Doctorando

Iván Sandoval Hernández

Directores

Juan Salvador Monrós González

Mahmood Sasa Marín



Tesis presentada por Iván Sandoval Hernández para optar al grado de Doctor en Biodiversidad y Biología Evolutiva por la Universitat de València.

Firmado: Iván Sandoval Hernández

Tesis dirigida por los doctores

Juan Salvador Monrós González  
Profesor Titular de Universidad  
Universitat de València

Mahmood Sasa Marín  
Catedrático  
Universidad de Costa Rica

Firmado: Juan S. Monrós González    Firmado: Mahmood Sasa Marín



# Dedicatoria

*A mi esposa Aileen, mi hijo Felipe y mi mamá Sarita, quienes son mi apoyo y guía.*



# Agradecimientos

A mi mamá Sarita, quien me ha dado su mano y su cariño incondicional siempre; a mi hijo Felipe quien en pandemia me acompañó y motivó en muchos tramos de este esfuerzo; a Aileen, mi esposa, la cual me ha apoyado para seguir creciendo; a Carlos Morera Beita y Luis Fernando Sandoval Murillo, colaboradores muy importantes en este trabajo; a mi tutor Juan Salvador Monrós González, en quien encontré a un guía y más importante a un gran amigo; a Mahmood Sasa Marín, cómplice de discusiones, risas e investigaciones; a Fabian Bonilla Murillo, compañero de retos y aventuras. Finalmente, a Juan Rafael Bolaños Montero, profesor, mentor y ante todo amigo, la persona que en vez de “formarme” para seguir al sistema, me “deformó” y me enseñó a trabajar duro, criticar, cuestionar y nunca dar nada por sentado. A todos ustedes y a muchas personas más que no menciono, pero igual colaboraron con mi formación personal y profesional, GRACIAS.



# Índice

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Dedicatoria .....</b>  | <b>ix</b>   |
| <b>Agradecimientos.....</b>   | <b>xi</b>   |
| <b>Índice.....</b>  | <b>xiii</b> |
| <b>Resumen.....</b>   | <b>xvii</b> |
| <b>Capítulo 1. Introducción .....</b>   | <b>1</b>    |
| El cocodrilo americano ( <i>Crocodylus acutus</i> ). .....  | 1           |
| Cocodrilianos en Costa Rica.....  | 2           |
| Interacciones humano cocodrilo en Costa Rica.....   | 3           |
| Objetivos.....  | 8           |
| La estructura de la tesis.....  | 9           |
| Justificación de la tesis .....   | 10          |
| <b>Capítulo 2. Materiales y Métodos.....</b>  | <b>17</b>   |
| Estimación poblacional de cocodrilianos en el Caribe Central y Caribe norte de Costa Rica.....  | 17          |
| Análisis de paisaje del cocodrilo americano en el noroeste de Costa Rica. ....  | 19          |
| Identificación del hábitat potencial del cocodrilo e identificación de áreas de interacción con el ser humano en Costa Rica. ....   | 21          |
| <b>Capítulo 3. Estado poblacional del cocodrilo americano, <i>Crocodylus acutus</i> (Reptilia: Crocodylidae) y del caimán, <i>Caiman crocodilus</i> (Reptilia: Alligatoridae), en el Caribe Central de Costa Rica. ....</b> | <b>25</b>   |
| Introducción.....   | 27          |
| Materiales y métodos.....   | 29          |
| Resultados.....   | 35          |
| Discusión .....   | 44          |
| <b>Capítulo 4. Estado poblacional del cocodrilo americano, <i>Crocodylus acutus</i> (Reptilia: Crocodylidae) y del caimán, <i>Caiman crocodilus</i> (Reptilia: Alligatoridae) en el Caribe Norte de Costa Rica.....</b>     | <b>51</b>   |

|  |            |
|--|------------|
| Introducción.....  | 53         |
| Materiales y métodos.....  | 54         |
| Resultados.....  | 58         |
| Discusión .....  | 62         |
| <b>Capítulo 5. Análisis de paisaje para el cocodrilo americano <i>Crocodylus acutus</i> (Reptilia: Crocodylidae) en el noroeste de Costa Rica .....</b>  | <b>69</b>  |
| Introducción.....  | 70         |
| Material y métodos .....   | 72         |
| Resultados.....  | 77         |
| Discusión .....  | 82         |
| <b>Capítulo 6. Determinación del hábitat potencial del cocodrilo americano (<i>Crocodylus acutus</i>) como estrategia para la reducción de conflictos con el ser humano en el Pacífico Central, Costa Rica. ....</b> | <b>91</b>  |
| Introducción.....  | 92         |
| Materiales y Métodos .....   | 93         |
| Resultados y discusión.....  | 98         |
| <b>Capítulo 7. Zonificación de las áreas propensas a incidentes por ataques de <i>Crocodylus acutus</i> en el Pacífico Central de Costa Rica utilizando un Sistema de Información Geográfico. ....</b>               | <b>111</b> |
| Introducción.....  | 112        |
| Materiales y Métodos .....   | 115        |
| Resultados y discusión.....  | 120        |
| <b>Capítulo 8. Hábitat potencial del cocodrilo americano (<i>Crocodylus acutus</i>: reptilia: Crocodylidae) e identificación de áreas de interacción con humanos en Costa Rica. ....</b>                             | <b>135</b> |
| Introducción.....  | 136        |
| Materiales y métodos.....  | 139        |
| Resultados.....  | 152        |
| Discusión .....  | 156        |
| <b>Capítulo 9. Discusión general y perspectivas. ....</b>  | <b>171</b> |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| <b>Conclusiones .....</b> | <b>187</b> |
| <b>Bibliografía .....</b> | <b>191</b> |



# Resumen

El cocodrilo o cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) es una especie ampliamente distribuida en las regiones costeras del continente americano. En Costa Rica la podemos encontrar tanto en la costa Pacífica como en la del Caribe, siendo un habitante común de ríos, lagos, esteros, pantanos, desembocaduras de los ríos, playas, tanto en agua dulce como en agua salada. Durante el siglo pasado, la cacería ilegal condujo al cocodrilo casi a la extinción, por lo cual fue protegido por la legislación costarricense; desde ese momento, estudios demuestran que sus poblaciones se han recuperado satisfactoriamente.

En el Pacífico Norte y Central, y en el Caribe Norte y Central se presentan algunas de las poblaciones de cocodrilos más numerosas de Costa Rica. En estas zonas se ha registrado también crecimiento de la población humana, avance de la frontera agrícola, y el desarrollo de numerosas actividades turísticas.

El objetivo general de esta tesis fue desarrollar un análisis del paisaje del hábitat del Cocodrilo *Crocodylus acutus* en Costa Rica, para reconocer tendencias poblacionales y conflictos con humanos.

Los resultados obtenidos sugieren que las modificaciones en el hábitat, parece que han brindado nuevas condiciones para el establecimiento de cocodrilos en estas áreas, incrementando el conflicto y los encuentros entre humanos y cocodrilos. La presencia de cocodrilos está siendo común en zonas urbanizadas e inclusive adonde ha habido reducciones en la cobertura boscosa, al ser este reptil una especie oportunista se puede estar beneficiando del crecimiento demográfico humano, del avance de la frontera agrícola y la presión urbana, por lo que podría estar encontrando, para su alimentación, presas de fácil captura tales como animales domésticos en zonas con alta presencia de poblados. Sin lugar a duda,

estas situaciones pueden estar generando importantes conflictos entre humanos y cocodrilos, lo cual puede estar asociado a nuevas condiciones que se dan en áreas con actividades humanas asociadas.

De la misma manera, se han detectado zonas con potencial alto para ser habitadas por cocodrilos en ambas vertientes del país: para la vertiente del Pacífico, estas zonas coinciden en el Norte con el Río Tempisque y sus ríos tributarios; en el Pacífico Central a zonas cercanas a la ciudad de Puntarenas, Parrita y Quepos; en la zona del Pacífico sur, en Sierpe, además de algunas zonas asociadas al Humedal Sierpe-Térraba. Para la vertiente del Caribe, las áreas con potencial alto para ser habitadas por cocodrilos se han identificado en áreas cercanas a las zonas costeras, principalmente en el Caribe. Al ser esta vertiente bastante plana cuenta con buenas condiciones para la presencia de cuerpos de agua y por ende de cocodrilos. Poblados como Siquirres, Bataan, La Rita Cariari, en la zona Norte y poblados como Horquetas, Agua Zarcas, Pital, Cureña, los Chiles y zonas cercanas a Caño Negro presentan condiciones adecuadas para la presencia de cocodrilos.

Lo anterior supone un reto para el manejo de posibles conflictos, ya que se han reconocido muchas de estas áreas como centros de población e importantes sitios para el turismo nacional e internacional. Para disminuir los conflictos es necesario el compromiso de las autoridades gubernamentales y generar información sobre el tamaño de las poblaciones de cocodrilos en el país, para, con esta información, generar un plan de manejo de cocodrilos que permita la reducción de incidentes en estas áreas, que garantice la conservación de la especie, proteja a pobladores y turistas de estas zonas y ante todo, que resguarde la vida humana.

# Capítulo 1. Introducción

El cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*).

A nivel mundial se reconocen 23 especies de crocodílidos, pertenecientes al orden Crocodylia. De éstas, 13 pertenecen a la familia Crocodylidae, 8 a la familia Alligatoridae y dos a la familia Gavialidae (Ross 1998, Ross 1998, Leenders, 2019). Los crocodílidos habitan en las zonas tropicales y subtropicales, su hábitat comprende ríos, lagos y pantanos, de agua fresca o salobre (Ross 1998).

En el continente americano, el género *Crocodylus* está representado por cuatro especies: *Crocodylus acutus*, *C. moreletii*, *C. intermedius* y *C. rhombifer* (Crocodylia: Crocodylidae) (Franz, Reid y Puckett, 1985; Ray et al., 2004), específicamente *C. acutus* es una especie ampliamente distribuida en las regiones costeras del continente (Kushlan y Mazzotti, 1989; Thorbjarnarson, 1989). En concreto, su área de distribución abarca desde la parte sur de los Estados Unidos, en el estado de La Florida, hasta el Norte de América del Sur en Colombia y Venezuela por la vertiente del mar Caribe; y desde Sinaloa en México hasta Tumbes en Perú por la vertiente del océano Pacífico; su distribución alcanza también las islas Antillas Mayores en el mar Caribe (Thorbjarnarson, 1989), específicamente en las islas caribeñas de Cuba, Jamaica, La Española, Haití y el sur de Florida, USA (Thorbjarnarson, 1989).

El cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*, Reptilia: Crocodylidae) es una especie que se encuentra amenazada (Brien et al., 2008), está incluida en el apéndice I de CITES y es considerada como vulnerable en la lista roja de UICN (Balaguera-Reina y González-Maya, 2010).

## Cocodrilianos en Costa Rica.

En Costa Rica se encuentran dos especies de crocodílidos: *Caiman crocodilus fuscus* (Crocodylia: Alligatoridae) y *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) (Sánchez, 2001). A lo largo de las costas costarricenses es posible encontrar a la única especie en el país representante de la familia Crocodylidae, el cocodrilo americano, especie que puede alcanzar una talla máxima reportada de 6 metros de longitud total (Medem, 1981). Asimismo, compartiendo simpátricamente el ambiente en el Caribe, zona norte y el Pacífico Central y Sur, también se encuentra al único representante de la familia Alligatoridae; el caimán o guajipal, con una talla máxima reportada de hasta 2.8 metros de longitud total (Bolaños, Sánchez y Piedra, 1995).

Como se mencionó anteriormente, el cocodrilo americano se distribuye en ambas costas de Costa Rica, e inclusive en aguas continentales. En el Pacífico suele preferir zonas de manglar, ríos anchos y caudalosos. Así, en las zonas secas de la vertiente Pacífica su presencia es abundante en ríos como Cañas, Tempisque, Tárcoles y Jesús María, mientras que hacia el sur en los ríos Grande de Térraba y Coto (Bolaños et al., 1997). En el Caribe, es común su distribución en todas las zonas de humedales de la vertiente, así como en la Zona Norte.

Se ha identificado que en los ríos caudalosos y en las costas están los individuos de mayor talla, dado que estos son los sitios de más amplia movilización y óptimos para sus requerimientos. En los afluentes aledaños a estos ríos principales están los de tallas media a grandes o los individuos que han sido desplazados por los machos alfa. Las áreas costeras, aunque la composición es diversa, son dominadas por cocodrilos de tallas grandes (Sasa y Chaves, 1992; Sánchez, 2001; Valdelomar et al., 2012; Sandoval et al., 2017).

Diferentes investigaciones muestran que en el Pacífico norte y central de Costa Rica, específicamente en los ríos Tempisque y Tárcoles, están las poblaciones más abundantes de cocodrilos del país (Sánchez, 2001). Sin embargo, en Costa Rica desde hace más de setenta años, la cacería ilegal con fines comerciales y deportivos llevó a la especie al borde de la extinción, por lo que actualmente está declarada esta especie en peligro de extinción y es protegido por la ley de Conservación de la Vida Silvestre (7317) (Bolaños, 2012a; Sandoval et al., 2017). En el Caribe Norte, Central y zona Norte de Costa Rica los tamaños poblacionales son importantes, especialmente en los ríos Matina, Pacuare, Reventazón, Parismina y en la zona del Parque Nacional Tortuguero y Refugio de Vida Silvestre Barra del Colorado (Bolaños et al., 2019, Sandoval et al., 2021).

## Interacciones humano cocodrilo en Costa Rica.

Estudios de las últimas dos décadas indican que la aplicación de la ley 7317 en el país ha sido exitosa y las poblaciones de cocodrilos han aumentado (Sánchez, 2001; Bolaños, 2012a; 2012b; Valdelomar et al., 2012; Orozco, 2015; Sandoval et al., 2017), hay evidencia que muestra que desde principios de la década de los noventa se identificó una mayor presencia de cocodrilos en sus áreas de distribución natural, así como un aumento de incidentes entre humanos y cocodrilos en el Pacífico norte y central del país (Bolaños, 2012a; Sandoval et al., 2019; Porras et al., 2020 et al.), gran parte de estos incidentes tienen una relación directa con la invasión humana al hábitat del cocodrilo (Bolaños, 2012b; Porras et al., 2020).

Actualmente, estas interacciones persisten debido al amplio desarrollo de actividades antrópicas, crecimiento de la población humana y actividades agrícolas en áreas de ríos, estuarios y cuerpos de agua. Estas actividades han generado la

alteración del medio natural afectando el hábitat de la especie y potenciando la interacción con el ser humano (Sandoval et al., 2019; 2020).

Las especies de crocódilidos son consideradas como especies clave, debido a su efecto positivo sobre el ambiente, ya que, por su actividad, mantienen la estructura y función de los ecosistemas. Dentro de sus funciones se puede reconocer la depredación selectiva de peces, reciclaje de nutrientes y mantenimiento de la humedad en refugios durante las épocas de sequía (Ross, 1998).

Son los mayores depredadores en su hábitat y se creó que están siendo afectados por la pérdida de hábitat, cambios en el uso del suelo, contaminación de las aguas y cacería en toda su zona de distribución. La pérdida combinada del hábitat y de crocódilidos representa una significativa pérdida de biodiversidad, de potencial económico y de estabilidad del ecosistema (Ross, 1998). Balaguera-Reina y González-Maya (2010), indican que el cocodrilo es clave para el mantenimiento de los procesos ecológicos dentro de los ecosistemas acuáticos debido a su posición en la pirámide alimenticia como depredadores máximos; pero también señalan que, debido a sus características de uso de hábitat, abundancia y proporción de sexos en el área de estudio, necesitan atención inmediata debido al grado de amenaza a la que están sujetos y plantear medidas claves para reducir la problemática entre estos animales y las personas.

Por las razones antes mencionadas, estos reptiles representan un potencial riesgo para las comunidades y para el sector turístico del país, ya que son animales que pueden generar ataques, invadir zonas productivas, además podrían cazar a mascotas y otros animales que las familias crían para su subsistencia (Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Pooley, 2017; Porras et al., 2020; Pooley et al., 2021) et al., De la misma manera, Sasa y Chaves (1992), Valdelomar et al., (2012), Morales (2013), Sandoval et al., (2019; 2020), y Porras et al., (2020), mencionan que el

traslape de sus actuales hábitats con zonas urbanizadas generan incrementos en las interacciones entre los humanos y cocodrilos. Esto es debido a la presencia de estos reptiles en ríos, lagunas, manglares y esteros en los que se reconoce que se desarrollan actividades antrópicas incluyendo turismo, así como actividades económicas propias de las regiones. Así mismo, la presencia de la especie en la vida cotidiana de las distintas regiones ha generado una imagen negativa de la especie, lo cual se ha convertido en una problemática que se acrecienta ante los ataques reportados tanto a personas como animales domésticos (Jiménez et al., 2008).

De la misma manera las variaciones en el paisaje, el que las personas y actividades turísticas estén más cerca del hábitat del cocodrilo y el desconocimiento de la ecología de la especie, generan un aumento en las posibilidades de interacción (Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; 2020, Porras et al., 2020). Como se ha expuesto, se ha comprobado que las interacciones entre los humanos y cocodrilos son más frecuentes, lo que propicia un mayor número de ataques a pobladores y turistas, lo cual supone un problema de manejo de la especie. Al respecto, Fonseca (2008), Sandoval et al., (2017), y Porras et al., (2020), presentan datos que indican que los ataques de cocodrilos a humanos se han acrecentado.

Para citar un ejemplo, en el Pacífico Central de Costa Rica, los cocodrilos se asocian con la presencia de cuerpos de agua, una alta densidad de redes de drenaje (ríos, humedales y zonas inundables), la presencia de manglares y esteros, en altitudes menores a los 240 m.s.n.m. (Sandoval et al., 2020). Además de la red de drenaje, el aumento de la cobertura boscosa puede incrementar el hábitat disponible para los cocodrilos y con ello se podrían dar posibilidades para que sus poblaciones se incrementen (Bolaños et al., 1997; Sánchez, 2001; Bolaños, 2012a).

En Costa Rica, Sandoval, Morera y Sandoval (2019) han realizado análisis del hábitat del cocodrilo en el Pacífico Central del país, después de encontrar que,

en los últimos años, se ha detectado incremento de actividades humanas en zonas que se identifican como óptimas para la presencia de cocodrilos. Para esta región se han registrado interacciones entre humanos y cocodrilos en áreas donde se realizan actividades antrópicas (Morales, 2013; Orozco, 2015; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019), a esto se le debe sumar que las poblaciones de cocodrilos se han recuperado satisfactoriamente en Costa Rica (Sánchez, 2001; Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b; Valdelomar et al., 2012; Orozco, 2015; Sandoval et al., 2017). Así mismo, se ha encontrado que la especie es abundante en zonas con alto grado de urbanización, presentando un patrón de convivencia con las poblaciones humanas, en muchos casos estas zonas presentan importantes actividades turísticas (King et al., 1990; Sánchez et al., 1996; Bolaños et al., 1997; Sánchez, 2001; Escobedo-Galván, 2008; Barrantes, 2008; Bolaños, 2011a; Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Orozco, 2015; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019).

Desde este punto de vista, Woodroffe et al., (2005) han observado que los conflictos entre humanos y vida silvestre son un problema creciente en todo el mundo, y señalan especialmente que los cocodrilos son uno de los principales grupos involucrados (Lamarque et al., 2009; Amarasinghe et al., 2015). De hecho, los cocodrilos se destacan por ser un grupo involucrado en una gran cantidad de interacciones con humanos en todo el mundo, esto principalmente porque los humanos y los cocodrilos se encuentran a menudo compartiendo su hábitat (Vanwersch, 1998; Ferguson, 2004; Caldicott 2005; Langley, 2005; McGregor, 2005; Woodroffe et al., 2005; Aust et al., 2009; Lamarque et al., 2009; Amarasinghe et al., 2015; Pooley, 2017; Pooley et al., 2021), por lo que es común que surjan conflictos incluso cuando hay modificación del hábitat del cocodrilo por parte del humano (Mazzotti et al., 2007; Murray et al., 2015).

Como se mencionó, en Costa Rica, desde la década de 1990, el número de incidentes entre humanos y cocodrilos ha aumentado, lo cual se ha asociado al aumento de las interacciones entre humanos y cocodrilos (Bolaños 2012). En la región del Pacífico, las interacciones entre humanos y cocodrilos ocurren en áreas donde se presentan actividades humanas (Porrás, 2007; Morales, 2013; Orozco, 2015; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; Sandoval et al., 2020; Porrás et al., 2020). *C. acutus* es abundante en zonas con altos índices de desarrollo urbano, y actualmente presentan un patrón de convivencia con las poblaciones humanas debido a la reducción de la cobertura forestal y al crecimiento de la frontera agrícola, las actividades productivas y el turismo (King et al., 1990; Sánchez et al., 1996; Bolaños et al., 1997; Sánchez, 2001; Escobedo-Galván, 2008; Barrantes, 2010; Bolaños, 2011a; Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Orozco, 2015).

Valdelomar et al., (2012), Morales (2013), y Sandoval et al., (2017), han comprobado que los pobladores de las comunidades del Pacífico Norte de Costa Rica identifican al cocodrilo como abundante, consideran que sus poblaciones han crecido en los últimos años. Así mismo, estos autores identificaron que los pobladores están dispuestos hacer actividades de recreación, natación y la pesca artesanal, en el cauce principal de áreas de distribución de cocodrilos, lo que hace que se incremente el riesgo de ataque por la especie, más aún cuando se considera que dichas actividades se realizan diaria, semanal y mensualmente. Lo anterior evidencia que no se reconocen los riesgos de ataque ni la densidad de cocodrilos en el río. Así mismo, se muestra una falta de conocimiento acerca la historia natural y ecología de la especie. Lo anterior también ha sido propuesto por Sasa (1991), Sánchez (2001), Bolaños (2012a; 2012b), Valdelomar et al., (2012), Orozco (2015), Sandoval et al., (2017), Sandoval et al., (2019), y Sandoval et al., (2020), quienes han mencionado que el traslape entre el hábitat del cocodrilo y zonas urbanas generan mayor posibilidad de conflictos e interacciones entre humanos y cocodrilos.

De esta manera, la protección que les otorga la ley en Costa Rica, y debido a que los cocodrilos son oportunistas, podrían estar beneficiándose del crecimiento demográfico humano, el avance de la frontera agrícola y la presión urbana. Los cocodrilos suelen alimentarse de animales domésticos en áreas con asentamientos humanos, situación que podría disminuir la competencia intraespecífica en algunos de los hábitats del cocodrilo (Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Carrillo, 2013; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; Sandoval et al., 2020).

La invasión progresiva de humanos en varios ambientes podría estar generando mayores conflictos entre humanos y cocodrilos a medida que los humanos cambian las condiciones de esos ambientes habitados por cocodrilos, lo que a su vez afecta el comportamiento de los cocodrilos (Valdelomar et al., 2011; Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b; et al., Morales, 2013; Peraza, 2015; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019).

## Objetivos

El objetivo general de esta tesis es desarrollar un análisis del paisaje del hábitat del Cocodrilo *Crocodylus acutus* en Costa Rica, para reconocer tendencias poblacionales y conflictos con humanos. Este objetivo se puede puntualizar en los siguientes objetivos específicos:

1. Desarrollar un análisis poblacional del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) y el caimán (*Caiman crocodilus*), en el Caribe Norte y Central de Costa Rica.
2. Realizar un análisis del paisaje del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en el noroeste de Costa Rica para determinar qué variables del paisaje pueden beneficiar el crecimiento de sus poblaciones.

3. Determinar el hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) como estrategia para la reducción de conflictos con el ser humano en el Pacífico Central, Costa Rica.
4. Desarrollar una zonificación de las áreas propensas a incidentes por ataques del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en el Pacífico Central de Costa Rica.
5. Identificar el hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*), así como las áreas de interacción entre cocodrilos y humanos en el Pacífico, el Caribe y la Zona Norte de Costa Rica.

## La estructura de la tesis

La tesis se presenta en forma de capítulos, estos capítulos se complementan con los apartados de discusión general y perspectivas y las conclusiones; componentes que integran los resultados parciales de cada capítulo, los capítulos 3-8 corresponden a artículos publicados (capítulos 3, 4, 6 y 7), en prensa (capítulo 5) y en revisión (capítulo 8).

Capítulo 1: Introducción.

Capítulo 2: Materiales y Métodos.

Capítulo 3: Estado poblacional del cocodrilo americano, *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) y el caimán, *Caiman crocodilus* (Reptilia: Alligatoridae), en el Caribe Central de Costa Rica.

Capítulo 4: Estado poblacional del cocodrilo americano, *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) y el caimán de anteojos, *Caiman crocodilus* (Reptilia: Alligatoridae) en el Caribe Norte de Costa Rica.

Capítulo 5: Análisis del paisaje del cocodrilo americano *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) en el noroeste de Costa Rica.

Capítulo 6: Determinación del hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) como estrategia para la reducción de conflictos con el ser humano en el Pacífico Central, Costa Rica.

Capítulo 7: Zonificación de las áreas propensas a incidentes por ataques de *Crocodylus acutus* en el Pacífico Central de Costa Rica utilizando un Sistema de Información Geográfico.

Capítulo 8: Hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*: reptilia: Crocodylidae) e identificación de áreas de interacción con humanos en Costa Rica.

Capítulo 9: Discusión general y perspectivas.

Conclusiones

Bibliografía.

## Justificación de la tesis

Las zonas en las que más se ha estudiado a *C. acutus* son la vertiente del Pacífico Central (VPC) y el gran humedal del Tempisque (GHT) en el pacífico norte. Dichas áreas han sido reconocidas por albergar las poblaciones más importantes de cocodrilos de Costa Rica (Sánchez, 2001; Bolaños, 2012b; Orozco, 2015), pero se desconocía el estado de las poblaciones en el Caribe; así mismo en estas zonas se ha identificado un alto crecimiento demográfico, avance de la frontera agrícola, presión urbana y aumento de la red vial (Bolaños *et al.*, 1997; Sánchez, 2001; Bolaños, 2012a; Orozco, 2015).

En este sentido, se debe mencionar que en los últimos años se ha encontrado una mayor cantidad de interacciones entre cocodrilos y humanos (Pooley, 2017; Pooley *et al.*, 2017; Sandoval *et al.*, 2017; Porras *et al.*, 2020; Pooley *et al.*, 2021) dichas interacciones podrían estar determinadas por las características del hábitat

(tamaño, forma, densidad, heterogeneidad y grado de conectividad entre unidades del paisaje) y su distribución, entre otras. Con especies generalistas se ha estudiado la forma en que dichos factores pueden generar aumentos o disminuciones en sus densidades, desaparición de algunos individuos, disminución en la biodiversidad o recuperación de esta (Pickett y Thompson, 1978; Harris, 1984; Merriam, 1988; Saunder et al., 1991; Wiens, 1994; Haila, 2002; Bennett, 2004; Turner, 2005).

En este sentido, en el Gran Humedal del Tempisque, Valdelomar et al., (2012), Morales (2013), Carrillo (2013) y Sandoval et al., (2017), han comprobado que los pobladores de las comunidades aledañas al río Tempisque identifican al cocodrilo como abundante, consideran además que sus poblaciones han crecido en los últimos años. Así mismo se ha identificado que los pobladores están dispuestos hacer actividades de recreación, natación y pesca artesanal, en el cauce principal del río, lo que incrementa el riesgo de ataque por la especie, más aún cuando se considera que dichas actividades se realizan diaria, semanal y mensualmente. Lo anterior evidencia que no se reconocen los riesgos de ataque ni la densidad de cocodrilos en el río. Así mismo, se muestra una falta de conocimiento acerca la historia natural y ecología de la especie.

De la misma manera se deben analizar otros factores como los cambios en la cobertura boscosa que se dieron en Costa Rica, principalmente en las tierras bajas hacia el norte en ambas vertientes (Harrison, 1991; Carrillo y Vaughan, 1994; Bonilla y Rosero-Bixby, 2004). Dicha reducción de esa cobertura pudo provocar incrementos en índices de fragmentación del paisaje, aislamiento de los parches de bosque, lo que pudo traer como consecuencias pérdidas de hábitats naturales y reducción o aumento en la biodiversidad en las diferentes áreas (Troche y Guarachi, 2001; Martínez-Salinas, 2008; Sandoval y Castillo, 2011), lo cual podría afectar las poblaciones de *C. acutus*.

En este sentido, los índices de paisaje permitirían discriminar tipos de vegetación, evaluar las condiciones de heterogeneidad del hábitat, además del

aislamiento, fragmentación y complejidad del hábitat, lo que puede dar una idea de las condiciones ecológicas. La evaluación del paisaje, la fragmentación y los patrones de conectividad pueden ser una prioridad para asegurar el mantenimiento de especies y ecosistemas. Estas herramientas, brindan representaciones efectivas de la estructura del paisaje, lo que podría aportar información significativa para mejorar la planificación de la conservación (Delgado, 2018).

En el Pacífico Central de Costa Rica, los cocodrilos están asociados con la presencia de cuerpos de agua, una alta densidad de la red de drenaje y la presencia de manglares y esteros, en altitudes menores a 240 msnm. (Sandoval et al., 2020). Además de la red de drenaje (ríos, humedales y zonas de inundación), el aumento de la cobertura forestal puede aumentar el hábitat disponible para los cocodrilos y, por lo tanto, aumentar su abundancia (Bolaños et al., 1997; Sánchez 2001; Bolaños, 2012a).

Es conocido que para el manejo y conservación de los recursos naturales y del medio ambiente se requiere de la integración conceptual y espacial de información biofísica, socioeconómica y política. En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en un conjunto de herramientas, software, hardware y procedimientos que permiten recolectar, almacenar, generar modelos y utilizar datos georeferenciados en su proceso de toma de decisiones y por ende en la consecución de sus objetivos y metas (Sandoval y Castillo, 2011).

De este modo, resulta evidente el interés del estudio del paisaje y la generación de modelos en un espacio definido debido a la importante interdependencia existente entre fauna, flora y paisaje. Se ponen así de manifiesto efectos extraterritoriales, a veces poco evidentes, de la alteración de los paisajes, que justifican ampliamente su estudio en un ámbito de ordenación y protección de recursos naturales (Martínez-Vega et al., 2003).

En este sentido, a partir del reconocimiento de los cambios en la estructura del paisaje en áreas de distribución de cocodrilos, se podría plantear que los incrementos poblacionales del cocodrilo estarían relacionados con la recuperación de los bosques como lo plantea Morera y Sandoval (2016). A partir de dicha información se podría inferir que junto con la regeneración boscosa se han recuperado además las poblaciones de vertebrados generalistas, los cuales podrían estar siendo presa de los cocodrilos.

De la misma manera, Morera y Murillo (2016), han encontrado que los índices de fragmentación para zonas del Pacífico variaron, a pesar de la recuperación del bosque, situación que puede beneficiar el establecimiento y crecimiento de especies generalistas en los diferentes hábitats (Pickett y Thompson, 1978; Harris, 1984; Bennett, 1990; Haila, 2002; Turner, 2005; Sandoval y Castillo, 2011).

En este sentido, Sasa y Chaves (1992), Valdelomar et al., (2012), Pooley (2017), Pooley et al., (2017), Porras et al., (2020), Pooley et al., (2021), mencionan que el traslape del hábitat del cocodrilo y zonas con actividades humanas, generan mayor nivel de interacción entre las especies. Esto principalmente por la presencia de estos reptiles en ríos, lagunas, manglares y esteros en los cuales se desarrollan actividades recreativas incluyendo turismo, así como actividades económicas propias de las regiones.

Como se ha expuesto, dichas razones generan una interacción más frecuente entre humanos y cocodrilos, lo cual se traduce en un mayor número de incidentes entre ambas especies. Al respecto Fonseca (2008), Porras et al., (2020) y Pooley et al., (2021) presenta datos que indican que los ataques de cocodrilos a humanos se han acrecentado.

Paralelamente a esto, el crecimiento demográfico y el desarrollo desmedido del ambiente urbano en Costa Rica ha desdibujado las fronteras entre comunidades humanas y poblaciones de animales silvestres, particularmente de aquellas que

logran adaptarse a las condiciones que el nuevo entorno les impone. Como consecuencia, el avistamiento de animales en zonas urbanas se ha incrementado en los últimos años, tanto en las ciudades de la Meseta Central, como en aquellas ubicadas en otras zonas del país (Bolaños, 2011).

El avistamiento de animales silvestres en escenarios urbanos o semiurbanos no siempre es considerado positivo. Ataques a humanos y sus animales domésticos, zoonosis, dispersión de basura, ruidos, interrupción de flujo eléctrico y contaminación fecal son efectos indeseables de la presencia de algunas especies silvestres en esos ambientes. Además, la población costarricense tiene poca o ninguna experiencia en el manejo de animales silvestres y la falta de conocimiento genera temor ante tales encuentros. La situación se torna más problemática cuando efectivamente se trata de animales peligrosos. En esos casos, el animal puede inducir heridas considerables, e incluso la muerte a quienes intenten manipularlo de manera inadecuada. Por ejemplo, entre 1985 y 2006 se registran en el país un total de 52 encuentros fatales con himenópteros, principalmente abejas africanizadas (Prado et al., 2009), la mayor incidencia en la provincia de Guanacaste. Para casi el mismo periodo, se registran un total de 26 casos de ataque de cocodrilos a humanos, un 46% de ellos resultaron fatales (Bolaños, 2011a). Esta situación podría resultar del aumento de sus poblaciones, especialmente en ríos de la vertiente Pacífica (Sasa y Chaves, 1992; Sánchez, 2001 y Porras et al., 2008).

En el pasado, una solución simplista al encuentro de vida silvestre no deseada era intentar sacrificarla. En la práctica estos intentos generaron situaciones aún más peligrosas que las que intentaban resolver (manejo de armas de fuego, exposición a mordeduras y picaduras, etc.). Además, la legislación ambiental costarricense ha evolucionado para brindar una mayor protección a la biodiversidad existente, incluidas aquellas especies amenazadoras. Así, la ley de Conservación de Fauna Silvestre (1992) y la Ley de Biodiversidad (1998) favorecen la diversidad

biológica y la reconocen como medular en el desarrollo económico y científico del país. En el caso de fauna, la Ley de Bienestar Animal especifica además las bases éticas del manejo y manipulación de animales, por lo que el rescate de animales peligrosos está también normalizado.

Como se ha mencionado, en la región del Pacífico de Costa Rica, las interacciones entre humanos y cocodrilos ocurren en áreas donde existe una amplia variedad de actividades antropogénicas (Porras, 2007; Morales, 2013; Orozco, 2015; Sandoval et al., 2017, Sandoval et al., 2019; Sandoval et al., 2020; Porras et al., 2020) y la población de cocodrilos se ha recuperado con éxito (Sánchez, 2001; Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b; Orozco, 2015; Sandoval et al., 2017).

El cocodrilo es abundante en zonas con alto índice de desarrollo territorial, presentando un patrón de convivencia con las poblaciones humanas debido a la reducción de la cobertura forestal y al crecimiento de la población humana (King et al., 1990; Sánchez et al., 1996; Bolaños et al., 1997; Sánchez, 2001; Escobedo-Galván, 2008; Barrantes, 2010; Bolaños, 2011a; Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Orozco, 2015; Bolaños et al., 2019; Porras et al., 2020; Pooley et al., 2021).

Si a lo anterior se le suma la protección que les otorga a estos reptiles la ley de Conservación de la Vida Silvestre de Costa Rica, a que ellos son oportunistas y podrían beneficiarse del crecimiento demográfico humano, del avance de la frontera agrícola y la presión urbana: se deben plantear acciones de manejo urgentes para disminuir las interacciones entre ambas especies.

La invasión progresiva de los humanos al hábitat del cocodrilo podría generar un aumento de los conflictos entre humanos y cocodrilos a medida que los humanos cambian la estructura de su hábitat (Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b; Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Peraza, 2015; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019). Por lo cual, hacer el Análisis del paisaje del hábitat del Cocodrilo *Crocodylus acutus* en Costa Rica, y reconocer tendencias poblacionales y sus conflictos con humanos, se convierte en una necesidad para disminuir las

interacciones entre ambas especies y procurar reducir el riesgo de ataque de estos reptiles a las personas.

## Capítulo 2. Materiales y Métodos

Estimación poblacional de cocodrilianos en el Caribe Central y Caribe norte de Costa Rica.

**Área de estudio:** La estimación poblacional de cocodrilianos en el Caribe Central y Caribe norte se llevó a cabo durante 2016-2017 y 2018-2019 respectivamente en la provincia de Limón, en el Caribe central se abarcó un área de aproximadamente 400 km<sup>2</sup>, zona caracterizada por una densa y extensa red de cursos de agua que incluye los ríos Matina, Pacuare, Reventazón y Parismina. Además de cubrir un promedio de 25 kilómetros aguas arriba de estos ríos desde la costa hasta el interior del territorio, el estudio incluyó los canales de Tortuguero y otros cuerpos de agua que conectan estos ríos, así como las lagunas y canales secundarios más importantes. En el Caribe norte El área de estudio tuvo una extensión aproximada a los 408 km<sup>2</sup>, y estaba caracterizada por canales largos, anchos y profundos; constituyendo un vasto humedal con pequeños meandros y lagunas adjuntas que conforman la estructura hídrica principal de esta importante red de cursos de agua.

Estimación de la abundancia relativa y estructura poblacional: En ambas regiones, la información fue colectada durante conteos nocturnos en los periodos antes mencionados. Se realizaron visitas de cuatro días y tres noches de trabajo efectivo. Los monitoreos tuvieron lugar siempre durante la fase de luna nueva, utilizando lámparas encandiladoras led de 6 voltios y hasta 8000 lumen, lo que se posibilita el avistado y posicionamiento de los cocodrilianos presentes (Levy 1991).

Para la estimación de tallas durante los avistamientos, se utilizaron los siguientes parámetros: a) distancia entre los ojos y la punta del hocico, b) la

distancia entre los ojos, c) la longitud total del animal, d) los animales que se ocultaron antes de poder observar su talla fueron anotados como “indeterminado”, y se sumaron al grupo general de cocodrilianos presentes en el lugar, sin asignación concreta ni de talla ni de especie (Bolaños *et al* 2019).

Los recorridos se realizaron en una panga de 9 metros de eslora y 2.5 de manga, impulsada por un motor de 45 Hp. En la parte baja en la zona de Tortuguero y Jalova (PNT), el trabajo se realizó utilizando el bote inflable, de 6 m de eslora y 1.5 m de manga, y un motor fuera borda de 18 HP.

**Captura, medición, marcaje e identificación:** Los animales se capturaron con la mano, o haciendo uso de una soga inserta dentro de un tubo de PVC de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, con pared gruesa, de 2 m de longitud. Los animales capturados fueron marcados, medidos, sexados y posteriormente liberados. Se registraron las variables: a) longitud total, b) longitud hocico-cloaca, c) longitud cloaca-extremo distal de la cola, d) longitud de la cabeza, entre la parte trasera de La tabla craneana y la punta del hocico. Todas las mediciones se realizaron usando una cinta métrica (+/- 0.5 mm) (Bolaños *et al* 1997). A cada uno de los animales capturados les fue implantado un microchip de identificación en la axila de su extremidad posterior izquierda. En el caso de los cocodrilos, fueron marcados además por medio de la amputación de las escamas caudales.

Los cocodrilos fueron clasificados en ocho tallas (Bolaños *et al.* 2019) con intervalos de 50 cm, esta clasificación permite realizar la estimación de la talla con un mínimo de error, y comparar nuestros datos con los obtenidos en diferentes censos realizados en Costa Rica.

Se realizó la corrección de probabilidad de observación, debido a que factores externos pueden afectar directa o indirectamente los resultados de los conteos y observaciones, tal como lo plantean King (1990) y Escobedo (2003) y sustentado por Messel *et al.* (1981).

## Análisis de paisaje del cocodrilo americano en el noroeste de Costa Rica.

**Área de estudio:** El gran humedal del Tempisque (GHT), se ubica en Pacífico Norte de Costa Rica, en el sector interno de la Península de Guanacaste, a lo largo del río Tempisque y sus contribuyentes. Discurre en dirección sur y sureste, bordeando internamente la península de Nicoya hasta desembocar en el Golfo de Nicoya, formando el segundo sistema hidrológico más importante del país.

El Pacífico Central de Costa Rica (PC), es una región diversa, donde existen zonas para la explotación de bosques, protección de cuencas hidrográficas y vida silvestre, así como zonas agrícolas y ganaderas. A lo largo de ella se encuentran áreas de terreno inundados, influenciados por el mar.

Para realizar el análisis del hábitat del cocodrilo fueron utilizados los programas QGIS 2.8.1 y ArcGis. Con QGIS se creó un polígono del tamaño de la cuenca del río Tempisque, el Río Bebedero y sus principales tributarios (Área del GHT), así como del área del Pacífico Central (PC) de Costa Rica (territorio comprendido entre los poblados de Puntarenas y Quepos).

A partir de este polígono se generaron cortes del tamaño del área de estudio de las bases de datos digitales de ríos 1:200000, 1:50000, Poblados, Humedales, Caminos y Carreteras, Zonas de Inundación, Relieve, Cobertura de 1997, 2000, 2005 del Atlas de Costa Rica 2014 (Ortiz 2014), además se realizaron cortes de las bases de datos de cobertura de bosque de Costa Rica del 2000 y 2010 del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y de la base de datos de Cobertura del 2013 del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).

Con los cortes del área de estudio se calculó el área (en hectáreas) que ocupan los humedales y zonas de inundación en las áreas de estudio. Se calculó

además el número de poblados, la densidad lineal de ríos, caminos y carreteras. De la misma manera se calculó el área de la cuenca que se encuentra  $\leq 600$  msnm (altura máxima a la que se reporta el cocodrilo americano en Costa Rica). Así mismo se realizó una cuantificación del porcentaje de cobertura forestal de los años 1997, 2000, 2005, 2010 y 2013 en todo el GHT y la VPC.

Adicionalmente, con la base de datos de cobertura forestal del 2013 y utilizando la extensión Patch analysis, del programa ArcGis, se calculó el índice de forma, índice de dimensión fractal, la densidad de bordes, los índices de diversidad y equidad de Shannon para los fragmentos.

Se calculó si existían diferencias significativas entre los porcentajes de cobertura por años utilizando una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis; y para determinar si los valores de los índices de paisaje están ligados a la variación de la cobertura forestal por años se realizó una regresión lineal para definir el grado de relación lineal existente entre las variables.

Para determinar si los cambios en el paisaje pudieron influir en el tamaño poblacional del cocodrilo en la zona de estudio se realizó una correlación de Spearman entre las densidades reportadas de cocodrilos y valores del cambio en el porcentaje de la cobertura por años y los valores de los índices de fragmentación.

Las densidades poblacionales de cocodrilos reportadas para la especie en la zona fueron promediadas y/o agrupadas para los periodos en los cuales existen registros de cambio en el uso del suelo en la zona para los posteriores análisis.

## Identificación del hábitat potencial del cocodrilo e identificación de áreas de interacción con el ser humano en Costa Rica.

A nivel general para el Pacífico Central en primera instancia y para el resto del territorio de Costa Rica se trabajó durante los años 2018 y hasta el 2020 en las zonas reconocidas por la literatura por ser áreas de distribución del cocodrilo en Costa Rica. Para la determinación de los hábitats potenciales de este reptil utilizamos como variables de análisis la altitud, topografía, red de drenaje, áreas de inundación, áreas de manglares, ríos y sus desembocaduras.

**Altitud:** Se generó un modelo digital de elevación (MDE) a partir de una capa vectorial curva a escala 1:50.000 de las hojas topográficas del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (Ortiz 2014). Posteriormente se reclasificó el MDE para obtener el rango de altitudes que abarca las condiciones topográficas óptimas para la presencia de *C. acutus* hasta una altura (0 – 700 m sobre el nivel del mar (msnm)). En el Caribe y Zona Norte se trabajó entre 0 – 200 msnm por ser una zona plana sin grandes alturas.

**Red de drenaje:** Esta se calculó para el área de estudio utilizando la capa vectorial de ríos a escala 1:50.000 en las hojas topográficas del IGN. Posteriormente, se determinaron los sectores con mayor densidad de drenaje por km<sup>2</sup>.

**Zonas de inundación:** Utilizando la red de drenaje, se asignó el valor tres a los sitios susceptibles a inundaciones, y uno a las áreas no expuestas a este tipo de eventos en el área de estudio, según la base de datos de riesgo de inundación del Atlas de Costa Rica.

**Delimitación de áreas con bosque, manglar, ríos y desembocaduras:** Para realizar la delimitación de áreas con cobertura boscosa, cuerpos de agua, manglar y vegetación anegada, se utilizaron imágenes satelitales de rpyd eye (años

2000 y 2015) a escala 1:25.000, seguidas de fotointerpretación utilizando las herramientas de edición del software. ArcGIS 10.5.

**Clasificación de categorías de uso de suelo:** el estrato de uso del suelo está compuesto por las diversas categorías de bosque: en pendiente baja, manglares, vegetación inundada, cuerpos de agua. Se les asignó un peso acorde a las condiciones óptimas para la presencia de cocodrilos.

**Clasificación de hábitat potencial:** Realizada la clasificación de uso del suelo, se utilizó en ArcGIS 10.5 los pesos normalizados de cada categoría. Con la calculadora se sumaron sus valores y se dividieron por el número de variables y luego se clasificaron para obtener el hábitat potencial de cada categoría habitada por cocodrilos.

**Identificación de actividades humanas en el hábitat del cocodrilo (potencial alteración del hábitat):** Para la identificación de las actividades humanas dentro del hábitat del cocodrilo, se analizaron factores socioambientales: densidad de vías de comunicación, densidad poblacional, densidad poblacional por distrito y uso del suelo (asentamientos, agricultura y pastos). Para la estimación del grado de alteración del suelo, se analizaron dichos elementos en dos periodos de tiempo (2000 y 2015), además analizamos índices de paisaje (ver más abajo), para determinar el grado de fragmentación del hábitat del cocodrilo.

**Evaluación de la estructura del paisaje:** Se utilizó la herramienta Patch Analysis para ArcGIS 10.5, y seleccionamos los siguientes índices de paisaje: a) Superficie: cobertura de cada área en hectáreas, b) Número de fragmentos: el número total de fragmentos de cada categoría, c) Tamaño promedio de los fragmentos : la suma de las áreas de cada cobertura dividida por el número de fragmentos, d) Desviación estándar de los fragmentos: una medida de la dispersión del tamaño de los fragmentos, según cada cobertura.

**Densidad de la red vial e incidentes de cocodrilos atendidos por los bomberos de Costa Rica:** En cuanto a la densidad de la red vial, se aplicó el método utilizado por Ramírez et al., (2005), definido como el promedio de la longitud total de las vías por unidad de superficie ( $\text{km}/\text{km}^2$ ). La extensión ArcGis (Densidad > Densidad de línea): determinó la densidad de caminos en las áreas cercanas al hábitat del cocodrilo y su relación con la incidencia de incidentes con cocodrilos registrados por el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. Así, la clasificación de la densidad de la red vial sirve como indicador de alteración del hábitat del cocodrilo.

**Tamaño y densidad de la población por distrito:** Se analizó la población humana de cada distrito para los periodos (2011-2025). Los datos de población se adquirieron del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

**Zonas de interacción humano-cocodrilo:** Con el mapa de hábitat potencial (topografía, red de drenaje y uso de cobertura del suelo) y el mapa de actividades humanas en el hábitat del cocodrilo (alteración del hábitat en función de la densidad vial, densidad poblacional y distancia a núcleos poblados), se estableció una relación entre ambos para detectar las zonas de interacción entre humanos y cocodrilos. Posterior a los análisis se brindan recomendaciones para disminuir interacciones entre humanos y cocodrilos.



# Capítulo 3. Estado poblacional del cocodrilo americano, *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) y del caimán, *Caiman crocodilus* (Reptilia: Alligatoridae), en el Caribe Central de Costa Rica.

*Revista de Biología Tropical*, 67(6): 1180-1193

Juan Rafael Bolaños Montero<sup>1\*</sup>, Juan José Sánchez Ramírez<sup>1</sup>, Luis Sigler<sup>2</sup>, Brady Robert Barr<sup>3</sup> & Iván Sandoval Hernández<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Asociación de Profesionales en Crocodílidos (ASOPROCROC), Heredia, Costa Rica

<sup>2</sup>Dallas World Aquarium Zoo (DWAZoo), 1801. N. Griffin. Dallas. Texas. Estados Unidos.

<sup>3</sup>Ecoadventures, Severna Park, MD, 21146, Estados Unidos.

<sup>4</sup>Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

**Resumen:** Estado de la población del cocodrilo americano, *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) y el caimán, *Caiman crocodilus* (Reptilia: Alligatoridae), en el Caribe central de Costa Rica. Dos especies de cocodrilianos han sido descritas en Costa Rica, el cocodrilo americano, *Crocodylus acutus* (Cuvier, 1807) y el caimán, *Caiman crocodilus* (Linnaeus, 1758). En Costa Rica se ha generado información de ambas especies, pero con énfasis en la vertiente del Pacífico, presumiblemente debido a su mayor desarrollo, lo cual ha acarreado mayor presión social hacia la atención de incidentes generados por el encuentro entre humanos y cocodrilos. El estudio se desarrolló durante el 2017 y en un área de aproximadamente 400 km<sup>2</sup>, caracterizada por tener una amplia densidad de cursos de agua que incluyen a los ríos: Matina, Pacuare, Reventazon y Parismina. En estos ríos se recorrió un promedio de 25 km desde la línea de costa hasta el interior del territorio, incluyendo los canales de Tortuguero, así como otros cuerpos de agua que conectan a estos ríos, lagunas importantes, y canales secundarios. Se realizaron tres repeticiones

por segmento. Una población de 1 084 caimanes y 503 cocodrilos fue estimada, para una abundancia relativa de 8.64 y 2.80 ind/km respectivamente. Con respecto a caimanes poco más del 12 % de los animales observados estaban en edad reproductiva, mientras que para cocodrilos sólo un 2 %. La abundancia en los diferentes segmentos resultó ser significativamente diferente para ambas especies (KruskalWallis,  $P \leq 0.000$ ). Mientras que la distribución por tallas de cocodrilos fue similar en todos los segmentos (KruskalWallis,  $P \leq 0.15$ ). Con 9 cocodrilos y 18 caimanes, reclutas o juveniles capturados, se calculó una proporción de sexos de 1.25 y 0.83 machos a hembras, para cocodrilos y caimanes respectivamente.

**Palabras clave:** *Crocodylus acutus*, *Caiman crocodilus*, Costa Rica, Caribe Central, estado poblacional de cocodrilianos, Canales de Tortuguero.

**Abstract.** Two species of crocodylians have been described in Costa Rica, American crocodile, *Crocodylus acutus* (Cuvier, 1807), and caiman, *Caiman crocodilus* (Linnaeus 1758). In Costa Rica, data has been generated on both species, but populations in the Pacific have received more attention from researchers; presumably due to the fact that the Pacific slope has a greater development, which brings greater social pressure on the attention of the incidents generated by the encounter between humans and crocodiles. This study, performed during 2017, was done in an area of approximately 400 km<sup>2</sup>, characterized by having a wide and dense network of water courses, which includes the Matina, Pacuare, Reventazón and Parismina rivers. In these rivers, an average of 25 kilometers were traveled from the coastline up stream to the interior of the territory, including the Tortuguero canals, and other water bodies that connect these rivers, as well as in the most important lagoons and secondary channels. Three repetitions were made per segment. A population of 1 084 caimans and 503 crocodiles is estimated: for a sight count of 8.64 and 2.80 ind/Km respectively. Speaking of caimans, up to 12 % of individuals of reproductive age were observed, while for crocodiles that number was only 2 %. The abundance of both species in the different places studied, turned out to be significantly different for crocodiles and for caimans (Kruskal-Wallis,  $P \leq 0.001$ ). Likewise, the size distribution is similar for crocodiles reported in all environments (Kruskal-Wallis,  $p \leq 0.15$ ), while for caimans it indicates that there is a different distribution for sizes, according to the environment in which they are found (Kruskal -Wallis,  $P \leq 0.001$ ), with a bias against of the Pacuare and Matina rivers. It was possible to estimate a sex ratio of 1.25

and 0.83 males to females, in crocodiles and caimans respectively, with 9 and 11 captures in that same order, in recruit and juvenile sizes.

**Key words:** *Crocodylus acutus*, *Caiman crocodilus*, Costa Rica, Central Caribbean, crocodilian population status, Tortuguero Channels.

## Introducción

Dos especies de cocodrilos han sido descritas en Costa Rica: el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*, Cuvier 1807), y el caimán de anteojos (*Caiman crocodilus*, Linnaeus 1758). El caimán se reporta en la vertiente atlántica, Zona Norte, Pacífico Central y Pacífico Sur, en agua dulce continental de caudal bajo, lagunas y arroyos. Por otro lado, el cocodrilo habita las costas de ambas laderas, incluyendo la Zona Norte, hasta una altura de 700 m sobre el nivel del mar, su hábitat puede ser tanto salobre (estuarios) como de agua dulce, y muestra una alta tolerancia al agua salada (King, Espinal, & Cerrato, 1990; Sánchez, Bolaños y Piedra, 1996; Bolaños, Sánchez, & Piedra, 1996; Ross, 1998; Sánchez, 2001; Bolaños, 2011a; Bolaños, 2011b; Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b; Orozco, 2015; Sandoval-Hernández, Durán-Apuy, & Quirós-Valerio, 2017).

En Costa Rica se han generado datos sobre ambas especies, dirigidos principalmente a estimaciones poblacionales y contando el número de individuos por área, principalmente en el Refugio de Vida Silvestre Caño Negro (Allsteadt & Vaughan, 1988; Sánchez, 1991); Río Grande de Tárcoles en la Reserva Biológica Carara (Sasa & Chaves, 1992; Torrealba, Paz y Motte, 1992); en el Golfo de Nicoya, Sierpe-Térraba, La Rambla (Bolaños, Sánchez y Piedra, 1996-1997); Río Tempisque-Bebedero (Sánchez, Bolaños y Piedra, 1996); Grande de Tárcoles, Tulín y Jesús María (Piedra, 2000) y río Tempisque (Sánchez, 2001; Bolaños, 2012a; Orozco, 2015).

A diferencia de las poblaciones de cocodrilos de la Zona Norte y la Vertiente del Caribe, las poblaciones de la vertiente del Pacífico costarricense han recibido

mucha más atención por parte de los investigadores; esto podría ser así, posiblemente debido a que la vertiente del Pacífico tiene un mayor desarrollo, lo que trae mayor presión social sobre la atención de los incidentes generados por el encuentro entre humanos y cocodrilos (Valdelomar et al., 2012; Sandoval-Hernández, Durán-Apuy, & Quirós-Valerio, 2017).

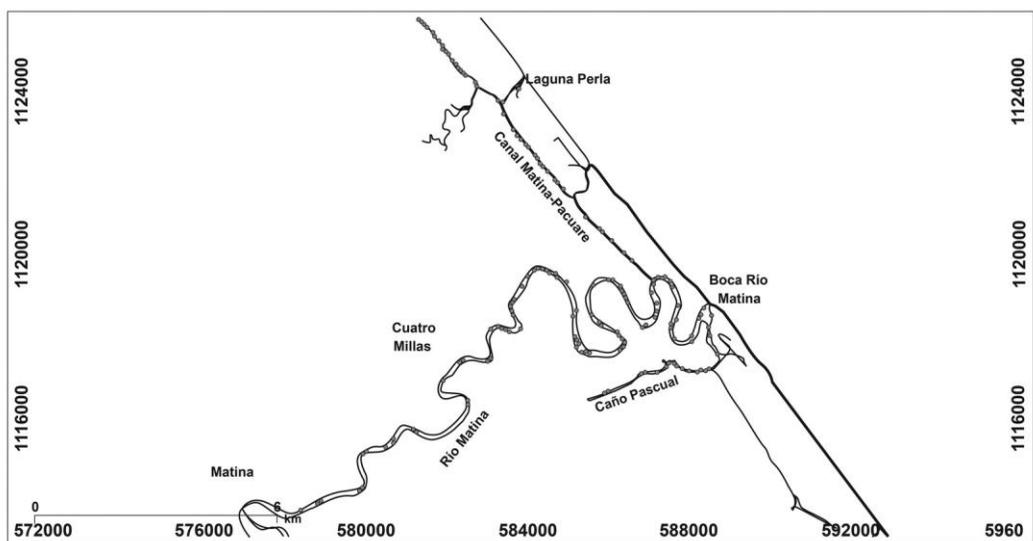
En la Vertiente Caribe, se ha observado que las especies silvestres suelen mantener la distancia de los humanos, especialmente los cocodrilos, lo que no significa necesariamente que no se produzcan conflictos entre humanos y cocodrilos, sino que en la mayoría de los casos la información no trasciende en las noticias (Bolaños, 2012a; Bolaños, 2011b). El análisis de la situación en la zona demuestra la existencia de un problema de fondo en la relación humano-cocodrilo, donde es posible cuantificar al menos 10 encuentros fatales registrados desde 1997 (Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b), eso sin mencionar los encuentros no fatales, los que reciben aún menos atención. Debido a las razones anteriores, se decidió determinar el estado de las poblaciones del cocodrilo americano y el caimán, en el Caribe Central de Costa Rica; específicamente en la cuenca baja de los ríos Matina, Pacuare, Reventazón y Parismina, y el cauce costero que los intercomunica (segmento de los canales de Tortuguero).

## Materiales y métodos

**Área de estudio:** Después de pasar seis meses organizando los factores relacionados con el posicionamiento físico en el terreno, el diseño de las rutas a realizar, así como la coordinación administrativa necesaria y el levantamiento del presupuesto necesario, el trabajo de campo de la investigación se realizó durante el año 2017 en el Caribe Centro-Norte de Costa Rica, provincia de Limón, en la zona identificada con el mayor número de reportes de incidentes con cocodrilos.

El estudio se realizó en un área de aproximadamente 400 km<sup>2</sup>, caracterizada por tener una amplia y densa red de cursos de agua, que incluye los ríos Matina, Pacuare, Reventazón y Parismina. En estos ríos. Se recorrieron en promedio de 25 kilómetros desde la costa a río arriba en el interior del territorio, más los canales de Tortuguero, y otros cuerpos de agua que conectan estos ríos, así como en las lagunas y canales secundarios más importantes.

Se realizaron tres repeticiones de los conteos de avistamiento nocturno durante diferentes épocas del año, en los tres ríos del estudio y la Laguna Jalova, sectores que fueron considerados como los segmentos más importantes y representativos de toda la zona. Se dedicaron dos repeticiones a los tres segmentos que intercomunican los Canales de Tortuguero; así como al segmento que une la terminal de autobuses de Caño Blanco por el río Reventazón, con la localidad Parismina y el segmento de caño pascual, considerando estos como sectores de uso secundario por los cocodrilos, dada la constante presencia de humanos. Por último,

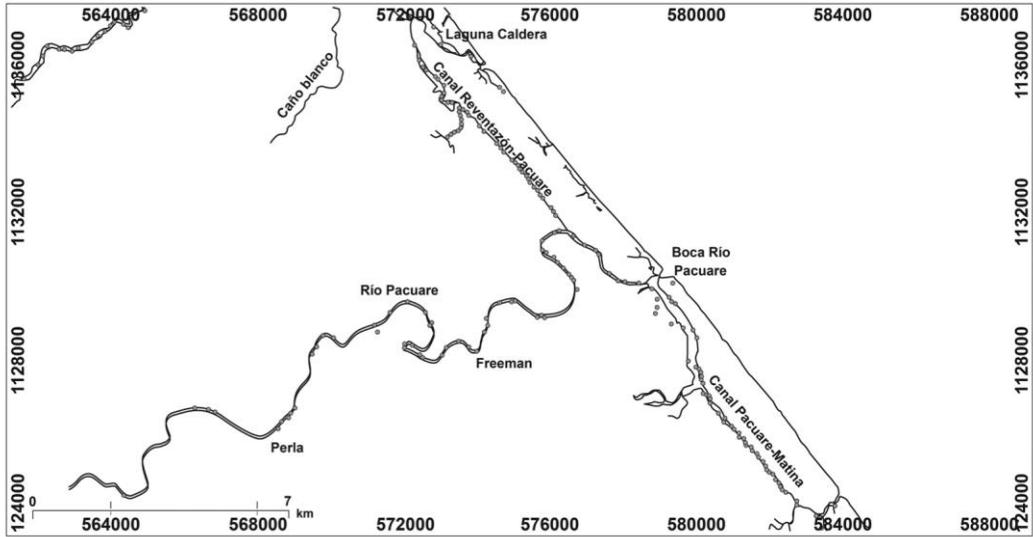


**Figura 1.** Subárea 1: Matina.

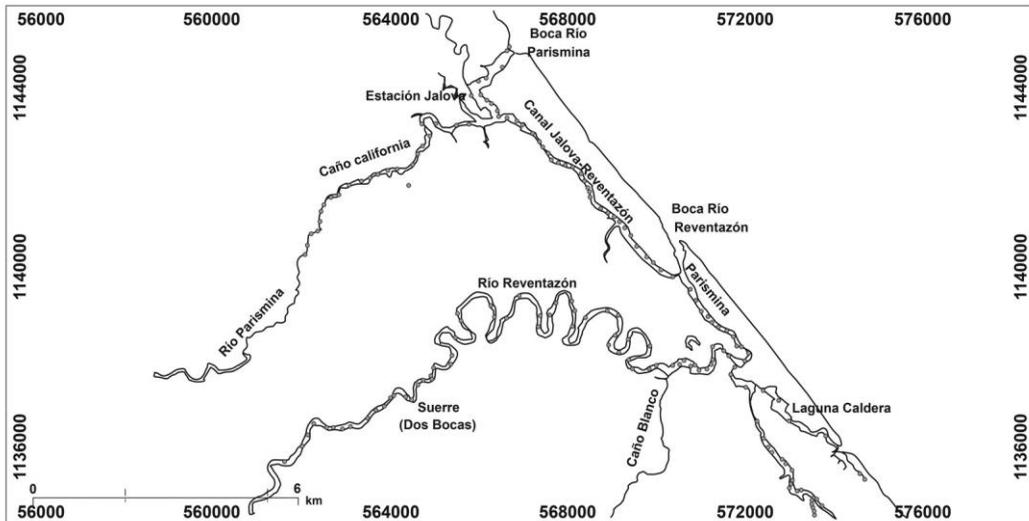
los segmentos pequeños fueron revisados una sola vez, debido a su corta longitud, y que durante la primera visita casi ningún animal fue avistado.

Durante este estudio se estudiaron un total de trece segmentos, conocidos como río Reventazón (29 km, tres repeticiones), río Pacuare (17 km, tres repeticiones), río Matina (25 km, tres repeticiones), Laguna Jalova (2,2 km, tres repeticiones), Caño California (6,5 Km, dos repeticiones), Canal Jalova-Reventazón (5,8 km, dos repeticiones), Caño Pascual (6,5 km, dos repeticiones),

Caño Blanco-Parismina (5,5 km, dos repeticiones), Canal Pacuare-Reventazón (8,5 km, dos repeticiones), Canal Pacuare-Matina (13,75 km, dos repeticiones), Laguna Caldera (3 km, una repetición), Caño Chiquero (1,2 km, una repetición) y Laguna Perla (1,7 km, una repetición) (Fig. 1, Fig. 2 y Fig. 3). Los puntos representan observaciones georreferenciadas).



**Figura 2.** Sub-área 2: Pacuare.



**Figura 3.** Sub-área 3: Reventazón - Parismina.

Entre estos segmentos se encuentran tres tipos básicos de hábitat, caracterizados por los mismos ríos, el primero con fuertes corrientes y tránsito de humanos, ya que se utilizan comúnmente como vías de comunicación; los Canales de Tortuguero, que son pequeños canales que comunican los ríos entre ellos y con la ciudad de Limón al sur y la comunidad de Barra del Colorado al norte; estos son canales profundos con un tránsito de botes relativamente alto, ya que estos son habitualmente usados por los turistas para moverse a lo largo de la costa; por último, están las aguas más pantanosas, tranquilas, profundas y con más vegetación de los canales secundarios y pequeñas lagunas, las cuales tienen presencia humana de forma esporádica.

**Conteos de avistamiento y estructura poblacional:** Para recoger los datos, se realizaron conteos nocturnos durante el periodo comprendido entre enero y diciembre. Cada visita consistió en tres días y dos noches de trabajo efectivo, dedicando una noche por segmento cada vez. El monitoreo siempre tuvo lugar durante la fase de luna nueva, para garantizar la máxima oscuridad ambiental posible y maximizar la oportunidad de ver y capturar los animales. Los conteos nocturnos se realizaron utilizando linternas LED de 6 voltios y hasta 8 000 lúmenes, que iluminan el hábitat y permiten determinar la ubicación de los cocodrilos presentes, aprovechando el reflejo ocular del animal (Levy, 1981).

Los tamaños de los cocodrilos avistados se estimaron siempre que se pudiera aproximar al animal y bajo los siguientes parámetros: a) estimar la distancia entre los ojos y la punta del hocico, b) estimar la distancia entre los ojos, c) estimación directa (apreciación completa) de la longitud total del animal), d) para aquellos animales que se sumergieron antes de poder observar su tamaño, se les definió como "indeterminados", y se unieron al grupo general de cocodrilos contados, sin tamaño concreto ni asignación de especies (Bolaños, Sánchez, & Piedra, 1996-1997).

Se programaron viajes para realizar conteos y estimación del tamaño de los especímenes, en los que no se capturaron animales; y también hubo recorridos solo para capturar, con el fin de recopilar información que permitiera estimar la proporción de sexos y la colocación de microchips de identificación en los individuos capturados (Bolaños, 2012b). Los recorridos se realizaron utilizando un bote inflable de 6 m de eslora y 1,5 m de ancho, y un motor fueraborda de pata corta de 18. El trabajo en el bote siempre fue desarrollado por no más de dos investigadores, debido al espacio limitado a la cantidad de equipo, y para poder desarrollar las maniobras durante la captura y manejo de los animales.

**Captura, medición, marcado e identificación:** Siempre que fue posible, los animales fueron capturados a mano, o mediante el uso de una cuerda insertada dentro de un tubo de PVC de pared gruesa de 2 m de largo y 3/4 pulgadas de espesor. Los animales capturados fueron marcados, medidos, sexados y posteriormente liberados. Las variables registradas fueron a) longitud total, b) longitud del hocico-nariz, c) longitud de la cola, d) longitud de la cabeza, entre la parte posterior de la mesa craneal y la punta del hocico. Todas las mediciones se realizaron utilizando una cinta métrica (+/- 0,5 mm) (Bolaños, Sánchez, & Piedra, 1996-1997). Como se mencionó, se colocó un microchip de identificación en la ingle de la pata izquierda, así mismo se realizó la amputación de las escamas caudales para su marcado visible (Bolton, 1989). En el caso de los caimanes, solo se utilizó la inserción de un microchip en la ingle de la pata izquierda. Se utilizaron siete y seis tallas para clasificar cocodrilos y caimanes respectivamente, cada una con intervalos de 50 cm. Esta clasificación permite la comparación de los datos con otros obtenidos en diferentes censos realizados en Costa Rica.

**Corrección a la probabilidad de observación:** Los trabajos de conteo y observación se realizaron en los diferentes segmentos, tratando de llegar a los lugares más ocultos posibles, con navegación a muy baja velocidad, motor de baja potencia, y un bote inflable de fondo plano, lo que hizo posible la observación

prácticamente a nivel del agua. A pesar de estas condiciones, no se puede estar seguro de cuántos cocodrilos o caimanes permanecieron bajo el agua durante el paso de los investigadores por el área de muestreo. Algunos animales también podrían haber estado fuera del agua, pero en zonas de humedal donde no es posible entrar en el bote o caminando; algunos otros podrían haber estado en la maleza que flota en las orillas de los cursos de agua; incluso una inundación reciente podría afectar las observaciones. De esta manera, una serie de factores externos pueden afectar directa o indirectamente los resultados de los conteos y observaciones (King, Espinal, & Cerrato, 1990; Escobedo, 2003); cuando estos factores externos pueden afectar directa o indirectamente los resultados de los conteos, se puede estimar el porcentaje real de avistamientos, según Messel, Vorlicek, Wells y Green (1981), calculando lo que llamaron "fracción visible" o "p", que se interpreta como la probabilidad de observar cocodrilos durante los conteos. Esta fracción visible se puede calcular como:  $p = 1 - (s^2/m)$

Donde: p = fracción de cocodrilos observados durante una encuesta o muestreo; s = desviación estándar de los totales; m = valor medio de los conteos.

Se calculó una fracción visible "p" tanto para cocodrilos como para caimanes.

Si la fracción visible ofrece un resultado negativo, que es incompatible con una distribución binomial, se debe claramente al hecho de que los conteos realizados arrojan altas variaciones en relación con su respectiva media. Esto sería posible cuando hay valores extremos en los datos, conteos muy altos, grandes diferencias entre conteos; lo que puede suceder con solo visitar el campo bajo diferentes condiciones ambientales, o que haya ocurrido un evento estocástico durante el período entre los muestreos que induzca movimientos de los animales en el hábitat.

Bajo esta condición, la distribución de los conteos no puede asumirse como binomial para hacer las estimaciones, pero es posible corregir el cálculo

acercándose a una distribución normal calculando un factor de corrección (Messel, Vorlicek, Wells, & Green, 1981), se puede suponer razonablemente que la distribución de los cocodrilos en el área de estudio es normal o cercana a ella, o al menos es simétrica en término de los conteos de los cocodrilos. Si este es el caso, la fracción de corrección se puede calcular como:  $p = x / ((2x+s) * 1.05)$

Donde x y s representan respectivamente la media y la desviación estándar de todo el estudio, y 1,05 como error. Entonces la población estimada provendrá del coeficiente de:  $N = 100/p$

Dado que en estudios previos realizados en otras localidades, los caimanes y cocodrilos tienden a aparecer agrupados durante los conteos, en este estudio se asumió que los individuos estaban "agrupados" si se encontraban a distancias inferiores a 50 metros lineales de otros, y se asignó un número "1" a esas observaciones; de lo contrario, se les daba un número "2" y se consideraban "dispersos".

Para el análisis estadístico se utilizó SPSS Versión 22 (Statistical Package for the Social Sciences)(IBM Corp, 2013).

## Resultados

Se encontró que solo el 5 % de los cocodrilos observados fueron avistados fuera del agua, y nunca a más de 3 m de la línea de flotación. Los caimanes juveniles y subadultos, de tamaño II y III ( $0,5 < X \leq 1,5$  m) fueron vistos indistintamente tanto en márgenes con cubierta vegetal como en bordes que carecen de ella. Los caimanes adultos, de tamaño IV y V ( $X > 1,5$  m) se encontraron en áreas de borde abiertos u orillas con abundante presencia de árboles o ramas de árboles, mientras que los caimanes reclutas, tamaño clase I ( $0 \leq X \leq 0,5$  m) siempre se ubicaron en los bordes que presentan grandes masas de gramíneas y otras plantas

acuáticas, como el lirio (*Eichhornia crassipes*) y la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*).

Los cocodrilos presentan un comportamiento similar al de los caimanes, con la particularidad que los subadultos y adultos ( $X > 2$  m) se encontraron en aguas con mayor caudal, mientras que las tallas inferiores, neonatos, reclutas y juveniles ( $X \leq 2$  m), se mantuvieron en bordes tanto abiertos como cubiertos por la vegetación. *C. acutus*, en general se observó en áreas abiertas, especialmente en lugares en donde hubo pequeños playones o presas en el cauce de los cursos de agua, también las bocas de los ríos en el mar son conocidas por el avistamiento de cocodrilos. Usualmente, los animales de mayor tamaño fueron avistados en el centro del río.

**Conteos de visión y estructura poblacional:** La tabla 1 muestra el conteo de caimanes en el área de estudio, destacando el segmento Caño Blanco-Parismina con 68 individuos en total, así como segmentos en el río Reventazón y todos los del río Matina, con bajas densidades, entre 6 y 7 individuos en total y la laguna Caldera con 4.

Por otro lado, los cocodrilos se avistaron especialmente en los segmentos del río Matina (66 individuos) y la Laguna Jalova (10 individuos); El río Pacuare en su parte alta presenta algunos avistamientos esporádicos. En el río Reventazón, fue posible observar cocodrilos de tamaños más pequeños de no más de 2 m, y muy pocos grandes (con tamaños de más de 2 m); de la misma manera, se observaron algunos ejemplares dispersos en Caño California (Tabla 2).

Entre las observaciones hay un conteo promedio de 20 individuos que no fueron registrados, ya que no fue posible estimar su tamaño ni determinar la especie de los organismos, ya que se sumergieron antes de una correcta visualización. Fueron considerados en la contabilidad estrictamente para realizar un seguimiento del número total de individuos avistados, sin conocer ni su especie ni su clase de tamaño.

El cálculo de la fracción visible según la fórmula numerada como "1", proporcionó resultados negativos de -2.510 y -3.457 para caimanes y cocodrilos respectivamente; en este caso, la fórmula "2" todavía se podría usarse. La prueba de Kolmogorov-Smirnov para la normalidad no permitió aceptar la hipótesis nula de la distribución normal; sin embargo, Dickinson (1976) afirma que la suposición de normalidad se vuelve más importante cuando el tamaño de la muestra es pequeño ( $n \leq 50$ ), y que cada distribución tenderá a la normalidad a medida que aumenta el tamaño de la muestra. Tenemos un tamaño muestral  $n = 757$ , y además, nuestra distribución tiene un coeficiente de asimetría bastante aceptable de  $Skp = 0,567$ , y un coeficiente de curtosis casi normal de  $k = 0,283$  (Chou, 1977). Estas tres condiciones proporcionan el apoyo suficiente para asumir la normalidad y recalcular los datos ayudados por la fórmula de Messell, en lugar de transformar los datos.

TABLA 1  
Avistamiento de caimanes en el Caribe Central

| Segmento de representantes ↓ | Km            | Recluta    | Juvenil    |            |           | Adulto    |          |            | Total |
|------------------------------|---------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|------------|-------|
|                              |               |            | Yo         | II         | III       | IV        | V        | VI         |       |
| 1 Río Reventazón             | 29            |            | 10         | 6          |           | 1         |          | 17         |       |
| 2 Río Reventazón             | 29            |            | 2          | 1          | 3         |           |          | 6          |       |
| 3 Río Reventazón             | 29            | 1          | 4          | 8          | 1         | 1         |          | 15         |       |
| 1 Río Pacuare                | 17            |            | 18         | 2          |           |           |          | 20         |       |
| 2 Río Pacuare                | 17            |            | 4          | 7          | 5         |           |          | 16         |       |
| 3 Río Pacuare                | 17            |            | 6          | 6          | 3         |           |          | 15         |       |
| 1 Río Matina                 | 25            | 3          | 3          | 1          |           |           |          | 7          |       |
| 2 Río Matina                 | 25            | 6          | 1          |            |           |           |          | 7          |       |
| 3 Río Matina                 | 25            | 4          | 3          | 2          |           |           |          | 9          |       |
| 1 Laguna Jalova              | 2.2           |            | 4          | 1          |           |           |          | 5          |       |
| 2 Laguna Jalova              | 2.2           |            | 3          | 4          | 1         |           |          | 8          |       |
| 3 Laguna Jalova              | 2.2           |            | 4          | 3          |           |           |          | 7          |       |
| 1 Caño California            | 6.5           | 22         | 5          |            | 1         | 1         | 2        | 31         |       |
| 2 Caño California            | 6.5           | 14         | 11         | 4          | 2         | 2         | 2        | 35         |       |
| 1 Canal Jalova- Rev.         | 5.8           | 3          | 25         | 2          | 2         |           |          | 32         |       |
| 2 Canal Jalova- Rev.         | 5.8           | 1          | 20         | 8          | 4         | 1         |          | 34         |       |
| 1 Caño Pascual               | 6.5           | 15         | 9          | 1          |           |           |          | 25         |       |
| 2 Caño Pascual               | 6.5           | 18         | 7          | 3          | 2         |           |          | 30         |       |
| 1 Caño Blanco-Parismina      | 5.5           | 3          | 17         | 2          | 1         | 1         |          | 24         |       |
| 2 Caño Blanco-Parismina      | 5.5           | 21         | 25         | 16         | 4         | 2         |          | 68         |       |
| 1 Canal Pacuare-Rev.         | 8.5           |            | 10         | 21         | 9         | 1         |          | 41         |       |
| 2 Canal Pacuare-Rev.         | 8.5           |            | 14         | 8          | 2         |           |          | 24         |       |
| 1 Canal Pacuare-Mat.         | 13.75         | 4          | 18         | 28         | 6         | 1         |          | 57         |       |
| 2 Canales Pacuare-Mat.       | 13.75         | 2          | 21         | 15         | 5         | 1         |          | 44         |       |
| 1 Laguna de la Caldera       | 3             | 1          | 1          | 1          | 1         |           |          | 4          |       |
| 1 Caño Chiquero              | 1.2           | 3          | 6          | 2          |           |           |          | 11         |       |
| 1 Laguna Perla               | 1.7           |            |            | 6          |           |           |          | 6          |       |
| <b>TOTAL</b>                 | <b>113.35</b> | <b>121</b> | <b>251</b> | <b>158</b> | <b>52</b> | <b>12</b> | <b>4</b> | <b>598</b> |       |

Para segmento por longitud total, 2017.

Esto arroja el resultado de  $p = 26.65 / ((2 * 9.67 + 26.65) * 1.05)$ , y  $p = 0.55$ , y un Factor de Corrección CF:  $1/p = 1/0.552 = 1.811$  para caimanes; y  $p =$

$16.03/((2*8.45 + 16.03)*1.05)$  y  $p = 0.46$ , y un  $CF:1/p = 1/0.46 = 2.16$  para cocodrilos. El procedimiento se muestra en La tabla 3 y La tabla 4. Los conteos de observaciones corregidos se presentan en La tabla 5 y La tabla 6. Como se muestra en la figura 4 para cocodrilos y caimanes, ambas especies presentan una distribución positiva ligeramente sesgada a la derecha, con un alto número de observaciones en las clases intermedias y poco o nada en los tamaños más grandes de la clasificación (Fig. 4).

Al número promedio de cocodrilianos, hay que añadir el número de organismos indeterminados, distribuidos proporcionalmente por especies como 26 para caimanes y 12 para cocodrilos, lo que deja los totales de población en 1110 caimanes y 515 cocodrilos.

La tabla 7 muestra el número de organismos de ambas especies, junto con el número de kilómetros en los diferentes segmentos. Se hace evidente el hecho de que la mayoría de los caimanes habitan los canales que intercomunican la línea costera, con los ríos; así como el segmento Caño Blanco-Parismina, que es realmente un segmento de comunicación entre los canales Pacuare-Reventazón y Parismina-Jalova.

**TABLA 2**  
**Avistamiento de cocodrilos en el Caribe Central.**

| Segmento de representantes ↓ | Neonato           | Recluta    | Juvenil   |           | Sub-adulto |           | Adulto   | Total      |
|------------------------------|-------------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|----------|------------|
|                              | Tamaño clase → Yo | II         | III       | IV        | V          | VI        | VII      |            |
| 1 Reventazón                 | 1                 | 5          | 1         |           |            | 1         |          | 8          |
| 2 Reventazón                 | 10                | 4          | 3         |           |            |           |          | 17         |
| 3 Reventazón                 | 2                 | 2          | 1         | 1         |            | 1         |          | 7          |
| 1 Pacuare                    |                   | 1          | 2         |           |            |           |          | 3          |
| 2 Pacuare                    |                   |            | 1         |           |            |           |          | 1          |
| 3 Pacuare                    |                   | 4          | 4         | 2         |            |           |          | 10         |
| 1 Matina                     | 3                 | 30         | 9         | 10        | 6          | 8         |          | 66         |
| 2 Matina                     | 3                 | 16         | 9         | 3         | 3          |           |          | 34         |
| 3 Matina                     | 4                 | 22         | 9         | 7         | 4          | 3         |          | 49         |
| 1 Laguna Jalova              | 1                 | 2          |           |           |            |           | 1        | 4          |
| 2 Laguna Jalova              |                   | 7          |           | 1         |            |           | 1        | 9          |
| 3 Laguna Jalova              |                   | 5          |           | 2         | 1          |           | 2        | 10         |
| 1 Caño California            |                   | 1          | 2         |           | 1          | 2         |          | 6          |
| 2 Caño California            |                   | 3          | 3         | 1         | 1          | 1         |          | 9          |
| <b>TOTAL</b>                 | <b>24</b>         | <b>102</b> | <b>44</b> | <b>27</b> | <b>16</b>  | <b>16</b> | <b>4</b> | <b>233</b> |

Para segmento por longitud total, 2017.

TABLA 3

Media y desviación estándar de la observación de caimanes por segmento

| Segmento                 | n  | Significar San | Dev.  | Var.   | n-1 | (Var)*(n-1) |
|--------------------------|----|----------------|-------|--------|-----|-------------|
| Río Reventazón           | 3  | 12.67          | 5.86  | 34.33  | 2   | 68.67       |
| Río Pacuare              | 3  | 17.00          | 2.65  | 7.00   | 2   | 14.00       |
| Río Matina               | 3  | 7.67           | 1.16  | 1.33   | 2   | 2.67        |
| Laguna de Jalova         | 3  | 6.67           | 1.53  | 2.33   | 2   | 4.67        |
| Caño California          | 2  | 33.00          | 2.83  | 8.00   | 1   | 8.00        |
| Canal Jalova-Reventazón  | 2  | 33.00          | 1.41  | 2.00   | 1   | 2.00        |
| Caño Pascual             | 2  | 27.50          | 3.54  | 12.50  | 1   | 12.50       |
| Caño Blanco-Parismina    | 2  | 46.00          | 31.11 | 968.00 | 1   | 968.00      |
| Canal Pacuare-Reventazón | 2  | 32.50          | 12.02 | 144.50 | 1   | 144.50      |
| Canal Pacuare-Matina     | 2  | 50.50          | 9.19  | 84.50  | 1   | 84.50       |
|                          | 24 | 266.50         |       |        | 14  | 1 309.50    |

TABLA 4

Media y desviación estándar de la observación de cocodrilos por segmento

| Segmento         | N  | Significar San | Dev.  | Var.   | n-1 | (Var)*(n-1) |
|------------------|----|----------------|-------|--------|-----|-------------|
| Río Reventazón   | 3  | 10.67          | 5.51  | 30.33  | 2   | 60.67       |
| Río Pacuare      | 3  | 4.67           | 4.73  | 22.33  | 2   | 44.67       |
| Río Matina       | 3  | 49.67          | 16.01 | 256.33 | 2   | 512.67      |
| Laguna de Jalova | 3  | 7.67           | 3.22  | 10.33  | 2   | 20.67       |
| Caño California  | 2  | 7.50           | 2.12  | 4.50   | 1   | 4.50        |
|                  | 14 | 80.17          |       |        | 9   | 643.17      |

TABLA 5

Conteo estimado de caimanes en el Caribe Central

| Segmento ↓            | Recluta | Juvenil | Sub-adulto | Sub-adulto | Adulto | Adulto | Total |
|-----------------------|---------|---------|------------|------------|--------|--------|-------|
| Tamaño clase →        | I       | II      | III        | IV         | V      | VI     |       |
| Río Reventazón        | 2       | 29      | 27         | 7          | 4      |        | 69    |
| Río Pacuare           |         | 51      | 27         | 15         |        |        | 92    |
| Río Matina            | 24      | 13      | 5          |            |        |        | 42    |
| Laguna Jalova         |         | 20      | 15         | 2          |        |        | 36    |
| Caño California       | 65      | 29      | 7          | 5          | 5      | 7      | 120   |
| Canal Jalova-Rev.     | 7       | 82      | 18         | 11         | 2      |        | 120   |
| Caño Pascual          | 60      | 29      | 7          | 4          |        |        | 100   |
| Caño Blanco-Parismina | 44      | 76      | 33         | 9          | 5      |        | 167   |
| Canal Pacuare-Rev.    |         | 44      | 53         | 20         | 2      |        | 118   |
| Canal Pacuare-Matina  | 11      | 71      | 78         | 20         | 4      |        | 183   |
| Laguna de la Caldera  | 2       | 2       | 2          | 2          |        |        | 7     |
| Caño Chiquero         | 5       | 11      | 4          |            |        |        | 20    |
| Laguna Perla          |         |         | 11         |            |        |        | 11    |
| Total                 | 219     | 455     | 286        | 94         | 22     | 7      | 1 084 |

Para segmento por longitud total, 2017

TABLA 6

Conteo estimado de cocodrilos en el Caribe Central

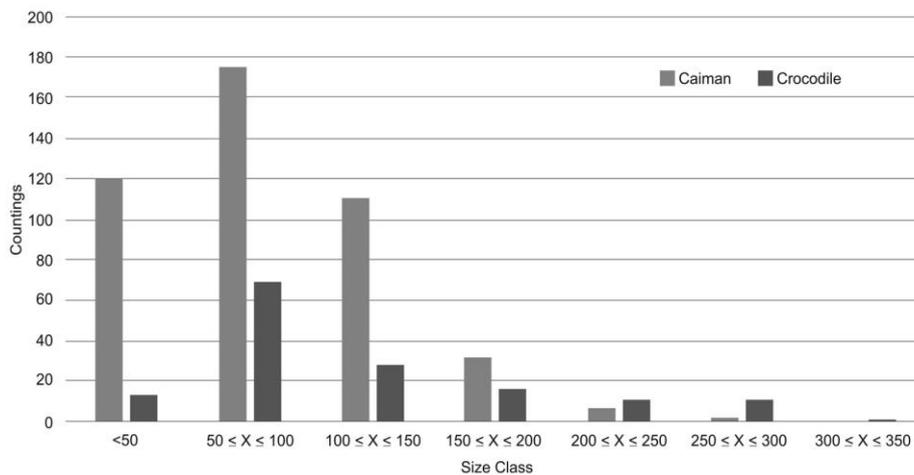
| Segmento ↓    | Neonato | Recluta | Juv. | Juv. | Sub-adulto | Sub-adulto | Adulto | Total |
|---------------|---------|---------|------|------|------------|------------|--------|-------|
| Clase →       | I       | II      | III  | IV   | V          | VI         | VII    |       |
| Reventazón    | 29      | 25      | 11   | 2    |            | 5          |        | 72    |
| Pacuare       |         | 11      | 16   | 5    |            |            |        | 32    |
| Matina        | 23      | 131     | 61   | 45   | 29         | 25         |        | 314   |
| Laguna Jalova | 2       | 32      |      | 7    | 2          |            | 9      | 52    |
| Caño Calif.   |         | 9       | 11   | 2    | 5          | 7          |        | 34    |
| Total         | 54      | 208     | 99   | 61   | 36         | 36         | 9      | 503   |

Para segmento por longitud total, 2017

La presencia de ambas especies en los diferentes segmentos estudiados resultó ser significativamente diferente para los cocodrilos y para los caimanes (Kruskal-Wallis,  $X^2 = 355.7$ ,  $gl = 12$ ,  $P \leq 0.000$ ). Asimismo, la distribución de tamaño es similar para los cocodrilos reportados en todos los ambientes (Kruskal-Wallis,  $X^2 = 8.12$ ,  $gl = 5$ ,  $P \leq 0.15$ ), mientras que para los caimanes existe una distribución diferente para los tamaños, según el ambiente en el que se encuentran (Kruskal-Wallis,  $X^2 = 63.87$ ,  $gl = 12$ ,  $P \leq 0.000$ ), con un sesgo en contra de los ríos Pacuare y Matina.

Con base en las capturas realizadas fue posible estimar una razón de sexos de 1.25 y 0.83 machos a hembras, en cocodrilos y caimanes respectivamente, con 9 y 11 capturas realizadas en ese mismo orden, en individuos de tallas recluta, juvenil y subadulto.

El conteo por segmento muestra sitios con valores de hasta 183 caimanes registrados (canal Pacuare-Matina). Para los cocodrilos, el río Matina tiene el mayor número de individuos registrados (139) y Pacuare muestra el menor conteo (14) (Tabla 7). Como se mencionó, se observa un alto conteo de cocodrilos en los segmentos de Jalova y el río Matina (Kruskal-Wallis,  $X^2 = 18.75$ ,  $gl = 5$ ,  $P \leq 0.001$ ); mientras que los caimanes muestran mayor cantidad de observaciones en zona costera de los canales Tortuguero (Kruskal-Wallis,  $X^2 = 26.09$ ,  $gl = 12$ ,  $P \leq 0.004$ ). El análisis de la agrupación de los conteos, indica que tanto cocodrilos como caimanes aparecen en el ambiente de manera significativamente agrupada (prueba de Runs,  $Z = 3.62$ ,  $P \leq 0.001$ ).



**Figura 4.** Distribución de cocodrilianos por tamaño según especie.

TABLA 7

Números de conteo por segmento por especie

| Segmento                | Km     | Cocodrilos |       | Caimanes |       |
|-------------------------|--------|------------|-------|----------|-------|
|                         |        | Contar     | #/km  | contar   | #/km  |
| Río Reventazón          | 29     | 32         | 1.10  | 69       | 2.38  |
| Río Pacuare             | 17     | 14         | 0.82  | 92       | 5.44  |
| Río Matina              | 25     | 139        | 5.56  | 42       | 1.67  |
| Laguna Jalova           | 2.2    | 23         | 10.45 | 36       | 16.48 |
| Caño California         | 6.5    | 15         | 2.31  | 120      | 18.41 |
| Canal Jalova-Reventazón | 5.8    |            |       | 120      | 20.63 |
| Caño Pascual            | 6.5    |            |       | 100      | 15.34 |
| Caño Blanco-Parismina   | 5.5    |            |       | 167      | 30.32 |
| Canal Pacuare-Rev.      | 8.5    |            |       | 118      | 13.86 |
| Canal Pacuare-Matina    | 13.75  |            |       | 183      | 13.32 |
| Laguna de la Caldera    | 3      |            |       | 7        | 2.42  |
| Caño Chiquero           | 1.2    |            |       | 20       | 16.62 |
| Laguna Perla            | 1.7    |            |       | 11       | 6.40  |
| TOTAL                   | 125.65 | 223        | 1.77  | 1 084    | 8.63  |

## Discusión

El hecho de que la distribución por tamaño para ambas especies muestre un sesgo positivo hacia la derecha, con pocos individuos observados en sus clases de menor tamaño, un número elevado en las clases intermedias y poco o nada de individuos en los tamaños más grandes de la clasificación, salvo la observación realizada en relación con individuos de tamaños superiores, es consistente con su carácter selectivo de hábitat (Balaguera-Reina & Gonzalez-Maya, 2009), donde los animales grandes evitan el contacto con los humanos y sus actividades, y los pequeños se mantienen retirados de estos lugares en donde se realizan actividades humanas hasta que alcanzan un tamaño adecuado. Para caimanes en el Caribe colombiano, estos mismos autores han encontrado predominio de individuos de tamaños inferiores y poca o ninguna presencia de individuos adultos en estas áreas. Por el contrario, la distribución y abundancia de *C. acutus* encontrada en el Caribe central (Río Matina y Laguna Jalova) es menor a la encontrada por Sánchez et al. (1996) en los ríos Tempisque y Bebedero en la vertiente del Pacífico costarricense, donde encontraron muchos más representantes de las clases pequeñas y grandes; además los datos encontrados están lejos de otros estudios realizados por Sánchez (2001) y Bolaños (2012a) en la misma zona del Pacífico, en los cuales se

evidencia un pronunciado aumento en el tamaño poblacional. Estos hallazgos llaman la atención sobre diferencias en el hábitat de la región Pacífico y Caribe, además al hecho de que la vertiente del Pacífico del país está mucho más desarrollada que la zona caribeña.

Estos resultados lanzan la especulación de que el hábitat de las tierras bajas del Caribe proporciona una buena zona para que los grandes cocodrilos patrullen, cacen y consoliden territorio, pero un mal lugar para aparearse y anidar, dado que toda el área está expuesta a inundaciones repentinas, especialmente durante los meses de principios de invierno, cuando los nidos de cocodrilos aún están en el campo. Esta característica favorecería el desarrollo de la población de caimanes, cuya estrategia de anidación considera la posibilidad e inundación y permite el drenaje fácil y rápido del nido, además sus huevos presentan una estructura en la cáscara que permite hacer frente a este. Por otro lado, se ha observado que, relacionados con los cocodrilos, presentan mayores poblaciones en lugares cercanos a asentamientos humanos (Bolaños, 2012a). Estas condiciones parecen llevar a la conjetura de que los grandes cocodrilos de la zona podrían estar habitando en mayor número en la parte alta de los cursos de agua que irrigan la zona, más allá de 25 km de este estudio, específicamente en los ríos Raventazón, Chirripó Atlántico y Pacuare.

El río Matina y la laguna Jalova son los dos sitios principales para la observación de cocodrilos en el Caribe, la abundancia de 1.77 ind/km es mucho menor que las reportadas por Sánchez et al. (1996) de 18.6 ind/km, y Orozco (2015) de 11.7 ind/km para el río Tempisque, en el Pacífico Norte de Costa Rica. Por otro lado los caimanes, presentan una distribución más homogénea en toda el área de muestreo, mostraron una densidad de 8.63 ind/km, considerablemente mayor que la reportada por King et al. (1990) para Honduras, de 2.2 ind/km en un ambiente similar al que se está estudiando, pero inferior a los 12.5 ind/km reportados por Bolaños et al. (1996) para La Rambla de Sarapiquí, en la Zona Norte de Costa Rica. Por otro lado, Balaguera-Reina y González-Maya (2009) reportan cifras tan bajas términos de densidad como de 0.063 ind/ha, pero que indican esos datos son normales para ambientes bajo algún tipo de explotación humana. También es interesante que el 54 % de todos los caimanes, fueran observados en segmentos de tránsito de embarcaciones (Canal Matina-Pacuare, Canal Pacuare-Reventazón, Caño Blanco-Parismina y Canal Jalova-Reventazón); estos animales podrían estar prefiriendo habitar lugares donde el hombre desarrolla estas actividades.

La población de caimanes encontrada presenta números estimados consistentes con lo esperado para las características ambientales de la zona y para el tamaño del área

de estudio, subrayando que no fue posible observar un alto componente de la clasificación de tallas, específicamente individuos reproductores adultos (tamaño clase III ( $\geq 1,5$  m)). Sin embargo, las condiciones del hábitat permiten especular que estos caimanes adultos, podrían permanecer ocultos en la parte interior del humedal, en cursos de agua internos inaccesibles al ojo del investigador (Bolaños et al., 1996-1997; Da Silveira, Magnusson, & Campos, 1997).

A diferencia de los caimanes, la cantidad y la estructura por tallas de los cocodrilos observados no se acercó a lo esperado, si se consideran poblaciones existentes en condiciones ambientales similares (De Sola, Velasco, Villaroel, & Colomine, 2004; Bolaños, 2012a; Murray et al., 2015). En este caso, a diferencia del río Matina, el Caño California y Boca de Jalova, el cocodrilo se evidencia es ausente en toda el área estudiada, con mención especial individuos con tallas superiores VI ( $\geq 3$  m), a diferencia de lo encontrado por Sánchez et al. (1996), Bolaños (2012b) y Orozco (2015) para el Pacífico.

Se pudo determinar que existe distribución diferenciada del cocodrilo en el paisaje del lugar, con preferencia evidente de cursos de agua con fondo rocoso. No se ha demostrado que esta condición ofrezca características de causa-efecto en relación con la presencia o ausencia de cocodrilos en determinado paraje, aunque las condiciones son consistentes con lo sugerido por Carvajal, Saavedra y Álava (2005).

La anterior situación podría deberse que toda la zona de estudio es llanura de inundación, con menos de 15 msnm en su sector más elevado (Herrera & Mata, 1993; Brenes, 2016; INDER, 2016), es posible que los individuos reproductores de mayores tallas prefieran ubicarse de manera permanente en una zona que no esté sujeta a cambios climáticos repentinos lo que les permita posicionar sus nidos sin el riesgo de perderlos como producto de inundaciones, que son características en el área de estudio durante una época de al menos 6 meses cada año (Kushlan & Mazzotti, 1986).

Por otro lado, aunque ambas especies son simpátricas y comparten el ambiente y los recursos disponibles, ciertamente no aparecen nunca juntas durante las observaciones de campo, y ambas exhiben un comportamiento gregario. En el caso de los caimanes, los grupos son compuestos por individuos de diferentes tallas, en lo que aparentemente representan grupos familiares (Bolaños et al., 1996-1997; Venegas-Anaya et al., 2015); en tanto que en los cocodrilos, si bien es cierto que en los grupos pueden aparecer algunos individuos de tallas disímiles, la composición observada en los grupos fue de individuos de la misma talla, en lo que se interpretó como miembros del mismo cohorte, estuvieran o no relacionados parentalmente.

## Agradecimientos

Gracias al Dallas World Aquarium Zoo por el apoyo que permitió alcanzar los objetivos de esta investigación.

## Bibliografía

Allsteadt, J., & Vaughan, C. (1988). Ecological studies of the central american caiman (*Caiman crocodilus fuscus*) en Caño Negro Refugio Nacional de Vida Silvestre, Costa Rica. *Herpetological Society*, 23, 123-126.

Balaguera-Reina, S., & González-Maya, J. (2009). Estructura poblacional, abundancia, distribución y uso de hábitat de *Caiman crocodilus fuscus* (Cope, 1868) en la Vía Parque Isla Salamanca, Caribe colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1), 145-152.

Bolaños, J. (2011a). Plan estratégico para el manejo de la población de *Crocodylus acutus* (cocodrilo Americano) en el Gran Humedal del Tempisque. San José, Costa Rica: SINAC.

Bolaños, J. (2011b). Propuesta plan de contingencia en el manejo de la población de cocodrilos del Gran Humedal del Tempisque. San José, Costa Rica: SINAC.

Bolaños, J. (2012a). Population status of the American crocodile (*Crocodylus acutus*) in the Tempisque Great Wetland. In 21st Working Meeting of the IUCN-SSC Crocodile Specialist Group (pp. 167-178). Manila, Filipinas.

Bolaños, J. (2012b). Survey of American crocodiles in Tempisque Great Wetlands, Guanacaste, Costa Rica. *Crocodile Specialist Group Newsletter*, 31(1), 2-7.

Bolaños, J., Sánchez, J., & Piedra, L. (1996-1997). Inventario y estructura poblacional de crocodílidos en tres zonas de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 33(3)/45(1), 283-287.

Bolton, M. (1989). *The management of crocodiles in captivity*. Roma, Italy: FAO.

Brenes, A. (2016). *Gestión del riesgo y vulnerabilidad en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Vigésimo segundo informe estado de la nación en desarrollo humano sostenible

Carvajal, R., Saavedra, M., & Alava, J. (2005). Population ecology, distribution and habitat assessment of *Crocodylus acutus* (Cuvier, 1807) in the Reserva de producción de fauna manglares El Salado of the Guayaquil estuary, Ecuador. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 40(2), 133-140.

Chou, Y. L. (1977). *Análisis estadístico*. Mexico: Nueva Editorial Interamericana S.A.

Da Silveira, R., Magnusson, W., & Campos, Z. (1997). Monitoring the distribution, abundance, and breeding areas of *Caiman crocodilus* and *Melanosuchus niger* in the Anavilhanas archipiélago, Central Amazonia, Brasil. *Herpetological Journal*, 31, 514-520.

De Sola, R., Velasco, A., Villaroel, G., & Colomine, G. (2004). Evaluation of wild populations and habitats of the american crocodile (*Crocodylus acutus*) in Venezuela. In

Proceedings of the 17th Working Meeting of the IUCN-SSC-Crocodile Specialist Group (pp. 248-256). Darwin, Australia.

Dickinson, J. (1976). Nonparametric methods for quantitative analysis. Ohio, USA: American Sciences press Inc.

Escobedo, A. (2003). Periodos de actividad y efectos de las variables ambientales en cocodrilos (*Crocodylus acutus* Cuvier 1807): evaluando los métodos de determinación de la fracción visible. *Ecología aplicada*, 2(1), 136-140.

Herrera, V., & Mata, R. (1993). Cartografía y clasificación de los suelos de la llanura aluvial delimitada por los ríos Madre de Dios, Barbilla y Matina. *Agronomía Costarricense*, 17(1), 7-24.

IBM Corp. (2013). Statistical Package for the Social Sciences, SPSS (Version 22). New York, USA. Retrieved from <https://ibm-spss-statistics-base.en.uptodown.com/windows>

INDER. (2016). Caracterización del territorio LimónMatina. Limón, Costa Rica: Dirección Huetar Caribe - INDER.

King, F., Espinal, M., & Cerrato, C. (1990). Distribution and status of the crocodilian of Honduras. Results of a survey conducted for the Convention of International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, and the Honduras Secretaría de Recursos Renovables. In Proceedings of the 10th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group of the Species Survival Commission of IUCN (pp. 313-354). Florida, USA.

Kushlan, J., & Mazzoti, F. (1986). Population biology and status of the American crocodile in South Florida. Florida, USA: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

Levy, C. (1981). Endangered Species: Crocodiles and Alligators. Nueva Jersey, USA: Chartwell Books.

Messel, H., Vorlicek, G., Wells, A., & Green, W. (1981). Surveys of the tidal river system in Northern Territory of Australia and their crocodile populations. Sydney, Australia: Pergamon.

Murray, C., Easter, M., Padilla, S., Garrigós, D., Stone, J., Bolaños-Montero, J., . . . Guyer, C. (2015). Cohort-dependent sex ratio biases in the American crocodiles (*Crocodylus acutus*) of the Tempisque basin. *Copeia*, 103(3), 241-545.

Orozco, W. (2015). Monitoreo de la población de cocodrilos en la cuenca baja del río Tempisque. Guanacaste. Costa Rica. Liberia, Guanacaste, Costa Rica (Tesis Licenciatura). Universidad Técnica Nacional, Costa Rica.

Piedra, L. (2000). Población de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en tres ríos del Pacífico Central de Costa Rica (Tesis Licenciatura). Universidad Nacional, Costa Rica.

Ross, J. (1998). Crocodiles. Gland, Suiza: IUCN, SSC, Crocodile Specialist Group.

Sánchez, G. (1991). Estimación preliminar de la población de *Caiman crocodilus fuscus* en la época seca en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Caño Negro, Alajuela, Costa Rica (Investigación por tutoría). Universidad Nacional, Costa Rica.

Sánchez, J. (2001). Estado de la población de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Tempisque, Guanacaste. San José, Costa Rica: InBio.

Sánchez, J., Bolaños, J., & Piedra, L. (1996). Población de *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) en dos ríos de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44(2), 835-840.

Sandoval-Hernández, I., Durán-Apuy, A., & Quirós-Valerio, J. (2017). Activities that may influence the risk of crocodile (*Crocodylus acutus*) attack to humans in the Tempisque river area, Guanacaste, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(1), 13-22.

Sasa, M., & Chaves, G. (1992). Tamaño, estructura y distribución de una población de *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 40, 131-134.

Torrealba, I., Paz, O., & Motte, M. (1992). Censo de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Grande de Tárcoles, Costa Rica. Heredia, Costa Rica: Aportes al conocimiento de la vida silvestre en el caso de la Reserva Biológica Carara y la Reserva de Manglares Guacalillo.

Valdelomar, V., Ramírez-Vargas, M., Quesada-Acuña, S., Arrieta, C., Carranza, I., Ruiz-Morales, G., & Espinoza-Bolaños, S. (2012). Percepción y conocimiento popular sobre el cocodrilo (*Crocodylus acutus*) (Reptilia: Crocodylidae) en zonas aledañas al río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 4(2), 191-202.

Venegas-Anaya, M., Escobedo-Galván, A., BalagueraReina, S., Lowrance, F., Sanjur, O., & DensmoreIII, L. (2015). Population ecology of American crocodile (*Crocodylus acutus*) in Coiba National park, Panamá. *Journal of Herpetology*, 49, 349-357.



# Capítulo 4. Estado poblacional del cocodrilo americano, *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) y del caimán, *Caiman crocodilus* (Reptilia: Alligatoridae) en el Caribe Norte de Costa Rica.

*Tropical Zoology*, 34(2): 45-56

Iván Sandoval Hernández<sup>1,3</sup>, Juan José Sánchez Ramírez<sup>2</sup>, Juan Rafael Bolaños Montero<sup>2</sup> y Juan Salvador Monrós González<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica;

<sup>2</sup>Asociación de Profesionales en Crocódidos (ASOPROCROC), Heredia, Costa Rica;

<sup>3</sup>Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva, Universitat de València, Valencia, España.

**Resumen:** A lo largo de la costa caribeña costarricense, es posible encontrar dos especies de cocodrilo, el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) y el caimán de anteojos (*Caiman crocodilus*), y esta región se puede dividir geográficamente en tres subregiones: Caribe Norte, Central y Sur. Realizamos esta investigación en el Caribe Norte, entre el 6 de octubre de 2018 y el 31 de agosto de 2019. Específicamente, trabajamos en el área que se encuentra entre la Estación Jalova del Parque Nacional Tortugero (PNT) y la Laguna Agua Dulce situada en el extremo norte de la Isla Machuca, en la desembocadura del río Colorado dentro del Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado (REBACO), que también incluye otros humedales conexos (Río Sierpe, Lago Samay). En general, esta área de estudio tuvo una extensión aproximada de 408 km<sup>2</sup> caracterizada por canales grandes, anchos y profundos, así como humedales, meandros y lagunas adyacentes. El muestreo se realizó a lo largo de 10 segmentos que variaron en longitud desde 7,5 km hasta 29,49 km, ubicados en las zonas cercanas de PNT y REBACO. En estas zonas, los conteos nocturnos se realizaban utilizando lámparas encandiladoras. Los individuos de *C. acutus* y *C. crocodilus* se clasificaron en ocho y seis clases tallas, respectivamente (ambas con intervalos de 50 cm). Se estimó una abundancia relativa de 0,55 cocodrilos y 1,37 caimanes por kilómetro lineal. La captura de 39 caimanes nos permitió estimar una proporción de 30 machos por 9 hembras (3.3:1 M:F). Por el contrario, solo se capturaron 1 macho y 1 hembra de cocodrilo. Se observaron un total de 85 *C. acutus* y 205 *C. crocodilus*. En cuanto al número de avistamientos de caimanes en el PNT, se encontró una diferencia estadísticamente significativa ( $X^2 = 5,62$ ,  $p \leq 0,05$ ) para la distribución por tamaños entre las zonas de REBACO y PNT, mientras que no se encontró tal diferencia para los avistamientos de *C. crocodilus* ( $Z = -1,22$ ,  $p \geq 0,222$ ). Algunos segmentos tuvieron una mayor probabilidad de ocurrencia de caimanes que otros en el período de monitoreo ( $X^2 = 8.36$ ,  $p \leq 0.05$ ), especialmente los segmentos del río Jalova-Sierpe, Caño

Negro-Tortuguero y Tortuguero- Laguna Samay (subárea de Tortuguero). El noventa por ciento de los avistamientos ocurrieron en la zona REBACO, y esto fue significativamente diferente ( $X^2 = 7.34$ ,  $p \leq 0.026$ ) de las demás subáreas estudiadas. El número de avistamientos de cocodrilos en el segmento del río Colorado fue significativamente diferente y más alto que los otros segmentos ( $X^2 = 7.28$ ,  $p \leq 0.05$ ). Hubo una diferencia estadística significativa entre los tamaños en todas las áreas de estudio ( $X^2 = 5,529$ ,  $p \leq 0,026$ ). La abundancia de *C. acutus* y *C. crocodilus* en la parte norte del Caribe es menor que en el Caribe central de Costa Rica, donde esta especie podría utilizar los recursos disponibles en áreas más urbanizadas.

**Palabras clave:** Cocodrilos de Barra del Colorado; caimán; Caribe; Costa Rica; Parque Nacional Tortuguero.

**Abstract:** Along the Costa Rican Caribbean shoreline, it is possible to find two species of crocodilian, the American crocodile (*Crocodylus acutus*) and the spectacled caiman (*Caiman crocodilus*), and this region can be divided geographically into three subregions: North, Central, and South Caribbean. We conducted this research in the North Caribbean, between October 6, 2018 and August 31, 2019. Specifically, we worked in the area lying between the Jalova Station of the Tortuguero National Park (PNT) and Agua Dulce Lake situated in the northern tip of Machuca Island, at the mouth of the Colorado River inside the Barra del Colorado National Wildlife Refuge (REBACO), which includes other connecting wetlands as well (Sierpe River, Samay Lake). Overall, this study area had an approximate extension of 408 km<sup>2</sup> characterized by large, wide, and deep canals, as well as wetlands, meanders, and adjacent lakes. The sampling was performed along 10 segments that varied in length from 7.5 km up to 29.49 km, located in the nearby zones of PNT and REBACO. In these zones, nightly counts were carried out using dazzling lamps. Individuals of *C. acutus* and *C. crocodilus* were classified into eight and six body size classes, respectively (both with 50 cm intervals). A relative abundance of 0.55 crocodiles and 1.37 caimans per linear kilometer was estimated during these spotlight surveys. The capture of 39 caimans let us to estimate a ratio of 30 males to 9 females (3.3:1 M:F). In stark contrast, only 1 male and 1 female crocodile were captured. A total of 85 *C. acutus* and 205 *C. crocodilus* were observed. Regarding the number of caiman sightings in the PNT, a statistically significant difference was found ( $X^2 = 5.62$ ,  $p \leq 0.05$ ) for the distribution by sizes between the zones of REBACO and PNT, whereas no such difference was found for *C. crocodilus* sightings ( $Z = -1.22$ ,  $p \geq 0.222$ ). Some segments had a higher probability of caiman occurrence than did others in the surveys performed during the monitoring period ( $X^2 = 8.36$ ,  $p \leq 0.05$ ), especially the Jalova-Sierpe River, Caño Negro-Tortuguero, and Tortuguero-Samay Lake (Tortuguero subarea) segments. Ninety percent of the sightings occurred in the REBACO zone, and this was significantly different ( $X^2 = 7.34$ ,  $p \leq 0.026$ ) from the studied subareas. The number of crocodile sightings in the Colorado River segment was significantly different and higher than the other segments ( $X^2 = 7.28$ ,  $p \leq 0.05$ ). There was a significant statistical difference among the sizes in all areas of study ( $X^2 = 5.529$ ,  $p \leq 0.026$ ). The abundance of *C. acutus* and *C. crocodilus* in the north Caribbean part is lower than in the central Caribbean part of Costa Rica, where this species could use the resources available in more urbanized areas.

**Key words:** Barra del Colorado crocodiles; caiman; Caribbean; Costa Rica; Tortuguero National Park.

## Introducción

A lo largo de la costa Caribe costarricense es posible encontrar a la única especie en el país representante de la familia Crocodylidae, *Crocodylus acutus* (Cuvier 1807), también conocido como el cocodrilo americano, que alcanza un tamaño máximo reportado de 6 m en longitud total (Medem 1981). Asimismo, compartiendo este ambiente costero de forma simpátrica se encuentra el único representante de la familia Alligatoridae, el caimán de anteojos, *Caiman crocodilus* (Linnaeus 1758), que crece hasta 2,8 m de longitud total (Bolaños et al. 1995). Ambas especies habitan áreas de los humedales costeros del Caribe.

En la vertiente del Caribe, se puede distinguir un límite físico que divide esta región en dos grandes subregiones: el Caribe Norte, desde la ciudad de Limón hasta el río San Juan, y el Caribe Sur, desde la ciudad de Limón hasta el río Sixaola. Entre las subregiones del Caribe Norte y Sur, se puede delimitar una tercera subregión, correspondiente a lo que Bolaños et al. (2019) describieron como el Caribe Central. Los autores definieron esta subregión como el área comprendida entre la ciudad de Limón y la desembocadura del río Parismina, en la Estación Jalova del Parque Nacional Tortuguero. Esos autores consideraron a la subregión del Caribe Central como la zona más poblada por humanos en toda la costa caribeña de Costa Rica.

El Caribe Norte se encuentra dentro de las llanuras aluviales que se encuentran al norte desde la desembocadura del río Parismina, hasta el río Barra del Colorado, bordeando la costa norte. Esta subregión es irrigada por los ríos La Suerte, Tortuguero, Colorado y San Juan, y es atravesada por canales acuáticos largos, anchos y profundos que facilitan el tránsito humano entre las comunidades distantes de la región costera del Caribe, pero también permiten el movimiento de las especies silvestres que los habitan (Venegas 2013).

En el noreste de Costa Rica, a lo largo del Caribe Norte y Sur, en el distrito de Sarapiquí, Bolaños et al. (1997) encuentran en la zona de La Rambla y Río Frío poblaciones de cocodrilos y caimanes con densidades de 2,33 ind./km y 2,55 ind./km, respectivamente. Adicionalmente, en la Zona Norte de Costa Rica, Cabrera et al. (2003), y posteriormente Aranda-Coello et al. (2015), encontraron evidencia que muestra que dentro del Refugio de Vida Silvestre Caño Negro existe una importante población de *C.*

*crocodilus*; sin embargo, esta población ha sido expuesta a la explotación y uso por parte de la población humana.

Como parte de un grupo limitado de investigadores que han estudiado las poblaciones de cocodrilos en la región del Caribe, Bolaños et al. (2019) encontraron que *C. crocodilus* y *C. acutus* se encuentran comúnmente en la zona, aunque recomendaron aumentar el esfuerzo de investigación en el área. Bolaños et al. (2019) reportaron una densidad de *C. crocodilus* de 8.64 ind./km, mientras que para *C. acutus*, la densidad fue menor, 2.80 ind./km; estos autores encontraron una relación de sexos macho-hembra de 1.25 y 0.83 para caimanes y cocodrilos, respectivamente, en el Caribe Central. Dado que generalmente hay poca información sobre las poblaciones de cocodrilos en la vertiente del Caribe, y no se conoce sobre ellas para la subregión del Caribe Norte, propusimos estudiar el estado de las poblaciones de cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) y caimán de anteojos (*Caiman crocodilus*) en esta subregión costarricense.

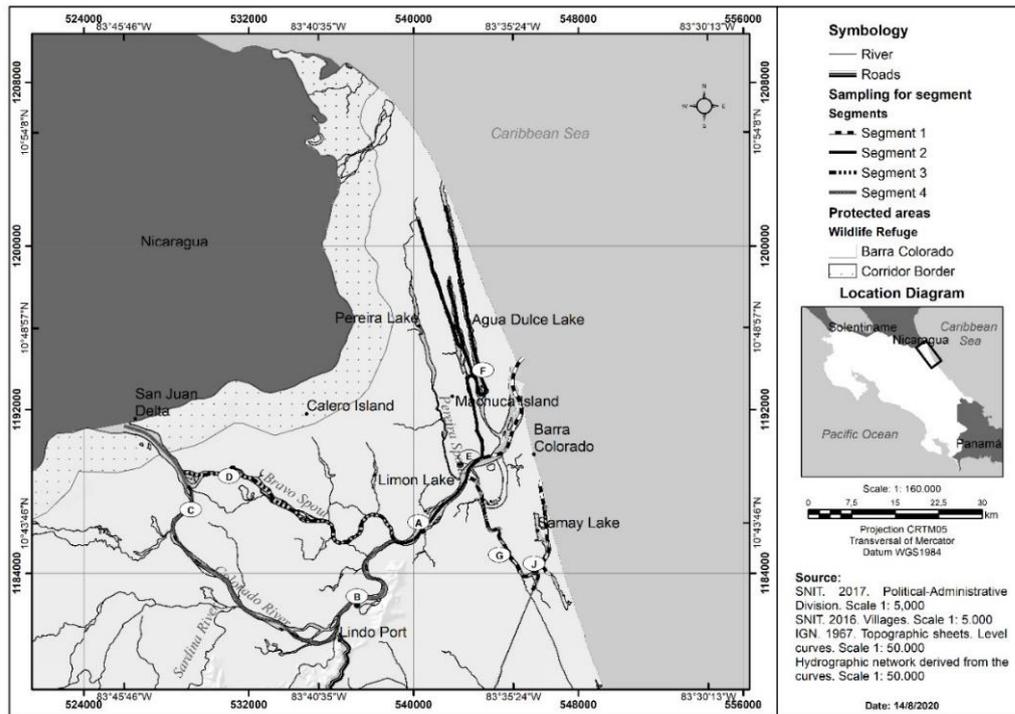
Materiales y métodos

### **Área de estudio**

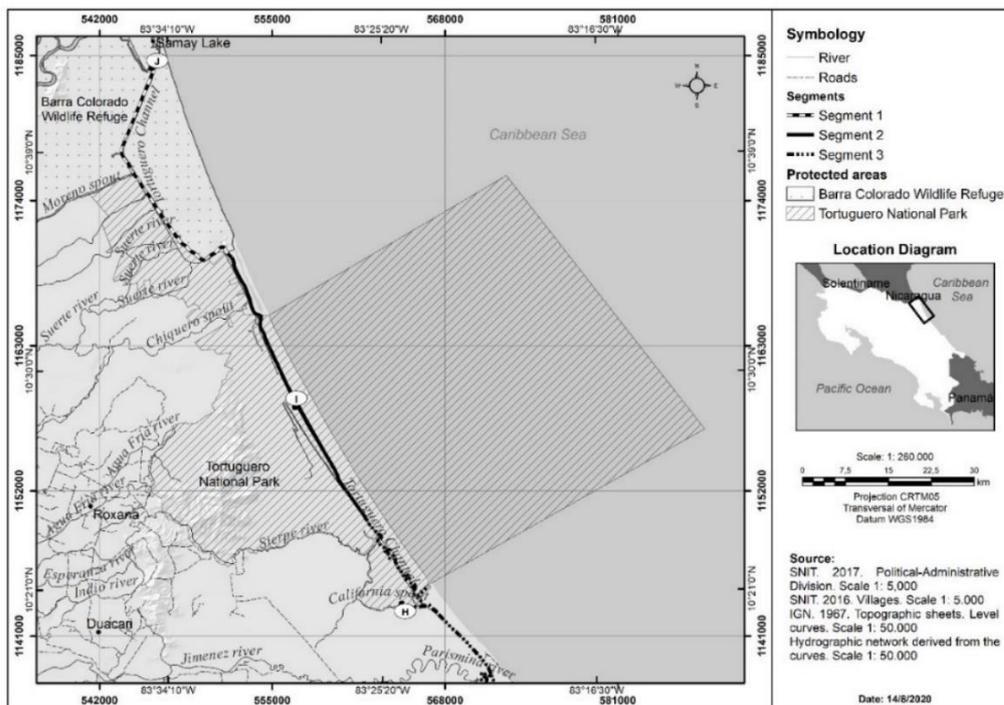
La investigación se realizó entre el 6 octubre de 2018 y el 31 de agosto de 2019 en el Caribe Norte de Costa Rica, provincia de Limón, cantón Pococí, distrito Colorado, en el área comprendida entre la Estación Jalova del Parque Nacional Tortuguero (10°20'37.43" N, 83°23'55.65" O), y el punto último de salida de la Laguna Agua Dulce (10°52'18.08" N, 83°37'13.70" O), en el extremo Norte de la Isla Machuca, unos 8 km al Norte de la Boca del río; y entre la costa en la desembocadura del río Colorado (10°47'53.20" N, 83°35'20.26" O), y su nacimiento en el Delta Costa Rica (10°46'13.73" N, 83°45'25.99" O); incluyendo además otros humedales conexos (Río Sierpe, y Laguna Samay) (Figure 1 and 2). El área de estudio tuvo una extensión aproximada a los 408 km<sup>2</sup>, y está caracterizada por canales largos, anchos y profundos; constituyendo un vasto humedal con pequeños meandros y lagunas adjuntas que conforman la estructura hídrica principal de esta importante red de cursos de agua.

En el Caribe Norte la precipitación anual promedio supera los 4000 mm, con temperaturas promedio de 24 grados centígrados y humedad relativa variante entre 70-100% (Solano & Villalobos 2020). La vegetación predominante es de bosques inundados de yolillales, yolillales mixtos y kativales, distribuidos a lo largo de canales fluviales

usualmente paralelos a la línea costera (Hurtado-Hernández y González-Ramírez 2013; Zúñiga Calderón y Moya Calderón 2016; SINAC 2020).



**Figura 1.** Identificación de segmentos de trabajo en el Refugio de Vida Silvestre Barra del Colorado (REBACO), Costa Rica, 2019.



**Figura 2.** Identificación de segmentos de trabajo en el Parque Nacional Tortuguero (PNT), Costa Rica, 2019.

El río Colorado se origina en el puesto fronterizo de Delta Costa Rica; comienza como un ramal del río San Juan en la frontera con Nicaragua y termina en Barra del Colorado, 40 km río abajo. Para realizar los monitoreos nocturnos, el área de estudio se dividió en 10 segmentos de muestreo (identificados alfabéticamente; segmentos A-J), con la intención de que cada uno pudiera repetirse fácilmente y compararse con esfuerzos de monitoreo anteriores o posteriores. Los segmentos A, B, C, D, E, F y G se ubicaron dentro del Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado (REBACO), mientras que los segmentos H, I y J se ubicaron dentro del Parque Nacional Tortuguero (PNT). Estos segmentos de muestreo se muestran en las Figuras 1 y 2, su detalle está en la tabla 1.

### **Estimación de la abundancia relativa y la estructura poblacional**

Recopilamos los datos en muestreos nocturnos entre el 6 de octubre de 2018 y el 31 de agosto de 2019. Cada visita consistió en cuatro días y tres noches de trabajo, siempre trabajando durante la fase de luna nueva. Para determinar la presencia de cocodrilos, se utilizaron linternas encandiladoras LED (Macway / OEM) con 6 V y hasta 1000 lúmenes (Levy 1991).

Durante los muestreos nocturnos, se realizaron estimaciones de tamaño de los individuos utilizando los siguientes parámetros: (a) distancia desde los ojos hasta la punta del hocico; b) la distancia entre los ojos; c) la longitud total del animal; d) los animales que se escondieron antes de que se pudiera evaluar su tamaño se anotaron como "indeterminados" y se incluyeron en el Conteo general de cocodrilianos presentes, sin verificación de tamaño o especie (Bolaños et al. 2019).

Para los muestreos dentro del REBACO, utilizamos una panga de 9 m de largo y 2.5 m de manga impulsada con un motor de 45 caballos de fuerza (Hp). Dentro de PNT, los estudios se realizaron en un bote inflable APEX (6 m de eslora, con una manga de 1,5 m), equipado con un motor Nissan fuera de borda de 18 Hp.

### **Captura, medición, marcado e identificación**

Los animales se capturaron con la mano, o haciendo uso de una soga inserta dentro de un tubo de PVC de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, con pared gruesa, de 2 m de longitud. Los animales capturados fueron marcados, medidos, sexados y posteriormente liberados. Se registraron las variables: a) longitud total, b) longitud hocico-cloaca, c) longitud cloaca-extremo distal de la cola, d) longitud de la cabeza, entre la parte trasera de la tabla craneana y la punta del hocico. Todas las mediciones se realizaron usando una cinta métrica (+/- 0.5 mm) (Bolaños *et al* 1997). A cada uno de los animales capturados les fue

implantado un microchip de identificación en la axila de su extremidad posterior izquierda. Los especímenes capturados de *C. acutus* fueron marcados además por medio de la amputación de las escamas caudales (Bolton 1989). Debido a características de los escudos caudales de los caimanes, solamente se les implantó el microchip.

Los individuos de *Crocodylus acutus* se clasificaron utilizando ocho tallas (Bolaños et al. 2019), con intervalos de 50 cm (Tabla 2). Esta clasificación permite realizar la estimación de la talla con un mínimo de error, y comparar nuestros datos con los obtenidos en diferentes censos realizados en Costa Rica, especialmente con los reportados para Caribe Central (Bolaños et al. 2018). Debido a su menor tamaño, *C. crocodilus* se clasificó en seis tallas, utilizando también intervalos de 50 cm (Tabla 2).

Se realizó un control de agrupamiento en las observaciones que se realizaron, colocando un número “1” al lado de cada observación para aquellos individuos considerados como “agrupados”, cuando fueron observados junto con otros individuos en un ámbito lineal de 50 m. Se les asignó un número “2” y se consideraron “dispersos” aquellos que fueron observados a distancias mayores. (Bolaños et al. 2019).

**Tabla 1. Identificación de segmentos de trabajo, en el Caribe Norte, Costa Rica, 2019.**

| <b>Segmento</b> | <b>Identificación de segmentos</b>                           | <b>Longitud (km)</b> |
|-----------------|--|----------------------|
| <b>Un</b>       | Cruce del puerto de Barra Colorado-Lindo (margen occidental) | 10.88                |
| <b>B</b>        | Puerto Caño Bravo Cross-Lindo                                | 7.5                  |
| <b>C</b>        | Río Colorado   | 17.69                |
| <b>D</b>        | Caño Bravo   | 13.27                |
| <b>E</b>        | Cruz del puerto de Barra Colorado-Lindo (margen oriental)    | 10.25                |
| <b>F</b>        | Lago Agua Dulce  | 13.09                |
| <b>G</b>        | Lago Samay   | 14.13                |
| <b>H</b>        | Jalova   | 13.38                |
| <b>Yo</b>       | Caño Negro-Tortuguero  | 19.03                |
| <b>J</b>        | Lago Tortuguero-Samay  | 29.49                |

**Tabla 2. Clasificación de cocodrilo (*Crocodylus acutus*) y caimán (*Caiman crocodilus*) por tamaño corporal, en el Caribe Norte, Costa Rica, 2019.**

| <i>C. acutus</i> |         |            | <i>C. crocodilus</i> |         |            |
|------------------|---------|------------|----------------------|---------|------------|
| Clase            | Nombre  | Tamaño (m) | Clase                | Nombre  | Tamaño (m) |
| Yo               | Recluta | 0 – 0.5    | Yo                   | Recluta | 0 – 0.5    |
| II               | Recluta | 0.5 – 1.0  | II                   | Juvenil | 0.5 – 1.0  |
| III              | Juvenil | 1.0 – 1.5  | III                  | Adulto  | 1.0 – 1.5  |
| IV               | Juvenil | 1.5 – 2.0  | IV                   | Adulto  | 1.5 – 2.0  |
| V                | Adulto  | 2.0 – 2.5  | V                    | Adulto  | 2.0 – 2.5  |
| VI               | Adulto  | 2.5 – 3.0  | VI                   | Adulto  | 2.5 – 3.0  |
| VII              | Adulto  | 3.0 – 3.5  |                      |         |            |
| VIII             | Adulto  | 3.5 – 4.0  |                      |         |            |

### **Análisis estadístico**

La información fue recogida en una hoja de EXCEL 2019 y ordenada para ser leída y analizada por Statistical Package for the Social Sciences (IBM-SPSS-Statistics 22). Se corrieron análisis correspondientes a cada variable en particular, así como al comportamiento conjunto de dos o más de ellas; se realizaron análisis de contraste no paramétrico para una, dos y más muestras (Chi Cuadrado, Wilcoxon, Kolmogorov-Smirnov y Kruskal-Wallis).

### **Resultados**

Con respecto a la estimación de la abundancia relativa y la estructura poblacional, para *C. acutus* encontramos que los segmentos A y C produjeron el mayor conteo de animales reclutas, mientras que los segmentos E I son aquellos donde se encontraron individuos de mayor tamaño (Tabla 3). La mayoría de los avistamientos se clasificaron en las tallas II, III y IV (Tabla 3). Para *C. crocodilus*, la distribución de sus avistamientos fue más uniforme, con diferencias en los tamaños corporales que no fueron estadísticamente significativas, es decir, en los segmentos F, I y J (Tabla 4). Además, la mayoría de los avistamientos observados fueron de individuos de tallas II, III y IV (Tabla 5).

La reconversión de 108 individuos indeterminados se sumó al número promedio calculado de cocodrilianos, entre cocodrilos y caimanes, y se distribuyó

proporcionalmente por clase de tamaño, de acuerdo con el número de individuos avistados, a saber: 31 *C. acutus* y 77 *C. crocodilus*. Esto resultó en un total poblacional estimado de 85 *C. acutus* y 205 *C. crocodilus* en el área de estudio.

La tabla 5 presenta la distribución de ambas especies de cocodrilianos en las diferentes subregiones estudiadas. Evidentemente, los valores promedio de avistamientos de caimanes fueron más altos en el PNT que en REBACO. Hubo diferencias significativas en la frecuencia de avistamiento de caimanes y cocodrilos, y los primeros se observaron con más frecuencia ( $X^2 = 66,53$ ,  $p \leq 0,0001$ ).

La aparición de *C. acutus* o *C. crocodilus* difirió significativamente entre los segmentos muestreados (Kruskal-Wallis,  $p \leq 0,004$ ). Asimismo, la distribución de tamaño de cualquiera de las especies fue diferente entre los segmentos estudiados (Kruskal-Wallis,  $p \leq 0,05$ ), (Kruskal-Wallis,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente, con una inclinación a favor de REBACO para *C. acutus*, y PNT para *C. crocodilus*.

Como se muestra en la tabla 5, se avistaron muchos más individuos de gran tamaño de *C. crocodilus* dentro del PNT que REBACO, el análisis de datos correspondiente reveló diferencia estadísticamente significativa ( $X^2 = 5,62$ ,  $p \leq 0,05$ ) con respecto a la distribución de tamaño entre estas dos áreas. Por el contrario, los avistamientos totales de *C. crocodilus* fueron similares entre REBACO y PNT ( $Z = -1,22$ ,  $p \geq 0,222$ ). Algunos segmentos tuvieron una mayor probabilidad de albergar caimanes que otros en los muestreos realizados ( $X^2 = 8.36$ ,  $p \leq 0.05$ ), a saber, los segmentos H, I y J (Jalova- Río Sierpe, Caño Negro-Tortuguero y Tortuguero- Laguna Samay), todos pertenecientes a la zona del PNT. La prueba de Kolmogorov-Smirnov indicó que la distribución del tamaño de la población de caimanes estudiada no se distribuye normalmente ( $D_n = 0,284$ ,  $p \leq 0,00001$ ).

Respecto a *C. acutus*, el 90% de los avistamientos sucedió en la subárea REBACO, existe una diferencia estadísticamente significativa que da cuenta de esta diferencia en el número de avistamientos ( $X^2 = 7.34$ ,  $p \leq 0.026$ ). El análisis realizado indica que el segmento Río Colorado es significativamente más poblado por cocodrilos que todos los demás segmentos ( $X^2=7.28$ ,  $p \leq 0.05$ ), para los cuales la diferencia en el número de observaciones no es significativa. Para esta especie, existe diferencia estadísticamente significativa entre las diferentes tallas en toda el área de estudio ( $X^2=5.529$ ,  $p \leq 0.026$ ). La distribución por tallas no es normal ( $D_n=0.354$ ,  $p \leq 0.000$ ).

La abundancia relativa se estimó en 0,55 *C. acutus* y 1,37 *C. crocodilus* individuos por kilómetro lineal. La captura de 39 *C. crocodilus* permitió estimar una razón de sexos de 30 machos y 9 hembras (3.3:1 M:H). Solamente fueron capturados 1 macho y 1 hembra de *C. acutus*.

Finalmente, los resultados mostraron que los individuos de *C. acutus* están agrupados ( $Z = 1,93$ ,  $p \leq 0,028$ ), mientras que los de *C. crocodilus* presentaron una distribución más homogénea en el hábitat (la mayoría de estos fueron juveniles y adultos) ( $Z = 2,35$ ,  $p \leq 0,009$ ).

**Tabla 3. Distribución del cocodrilo (*Crocodylus acutus*) por segmento según tamaño corporal, en el Caribe Norte, Costa Rica, 2019.**

| Segmento     | II        | III       | IV       | V        | VI       | VII      | VIII     | Total     |
|--------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Un           | 10        |           |          |          |          |          |          | 10        |
| B            | 5         |           |          | 2        | 2        |          |          | 9         |
| C            | 11        | 5         | 5        |          |          |          |          | 21        |
| D            | 6         | 3         |          |          |          |          |          | 9         |
| E            | 3         | 2         |          |          | 2        |          | 2        | 9         |
| F            | 5         | 2         | 2        |          |          |          |          | 9         |
| G            | 6         | 3         |          |          |          |          |          | 9         |
| H            |           |           |          |          |          |          |          |           |
| Yo           |           | 5         |          |          |          | 2        |          | 7         |
| J            |           | 2         |          |          |          |          |          | 2         |
| <b>Total</b> | <b>46</b> | <b>22</b> | <b>7</b> | <b>2</b> | <b>4</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>85</b> |

**Tabla 4. Caimán (*Caiman crocodilus*) distribución por segmento según tamaño corporal, en el Caribe Norte, Costa Rica, 2019.**

| Segmento     | Yo        | II         | III       | IV        | Total      |
|--------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| Un           |           |            | 2         |           | 2          |
| B            |           | 2          | 3         |           | 5          |
| C            |           | 3          | 2         |           | 5          |
| D            |           |            |           |           |            |
| E            |           |            |           |           |            |
| F            | 5         | 19         | 6         |           | 30         |
| G            |           | 3          | 3         |           | 6          |
| H            | 3         | 5          | 5         | 6         | 19         |
| Yo           | 3         | 35         | 11        | 2         | 51         |
| J            | 5         | 34         | 29        | 19        | 87         |
| <b>Total</b> | <b>16</b> | <b>101</b> | <b>61</b> | <b>27</b> | <b>205</b> |

**Tabla 5. Conteo de caimanes (*Caiman crocodilus*) y cocodrilos (*Crocodylus acutus*) por tamaño corporal según sitio de muestreo, en Costa Rica, 2019.**

|                       | Sitio     |           |            |           |
|-----------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
|                       | REBACO    |           | PNT        |           |
|                       | Especie   |           | Especie    |           |
|                       | Caimán    | Cocodrilo | Caimán     | Cocodrilo |
|                       | Plantilla | Plantilla | Plantilla  | Plantilla |
| Recluta               | 5         | 46        | 11         | 0         |
| <b>Tamaño Juvenil</b> | 27        | 22        | 74         | 7         |
| Adulto                | 16        | 8         | 72         | 2         |
| <b>Total</b>          | <b>48</b> | <b>76</b> | <b>157</b> | <b>9</b>  |

## Discusión

Los resultados fueron inesperados, ya que la estructura por talla de *C. crocodilus* en REBACO, así como PNT, presentan un sesgo negativo hacia la izquierda, a diferencia de lo que usualmente ocurre en otras localidades dentro y fuera del país, incluyendo la misma zona de estudio (Bolaños et al 2019). Los estudios realizados en la zona norte de Costa Rica (cerca del Caribe Norte) indican que las poblaciones de caimanes han mostrado variaciones (Allsteadt & Vaughan 1992, Cabrera et al 2003, Escobedo-Galván & González-Maya 2008), pero no muestran una tendencia como la que encontramos en el Caribe Norte.

En comparación con los estudios antes mencionados, *C. crocodilus* se caracterizó por una presentar una distribución más homogénea, con una abundancia relativa de 8.63 ind./km, siendo esta considerablemente mayor que los 2.2 ind./km reportados por King et al. (1990) en un ambiente similar en Honduras, pero menor que los 12.5 ind./km reportados por Bolaños et al. (1997) para La Rambla en Sarapiquí, en el norte de Costa Rica. Por el contrario, Balaguera-Reina y González-Maya (2009) reportaron cifras tan bajas como 0.063 ind./ha en términos de densidad, pero argumentaron que son normales para ambientes bajo explotación humana.

Podría especularse que al ser el área de estudio una región baja de inundación permanente, los individuos de tallas menores (I y II) encuentran un hábitat más conveniente en las áreas internas del humedal, donde no se percibiría la perturbación que se presenta en los canales abiertos debido al tránsito de embarcaciones, además de que estarían menos expuestos al ataque de depredadores, situación que concuerda con lo encontrado por Bolaños, Sánchez & Piedra (1995) en la cuenca alta del río Sierpe. Así mismo, hay otras investigaciones que suponen que estos individuos se mantienen en humedales interiores como estrategia natural de conservación de la especie (Bolaños 1996-1997; Da Silveira, Magnusson & Campos 1997).

La población de *C. crocodilus* encontrada presenta números estimados consistentes con lo esperado para la zona y para el tamaño del área de estudio. Sin embargo, el hecho de que no se hayan encontrado adultos (talla III:  $\geq 1,5$  m) en los muestreos no significa que estos estén ausentes más bien, dado lo denso del follaje y la heterogeneidad del hábitat, estos caimanes podrían permanecer ocultos dentro de los

humedales y a lo largo de los cursos de agua más allá del alcance de nuestros esfuerzos de muestreo (Bolaños et al. 1997; Da Silveira et al. 1997).

En cuanto a la distribución por tallas de *C. acutus*, el sesgo negativo hacia la derecha tanto en PNT como en REBACO coincide con el reportado para otras zonas por Sánchez et al. (1996), Bolaños et al. (1997, 2019), Bolaños (2011a, 2011b, 2012a, 2012b), Murray et al. (2015), Orozco (2015) y Bolaños et al. (2019), el último para el Caribe Central.

A diferencia de *C. crocodilus*, cuyos individuos tienden a ser más sociables y permanecer en familia en sus zonas de distribución (Gorzula y Seijas 1989), las crías de *C. acutus* son arrastradas por las corrientes fluviales poco después de eclosionar y continúan moviéndose a lo largo del curso del río hasta que establecen sus propios sitios de vida (Bolaños et al. 2019).

La distribución y abundancia de las dos especies estudiadas son similares a las registradas en otros estudios (Allsteadt y Vaughan 1992; Cabrera et al. 2003; Escobedo-Galván y González-Maya 2008). Estos investigadores también mostraron cómo los *C. acutus* de tallas menores llegan a las desembocaduras de los ríos donde establecen su territorio (Thorbjarnarson 1989, 1992), situación similar a la encontrada en REBACO.

Estimamos que los individuos de *C. acutus* de tallas mayores podrían estar visitando recurrentemente la zona baja de los ríos de la costa Caribe para mantenimiento de sus territorios, y en procura de alimento (en la zona costera), como se menciona en Bolaños et al (2019), para la región del Caribe Central de Costa Rica.

Es evidente que la abundancia relativa de *C. acutus* es menor en el Caribe Norte (0.55 ind./km) que en el Caribe Central donde se encontró 1.77 ind./km (Bolaños et al. 2019). No obstante, debe tenerse en cuenta que el 89% de nuestros avistamientos de esta especie ocurrieron dentro de las áreas de REBACO, en las que aproximadamente la mitad (52%) de estos individuos fueron avistados a lo largo de los segmentos A, B y C. Estos corresponden a la zona más extrema del área de estudio, en donde el propio río Colorado y el Caño Bravo conforman dos de estos segmentos, y existe contacto directo con el río San Juan.

La abundancia de *C. acutus* en el Caribe Norte es sensiblemente menor que la reportada en el Caribe Central de Costa Rica (Bolaños et al 2019). Esta disparidad podría estar relacionada con una mayor actividad humana en el Caribe Central (situación que podría proporcionar más suministro de alimentos, áreas de apareamiento y reproducción,

a la especie), situación que ha sido evidenciada para otros centros de distribución de cocodrilianos (Pooley et al. 1989; Pooley 2017) los de Costa Rica (Sandoval-Hernández et al. 2017, Sandoval et al. 2019, 2020) y Panamá (Venegas-Anaya et al. 2015). La diferencia en la abundancia relativa de *C. acutus* en el Caribe Norte es alta, si se compara con la reportada para los ríos en la cuenca del Pacífico del Caribe (Sánchez et al. 1996; Sánchez-Ramírez 2001; Valdelomar et al. 2012; Bolaños 2011a, 2012b; Orozco 2015; Sandoval et al. 2020).

Aun así, un hallazgo clave de este estudio es que la abundancia relativa de *C. crocodilus* (1.37 ind./km) es sustancialmente menor que en la reportada en la región del Caribe Central (8.63 ind./km) (Bolaños et al. 2019). Una de las razones de este último valor se puede deber a que los animales se encuentran en zonas donde la presencia humana es más pronunciada. En el caso de *C. acutus*, esta especie podría aprovechar los recursos generados en áreas más urbanizadas (alimento o residuos, áreas de apareamiento y cría, como se ha mencionado). Del mismo modo, esto también podría explicar por qué la abundancia de *C. crocodilus* en la zona PNT del área de estudio fue considerablemente mayor que la encontrada en la zona REBACO. Ciento cincuenta y seis individuos (77%) fueron observados en el PNT. Del 33% restante en REBACO, solo 12 (24%) se encontraron en los tres segmentos en los que los avistamientos de *C. acutus* fueron más altos, cerca del río San Juan. Este resultado es consistente con los hallazgos para otras áreas del mundo por parte de Amarasinghe et al. (2015), Saalfeld et al. (2016), Pooley (2017) y de Sandoval et al. (2019, 2020), en el lado del Pacífico Central de Costa Rica.

Especulamos que la agregación de *C. acutus* puede deberse a que los animales encontrados eran de las clases II y III, reclutas y juveniles, los cuales tienen ese comportamiento durante estos periodos de sus vidas, tal y como se ha observado por (Sánchez et al. 1996, Sánchez Ramírez 2001, Bolaños 2011a, Espinal & Escobedo-Galván 2011, Bolaños 2012b, Orozco 2015). Así mismo, *C. crocodilus* puede estar aprovechando las condiciones favorables de la amplia zona de estudio, la cual cumple con todas las condiciones para el mantenimiento de esta especie, tal y como han encontrado Ouboter y Nanhoe (1988), Allsteadt (1994), Herron (1994), Da Silveira et al. (1997), Velazco y Ayarzagüena (2010), y Aranda-Coello (2017).

## Bibliografía

Allsteadt J. 1994. Nesting ecology of *Caiman crocodilus* in Caño Negro, Costa Rica. *Journal of Herpetology*. 28:12–19.

Allsteadt J, Vaughan C. 1992. Ecological studies of the Central American Caiman (*Caiman crocodilus fuscus*) in the Caño Negro National Wildlife Refuge, Costa Rica. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society*. 23:123–126.

Amarasinghe AAT, Madawala MB, Karunarathna DMSS, Manolis SC, De Silva A, Sommerlad R. 2015. Human-crocodile conflict and conservation implications of Saltwater Crocodiles *Crocodylus porosus* (Reptilia: Crocodylia: Crocodylidae) in Sri Lanka. *Journal of Threatened Taxa*. 7:111–130. <https://doi.org/10.11609/JoTT.o4159.7111-30>

Aranda-Coello JM, Arévalo-Hueso E, Burbano D, Coello H, Cortéz J, Díaz N, Jiménez R. (2015). Opinión de pescadores sobre el *Caiman crocodilus* (Crocodylia: Alligatoridae) del Refugio de Vida Silvestre Caño Negro, Costa Rica. *UNED Research Journal*. 7(2):143–149.

Aranda-Coello JM. 2017. Cambios en la estructura poblacional del caimán, *Caiman crocodilus* (Crocodylia: Alligatoridae) y su posible relación con el cambio climático, en Caño Negro, Costa Rica. *UNED Research Journal*. 9(1):151–155. <https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1691>

Balaguera-Reina S, González-Maya J. 2009. Estructura poblacional, abundancia, distribución y uso de hábitat de *Caiman crocodilus fuscus* (Cope, 1868) en la Vía Parque Isla de Salamanca, Caribe colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 44(1):145–152.

Bolaños JR 2011a. Plan estratégico para el manejo de la población de *Crocodylus acutus* (cocodrilo americano), en el Gran Humedal Tempisque. Sistema Nacional de Áreas de Conservación. Dirección Regional. Área de Conservación Arenal Tempisque. 20 pp.

Bolaños JR. 2011b. Propuesta plan de contingencia en el manejo de la población de cocodrilos del gran humedal del Tempisque. Asociación Especialistas en Crocódilidos – Centro América, Sistema Nacional de Áreas de Conservación. Dirección Regional. Área de Conservación Arenal Tempisque. Documento técnico. 27 pp.

Bolaños JR. 2012a. Manejo de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en estanques de cultivo de tilapia en Cañas, Guanacaste. *Revista de Ciencias ambientales*. 43:63–72. <https://doi.org/10.15359/rca.43-1.6>

Bolaños JR. 2012b. Survey of American crocodiles in Tempisque Great Wetlands, Guanacaste, Costa Rica. *Crocodile Specialist Group Newsletter*. 31(1):2–7.

Bolaños JR, Sánchez J, Piedra L. 1997. Inventario y estructura poblacional de crocódilidos en tres zonas de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 45:283–287.

Bolaños JR, Sánchez J, Sigler L, Barr B, Sandoval I. 2019. Population status of the American crocodile, *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) and the caiman, *Caiman crocodilus* (Reptilia: Alligatoridae), in the Central Caribbean of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 67(6):1180–1193. <https://doi.org/10.15517/RBT.V67I6.35023>

Bolton M. 1989. The management of crocodiles in captivity. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 62 pp.

Cabrera J, Protti M, Urriola M, Cubero R. 2003. Distribución y abundancia de *Caiman crocodilus* en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Caño Negro, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 51(2):568–577.

Cuvier G. 1807. Sur les différentes especes de crocodiles vivans et sur leurs caracteres distinctifs. *Ann. Muséum d'Histoire Naturelle de Paris*. Paris 10: 8-86.

Da Silveira R, Magnusson W, Campos Z. 1997. Monitoring the distribution, abundance, and breeding areas of *Caiman crocodilus* and *Melanosuchus niger* in the Anavilhanas archipelago, Central Amazonia, Brazil. *Journal of Herpetology*. 31:514–520.

Escobedo-Galván AH, González-Maya JF. 2008. Estado poblacional del caimán, *Caiman crocodilus*, en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Caño Negro, Costa Rica. *Revista Mesoamericana de la Conservación*. 1:15–22.

Espinal M, Escobedo-Galván A. 2011. Population status of the American crocodile (*Crocodylus acutus*) in el Cajon Reservoir, Honduras. *The Southwestern Naturalist*. 56(2):212–215.

Gorzula S, Seijas AE. 1989. The common caiman. *Crocodiles. Their ecology, management, and conservation*. IUCN Publication Series. A Special Publication of the Crocodile Specialist Group of the Species Survival Commission of the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. 314 pp.

Herron J. 1994. Body size, spatial distribution, and microhabitat use in the caimans, *Melanosuchus niger* and *Caiman crocodilus*, in a Peruvian lake. *Journal of Herpetology*. 28(4):508–513. <https://doi.org/10.2307/1564969>

Hurtado-Hernández P, González-Ramírez J. 2013. Lista anotada de las plantas del Parque Nacional Tortuguero. *Revista de Biología Tropical*. 61:121–130. ISSN: 0034-7744.

King FW, Espinal M, Cerrato C. 1990. Distribution and status of the crocodylians of Honduras. Results of a survey conducted for the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora and the Honduras Secretaría de Recursos Naturales Renovables. In: *Proceedings of the 10th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group of the Species Survival Commission of IUCN*. Gainesville, FL.: The World Conservation Union. p. 313–354.

Levy C. 1991. *Endangered species: Crocodiles and Alligators*. London: The Apple Press. 128 pp.

Linnaeus C. 1758. *Systema naturæ per regna tria naturæ, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Tomus I. Editio decima, reformata. *Laurentii salvii*, Holmiæ. 10th Edition: 824 pp.

Medem F. 1981. *Los Crocodylia de Sur América. Los Crocodylia de Colombia*. Vol. I. Bogotá, Colombia: Editorial Carrera. 354 pp.

Murray CM, Easter M, Padilla S, Garrigós DB, Stone JA, Bolaños-Montero J, Sasa M, Guyer C. 2015. Cohort-dependent sex ratio biases in the American crocodiles

(*Crocodylus acutus*) of the Tempisque basin. *Copeia*. 103:541–545. <https://doi.org/10.1643/CE-14-186>

Orozco W. 2015. Monitoreo de la población de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Tempisque. Guanacaste. Costa Rica. 2011-2014. Unpublished thesis, Universidad Estatal a Distancia (UNED), San José, Costa Rica. 43 pp.

Ouboter PE, Nanhoe LMR. 1988. Habitat selection and migration of *Caiman crocodilus* in a swamp and swamp-forest habitat in northern Suriname. *Journal of Herpetology*. 22(3):283–294. <https://doi.org/10.2307/1564151>

Pooley S. 2017. A cultural herpetology of Nile Crocodiles in Africa. *Conservation and Society*. 14:391–405. <https://doi.org/10.4103/0972-4923.197609>

Pooley AC, Hines T, Shields J. 1989. Attacks on humans. In: *Crocodiles and Alligators*. New York: Weldon Owen. p. 172–187.

Saalfeld K, Fukuda Y, Dulding T, Fisher A. 2016. Management Program for the saltwater crocodile (*Crocodylus porosus*) in the Northern Territory for Australia, 2016-2020. Darwin: Northern Territory Department of Environment and Natural Resources. 55 pp.

Sánchez JJ, Bolaños JR, Piedra L. 1996. Población de *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) en dos ríos de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 44:835–840.

Sánchez-Ramírez J. 2001. Estado de la población de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Tempisque, Guanacaste. San José, Costa Rica: INBio. 49 pp.

Sandoval L, Morera C, Sandoval I. 2019. Zonificación de las áreas propensas a incidentes por ataques de *Crocodylus acutus* en el Pacífico Central de Costa Rica utilizando un Sistema de Información Geográfico. *Revista Cartográfica*. 98:259–279. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i98.150>

Sandoval L, Morera C, Sandoval I. 2020. Determinación del hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) como estrategia para la reducción de conflictos con el ser humano en el Pacífico Central, Costa Rica. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*. 17:1–17.

Sandoval-Hernández I, Duran-Apuy A, Quirós-Valerio J. 2017. Activities That May Influence the Risk of Crocodile (*Crocodylus acutus*: Reptilia: Crocodylidae) Attack to Humans in the Tempisque River Area, Guanacaste, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(1), 13-22. <https://doi.org/10.15359/ru.31-1.2>

SINAC. 2020. Proyecto fortalecimiento del Programa de Turismo en Áreas Silvestres Protegidas. Plan de Turismo sostenible Parque Nacional Tortuguero (PNT). 76 pp. <http://www.sinac.go.cr/ES/transprncia/Planificacin%20y%20Gestin%20BID/Gesti%C3%B3n%20Sostenible%20del%20Turismo%20en%20ASP/Planes%20de%20Turismo%2010%20ASP/Plan%20de%20Turismo%20Sostenible%20del%20PN%20Tortuguero.pdf>

Solano J, Villalobos R. 2001. Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica. *Tópicos meteorológicos y Oceanográficos*, 8(1), 26–39.

Thorbjarnarson JB. 1989. Ecology of American crocodile, *Crocodylus acutus*. In: International Union for the Conservation of Nature, editor. Crocodiles: their ecology, management, and conservation. Gland: IUCN. p. 228–259.

Thorbjarnarson JB. 1992. Crocodiles: an action plan for their conservation. In: Messel H, King FW, Ross JP, editors. Gland: IUCN. 136 p.

Valdelomar V, Ramírez-Vargas MA, Quesada-Acuña SG, Arrieta C, Carranza I, Ruiz-Morales G, Bolaños E, Mena-Villalobos JM, Brizuela C, Miranda-Fonseca L. et al. 2012. Percepción y conocimiento popular sobre el cocodrilo *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) en zonas aledañas al río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. Cuaderno de Investigación UNED. 4:191–202. <https://doi.org/10.22458/urj.v4i2.8>

Velasco A, Ayarzagüena J. 2010. Proyecto MARNR-CITES: Situación actual de las poblaciones venezolanas de baba (*Caiman crocodilus*), sometidas a aprovechamiento. Caracas: MARNR-PROFAUNA.

Venegas F. 2013. Observatorio de Vida silvestre Tortuguero. Una conexión vivencial a los contextos natural y social. Unpublished thesis Universidad de Costa Rica. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. Facultad de Ingeniería. Escuela de Arquitectura. 637 pp.

Venegas-Anaya M, Escobedo-Galván A, Balaguera-Reina S, Lawrence F, Sanjurjo O, Densmore L. 2015. Population ecology of American crocodile (*Crocodylus acutus*) in Coiba National Park, Panama. *Journal of Herpetology*. 49(3):349–357.

Zúñiga Calderón S, Moya Calderón M. 2016. Tortuguero: Área silvestre protegida y su importancia para los actores locales. *Biocenosis*. 30(1-2): 15–23.

# Capítulo 5. Análisis de paisaje para el cocodrilo americano *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) en el noroeste de Costa Rica

*Revista Mexicana de Biodiversidad*, En Prensa

Iván Sandoval Hernández<sup>1,4\*</sup>, Juan Rafael Bolaños Montero<sup>2</sup>, Mahmood Sasa Marín<sup>3</sup>, Juan Salvador Monrós González<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

<sup>2</sup>Asociación de Profesionales en Crocodylidos (ASOPROCROC).

<sup>3</sup>Escuela de Biología e Instituto Clodomiro Picado, Universidad de Costa Rica.

<sup>4</sup>Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva, Universitat de València.

**Resumen:** El noroeste de Costa Rica tiene la población de cocodrilos más grande del país, pero también es un área de crecimiento de población humana, turismo, cultivos y acuicultura que han generado grandes cambios en la región. Realizamos un análisis del paisaje del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) para determinar qué variables del paisaje pueden beneficiarlo, el análisis incluyó el Gran Humedal del Tempisque (GHT) y el Pacífico Central (PC). El GHT presentó mayor densidad ríos, caminos, humedales y zonas de inundación, mientras que el PC presentó mayor número de poblados. La cobertura forestal se ha recuperado en ambas regiones, aunque la tasa de recuperación fue diferente. Los valores de la dimensión fractal (FD), el índice de forma (SI), los índices de diversidad y equidad de Shannon aumentaron levemente en ambas zonas, lo que indica que la fragmentación está aumentando en el área de estudio. La densidad promedio de cocodrilos se correlacionó con el cambio en la cobertura por año ( $r_s = 0,74$ ), con la FD y SI ( $r_s = 0,65$  para ambos). En el PC, la densidad de cocodrilos también se correlacionó con el cambio de cobertura por año ( $r_s = 0,48$ ) y con la FD y SI ( $r_s = 0,93$  y  $0,74$ , respectivamente). Así, nuestros resultados nos permiten pensar que los cocodrilos en el área de estudio pueden beneficiarse de los recursos provistos por la fragmentación del hábitat y las actividades humanas en sus zonas de distribución.

**Palabras clave:** Cocodrilos, Paisaje, Fragmentación, Cobertura forestal, Costa Rica.

**Abstract:** Northwest Costa Rica has the largest crocodile population in the country, but it is also an important area of the human population growth, tourism, crops, aquaculture that have generated great changes in the region. For these reasons, a landscape analysis for the American crocodile (*Crocodylus acutus*) was conducted to determine which landscape variables may benefit the reptile. The analysis included the Tempisque Great Wetlands (GHT) and the Central Pacific (PC). The GHT had a higher linear density of rivers and roads, and more extensive wetlands and flood zones, whereas the PC had a higher number of towns. Forest coverage was recovering in both regions, although the rate of recovery was different. The values of the fractal dimension (FD), the shape index (SI), the Shannon diversity index, and the equity index increased slightly in both zones, indicating that fragmentation is raising in the study area. The average density of

crocodiles was correlated with change in coverage per year ( $r_s = 0.74$ ) and with FD and SI ( $r_s = 0.65$  for both). In the PC, the density of crocodiles was also correlated with change in coverage per year ( $r_s = 0.48$ ) and with FD and SI ( $r_s = 0.93$  and  $0.74$ , respectively). Thus, our results allow us to think that crocodiles in the study area can benefit from the resource provided for habitat fragmentation and human activities in their distribution zones.

**Keywords:** Crocodiles, Landscape, Fragmentation, Forest Coverage, Human activities, Costa Rica

## Introducción

Durante los primeros tres cuartos del siglo pasado, la caza furtiva llevó al cocodrilo americano *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) al borde de la extinción en Costa Rica (Sandoval et al., 2019, 2020). Como resultado, en 1992 el gobierno promulgó la ley 7317 (Ley de Conservación de la Vida Silvestre) destinada a proteger las especies de vida silvestre, además el cocodrilo está declarado como vulnerable en la lista roja de la UICN, está en el apéndice II de la CITES y está declarado en peligro de extinción en la Ley de Conservación de la Vida Silvestre de Costa Rica (7317) (Sandoval et al., 2018). Estudios de las últimas dos décadas indican que la aplicación de la ley 7317 fue exitosa, y las poblaciones de cocodrilos han aumentado (Bolaños 2012a, 2012b; Orozco 2015; Sánchez-Ramírez 2001; Sandoval et al., 2017; Valdelomar et al., 2012). En el noroeste de Costa Rica, las poblaciones de *C. acutus* se concentran principalmente en los ríos costeros del Pacífico Central (Abadía et al., 1998; Escobedo, 2005; Motte, 1994; Piedra, 2000; Porras, 2004; Sasa y Chaves, 1992; Torrealba et al., 1992) y en la zona del Pacífico Norte en el Gran Humedal del Tempisque (Barrantes, 2008; Bolaños, 2012b; Mauger et al., 2012; Murray et al., 2015 Orozco, 2015; Peraza, 2015; Sánchez et al., 1996; Sánchez-Ramírez, 2001).

En Costa Rica, desde principios de los años noventa se identificó una mayor presencia de cocodrilos en sus áreas de distribución, así como un aumento en los incidentes contra seres humanos en el Pacífico Noroeste y Central (Bolaños, 2012a, Porras et al., 2020; Sandoval et al., 2019), gran parte de estos incidentes entre ambas especies tienen relación directa en la invasión por parte de los humanos el hábitat del cocodrilo en el área de estudio (Bolaños, 2012b, Porras et al., 2020). Actualmente, estas interacciones persisten debido al extenso desarrollo de actividades antrópicas como carreteras, crecimiento de la población humana, actividades agrícolas en ríos, sus márgenes, estuarios y otros cuerpos de agua. Estas actividades han generado la alteración

del hábitat de la especie y potenciando la interacción con el ser humano (Sandoval et al., 2019, 2020).

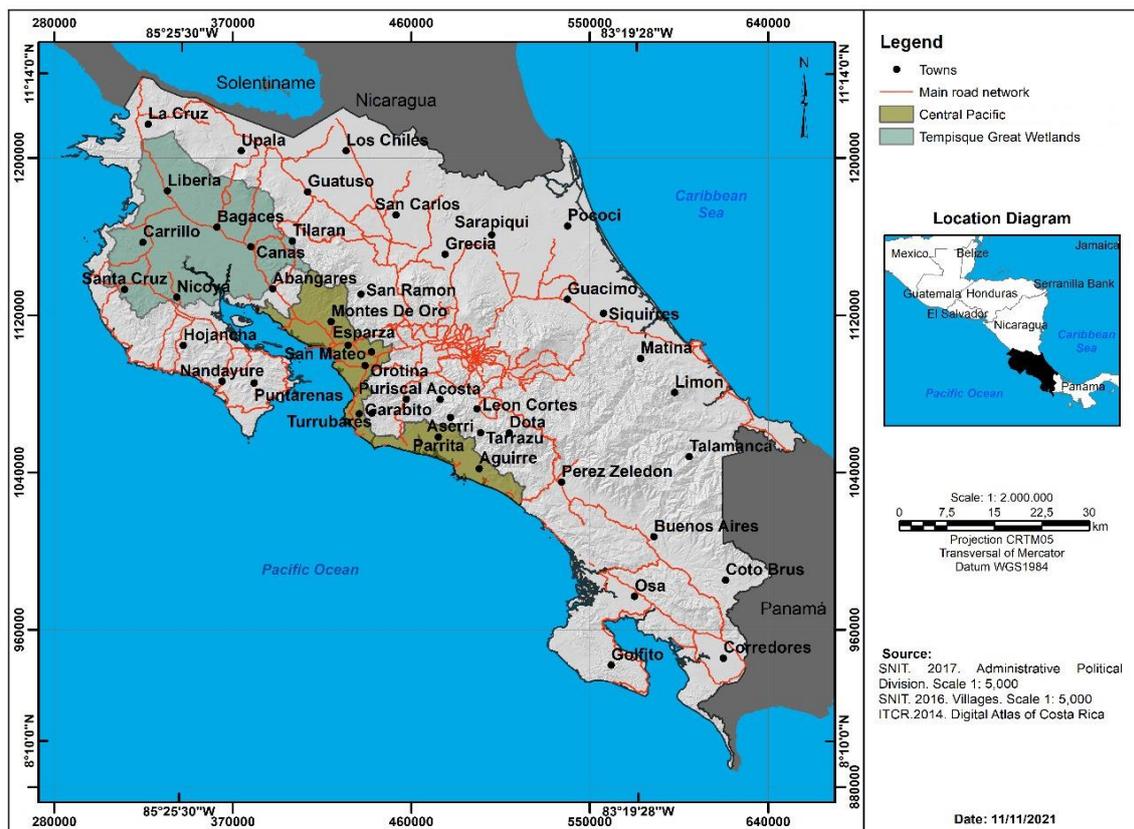
Como se mencionó, estas zonas también han registrado un gran aumento en la población humana, este crecimiento está asociado con el aumento de actividades agrícolas, la urbanización, el desarrollo del turismo y las mejoras en la infraestructura vial (Barrantes, 2013; Bartels, 2012; Carrillo, 2013; Gisolf, 2018; Morales Zúñiga, 2011; Sandoval et al., 2017 2019, 2020). Los cambios en el uso del suelo causados por estos factores pueden conducir a aumentos en la fragmentación del paisaje y el aislamiento de parches bosque (Troche y Guarachi 2001, Martínez-Salinas 2008, Sandoval y Castillo 2011, Guzmán y Vega 2015, Sierra, 2016). Sin embargo, desde 1990, la cobertura forestal se ha recuperado, aumentando al 52,4% de la superficie total del país en 2015 (Camacho 2015).

En este sentido, los índices de paisaje permiten discriminar tipos de vegetación, evaluar las condiciones de heterogeneidad del hábitat, además del aislamiento, la fragmentación y la complejidad del hábitat, lo que puede dar una idea de sus condiciones ecológicas. La evaluación del paisaje, la fragmentación y los patrones de conectividad pueden ser una prioridad para garantizar el mantenimiento de las especies y los ecosistemas. Estas herramientas, proporcionan representaciones efectivas de la estructura del paisaje, lo que podría dar información significativa para mejorar la planificación de la conservación (Miranda et al., 2018, Rodríguez, 2018).

En el Pacífico Central de Costa Rica, los cocodrilos se asocian con la presencia de cuerpos de agua, una alta densidad de la red de drenaje y la presencia de manglares y estuarios, en altitudes inferiores a 240 m.s.n.m. (Sandoval et al., 2020). Además de la red de drenaje (ríos, humedales y zonas de inundación), el aumento de la cobertura forestal puede aumentar el hábitat disponible para los cocodrilos y, por lo tanto, aumentar su abundancia (Bolaños et al., 1997; Bolaños, 2012a; Sánchez-Ramírez, 2001), por lo tanto, se realizó un análisis de paisaje para el cocodrilo americano en el noroeste de Costa Rica para determinar qué variables de paisaje podrían beneficiar el crecimiento de sus poblaciones.

## Material y métodos

El estudio incluyó las dos áreas con las poblaciones más numerosas de cocodrilos en Costa Rica; el Gran Humedal del Tempisque (GHT: 10° 12' 00" N, 85° 14' 00" O) ubicado en el sector noroeste del Pacífico Norte de Costa Rica, en la región interior de la Península de Nicoya en la Provincia de Guanacaste, y el Pacífico Central (PC: 9° 47' 00" N, 84° 38' 00" O) que se encuentra al sur del GHT y drena hacia el oeste en el Océano Pacífico (Fig. 1). En total, el área de estudio abarcó un total de 9.815,32 km<sup>2</sup>. El área en de estudio en el GHT fue de 5,381.89 km<sup>2</sup>, esta zona contó con un 93% por debajo de los 600 m.s.n.m., que es el límite de distribución de cocodrilos en el Pacífico costarricense (Sandoval et al., 2019, 2020). El área en el PC fue de 4.433,43 km<sup>2</sup>, con un 100% por debajo de los 600 m s.n.m. El PC tiene la segunda población de cocodrilos más grande de Costa Rica.



**Figura 1. Áreas de estudio, Pacífico Central (PC) y Gran humedal del Tempisque (GHT).**

Para analizar el hábitat del cocodrilo, seguimos la metodología propuesta por Sandoval et al., (2019, 2020), la cual consiste en una identificación de zonas de distribución de cocodrilos, además de integrar variables físico-geográficas a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG). De esta manera, se realizó una compilación teórica para identificar las variables físico-geográficas que conforman el hábitat del cocodrilo así como las variables socioambientales que influyen en la alteración y pérdida de hábitat de la especie, las variables seleccionadas fueron ríos, poblados, humedales, caminos y carreteras, áreas de inundación y cobertura forestal. Las bases de datos utilizadas están compiladas en el atlas de Costa Rica 2014 (Ortiz et al., 2014). Para el análisis del paisaje se utilizaron los programas QGIS 2.8.1 (QGIS Development Team) y ArcGis 10.5 (ESRI). QGIS se utilizó para crear polígonos del GHT, incluyendo las cuencas de los ríos Tempisque y Bebedero, y en el PC, incluyendo el territorio entre las comunidades de Puntarenas y Quepos. En los polígonos, se generaron varias capas a partir de bases de datos geográficas digitales de ríos (escala 1:200.000, 1:50.000), poblados (todas las localidades, pueblos y ciudades), humedales, caminos y carreteras, zonas de inundación y cobertura forestal (1997, 2000, 2005). Se utilizaron capas adicionales de cobertura forestal para el año 2010 de la base de datos digital del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y para 2013 obtenidas de la base de datos digital del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).

Creamos nuevas bases de datos para estimar el área ocupada por humedales y zonas de inundación, la densidad de los ríos y el número de poblados, así como la densidad de caminos y carreteras en el Gran Humedal del Tempisque (Fig. 2) y en el Pacífico Central (Fig. 3). Se calculó el área menor o igual a 600 m s.n.m., que es la altitud máxima en la que se reporta el cocodrilo americano en Costa Rica (Sandoval et al., 2019, 2020). ArcGis se utilizó para calcular el porcentaje de cobertura forestal bajo los 600 msnm en 1997, 2000, 2005, 2010 y 2013 en ambos sitios (utilizando las bases de datos mencionadas anteriormente). Para cuantificar los cambios en el área de estudio, se calculó el cambio de la cobertura forestal (km<sup>2</sup>) en el área de estudio del año 2000 al 2013. Además con ArcGis (Patch analyst) calculamos índices de paisaje para cuantificar la fragmentación del bosque de la siguiente manera:

**Complejidad de la forma:** *Índice de forma (SI):* 1 cuando los parches son completamente circulares o cuadrados y aumenta su valor al alejarse de las formas geométricas.

*Índice de dimensión fractal (FD)*: Este índice varía entre uno para las formas euclidianas y dos formas fractales. Se trata de una medida cuantitativa de la complejidad paisajística (Turner 1989), no dependiente de la escala y estadísticamente robusta (Ripple et al., 1991), por lo que se considera el descriptor más adecuado para cuantificar la fragmentación de los diferentes tipos de paisaje (Rau & Gantz, 2001).

**Diversidad de parches:** *Índice de diversidad de Shannon (SDI)*. Es 0 cuando el paisaje contiene un solo ecosistema (no hay diversidad), aumenta a medida que aumenta el número de diferentes tipos de ecosistemas y/o si se hace más equitativa la distribución proporcional del área de los tipos de ecosistemas.

**Distribución y abundancia de parches:** *Índice de Equidad de Shannon (SEI)*. Es igual a 0 cuando el paisaje contiene solo 1 ecosistema y se acerca a 1 cuando la distribución del área entre los diferentes tipos de ecosistemas se hace mayor.

Los datos de las variables (SI, SDI) no se distribuyeron normalmente, según las pruebas de Shapiro-Wilks, y hubo heterocedasticidad, según las pruebas de Levine (SPSS). Por lo tanto, se utilizaron pruebas no paramétricas para analizar los datos. El software InfoStat 2018 (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina) se utilizó para realizar pruebas de Kruskal-Wallis (K-W) a las variables de fragmentación por región y para determinar si había diferencias entre las variables por lugar y por año. Además, se analizaron las diferencias entre los porcentajes de cobertura forestal entre los diferentes años, el área total (Km<sup>2</sup>), el área <600 msnm, el área ocupada por ríos y carreteras (Km), el número de poblados, el área de humedales y las áreas de inundación (Ha) con pruebas de (K-W).

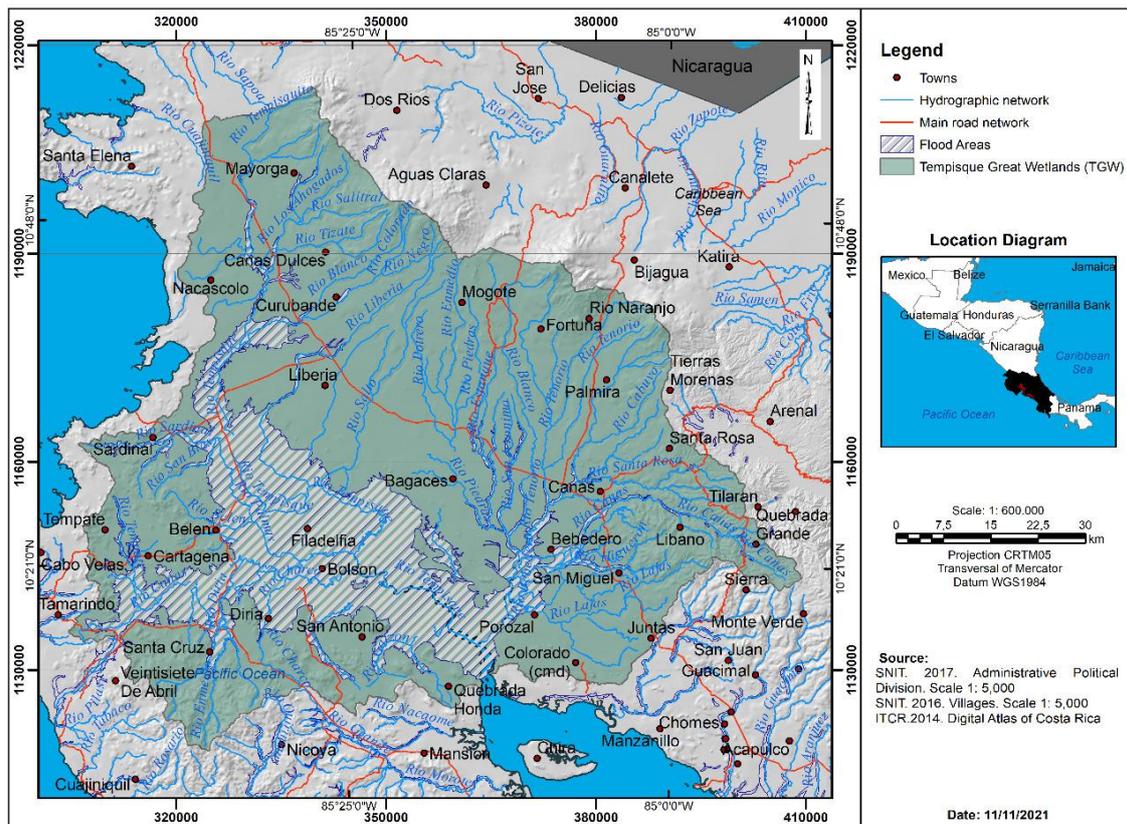
Debido a que los datos de densidad de cocodrilos en el país son escasos y debido a que las fechas del análisis de la cobertura forestal no se correspondían exactamente por año con los datos de muestreo de cocodrilos, pero si se correspondían por área y años, se agruparon y promediaron en los intervalos en que había bases de datos de cambio en la cobertura forestal en la zona (1997, 2000, 2005, 2010 y 2013). Para analizar la asociación entre las variables de hábitat y la densidad de cocodrilos, se compilaron y utilizaron los datos de muestreos de cocodrilos publicados y no publicados a lo largo de los años, gran parte de estos datos fueron colectados por los autores o siguiendo la misma metodología (Tabla 1).

**Tabla 1. Densidad de cocodrilos en el Gran Humedal del Tempisque y el Pacífico Central en Costa Rica.**

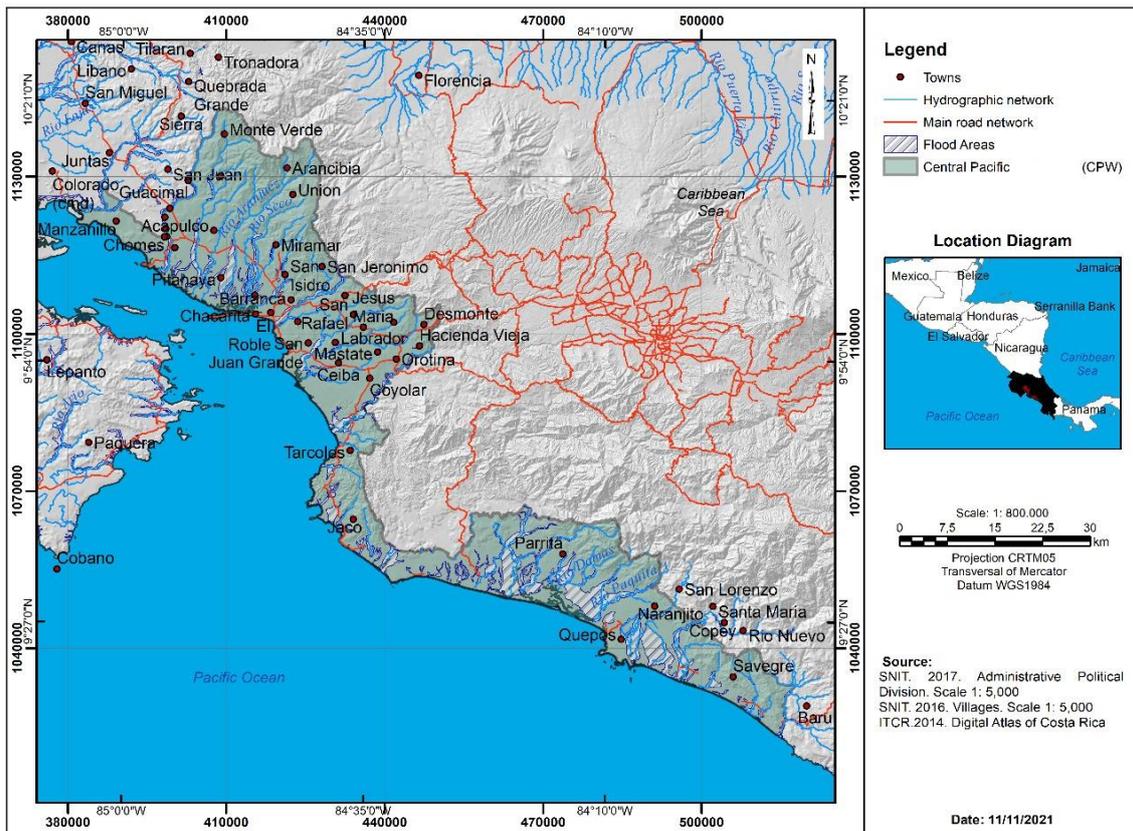
| Área de estudio | Año  | Río         | Densidad (ind/km) | Referencia                   |
|-----------------|------|-------------|-------------------|------------------------------|
| GHT             | 1993 | Bebedero    | 4,5               | Sánchez <i>et al.</i> , 1993 |
| GHT             | 1993 | Tempisque   | 4,65              | Sánchez <i>et al.</i> , 1993 |
| GHT             | 2000 | Tempisque   | 18,3              | Sánchez J., 2001             |
| GHT             | 2008 | Tempisque   | 5,34              | Barrantes L., 2008           |
| GHT             | 2010 | Tempisque   | 8,1               | Bolaños J., 2012b            |
| GHT             | 2012 | Tempisque   | 8,79              | Bolaños J., 2012b            |
| GHT             | 2015 | Tempisque   | 11,7              | Orozco W., 2015              |
| GHT             | 2015 | Tempisque   | 12,9              | Peraza, M., 2015             |
| PC              | 1992 | Tárcoles    | 19,1              | Sasa y Chaves, 1992          |
| PC              | 1992 | Tárcoles    | 11,1              | Torrealba I., 1992           |
| PC              | 1994 | Tárcoles    | 15,2              | Motte M., 1994               |
| PC              | 1998 | Tárcoles    | 12                | Abadía G., 1998              |
| PC              | 2000 | Tulín       | 8,14              | Piedra L., 2000              |
| PC              | 2000 | Jesús María | 2,39              | Piedra L., 2000              |
| PC              | 2000 | Tárcoles    | 30,08             | Piedra L., 2000              |
| PC              | 2004 | Tulín       | 5,58              | Porras L., 2004              |
| PC              | 2004 | Jesús María | 1,51              | Porras L., 2004              |
| PC              | 2004 | Tárcoles    | 9,22              | Porras L., 2004              |
| PC              | 2005 | Parrita     | 6,6               | Escobedo-Galván, A. 2005     |
| PC              | 2005 | Parrita     | 0,95              | Escobedo-Galván, A. 2005     |
| PC              | 2009 | Tárcoles    | 10.29             | Bolaños J., 2015             |

Debido a que los datos de densidades de cocodrilos y los datos del uso del suelo no son 100% correspondientes en año, pero sí por periodo se promediaron y agruparon para los lapsos en los cuales existen registros de cambio en el uso del suelo en la zona (1997, 2000, 2005, 2010 y 2013) o su fecha más cercana. Esto se realizó de la siguiente manera, GHT: periodo 1997 (promedio río Bebedero y Río Tempisque del año 1993), periodo 2000 (datos de densidad de Río Tempisque del año 2000), periodo de 2005 (dato de densidad de Tempisque del 2008), periodo de 2010 (promedio río Tempisque años 2010 y año 2012), periodo de 2013 (promedio de 2 datos de 2015 del río Tempisque), VPC: periodo 1997 (promedio densidades del río Tárcoles año 1992 1994 y 1998), periodo 2000 (datos de densidad de los ríos Tulín, Jesús María y Tárcoles del 2000), periodo de 2005 ((datos de densidad de los ríos Tulín, Jesús María y Tárcoles del 2004)), periodo de 2010 (datos 2009 del río Tárcoles) (Tabla 1).

Se realizaron análisis de correlación de Spearman ( $r_s$ ) entre las densidades de cocodrilos y los cambios en el porcentaje de cobertura forestal y los índices de fragmentación por año.



**Figura 2. Red hidrográfica, red de carreteras principales y áreas de inundación en el Gran Humedal del Tempisque (GHT).**



**Figura 3. . Red hidrográfrica, red de carreteras principales y áreas de inundación en el Pacífico Central (PC).**

## Resultados

El total de kilómetros de ríos y carreteras, áreas de humedales y áreas de inundación fueron más altos en el GHT que en el PC, el número de ciudades fue el único parámetro más alto en el PC, aunque ocuparon un área más pequeña, pero no encontramos diferencia estadística entre estas variables (K-W;  $H = 1$ ,  $df = 2$ ,  $P > 0,9999$ ) (Tabla 2).

Los cambios en la cobertura forestal indicaron que los bosques aumentaron (Tabla 3). En el GHT, hubo un aumento significativo en la cobertura forestal (K-W;  $H = 4$ ,  $df = 4$ ,  $p < 0,01$ ) del 15% en 1997 al 49% en 2013. En el PC, la cobertura forestal también aumentó significativamente (K-W:  $H = 4$ ,  $df = 4$ ,  $p < 0,01$ ) del 25% en 1997 al 50% en 2013.

**Tabla 2. Valores de las variables ambientales geomorfológicas analizadas en el Gran Humedal del Tempisque (GHT) y el Pacífico Central (PC), Costa Rica.**

| Área | Superficie total (km <sup>2</sup> ) | Área <600 m a.s.l. (km <sup>2</sup> ) | Ríos (km) | Carreteras (km) | Cantidad ciudades | Zonas de humedales (ha) | Zonas inundables (ha) |
|------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------|-----------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| PC   | 4,433.43                            | 4,433.43                              | 4,757     | 3,510           | 424               | 90.1                    | 205.53                |
| GHT  | 5,381.89                            | 4,987.74                              | 6,522     | 5,550           | 383               | 186.75                  | 628.92                |

**Tabla 3. Cobertura forestal, índices de fragmentación, índice de diversidad e índice de equidad de Shannon, densidad promedio de cocodrilos en el Gran Humedal del Tempisque (GHT) y Pacífico Central (PC) en los diferentes años del estudio.**

| Año                                       | 1997  | 2000  | 2005  | 2010   | 2013   |
|---|-------|-------|-------|--------|--------|
| Cobertura forestal (%), GHT               | 15    | 19    | 48    | 41     | 49     |
| Cobertura forestal (%) PC                 | 25    | 36    | 38    | 48     | 50     |
| FD-GHT                                    | 1.47  | 1.51  | 1.53  | 1.54   | 1.63   |
| FD-PC                                     | 1.41  | 1.48  | 1.41  | 1.45   | 1.49   |
| SI-GHT                                    | 51.9  | 78.6  | 94.08 | 100.71 | 197.39 |
| SI-PC                                     | 22.92 | 44.56 | 19.02 | 31.24  | 15.02  |
| SDI-GHT                                   | 0.7   | 0.83  | 0.94  | 1.04   | 1.66   |
| SDI-PC                                    | 0.71  | 0.78  | 1.18  | 0.8    | 1.74   |
| SEI-GHT                                   | 0.36  | 0.43  | 0.43  | 0.53   | 0.76   |
| SEI-PC                                    | 0.34  | 0.44  | 0.49  | 0.58   | 0.79   |
| Densidad media de cocodrilos GHT (ind/km) | 4.57  | 12.3  | 5.34  | 6.96   | 12.3   |
| Densidad media de cocodrilos PC (ind/km)  | 14.3  | 13.24 | 4.77  | 9.5    | 11     |

\*SI: índice de forma, FD el índice de dimensión fractal, SDI: índice de diversidad de Shannon  
SEI: el índice de equidad.

En el GHT, el 28,7% del área experimentó un cambio en el uso del suelo entre el año 2000 y 2013. Estos cambios se dieron principalmente en la cobertura forestal, cantidad de cuerpos de agua, manglares y vegetación inundada; muchas de esas áreas cambiaron a cultivos, pastizales y uso urbano. En 2013 en el GHT, solo el 30% del área incluía tipos de uso del suelo considerados óptimos para los cocodrilos, mientras que casi el 70% del área era cultivos, pastos y uso urbano (tabla 4). En el PC durante el mismo año, aproximadamente el 31,4% del área experimentó cambios en el uso del suelo. Los cambios fueron principalmente en cuerpos de agua, bosques y manglares, pero en contraste en el GHT, hubo pocos cambios en las áreas de cultivos, pastizales y uso urbano. Aunque el cambio en el uso del suelo en ambas áreas fue cercano al 30% (28,7% en GHT y 31,4% en el PC (Tabla 5).

Los valores de los índices de fragmentación: FD, SI así como el SDI y SEI aumentaron en los años del estudio, por lo tanto se puede decir que la complejidad paisajística aumentó en ambas áreas. Las formas de los fragmentos no tienen formas geométricas simples, y los fragmentos estaban conformados por diferentes tipos de usos de la tierra o coberturas forestales. En general, el uso del suelo cambió y los bosques se recuperaron en ambas zonas, pero no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los valores de los índices en el GHT y el PC (K-W:  $H = 4$ ,  $df = 4$ ,  $p > 0,99$ ) (Tabla 3).

De acuerdo con las poblaciones de cocodrilos que habitan estas áreas, encontramos que en el PC, la población de cocodrilos se mantuvo alta,  $10,17 \pm 7,68$  ind/km en promedio (Tabla 1). En el GHT, el promedio de las poblaciones de cocodrilos es de  $9,29 \pm 4,81$  ind/km, pero los datos mostraron que aumentó de  $4,57$  ind/km en 1993 a poco más de  $12$  ind/km en 2013 (Tabla 3). No se encontraron diferencias estadísticas entre la densidad de cocodrilos en las áreas ((K-W:  $H = 1$ ,  $df = 2$ ,  $p > 0,99$ ).

En el GHT, la densidad promedio de cocodrilos y la cobertura forestal por año se correlacionaron positivamente, con  $r_s = 0,74$ ,  $p > 0,37$ . Además, la densidad promedio de cocodrilos también se correlacionó positivamente con los índices FD y SI, con  $r_s = 0,65$ ,  $p > 0,89$  para ambos parámetros. En el PC, la densidad de cocodrilos y la cobertura forestal por año también se correlacionaron positivamente, con  $r_s = 0,48$ ,  $p > 0,37$ . La densidad media de cocodrilos también se correlacionó con los índices FD y SI, con  $r_s = 0,93$ ,  $p > 0,894$  y  $0,74$ ,  $p > 0,829$ , respectivamente.

**Tabla 4. Porcentaje de cambio en el uso del suelo en el Gran Humedal del Tempisque (GHT) entre los años 2000 y 2013**

| Uso del suelo GHT 2013   | Uso del suelo GHT 2000    | Porcentaje de cambio |
|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| Bosque de baja pendiente | Bosque de alta pendiente  | 2,11                 |
| Bosque de baja pendiente | Bodie de agua             | 0,01                 |
| Bosque de baja pendiente | Cultivos                  | 1,03                 |
| Bosque de baja pendiente | Mangle                    | 0,15                 |
| Bosque de baja pendiente | Bosque de baja pendiente  | 26,42                |
| Bosque de baja pendiente | Vegetación de Anegade     | 0,04                 |
| Bodie de agua            | Bosque de baja pendiente  | 0,02                 |
| Bodie de agua            | Cultivos                  | 0,01                 |
| Bodie de agua            | Mangle                    | 0,01                 |
| Bodie de agua            | Pastura de baja pendiente | 0,01                 |
| Cultivos                 | Bosque de alta pendiente  | 0,00                 |
| Cultivos                 | Bosque de baja pendiente  | 5,70                 |
| Cultivos                 | Bodie de agua             | 0,03                 |
| Cultivos                 | Mangle                    | 0,01                 |
| Cultivos                 | Bosque de baja pendiente  | 26,35                |
| Cultivos                 | Vegetación de Anegade     | 0,01                 |
| Mangle                   | Bosque de baja pendiente  | 0,27                 |
| Mangle                   | Bodie de agua             | 0,03                 |
| Mangle                   | Cultivos                  | 0,01                 |
| Mangle                   | Bosque de baja pendiente  | 0,50                 |
| Mangle                   | Vegetación ánegada        | 0,17                 |
| Pastos de baja pendiente | Bosque de alta pendiente  | 2,35                 |
| Pastos de baja pendiente | Bosque de baja pendiente  | 17,25                |
| Pastos de baja pendiente | Bodie de agua             | 0,00                 |
| Pastos de baja pendiente | Cultivos                  | 3,28                 |
| Pastos de baja pendiente | Mangle                    | 0,33                 |
| Urbano                   | Bosque de alta pendiente  | 0,03                 |
| Urbano                   | Bosque de baja pendiente  | 0,17                 |
| Urbano                   | Bodie de agua             | 0,02                 |
| Urbano                   | Cultivos                  | 0,74                 |
| Urbano                   | Pastura de baja pendiente | 0,62                 |
| Vegetación de Anegade    | Bosque de alta pendiente  | 0,00                 |
| Vegetación de Anegade    | Bosque de baja pendiente  | 11,63                |
| Vegetación de Anegade    | Cultivos                  | 0,01                 |
| Vegetación de Anegade    | Mangle                    | 0,06                 |
| Vegetación de Anegade    | Pastura de baja pendiente | 0,61                 |
| Total                    |                           | 100,00               |

**Tabla 5. Porcentaje de cambio en la cobertura forestal en el Pacífico Central (PC) entre los años 2000 y 2013**

| Uso del suelo PC 2013    | Uso del suelo PC 2000    | Porcentaje de cambio |
|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| Bosque de alta pendiente | Bosque de baja pendiente | 1,37                 |
| Bosque de alta pendiente | Nubes                    | 0,08                 |
| Bosque de alta pendiente | Pastos de alta pendiente | 3,70                 |
| Bosque de alta pendiente | Pastos de baja pendiente | 2,32                 |
| Bosque de baja pendiente | Bosque de alta pendiente | 1,33                 |
| Bosque de baja pendiente | Bodie de agua            | 0,49                 |
| Bosque de baja pendiente | Cultivos                 | 0,10                 |
| Bosque de baja pendiente | Mangle                   | 0,73                 |
| Bosque de baja pendiente | Nubes                    | 0,37                 |
| Bosque de baja pendiente | Pastos de baja pendiente | 57,11                |
| Bodie de agua            | Bosque de alta pendiente | 0,01                 |
| Bodie de agua            | Bosque de baja pendiente | 0,13                 |
| Bodie de agua            | Cultivos                 | 0,07                 |
| Bodie de agua            | Mangle                   | 0,56                 |
| Bodie de agua            | Pastos de alta pendiente | 0,01                 |
| Bodie de agua            | Pastos de baja pendiente | 0,56                 |
| Cultivos                 | Bosque de alta pendiente | 0,14                 |
| Cultivos                 | Bosque de baja pendiente | 2,87                 |
| Cultivos                 | Bodie de agua            | 0,13                 |
| Cultivos                 | Mangle                   | 0,17                 |
| Cultivos                 | Nubes                    | 0,01                 |
| Cultivos                 | Pastos de baja pendiente | 7,87                 |
| Mangle                   | Bosque de alta pendiente | 0,05                 |
| Mangle                   | Bosque de baja pendiente | 0,71                 |
| Mangle                   | Bodie de agua            | 0,42                 |
| Mangle                   | Cultivos                 | 1,04                 |
| Mangle                   | Pastos de baja pendiente | 1,27                 |
| Pastos de alta pendiente | Bosque de alta pendiente | 0,01                 |
| Pastos de baja pendiente | Bosque de alta pendiente | 0,41                 |
| Pastos de baja pendiente | Bosque de baja pendiente | 15,48                |
| Pastos de baja pendiente | Bodie de agua            | 0,23                 |
| Pastos de baja pendiente | Cultivos                 | 0,02                 |
| Pastos de baja pendiente | Mangle                   | 0,18                 |
| Pastos de baja pendiente | Nubes                    | 0,00                 |
| Pastos de baja pendiente | Urbano                   | 0,00                 |
| Urbano                   | Bosque de baja pendiente | 0,02                 |
| Urbano                   | Pastos de alta pendiente | 0,01                 |
| Total                    |                          | 100,00               |

## Discusión

Nuestros resultados de datos son consistentes con Ramírez, (2008) quien ha reportado, fuertes variaciones en la composición y estructura del paisaje en el área de estudio, debido a una reducción de casi el 50% en el tamaño del hato ganadero entre 1990 y 2006. Con la contracción sustancial de la actividad ganadera, el cambio en la cobertura forestal de 1997 a 2013 mostró que los bosques se regeneraron en las áreas anteriormente dedicadas a los pastos, comenzando con la recuperación de pequeños fragmentos. Estos resultados de fragmentación forestal obtenidos son similares a los reportados por Gardner et al., (2018) y Laurance et al., (2006).

Los cambios en la estructura paisajística podrían deberse a mejoras y aumento en las vías de comunicación, y a que las provincias de Guanacaste y Puntarenas (ubicación del GHT y PC) se convirtieran en destinos turísticos. Además, en el GHT, el desarrollo de la acuicultura atrajo mayor inversión, mayor visitación y desarrollo de infraestructura (Ramírez, 2008). Como resultado de tales cambios en el uso del suelo, la fragmentación del paisaje se hizo inevitable, y los aumentos en los índices de fragmentación en este documento respaldan esa conclusión. Asimismo, Sandoval et al., (2019, 2020) encontraron una situación similar en el PC.

Los cambios en la cobertura forestal en este estudio difieren de otros estudios en Costa Rica (Bonilla y Rosero-Bixby, 2004; Carrillo y Vaughan, 1994; Harrison, 1991; Sandoval y Castillo, 2011), y mostraron un cambio en la tendencia de cambio de la cubierta vegetal respecto a la observada en 1960 a 1980, en la que hubo una importante pérdida en la cobertura forestal. En este estudio, en general, la recuperación de la cobertura forestal comenzó en 1997, pero la recuperación fue heterogénea, como sugirieren los índices de fragmentación.

Aunque los aumentos en la fragmentación del bosque (con numerosos fragmentos pequeños asociados), se relacionaron con cambios en el uso del suelo, los datos pueden indicar que la fragmentación del bosque podría ser parte de las razones del aumento de las poblaciones de cocodrilos en el área de estudio.

Los aumentos en las poblaciones de cocodrilos podrían haber ocurrido debido a que esta especie es generalista, y es conocido que este tipo de especies tienden a ser abundantes en áreas alteradas por el hombre y fragmentos regeneradores de bosque, como los que se encuentran en el GHT y algunas partes del PC (Karchesy et al., 2016; Ryall y

Farig, 2006; Schwenk et al., 2012). Las fuentes alimenticias, áreas de apareamiento y reproducción, entre otros factores, han aumentado en otros centros de distribución de cocodrilos que cuentan con actividad humana (Pooley, 2016; Pooley et al., 1989), así como en Costa Rica y Panamá (Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019, 2020 Venegas-Anaya et al., 2015).

Nuestros datos sugieren que los cambios en la cobertura forestal en GHT y PC, fragmentaron el paisaje y aislaron las áreas de bosque como mencionó Martínez-Salinas (2008), Schneider, (2001), y Troche y Guarachi, (2001). La recuperación de pequeños fragmentos de bosque, los cambios detectados en el hábitat podrían explicar los aumentos en los índices de fragmentación observados en este estudio. Con el aumento de los fragmentos de bosque, las modificaciones en sus tamaños y formas, las especies generalistas como los cocodrilos podrían beneficiarse y sus poblaciones puede crecer fácilmente (Beier, 1993; Fahrig, 2002; Pincheira et al., 2009; Rau y Gantz, 2001; Simonetti y Mella, 1997). En particular, un paisaje fragmentado con actividades humanas como el GHT y el PC, puede beneficiar a los cocodrilos al aumentar la disponibilidad de alimentos provenientes de los asentamientos humanos, además de presas que puedan estar vagando en los alrededores en busca de su propio alimento (Amarasinghe et al., 2015, Pooley, 2016, Pooley et al., 2017).

Sin embargo, es importante considerar, además de los argumentos sobre los cambios en el hábitat, que el aumento de las poblaciones de cocodrilos en las áreas de estudio podría deberse a la eliminación de la caza intensiva. Fukuda et al., (2011) encontraron que con el cese de la caza, las poblaciones de otras especies de cocodrilos comenzaron a recuperarse, por lo tanto, además de nuevos hábitats creados en áreas fragmentadas y con actividades antrópicas como en el GHT y el PC, la ausencia de caza podría ser una razón para explicar los aumentos en las poblaciones de cocodrilos en Costa Rica (Sandoval et al., 2019, 2020).

Aunque los cocodrilos en el noroeste de Costa Rica se vieron gravemente afectados por la caza furtiva, parece que las recientes modificaciones del hábitat han aumentado sus poblaciones. Se ha comprobado que la especie prospera mejor en zonas alteradas, conclusión a la que también llegaron otros investigadores (González-Maya et al., 2015; Morales, 2013; Orozco, 2015; Quirós-Arias, 2017; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019, 2020; Valdelomar et al., 2012; Valverde, 2018). De hecho, los cocodrilos en el PC y el GHT son abundantes en zonas con un alto grado de urbanización y alteración del hábitat (así como se encontró en otras áreas de América Central)

(Barrantes, 2008; Bolaños et al., 1997; Bolaños, 2011; King et al., 1990; Morales, 2013; Orozco, 2015; Sánchez et al., 1996; Sánchez-Ramírez, 2001; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019, 2020; Valdelomar et al., 2012). Bolaños et al., (2019) encontraron resultados similares en la zona del Caribe Central costarricense, donde los cocodrilos eran más abundantes en áreas perturbadas que en aquellas bien conservadas.

El área del GHT y PC tiene una alta permeabilidad debido a la alta densidad de cursos de agua (Monge-Nájera y Gómez 2007), este tipo de matriz puede facilitar los movimientos territoriales de los cocodrilos. Por lo tanto, incluso con la alteración de su hábitat, los cocodrilos pueden moverse libremente por el área. Además, Clark y Sues, (1989) y Reiser y Peacock, (1985), encontraron que los cocodrilos pueden superar fácilmente los obstáculos y salir del agua y caminar, por lo cual, debería haber relativamente pocas alteraciones del hábitat que limitarían sus movimientos.

Así, con abundantes cursos de agua y humedales en el área de estudio, además de los pocos efectos de los cambios en la cobertura forestal, y la fragmentación en general, el cocodrilo americano podría moverse libremente por todo el hábitat, lo que podría explicar el aumento de las interacciones con los humanos (Bolaños, 2012a; 2012b; Morales, 2013; Porras et al., 2020; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; 2020; Valdelomar et al., 2012).

Con base en estos resultados, se propone que, además de la protección que brinda la ley 7317 (Conservación de la Vida Silvestre), el cocodrilo como especie oportunista en el GHT y el PC, puede beneficiarse de los cambios en el hábitat. Así mismo podría tener un aumento de presas de fácil captura, como animales domésticos, en las áreas perturbadas y fragmentadas, con actividades humanas asociadas (poblados, caminos y carreteras), lo que podría reducir la competencia intra e interespecífica en los diferentes hábitats (Amarasinghe et al., 2015; Carrillo, 2013; Morales, 2013; Pooley et al., 2017; Pooley, 2016; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; 2020; Valdelomar et al., 2012)).

Así mismo, los datos pueden apoyar la idea de que los cambios en el uso del suelo en el GHT y el PC pueden correlacionarse con el aumento de las poblaciones de cocodrilos, estas situaciones pueden influir en el aumento de los conflictos e interacciones entre humanos y cocodrilos, y es probable que estos sean más comunes a medida que las poblaciones de cocodrilos aumenten bajo las actuales condiciones de alteración del hábitat (Bolaños, 2012a; 2012b; Morales, 2013; Porras et al., 2020; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; 2020; Valdelomar et al., 2012). En conclusión, las poblaciones de

cocodrilos en Costa Rica podrían beneficiarse de la fragmentación del hábitat y de actividades humanas, ya que los cambios en el paisaje pueden aumentar recursos que podrían promover el crecimiento de las poblaciones de este reptil.

### **Agradecimientos**

A mi hijo Felipe Sandoval Araya. A Luis Fernando Sandoval Murillo, y Carlos Morera Beita por su aportación con el trabajo realizado.

### **Bibliografía**

Abadía, G., Aparicio, K., Araiza, M., Gómez, H., Guerra, D., y Hidalgo, M. (1998). Situación poblacional de *Amazona auropalliata* in Costa Rica. Informe técnico, Programa Regional in Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica 16 pp.

Amarasinghe, A.A.T., Madawala, M.B., Karunaratna, D.M.S.S., Manolis, S.C., De Silva, A., Sommerlad, R. (2015). Human-crocodile conflict and conservation implications of Saltwater Crocodiles *Crocodylus porosus* (Reptilia: Crocodylia: Crocodylidae) in Sri Lanka. *Journal of Threatened Taxa* 7(5): 7111–7130

Barrantes, L. (2008). Cocodrilos. Informe para el Estado de la Nación. Asociación de Especialistas en Crocódilidos-Costa Rica. 5 pp.

Barrantes, M. (2013). Costa Rica, sin ingredientes artificiales: el rol del estado en la expansión del turismo residencial en las zonas costeras. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, Universidad de Costa Rica. 39:233–261.

Bartels, J. (2012). Aportes del turismo según los habitantes de las comunidades de Playas del Coco, Guanacaste, y el Roble, Puntarenas. *Diálogos*, Revista electrónica de Historia, Escuela de Historia, Universidad de Costa Rica. 13. Octubre 2012. 18 pp.

Beier, P. (1993). Determining minimum habitat areas and habitat corridors for cougars. *Conservation Biology* 7(1):94–108.

Bolaños, J. (2011). Plan Estratégico para el Manejo de la población de *Crocodylus acutus* (cocodrilo americano), en el Gran Humedal Tempisque. Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Dirección Regional, Área de Conservación Arenal Tempisque, Documento técnico. 20 pp.

Bolaños, JR. (2012a). Manejo de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en estanques de cultivo de tilapia en Cañas, Guanacaste. *Revista de Ciencias Ambientales*. 43(1):63–72.

Bolaños, J. (2012b). Survey of American crocodiles in Tempisque Great Wetlands, Guanacaste, Costa Rica. *Crocodile Specialist Group Newsletter*. 31(1):2–7.

Bolaños, J. (2015). Propuesta de ampliación del “Plan de contingencia en el manejo del Población de cocodrilos del Gran Humedal del Tempisque” del mes de Julio de 2011. Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Dirección Regional, Área de Conservación Arenal Tempisque, Documento técnico. 46 p

Bolaños, JR., Sánchez, J., Piedra, L. (1997). Inventario y estructura poblacional de crocodílidos en tres zonas de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 45(1):283–287.

Bolaños, J., Sánchez, J., Sigler, L., Barr BR, Sandoval, I. (2019). Population status of the American crocodile, *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae), and the caiman, *Caiman crocodilus* (Reptilia: Alligatoridae), in the Central Caribbean of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 67(6), 1180-1193.

Bonilla, R., Rosero-Bixby, L. (2004). Presión poblacional sobre los bosques y áreas protegidas, Costa Rica 2000. En: Rosero Bixby L, editor. *Costa Rica a la luz del Censo del 2000*. San José, Costa Rica: Centro Centroamericano de Población de la Universidad de Costa Rica, Proyecto Estado de la Nación e Instituto de Estadística y Censo (Imprenta Nacional). p. 575–594.

Camacho, M. (2015). Superficie de bosques susceptible de manejo forestal en Costa Rica y estimación de su potencial productivo. Consultoría: “Fomento del manejo sostenible de los bosques naturales (MFS) para la mejora y conservación de las reservas de carbono” Fondo Nacional de Financiamiento Forestal” (FONAFIFO-REDD+), Forest Monitoring System for REDD+ Costa Rica. San José, Costa Rica. 59 pp.

Carrillo, E., Vaughan, C. (1994). *La vida silvestre de Mesoamérica: diagnóstico y estrategia para su conservación*. 1era Ed. Editorial EUNA. Heredia, Costa Rica. 362 pp.

Carrillo, N. (2013). Interacción entre el ser humano y el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en el gran humedal Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. Tesis de Maestría en Conservación y Manejo de Vida Silvestre. Facultad de Tierra y Mar, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 71 pp.

Clark, JM., Sues, HD. (1989). Skull anatomy of *Dakosaurus andiniensis* (Thalattosuchia: Crocodylomorpha) and the phylogenetic position of Thalattosuchia. *Science*. 244:1064–1066.

Escobedo Galván, Armando. (2005). El lagarto amarillo (*Crocodylus acutus*, Crocodylia: Crocodylidae): su estado poblacional en dos ríos del Pacífico Central de Costa Rica. *Brenesia*, Vol 2005, No 63-64:113-120

Fahrig, L. (2002). Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: a synthesis. *Ecological Applications*. 12:346–53.

Fukuda, Y., Webb, G., Manolis, C., Delaney, R., Letnic, M., Linder, G., Whitehead, P. (2011). Recovery of saltwater crocodiles following unregulated hunting in tidal rivers of the Northern Territory, Australia. *Journal of Wildlife Management* 75(6):1253–1266. doi: 10.1002/jwmg.191.

Gardner, PC., Goossens, B., Goon Ee Wern, J., Kretzschmar, P., Bohm, T., Vaughan, IP (2018) Spatial and temporal behavioural responses of wild cattle to tropical forest degradation. *PLoS ONE* 13(4): e0195444. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195444>

Gisolf, M. (2018). Lo cultural y lo turístico en Guanacaste: ¿un caso de co-producción o de co-destrucción?, *Trama*, revista de ciencias sociales y humanidades, Vol 7, (1), págs. 105-116. DOI: <https://doi.org/10.18845/tramarcsh.v7i1.3675>

González-Maya, JF., Viquez-R, LR., Belant, JL., Ceballos, G. (2015). Effectiveness of protected areas for representing species and populations of terrestrial mammals in Costa Rica. *PloS ONE*. 10(5): e0124480.

Guzmán, A., Vega, H. (2015). Is forest cover conserved and restored by protected areas? The case of two wild protected areas in the Central Pacific of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 63(3):579–590.

Harrison, S. (1991). Population growth, land use and deforestation in Costa Rica, 1950-1984. *Interciencia*. 16(2):83–93.

Karchesy, YM., Kelsey, RG., Constantine, G., Karchesy, JJ. (2016). Biological screening of selected Pacific Northwest forest plants using the brine shrimp (*Artemia salina*) toxicity bioassay. *SpringerPlus*. 5(1):510.

King, F., Espinal, M., Cerrato C. (1990). Distribution and status of the crocodilian of Honduras. Results of a survey conducted for the Convention of International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, and the Honduras Secretaría de Recursos Renovables. In: Proceedings of the 10th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group of the Species Survival Commission of IUCN, Florida, USA. pp. 313–354.

Laurance, W., Nascimento, H., Laurance, S., Andrade, A., Fearnside, P., Ribeiro, J., Capretz, R. (2006). Rain forest fragmentation and the proliferation of successional trees. *Ecology*. 87(2):469–482.

Martínez-Salinas, MA. (2008). Conectividad funcional para aves terrestres dependientes de bosque en un paisaje fragmentado en Matiguás, Nicaragua. Tesis de Maestría en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 141 pp.

Mauger, LA., Velez, E., Cherkiss, MS., Brien, ML., Boston, M., Mazzotti, FJ., & Spotila, JR. (2012). Population assessment of the American crocodile, *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) on the Pacific coast of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60(4), 1889-1901.

Miranda, C., Gamarra, R., Mito, C., Conceição, A., Pott A.. (2018). Analysis of the landscape complexity and heterogeneity of the Pantanal wetland. *Brazilian Journal of Biology*, May-Aug 2018, Vol.78(2), pp.318-327

Monge-Nájera, J., Gómez, P. (2007). Tempisque: una cuenca de alta diversidad ecológica en el noroeste de Costa Rica. *Revista Biocenosis*. 20(1–2): 15-25.

Morales, A. (2013). Percepciones y conocimiento popular sobre cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en las zonas aledañas al río Tempisque, Costa Rica. *Biocenosis*. 27(1–2):71–76.

Morales Zúñiga, L. (2011). Desarrollo humano y desarrollo turístico: el caso del cantón de Santa Cruz de Guanacaste. *Población y Salud en Mesoamérica*, 8(2). <https://doi.org/10.15517/psm.v8i2.741>

Motte, M. (1994). Abundancia, distribución e impacto de predación del cocodrilo (*Crocodylus acutus* Cuvier 1807) sobre el ganado vacuno en las fincas aledañas al Río Grande de Tárcoles, Costa Rica. Tesis de Maestría en Manejo y Conservación de Vida Silvestre. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 94 pp.

Murray, CM., Easter, M., Padilla, S., Garrigós, D., Stone, J., Bolaños-Montero, J., Sasa, M., and Guyer, C. (2015). Cohort-dependent sex ratio biases in the American crocodiles (*Crocodylus acutus*) of the Tempisque basin. *Copeia*. 103(3):541–545.

Orozco W. (2015). Monitoreo de la población de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Tempisque. Guanacaste. Costa Rica. 2011-2014. Informe final de Práctica Dirigida para optar por el título de Bachiller en Manejo de Recursos Naturales. Universidad Estatal a Distancia (UNED). San José. Costa Rica. 43 pp.

Ortiz, E., López, GM., Amador, M., Molina, ME. (2014). Atlas de Costa Rica 2014. Cartago, Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. Disco Compacto.

Peraza, M. (2015). Estado actual, distribución y cuota de cosecha de la población de *Crocodylus acutus* en la cuenca baja del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. Tesis de Maestría en Conservación y Manejo de Vida Silvestre. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 70 pp.

Piedra, L. (2000). Estado de las poblaciones de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) (Reptilia: Crocodylidae) en tres ríos del Pacífico Central de Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 70 p.

Pincheira-Ulbrich, J., Rau, J., Peña-Cortés, F. (2009). Tamaño y forma de fragmentos de bosque y su relación con la riqueza de especies de árboles y arbustos. *Phyton*. 78:121–128.

Pooley, AC., Hines, T., Shields, J. (1989). Attacks on humans. In: *Crocodiles and Alligators*. New York: Weldon Owen. p. 172–187.

Pooley, S. (2016). A cultural herpetology of Nile crocodiles in Africa. *Conservation and Society*. 14(4):391–405.

Pooley, S., Barua, M., Beinart, W., Dickman, A., Holmes, G., Lorimer, J., Sillero-Zubiri, C. (2017). An interdisciplinary review of current and future approaches to improving human–predator relations. *Conservation Biology*, 31(3), 513-523.

Porras, L. (2004). Situación actual del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en los ríos Jesús María, Tárcoles y Tusubres: estructura poblacional e intercambio genético. Tesis de Maestría. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 82 p.

Porras, L. & Mata E. (2020). Analysis of the Interactions Between Humans and Crocodiles in Costa Rica. *South American Journal of Herpetology*, 16, 2020, 26–33

Quirós-Arias, L. (2017). Turismo y territorio en áreas naturales Protegidas, parque nacional santa rosa: del Monumento nacional a la conservación del Bosque tropical seco, área de conservación Guanacaste, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*. 1(58E):137. doi: 10.15359/rgac.58-2.5.

Ramírez, A. (2008). Análisis de conflictos socioambientales relacionados con el aprovechamiento y la contaminación de los recursos hídricos en Guanacaste (1997-2006). *Anuario de Estudios Centroamericanos*, Universidad de Costa Rica, 33-34: 359-385, 2007-2008

Rau, J. y Gantz, A. (2001). Fragmentación del bosque nativo del sur de Chile: efectos del área y la forma sobre la biodiversidad de aves. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción*. 72:109–119.

Reiser, DW., Peacock, RT., (1985). A technique for assessing upstream fish passage problems at small-scale hydropower developments. Ed: Olson FW, White RG, Hamre RH. In: Proceedings of the symposium on small hydropower and fisheries. American Fisheries Society. 423 p.

Rodrigues, J. C. C. (2018). Landscape connectivity and remote sensing applications for assessing biodiversity patterns in desert environments (Order No. 10820719). Available from ProQuest One Academic. (2062859350). Retrieved from <https://www.proquest.com/dissertations-theses/landscape-connectivity-remote-sensing/docview/2062859350/se-2?accountid=37045>

Ryall, KK., Fahrig, L. (2006). Response of predators to loss and fragmentation of prey habitat: a review of theory. *Ecology*. 87(5):1086–1093.

Sánchez, J., Bolaños, J., Piedra, L. (1993). Población de *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) en dos ríos de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 44(2):835–840.

Sánchez-Ramírez, J. (2001). Estado de la población de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. INBIO, Heredia, Costa Rica. 49 pp.

Sandoval, I., Castillo, M. (2011). Áreas protegidas de Costa Rica: fragmentación, tamaño y forma. *Métodos en Ecología y Sistemática*. 6(1–2):21.

Sandoval, I., Durán, A., Quirós, J. (2017). Activities That May Influence the Risk of Crocodile (*Crocodylus acutus*: Reptilia: Crocodylidae) Attack to Humans in the Tempisque River Area, Guanacaste, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(1), 13-22. <https://doi.org/10.15359/ru.31-1.2>

Sandoval, L., Morera, C., Sandoval, I. (2019). Zonificación de las áreas propensas a incidentes por ataques de *Crocodylus acutus* en el Pacífico Central de Costa Rica utilizando un Sistema de Información Geográfico. *Revista Cartográfica*. 98:259–279.

Sandoval, L., Morera, C., Sandoval, I. (2020). Determinación del hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) como estrategia para la reducción de conflictos con el ser humano en el Pacífico Central, Costa Rica. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. Año 12, Número 17, 2020, Sección I: Artículos. p. 1–17. <http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig>

Sasa, M., Chaves, G. (1992). Tamaño, estructura y distribución de una población de *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 40(1):131–134.

Schneider, DC. (2001). The rise of the concept of scale in ecology. *Bioscience*. 51:545–553.

Schwenk, WS., Donovan, TM., Keeton, WS., Nunery, JS. (2012). Carbon storage, timber production, and biodiversity: comparing ecosystem services with multi-criteria decision analysis. *Ecological Applications*. 22(5):1612–1627.

Sierra, R. (2016). Patrones y factores de cambio de la cobertura forestal de Costa Rica, 1987-2013. Technical report. Desarrollo del nivel de referencia REDD+ de Costa Rica, Desarrollo del nivel de referencia REDD+ de Costa Rica. 76 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.33135.74406

Simmonetti, J., Mella, J. (1997). Park size and the conservation of Chilean mammals. *Revista Chilena de Historia Natural*. 70:213–220.

Torrealba, I., Paz, O. y Motte, M. (1992). Censo de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Grande de Tárcos, Costa Rica. Pág. 23-60, In: Aportes al conocimiento de la vida silvestre en el caso de la Reserva Biológica Carara y la Reserva de Manglares Guacalillo, Costa Rica. Informe Curso Integrado de Investigación y Extensión, IV Promoción. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre. Universidad Nacional. Heredia-Costa Rica. 205 p.

Troche, C., Guarachi, E. (2001). Análisis del cambio de cobertura y fragmentación del hábitat en el municipio de Independencia: Una propuesta metodológica simple para la identificación de áreas prioritarias de investigación biológica. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales, CLAS. Táchira, Venezuela. 44 pp.

Valdelomar, V., Ramírez-Vargas, MA., Quesada-Acuña, SG., Arrieta, C., Carranza, I., Ruiz-Morales, G., Matarrita-Herrera, M. (2012). Percepción y conocimiento popular sobre el cocodrilo *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) en zonas aledañas al río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. *Research Journal of the Costa Rican Distance Education University*. 4(2) 191-202.

Valverde, R. (2018). Conservation strategies, protected areas, and ecotourism in Costa Rica. *Journal of Park and Recreation Administration*. 36: 115–128. <https://doi.org/10.18666/JPra-2018-V36-I3-8355>

Venegas-Anaya, M., Escobedo-Galván, A., Balaguera-Reina, S., Lawrence, F., Sanjur, O., Densmore, L. (2015). Population ecology of American crocodile (*Crocodylus acutus*) in Coiba National Park, Panama. *Journal of Herpetology* 49(3):349–357.

## Capítulo 6. Determinación del hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) como estrategia para la reducción de conflictos con el ser humano en el Pacífico Central, Costa Rica.

*Geosig*, 17: 1-17

Luis Fernando Sandoval Murillo<sup>1</sup>, Carlos Morera Beita<sup>1</sup>, & Iván Sandoval Hernández<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

<sup>2</sup>Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

**Resumen:** El hábitat potencial de una especie es aquel que reúne las condiciones físico-geográficas y ecológicas, para su presencia facilitando elementos esenciales como la alimentación, refugio y la perpetuación de su especie garantizando su conservación como individuo. En el caso del cocodrilo americano las condiciones de su hábitat se delimitan según sus requerimientos ecológicos, asociadas a altitudes menores a los 700 msnm, la presencia de una adecuada red de drenaje, áreas de inundación y coberturas de uso del suelo como manglares, vegetación anegada playones de río y cuerpos de agua, características fundamentadas en estudios bibliográficos. Dado lo anterior la presente investigación plantea la delimitación del hábitat potencial del *Crocodylus acutus*, en el Pacífico Central de Costa Rica, resultado validado con el registro de casos atendidos por el cuerpo de Bomberos durante el periodo 2007 - 2017, además dicha delimitación constituye una estrategia para la reducción de conflictos con el ser humano donde la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) juegan un papel transcendental.

**Palabras clave:** Cocodrilo americano, evaluación de hábitat, conservación de vida silvestre, uso del suelo, SIG.

**Abstract:** The potential habitat of a species is one that meets the physical-geographical and ecological conditions, for its presence by providing essential elements such as food, shelter, and the perpetuation of its species, guaranteeing its conservation as an individual. In the case of the American crocodile, the conditions of its habitat are defined according to its ecological requirements, associated with altitudes lower than 700 meters above sea level, the presence of an adequate drainage network, flood areas and land use coverings such as mangroves, vegetation flooded riverbanks and bodies of water, characteristics based on bibliographic studies. Given the foregoing, the present investigation addresses the delimitation of the potential habitat of *Crocodylus acutus*, in the Central Pacific of Costa Rica, a result validated by the registry of cases attended by the Fire Department during the period 2007 - 2017, and this delimitation is a strategy for the reduction of conflicts with the human being where the application of Geographic Information Systems (GIS) plays a transcendental role.

**Keywords:** American crocodile, habitat assessment, wildlife conservation, land use, GIS.

## Introducción

La distribución del cocodrilo americano está centrada principalmente en las zonas tropicales, a nivel de América, encontrándose ampliamente distribuida desde el estado de la Florida, (Estados Unidos), México, Centro América, Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela, Jamaica, Cuba y República Dominicana (Alvarado, 2005). En Costa Rica esta especie se localiza a lo largo de ambas costas, así como en las tierras continentales, concentrando en el Pacífico Central una de las poblaciones de cocodrilos más importantes. A pesar de esta relevancia, no existen investigaciones que identifiquen el hábitat potencial del cocodrilo a nivel espacial. Demostrando únicamente a nivel de referencias bibliográficas, cuáles son las condiciones necesarias para su presencia sobre un territorio asociadas a las áreas de manglar, acompañada de ríos caudalosos y anchos, lagunas, playones, zonas con cobertura forestal, áreas de inundación, elevaciones menores a los 700 msnm y cursos de agua como canales de riego. Características que se sustentan en estudios realizados por, Bolaños (2002) y Sánchez, Piedra (1995), al mencionar que la distribución del cocodrilo se extiende desde la línea costera hacia adentro en el territorio, con la posibilidad de localizar a la especie hasta altitudes de los 700 msnm, después de esta elevación, la temperatura y la topografía limitarían su avance; de la misma manera se cree que también son repelidos por la concentración de actividades humanas, lo que genera un aumento en la cantidad de encuentros entre ambas especies.

Lo mencionado no impide que también suelen encontrarse en cursos de agua de poco caudal, en aguas tranquilas y de poca profundidad, (Bolaños, 2002). Por su parte Motte, 1994 evidencia que, al ser la especie tolerante a la salinidad, se le puede encontrar también en mar abierto y es común avistarlo en playas y manglares. Por lo que la presente investigación se enfoca en determinar e integrar espacialmente las variables físico - geográficas para la delimitación de su hábitat potencial en Pacífico Central de Costa Rica, como estrategia para la reducción de conflictos con el ser humano, a partir de la combinación de variables espaciales por medio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta representación espacial, contribuirá al beneficio de diferentes grupos sociales que desarrollan una amplia gama de actividades agro-pastoriles,

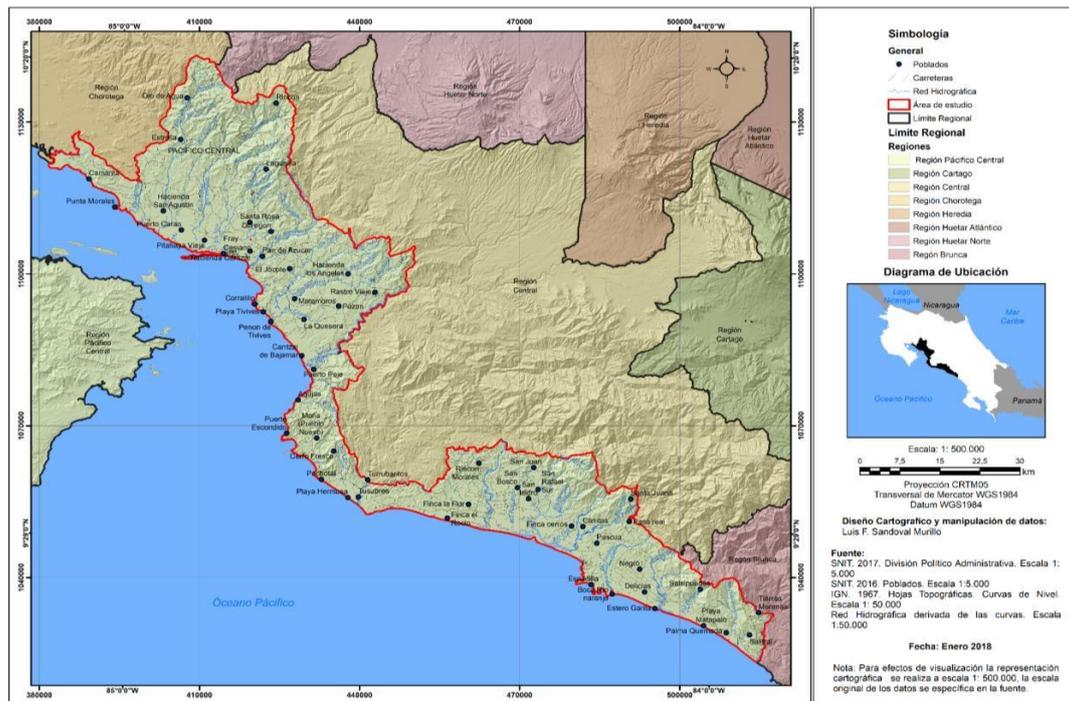
asentamientos urbanos y turísticos, así como la implementación de infraestructura vial y urbana, dentro del hábitat delimitado como potencial para el cocodrilo americano.

Lo antepuesto se fundamenta en una sociedad donde la información y la tecnología son elementos esenciales en todos los campos científicos, y acuerdo a Moreira (1996), los estudios para la conservación de la biodiversidad poseen un componente espacial muy marcado para la conservación de especies, comunidades y ecosistemas donde es imprescindible el conocimiento de su localización y distribución espacial en el territorio, donde los SIG tienen un papel transcendental. Apoyado en aportes realizados por Buzai (2010), al definir que los SIG además de ser una herramienta tecnológica representan una síntesis teórica y metodológica de diversos conceptos asociados al componente espacial como: localización referida a la ubicación espacial, interacción como la forma en que se producen vínculos horizontales que privilegian los movimientos sobre el espacio geográfico, y evolución en la incorporación de la dinámica temporal que permite ver como las entidades geográficas cambian sus pautas espaciales a través del tiempo.

## Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde a la región Pacífico Central, que comprende los cantones de la provincia de Puntarenas: Esparza, Montes de Oro, Aguirre, Parrita, Garabito y Puntarenas, así como los de San Mateo y Orotina pertenecientes a la provincia de Alajuela. Se delimita por las coordenadas geográficas extremas  $9^{\circ}19'00''$  y  $10^{\circ}9'28''$  latitud norte;  $83^{\circ}57'36''$  y  $85^{\circ}06'20''$ , longitud oeste y las coordenadas métricas 382147 – 1123411 y 514551 – 1023484. Según la regionalización del SINAC, la Región Pacífico Central administrativamente pertenece al Área de Conservación Pacífico Central (ACOPAC) (Mapa 1).

**Figura 1.** Ubicación del área de estudio, Pacífico Central.



**Fuente:** Elaboración propia

**Análisis y procesamiento de la información a partir de los SIG:** En la elaboración del hábitat potencial del *Crocodylus acutus*, se identificaron las variables físico – geográficas que integran el hábitat de la especie de acuerdo con la revisión teórica, identificándose las siguientes: altitud menor a los 700 msnm, red de drenaje, áreas de inundación y tipo de uso del suelo (Manglares, vegetación anegada playones de ríos y cuerpos de agua). La cual se generó a partir de cuatro etapas la primera consistió en la generación de las áreas con elevaciones menores a los 700 msnm, el cual se elaboró a partir de un modelo digital de elevación (MDE) utilizando la capa vectorial de curvas a escala 1: 50.000 de las hojas topográficas del IGN, correspondientes a Abangares, Barranca, Berrugate, Chapernal, Dominical, Dota, Golfo, Herradura, Juntas, Miramar, Naranjo, Parrita, Quepos, Rio Grande, San Lorenzo, Savegre, Tárcoles y Tilarán. Posteriormente se realizó un proceso de interpolación para la obtención del MDE con la herramienta de interpolation / topo to raster del Arc Gis, el cual es definido por ESRI como un método de interpolación diseñado específicamente para crear modelos digitales de elevación (DEM) hidrológicamente correctos, el cual está basado en el programa ANUDEM desarrollado por Hutchinson en el periodo 1988 - 2011.

La altitud se consideró de 0 a 700 msnm reclasificándose en tres categorías, las cuales fueron definidas según criterio de experto por Bolaños y Sandoval (2017). Estableciendo las siguientes clases 0 – 233 msnm alta, 234 – 466 msnm media, 467 – 700 msnm baja tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación del MDE

| <b>Clasificación</b> | <b>Peso</b> | <b>Normalización</b> | <b>Categoría</b> |
|----------------------|-------------|----------------------|------------------|
| 0 – 233 msnm         | 3           | 1                    | Alta             |
| 234 – 466 msnm       | 2           | 0.66                 | Media            |
| 467 – 700 msnm       | 1           | 0.33                 | Baja             |

**Fuente:** Elaboración propia

En la segunda etapa se genera la red de drenaje a partir del MDT generado anteriormente y utilizando la herramienta de Hydrology de Spatial Analyst, se obtuvieron los cauces y con ayuda de las hojas topográficas, se asignó la siguiente clasificación: canales, ríos y quebradas. Subsiguientemente con la herramienta Density/Line Density, se estimó los sectores con mayor densidad de drenaje por km<sup>2</sup>, la cual se reclasifico utilizando el método de intervalo igualitario como se especifica más adelante. Como tercera etapa se generó la delimitación de las áreas de manglar, los cauces de los ríos, vegetación anegada y cuerpos de agua, se utilizó imágenes RapidEye a escala 1:25.000 para identificar dichas coberturas de uso mediante la técnica de fotointerpretación y las herramientas de edición del programa Arc Gis 10.5. Además de las áreas de inundación, las cuales se obtuvieron de las bases de datos de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE).

En una cuarta etapa y con la identificación de las variables necesarias para la presencia del cocodrilo, se realizó una clasificaciones en tres categorías: alta, moderada y baja con su respectiva normalización, la cual consiste en la asignación y estandarización de los pesos mediante el método de máximo de lista, que se fundamenta en dividir el peso de cada registro asignado entre el valor máximo de los pesos por cada una de las categorías, obteniendo así un valor normalizado para cada registro, que oscila en un rango

de 0 a 1, siendo 1 el más óptimo y cero el menos óptimo (Submitted, Fulfillment, y Kong, 2010) como se muestra en la formula siguiente:

$$x_i' = x_i/x_{max} \quad (1) \text{ Normalización por máximo de lista.}$$

Con la normalización se establecieron tres grupos de categorías por valor según los pesos normalizados asignados a cada variable y su clasificación, como se expone a continuación: La densidad de drenaje por km<sup>2</sup>, se reclasifico por medio de una jerarquía igualitaria entre categorías, donde se establecieron intervalos iguales en la medición a lo largo de toda la escala, considerando el valor mínimo y máximo del rango de valores de cada indicador (Coronado, 2007). Clasificado en tres categorías de baja con un rango entre 0.074 – 1.195, media 1.196 – 1.861 y alta con valores de densidad entre 1.862 y 3.053, tabla 2. Con respecto a las áreas de inundación se asignó el valor de 3 a los sitios susceptibles a este tipo de eventos y valores de 1 a las áreas no propensas a inundarse, tabla 2.

**Tabla 2.** Clasificación de la densidad de drenaje por km<sup>2</sup> e inundación

| Clasificación            | Peso | Normalización | Categoría |
|--------------------------|------|---------------|-----------|
| 0.074 – 1.195            | 1    | 0.33          | Baja      |
| 1.196 – 1.861            | 2    | 0.66          | Media     |
| 1.862 – 3.053            | 3    | 1             | Alta      |
| Áreas de inundación      |      |               |           |
| No inundable             | 1    | 0.33          | Baja      |
| Susceptible a inundación | 3    | 1             | Alta      |

**Fuente:** Elaboración propia y datos de la CNE.

Con respecto a la capa de cobertura de uso del suelo conformada por las categorías de manglares, vegetación anegada, playones de ríos y cuerpos de agua, se asignó, un peso de acuerdo con las condiciones óptimas para la presencia del cocodrilo, donde adquieren mayor ponderación, con respecto a las demás coberturas de uso como lo muestra la tabla 3.

**Tabla 3.** Clasificación para las categorías de uso del suelo

| <b>Clasificación</b>      | <b>Peso</b> | <b>Normalización</b> | <b>Categoría</b> |
|---------------------------|-------------|----------------------|------------------|
| <b>Manglar</b>            | 3           | 1                    | Alta             |
| <b>Vegetación anegada</b> | 3           | 1                    | Alta             |
| <b>Playones de río</b>    | 3           | 1                    | Alta             |
| <b>Cuerpo de agua</b>     | 3           | 1                    | Alta             |

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez determinados los rangos de cada variable, se relacionan por medio de un álgebra de mapas (suma), utilizando la media o promedio correspondiente a la suma de todas las puntuaciones de la variable dividida por el número total de casos (Fierro, 2010). Para el hábitat potencial, el cual integra las variables la altitud, red de drenaje, áreas de inundación y coberturas de uso del suelo. Posteriormente, se realizó en ArcGis la agrupación de las cuatro variables utilizando la opción de Geoprocesamiento / Intercepción, luego se generó un campo para realizar la sumatoria de las variables utilizando los pesos normalizados de cada una, por medio de la calculadora de campo, donde se suman y dividen entre el total de las variables y luego se clasifican en tres grupos por medio de una jerarquía igualitaria entre valores, para obtener el hábitat potencial del *cocodrilo acutus* según categorías (tabla 4).

**Tabla 4.** Categorías para la selección del hábitat potencial del cocodrilo.

| <b>ID</b> | <b>Rango de la sumatoria</b> | <b>Categorías</b> |
|-----------|------------------------------|-------------------|
| 1         | 0 – 0.33                     | Baja              |
| 2         | 0.34 – 0.66                  | Media             |
| 3         | 0.67 – 1                     | Alta              |

**Fuente:** Elaboración propia.

## Resultados y discusión

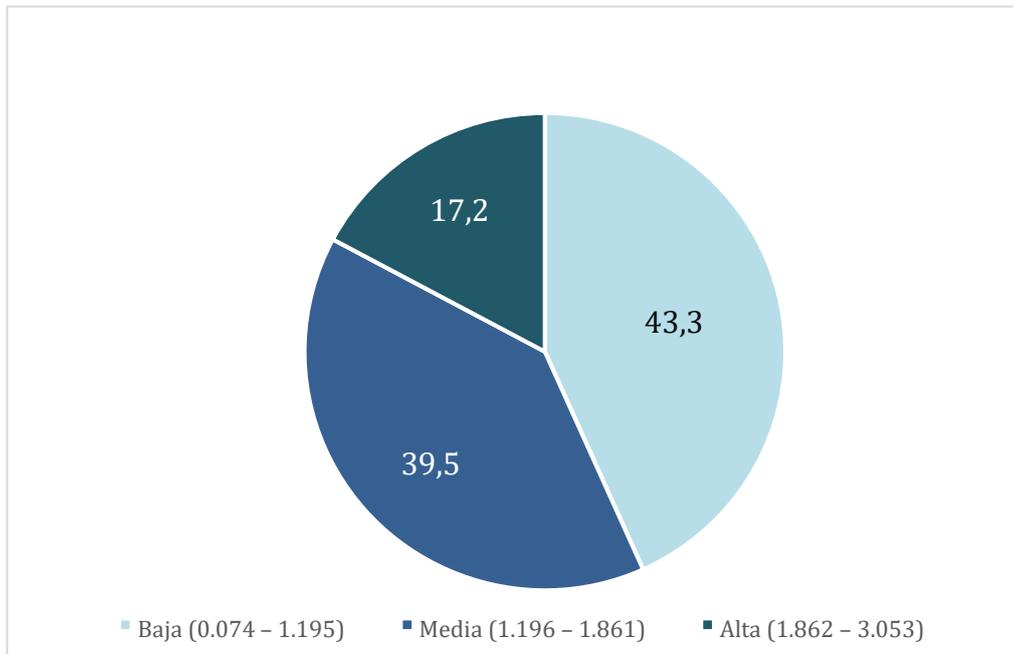
### **Distribución del cocodrilo de acuerdo con la densidad de la red drenaje**

En el Pacífico Central la distribución del cocodrilo obedece a factores como la densidad de drenaje presente. El mapa 2 muestra las áreas con mayor densidad de ríos, donde prevalecen tres clasificaciones: El primero se localiza al norte de la ciudad de Puntarenas y representa un 6.08% de la superficie entre 2.33 y 3.44 cauces por km<sup>2</sup>, donde se localizan poblados como Palermo, Hacienda Vieja, La Irma, La Gloria y Puerto Carao, con la presencia de los ríos Aranjuez Guacimal, Tablón, Sardinal y Lagarto. Y hacia el sureste de la región con un 10% de su territorio, cubierta por los ríos Naranjo, Peje, Paquita, Sucio, Valeria, Pirris y Damas.

La densidad media de cauces entre 1.21 y 2.32 km<sup>2</sup> abarcan una superficie de 39.5% y se destacan ríos como el Tarcoles, Tivives, Lagarto, Barranca, Jesús María, Turrubares y Naranjo, cerca de poblados como Santa Rosa, Pan de Azúcar, Bajos del Coyote, Tusubres y Finca la Flor por mencionar algunos. Los sectores con mediana y alta densidad de cauces por km<sup>2</sup>, presentan condiciones favorables para la presencia del cocodrilo por la representación de ríos anchos, profundos y extensas áreas de playones.

El sectores con menor presencia de cauces corresponde a las partes más altas con poblados como Dantas, Camaronal, Cerros Frescos, Chires, San Juan y áreas cercanas a las costas con relieves muy irregulares y pendientes mayores a un 30%, donde se localizan poblados como Playa Matapalo, Salitral, Pochotal, Mantas y Punta con densidades menores a 1.06 cauces por km<sup>2</sup> y representan un 43.3% de la región, sectores que no cumple con las condiciones óptimas para la presencia de este reptil, Gráfico 1 y mapa 2.

**Gráfico 1.** Clasificación de la densidad de drenaje por km<sup>2</sup>



**Fuente:** Elaborado a partir de las curvas de nivel de las hojas topográficas IGN.

Los sectores de baja densidad de ríos por km<sup>2</sup> en Pacífico Central, se caracteriza por relieves irregulares con la presencia de ríos cortos y de carácter torrencial en la parte alta y media. Con respecto a la densidad de alta y media de ríos por km<sup>2</sup> su localización, se caracteriza por sectores cercanos a las costas con ríos más sinuosos presentándose sectores pantanosos, manglares y esteros como al norte de Puntarenas, y en las comunidades de Quepos, Parrita y el distrito de Caldera (Álvarez et al, 2014). Estos elementos constituyen condiciones óptimas para el hábitat del cocodrilo, donde prevalecen ríos de movimientos lentos, pantanosos, lagos, manglares, donde sus paisajes suelen estar asociados a vegetación, los cuales favorecen su presencia y donde permanecen en agrupaciones sobre la orilla de los ríos y lagos. Donde algunos mantienen la mitad del cuerpo fuera o dentro del agua cubriendo casi toda su anatomía mientras otros son capaces de alejarse hacia la vegetación cercana y parecer inmóviles, (CrocoWorld, 2015).

Con respecto a la longitud de la red hidrográfica y su clasificación la tabla 5, representa la longitud de cada tipo de drenaje, para las tres clasificaciones consideradas en la densidad de la red de drenaje, donde destaca un total de 373 km de longitud de ríos en sectores con densidades de 0.074 y 1.195 km<sup>2</sup>, mientras que en la categoría media entre 1.21 y 2.32 km<sup>2</sup> con una longitud de 529 km y de 306 km sectores con una

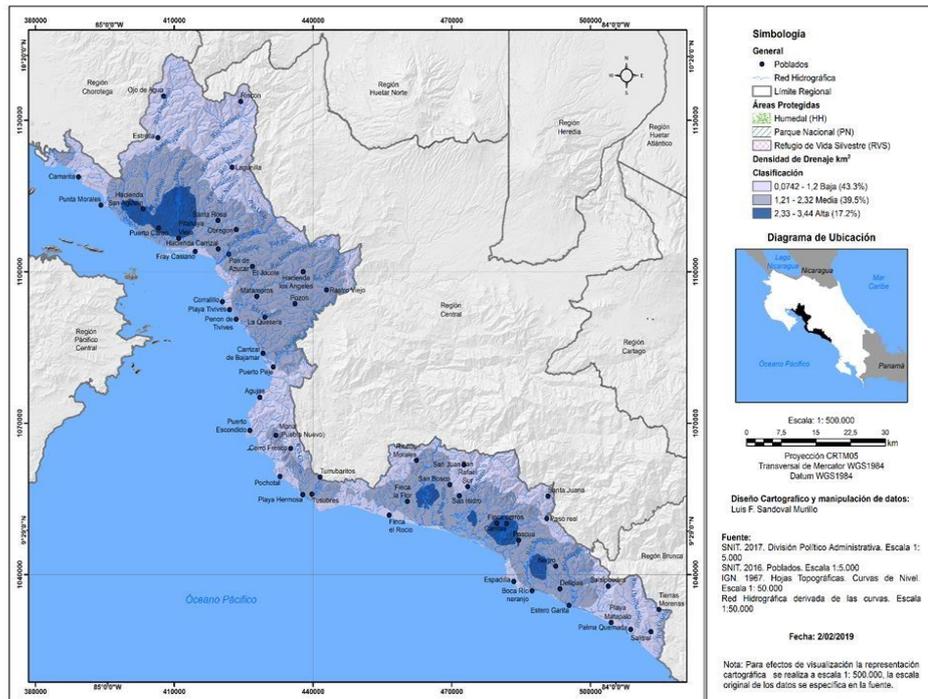
densidad de 2.33 y 3.44 km<sup>2</sup>, comportamiento similar con el tipo de drenaje asociado a las quebradas. En cada una de las tres densidades consideradas se presentan en menor longitud drenajes como esteros, estanque y lagunas, que constituyen posibles áreas para la presencia de la especie.

**Tabla 5.** Pacífico Central: Longitud de la red de drenaje según densidad por km<sup>2</sup>

| Tipo de drenaje | Rango de densidad      | longitud km | Categoría 0.074 – 1.195 |
|-----------------|------------------------|-------------|-------------------------|
| Canal           | Densidad 0.074 – 1.195 | 1.04        | 1                       |
| Estanques       |                        | 2.95        | 1                       |
| Esteros         |                        | 42.61       | 19                      |
| Lagunas         |                        | 4.24        | 5                       |
| Otros           |                        | 444.51      | 11                      |
| Quebradas       |                        | 410.44      | 194                     |
| Ríos            |                        | 373.27      | 63                      |
| Total           |                        |             | 1279.07                 |
|                 |                        |             |                         |
| Tipo de drenaje | Rango de densidad      | longitud km | Categoría 1.196 – 1.861 |
| Canal           | Densidad 1.196 – 1.861 | 12.66       | 2                       |
| Estanques       |                        | 3.76        | 1                       |
| Esteros         |                        | 113.21      | 32                      |
| Lagunas         |                        | 15.84       | 5                       |
| Otros           |                        | 606.48      | 8                       |
| Quebradas       |                        | 480.90      | 193                     |
| Ríos            |                        | 529.69      | 59                      |
| Total           |                        |             | 1762.54                 |
|                 |                        |             |                         |
| Tipo de drenaje | Rango de densidad      | longitud km | Categoría 1,862 - 3,053 |
| Canal           | Densidad 1,862 - 3,053 | 64.55       | 3                       |
| Estanques       |                        | 8.35        | 1                       |
| Esteros         |                        | 42.30       | 13                      |
| Lagunas         |                        | 46.43       | 9                       |
| Otros           |                        | 503.19      | 5                       |
| Quebradas       |                        | 167.82      | 68                      |
| Ríos            |                        | 306.28      | 31                      |
| Total           |                        |             | 1138.92                 |

**Fuente:** Elaborado a partir de la red de drenaje derivada de las curvas de nivel a escala 1: 50.000

**Figura 2.** Densidad de la red de drenaje por km<sup>2</sup>, Pacífico Central.



**Fuente:** Elaboración propia

## Distribución del cocodrilo según las características de la topografía y las áreas de influencia a inundaciones

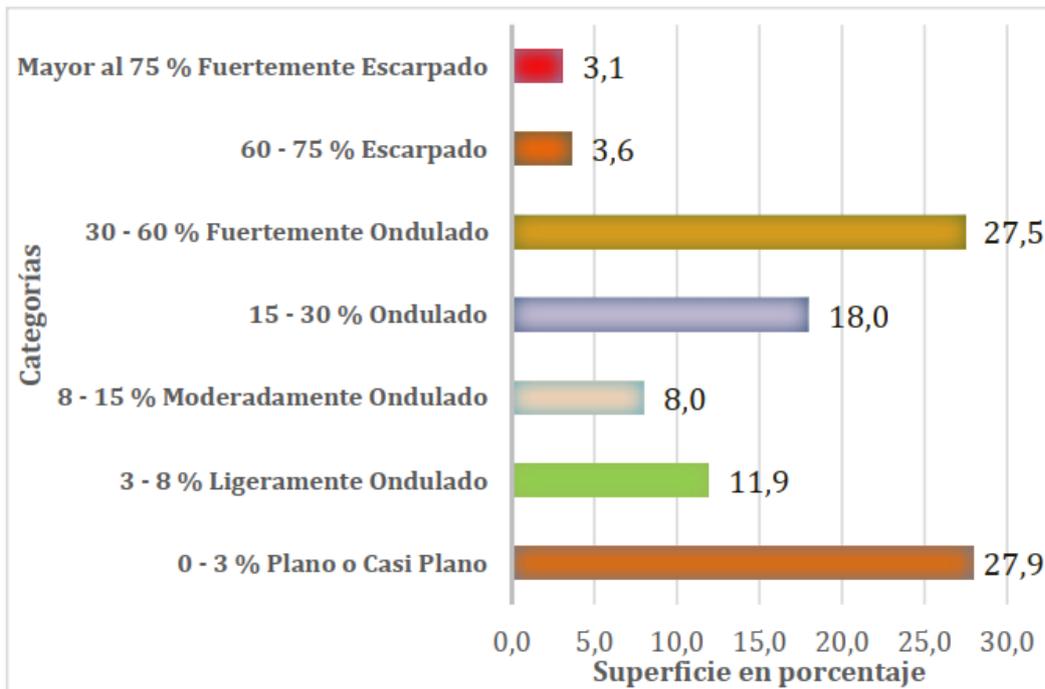
Otra variable que caracteriza el hábitat del cocodrilo, se interrelaciona con factores como la altitud y las áreas propensas a inundación, durante periodos extensos de lluvia en los sectores más planos constituyendo condiciones adecuadas para la presencia y desplazamiento de la especie durante periodos prolongados de precipitaciones. Como lo menciona García (2017), durante las lluvias, la cantidad de agua en los ríos se incrementa, por lo que los espacios ocupados por el desarrollo de la ganadería, agricultura y viviendas son afectados por inundaciones, condiciones que generan una mayor posibilidad de desplazamientos del cocodrilo a espacios ocupados temporalmente por el agua generando encuentros directos con la población. Como la generada el 16 de setiembre del 2016, donde se presentaron inundaciones en la comunidad de Chacharita Puntarenas y de acuerdo con el reporte realizado a la línea del 911 preocupa ya que el estero está lleno y hay presencias de cocodrilos.

Las características anteriores se presentan en el Pacífico Central, por el predominio de pendientes 0 – 15% (Plano o casi plano a moderadamente ondulado, mapa 3) comprendiendo un 47.8 % de la región, por sus condiciones físicas son áreas óptimas para el desarrollo de actividades antrópicas lo que incrementa la concentración y

expansión de actividades humanas. Sin embargo, por sus características geomorfológicas presentan una relación directa con zonas susceptibles a inundación, asociadas a grandes precipitaciones, funcionando como medio de desplazamiento para los cocodrilos (Larriera, Piña y Dacey, 2008), principalmente en las cercanías del río Lagarto, Guacimal, Sardinal, Aranjuez, Ciruelas, Naranjo, San Miguel, Barranca, Jesús María, Machuca, Grande de Tárcoles, Tarcolitos, Agujas, Tusubres, Tulin, Pirris, Palo Seco, Seco, Sucio y Quebrada Esperanza, Palo, Trinidad, Bejuco, Buena Vista y San Julián, cauces asociados a áreas de inundación según la delimitación espacial de la CNE (2003).

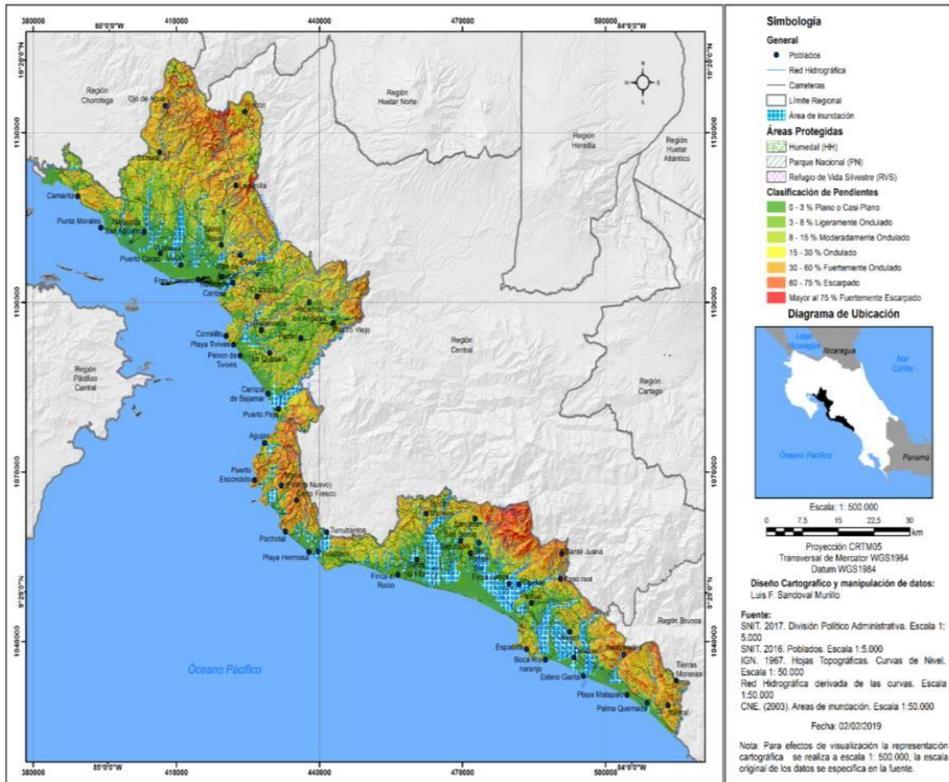
Las áreas con pendientes mayores al 15% abarcan un 51,7% (Gráfico 2 y Mapa 3) del área, por sus condiciones físicas presenta fuertes limitaciones de uso del suelo por la ondulación de la superficie. En estos sectores se recomienda usos de cobertura vegetal semipermanente y permanente, donde el riesgo de inundación es leve a nulo por las elevaciones de la topografía constituyendo áreas poco viables para la presencia del cocodrilo. La segregación de la topografía descrita presenta una alta concordancia con la clasificación del relieve establecida por MIDEPLAN (2014), donde la topografía de la región se caracteriza por la presencia de pendientes moderadas a fuertemente onduladas, estableciendo tres tipos de zonas baja, media y alta. La primera comprende elevaciones menores a los 240 msnm con la presencia de suelos de origen aluvial siendo la de mayor presencia en la región, condiciones óptimas para la presencia del cocodrilo, entornos similares para la zona media la cual catalogan entre los 240 y los 700 msnm, la parte alta comprante elevaciones superiores a los 700 msnm donde es inusual la presencia del cocodrilo por la representación de pendientes pronunciadas, (Chaves y Mahmood 1991) (mapa 4).

**Gráfico 2.** Pacífico Central: Clasificación de Pendiente en porcentaje.

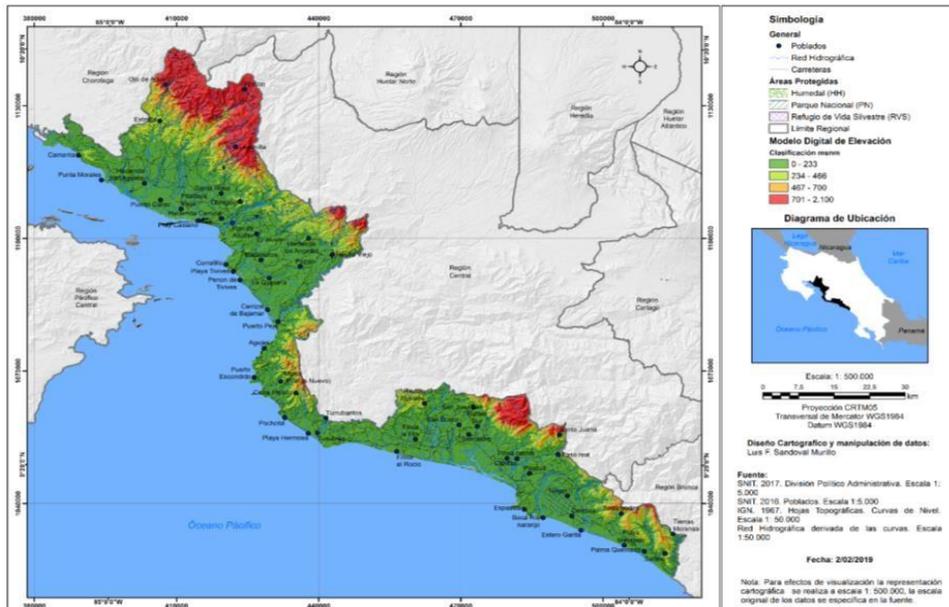


**Fuente:** Elaborado a partir de las curvas de nivel de las hojas topográficas a escala 1:50.000.

**Figura 3. Clasificación de Pendientes y Áreas de Influencia a Inundaciones, Pacífico Central.**



**Figura 4. Modelo Digital de elevaciones (msnm), Pacífico Central.**

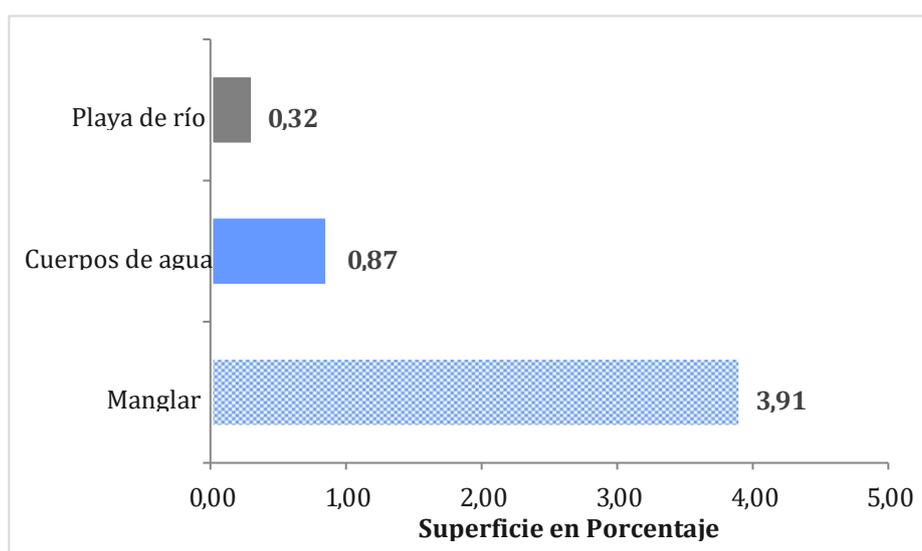


**Fuente:** Elaboración propia.

### Distribución del cocodrilo de acuerdo con el uso del suelo

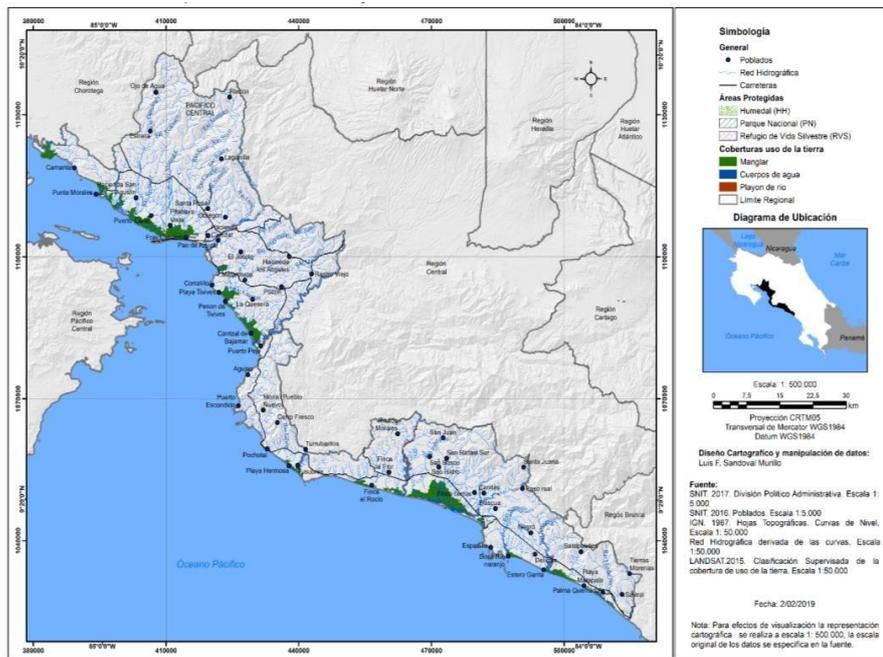
La cobertura de uso del suelo como los manglares, ríos anchos y los cuerpos de agua, constituyen aspectos importantes en la determinación del hábitat potencial del cocodrilo, usos que representan un 5.10 % de la superficie total de la Región Pacífico Central, conformados por manglares con un 3.91%, cuerpos de agua 0.87% y playones de río con un 0.32%, gráfico 3, mapa 5. Destacando sectores de ríos como; Lagarto, Sardinal, Tusubres, Pirris y Esteros como Cantón, Tendal, Morales, Marta Sánchez, Ombligo, Loros, Ceibo, Guacalillo, Los Diegos, Roto, Zapote, Barbudal, Tárcoles, Jesús María y Palo Seco, espacios que reúnen las condiciones óptimas para la presencia del cocodrilo, de acuerdo a lo expresado por Bolaños (1993), estos habitan los manglares del Pacífico y los ríos que los irradian, ingresa tierra adentro por los cauces de los ríos más caudalosos y anchos y su frecuencia aumenta conforme se pasa el umbral que marca el inicio del manglar.

**Gráfico 3.** Pacífico Central: Hábitat del cocodrilo en relación con el tipo de cobertura de uso del suelo (Porcentaje).



**Fuente:** Elaborado a partir de la clasificación de imágenes RapidEye año 2012.

**Figura 5.** Distribución del *Crocodylus acutus* de acuerdo con el uso del suelo, Pacífico Central.



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Hábitat Potencial de *Crocodylus acutus***

La identificación de las variables descritas en los puntos anteriores permitió la determinación del hábitat potencial de esta especie en la Región Pacífico Central como muestran mapa 6, donde las áreas identificadas con las condiciones óptimas para la presencia del cocodrilo, concuerda con los casos atendidos por el cuerpo de bomberos y los incidentes registrados por Worldwide Crocodilian Attack Database (CrocBITE), observaciones que permitieron validar la delimitación espacial realizada, (mapa 6).

Además, Sandoval, Morera y Sandoval (en prensa a) describen que las condiciones del hábitat potencial alto representan el 21.5% de la superficie en el Pacífico Central, se asocia a la presencia de cuerpos de agua, una alta densidad de la red de drenaje y la presencia de manglares, esteros, en altitudes menores a los 240 msnm. Además, las áreas identificadas como óptimas para la especie presentan áreas propensas a inundación en los ríos Pirris, Jesús María, Aranjuez, Guácimal, Tarcoles, Tusubres, Palo seco y en quebradas como Trinidad, Negros, Mona y Palo, estas condiciones propician la

posibilidad de una alta presencia del cocodrilo, al presentar una alta relación de las variables óptimas características de su hábitat, (tabla 6 y mapa 6).

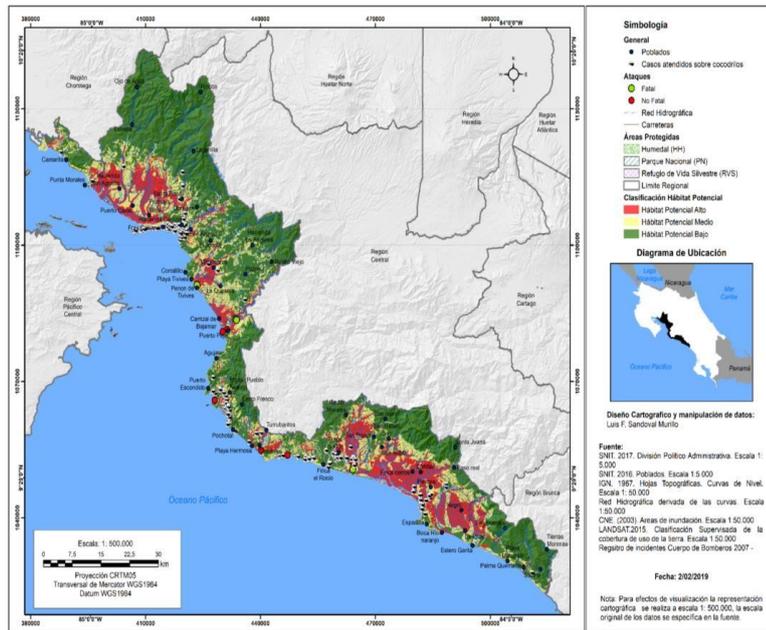
En relación con el hábitat potencial medio y bajo, el estudio realizado por Sandoval, Morera y Sandoval (en prensa b), evidencio que las áreas catalogadas como de potencial medio ocupan un 42.5% de la región, donde prevalece una densidad de ríos por km<sup>2</sup> entre 1.196 – 1.86, coberturas de uso del suelo asociados a pasto y bosque en pendientes moderadas, cuerpos de agua, cultivos en altitudes entre 234 – 466 msnm, mapa 6. Condiciones poco viables para la presencia del *Crocodylus acutus*, al no presentar las características necesarias para su hábitat. Por otra parte, el hábitat potencial bajo no reúne las condiciones óptimas para la presencia de esta especie al presentar una insuficiente densidad de la red de drenaje por km<sup>2</sup> (0.074 – 1.195), nula presencia de cuerpos de agua, manglares y altitudes superiores a los 467 msnm. Abarcando una superficie de un 36% n la Región.

**Tabla 6.** Región Pacífico Central. Clasificación del hábitat potencial y superficie.

| Clasificación del hábitat | Superficie |            |
|---------------------------|------------|------------|
|                           | Ha         | Porcentaje |
| Hábitat Potencial Alto    | 59484,0    | 21,5       |
| Hábitat Potencial Bajo    | 117781,4   | 42,5       |
| Hábitat Potencial Medio   | 99658,0    | 36,0       |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Mapa 6.** Hábitats Potencial del *Crocodylus acutus*, Pacífico Central.



**Fuente:** Tomado y modificado de Sandoval, et al., (2020).

## Conclusiones

Al incorporar en el análisis espacial las variables de la altitud menor a los 700 msnm, la presencia de áreas de manglar, de ríos caudalosos y anchos, y playones, así como de áreas de inundación, fue posible establecer e identificar la localización espacial del hábitat potencial del *Crocodylus acutus* en el Pacífico Central. Delimitación que debe estar acompañada de una serie de acciones y políticas promovidas por el ordenamiento territorial en el Pacífico Central, misma que constituya un insumo importante que garantiza la protección del hábitat potencial del *Crocodylus acutus* y reducción de ataques, por lo que a futuro es fundamental incrementar actividades de planificación y ordenamiento territorial a nivel local, con el fin de hacer uso racional de los áreas identificadas con un alto potencial para la presencia del cocodrilo para reducir la interacción con el ser humano.

Los incidentes generados en el Pacífico Central, atendidos por el cuerpo de bomberos y los registros de Worldwide Crocodilian Attack Database (CrocBITE), permitieron la validación de la delimitación espacial del hábitat de la especie. Donde la atención prevalece en las áreas catalogadas como de alta posibilidad para la presencia del cocodrilo destacando sectores como ríos Pirris, Jesús María, Aranjuez, Guácimal, Tarcoles, Tusubres, Palo seco, Tárcoles y en quebradas como Trinidad, Negros, Mona y Palo.

La aplicación de los SIG en la delimitación del hábitat potencial especies, evidencia la importancia y el aporte de este tipo de tecnología y su aplicabilidad en diferentes campos y disciplinas, contribuyendo a la conservación de especies, comunidades y ecosistemas donde es imprescindible el conocimiento de su localización y distribución espacial.

## **Bibliografía**

Alvarado, B. (2005). La conservación de los cocodrilos en América y el Caribe. En: Reunión Regional de América Latina y el Caribe del Grupo de Especialistas en Cocodrilos (CSG/SSC/IUCN) 17 al 20 de MAYO 2005, Santa Fe, Argentina.

Álvarez; M, Calvo; C, Coto; F, Gómez; M, Rodgers; R y Villalobos; M (2014). Estudio de determinación de necesidades de capacitación, formación profesional en la unidad regional Pacífico Central. San José, Costa Rica.

Bolaños, J. (2002). Reflexiones acerca del conflicto entre el hombre (*Homo sapiens*) y el cocodrilo *Crocodylus acutus*. Asociación de especialistas en crocodílidos – Centroamérica. San José. Costa Rica.

Bolaños, J. (1993). Manejo sostenido del cocodrilo y del caimán. San José, Costa Rica.

Bolaños, J; Sánchez, J; Piedra, L. (1995). Inventario y estructura poblacional de crocodílidos en tres zonas de Costa Rica. Laboratorio de Manglares, Área de Ecología y Manejo de Recursos Costeros, Rev. Biol Trop., 44(3)/45(1): 283-287, 1996-1997. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Carvajal, R; Saavedra, M; Alava, J. (2005). Population ecology, distribution and habitat assessment of *Crocodylus acutus* (Cuvier 1807) in the “Reserva de producción de fauna manglares El Salado” of the Guayaquil Gulf Estuary, Ecuador. Revista de biología marina y oceanografía, 40(2), 133-140. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572005000200007>

Chaves, G y Mahmood, S (1991). Tamaño, estructura y distribución de una población de *Crocodylus acutus* (Crocodylia:Crocodylidae) en Costa Rica. Instituto Clodomiro Picado, Facultad de Microbiología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

COMACROM (1999). Proyecto conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de los crocodylia en México. México.

CrocoWorld (2015). Hábitat y Distribución de los Cocodrilos. <http://www.crocoworld.com/es/habitat-y-distribucion-de-los-cocodrilos/>

Delfín, C.,; Gallina, S., y López C. (2009). Evaluación del hábitat del venado cola blanca utilizando modelos espaciales y sus implicaciones para el manejo en el centro de Veracruz, México. Tropical Conservation Science Vol.2 (2):215-228.

Fierro, J. (2010). Análisis estadístico univariado, bivariado y variables control. Universidad de Chile. Chile.

García, G. (2013). El conflicto hombre-cocodrilo en México: causas e implicaciones. *Interciencia*. 38 (12), 887-884

Martínez, M. (2015). Ecosistemas. Unidad II. Universidad Nacional de San Luis. Argentina.

MIDEPLAN (2014). Región Pacífico Central plan de desarrollo 2030. San José, Costa Rica.

Fontana, Y Solis, S. (2016). Ordenamiento del espacio y del producto turístico: el caso de Costa Rica. EUNED. San José. Costa Rica.

Forman, R. y Godron, M. (1981). Patches and structural components for a landscape ecology. *American Institute of Biological Sciences* No. 31(10), 733-740.

Motte, M. (1994). Abundancia, distribución e impacto de predación del cocodrilo (*Crocodylus acutus*) sobre el ganado vacuno en las fincas aledañas al río Grande de Tárcoles, Costa Rica. Tesis de Maestría, Universidad Nacional, Costa Rica. 94 p.

Savage, J. (2002). The Amphibians and reptiles of Costa Rica. A Herpetofauna between two Continents, between two seas.

Sandoval; L, Morera; C y Sandoval; I. (En prensa). Zonificación de las áreas propensas a incidentes por ataques de *Crocodylus acutus* en el Pacífico Central de Costa Rica utilizando un Sistema de Información Geográfico.

# Capítulo 7. Zonificación de las áreas propensas a incidentes por ataques de *Crocodylus acutus* en el Pacífico Central de Costa Rica utilizando un Sistema de Información Geográfico.

*Revista Cartográfica*, 98: 259-279

Luis Fernando Sandoval Murillo<sup>1</sup>, Carlos Morera Beita<sup>1</sup>, Iván Sandoval Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

<sup>2</sup>Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

**Resumen:** En los últimos años, la incidencia de ataques por cocodrilos en Costa Rica, se han incrementado, lo cual está asociado al desarrollo de las actividades humanas en áreas consideradas como óptimas en lo que determinó como hábitat potencial de la especie. Dado lo anterior, la presente investigación plantea la identificación de zonas de interacción entre el cocodrilo y el ser humano a partir de la integración de variables físico-geográficas por medio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). De esta manera, se realizó una recopilación teórica para la identificación de las variables físico-geográficas que integran el hábitat del cocodrilo (pendiente, red de drenaje, áreas de inundación y coberturas de uso del suelo), así como las variables socioambientales que influyen en la alteración y la pérdida del hábitat de la especie (cantidad de poblados, densidad de población, densidad de caminos, y coberturas de uso del suelo). Así mismo, se integraron los registros de casos con cocodrilos atendidos por el cuerpo de bomberos. Se logró evidenciar que la mayoría de los incidentes se presentan en zonas con una alta interacción (áreas adonde se realizan una amplia variedad de actividades antrópicas), dentro del hábitat potencial de este reptil. Adicionalmente, los resultados obtenidos en la investigación constituyen un insumo importante en la toma de decisiones a nivel de política y ordenamiento territorial en la Región Pacífico Central, ya que en esta zona el turismo es una de las principales actividades económicas que puede llegar a ser amenazada por un ataque de esta especie.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica (SIG), *Crocodylus acutus*, hábitat, alteración, interacción.

**Abstract:** In recent years, the incidence of attacks by crocodiles in Costa Rica has increased, which is associated with the development of human activities in areas considered as optimal in what I determine as the species' potential habitat. Given the above, the present investigation proposes the identification of zones of interaction between the crocodile and the human being from the integration of physical-geographic variables through Geographic Information Systems (GIS). In this way, a theoretical compilation was carried out to identify the physical-geographical variables that make up the crocodile's habitat (slope, drainage network, flood areas and land use coverage), as well as the socio-environmental variables that influence the alteration and loss of habitat of the species (number of neighborhoods, population density, density of roads,

and coverage of land use). Likewise, case records were integrated with crocodiles assisted by the fire department. It was possible to demonstrate that most of incidents occur in areas with high interaction (areas where a wide variety of anthropic activities are carried out within the potential habitat of this reptile.) In addition, the results obtained in the investigation constitute an important input in the decision-making at the policy and territorial order level in the Central Pacific Region, since tourism is one of the main economic activities that can be threatened by an attack by this species.

**Keywords:** Geographic Information Systems (GIS), *Crocodylus acutus*, habitat, alteration, interaction.

## Introducción

El cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) se distribuye en ambas costas del continente americano, desde el sur de México hasta el norte de Suramérica. En Costa Rica, se reportan habitando ríos, lagos, pantanos, esteros, manglares, en elevaciones menores a los 700 msnm y en el mar en áreas cercanas a las costas (Bolaños *et al.*, 1995). El Pacífico Central agrupa una de las mayores poblaciones de *C. acutus*, influenciado por una densa red de drenaje, la presencia de 16 cuencas hidrográficas de las 34 de mayor importancia que tiene el país, tales como: Bongo, Lagarto, Guacimal, Aranjuez, Barranca, Jesús María, Grande de Tárcoles, Tusubres, Parrita, Damas, Naranjo, Savegre y Barú.

Durante la década de los sesenta en Costa Rica, la intensa cacería generó que la especie fuera categorizada por la legislación nacional e internacional en peligro de extinción, medida que influyó en una progresiva recuperación de sus poblaciones. Éste incremento provocó la recolonización de sus antiguos hábitats, y acompañado de la ausencia de mapas de zonificación que impliquen restricciones o regulaciones para las actividades antrópicas, se generó un aumento de incidentes entre poblaciones humanas y cocodrilos, potencializados por factores como el cambio en la cobertura de uso del suelo, vinculados a la invasión del hábitat natural de este reptil, así como al uso de las áreas de protección de ríos y quebradas por actividades agrícolas, situación que ha generado deterioro y reducción de sus principales fuentes de alimento, así como la disminución de los caudales de los ríos en la época seca o por la presencia de fenómenos climáticos que alteran su entorno natural, propiciando mayores interacciones entre humano-cocodrilo (García y Buenrostro, 2015).

A inicios de la década de los noventa, se identifica una mayor presencia de cocodrilos en sus zonas de distribución, así como un aumento de ataques hacia los seres humanos en los ríos Bebedero, Cañas, Tempisque y algunos ríos del Pacífico Central, estos incidentes se han asociado a la relación directa entre los seres humanos y el cocodrilo, producto probablemente de la invasión de su hábitat (Bolaños, 2012). En la actualidad, estas relaciones persisten debido al amplio desarrollo de actividades antrópicas asociadas a las vías de comunicación, crecimiento de la población, expansión residencial concentrada y dispersa, la cantidad de centros poblados por km<sup>2</sup>, así como las actividades agropecuarias (cultivos-pasto) en áreas costeras, en márgenes de ríos, esteros y cuerpos de agua. Dichas actividades han generado la alteración del medio natural afectando el hábitat de la especie y potencializando la interacción con el ser humano.

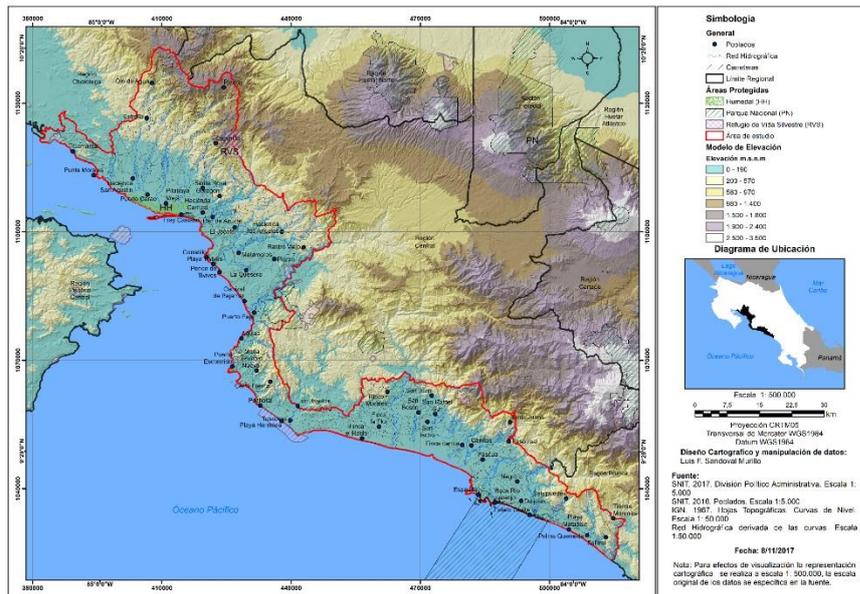
Considerando esta problemática, la presente investigación tuvo como objetivo identificar las áreas propensas a incidentes por ataques de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el Pacífico Central de Costa Rica, para la identificación del nivel de amenaza, a partir de un Sistema de Información Geográfica. Donde se valoran aspectos físicos-geográficos, características del hábitat de la especie, así como las condiciones socioambientales relacionadas a la alteración de su entorno y el nivel de exposición de los seres humanos a la presencia de esta especie. Lo anterior, abordado desde la geografía, la cual como ciencia tiene como objeto de estudio el espacio y las relaciones sociedad-naturaleza, aportando en investigaciones concretas para la resolución de los problemas socioambientales, basado en técnicas como los Sistemas de Información Geográfica y los Sensores Remotos, por medio del modelaje de variables espaciales y su representación cartográfica.

**Área de estudio:** El área de estudio corresponde a la región Pacífico Central, creada mediante Decreto 16068-PLAN de febrero de 1985, que comprende los cantones de la provincia de Puntarenas: Esparza, Montes de Oro, Aguirre, Parrita, Garabito y Puntarenas, así como los de San Mateo y Orotina pertenecientes a la provincia de Alajuela. Se delimita por las coordenadas geográficas extremas 9° 19' 00" y 10° 9' 28" latitud norte; 83° 57' 36" y 85° 06' 20", longitud oeste y las coordenadas métricas 382147 – 1123411 y 514551 – 1023484. Según la regionalización del SINAC la administración de la Región Pacífico Central, pertenece al Área de Conservación

Pacífico Central (ACOPAC) (Mapa 1). En el presente estudio no se considera los distritos de Lepanto, Paquera e Isla Chira.

Las condiciones climáticas del Pacífico Central, de acuerdo con el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, sf), se caracterizan por presentar el régimen de precipitación del Pacífico. Su posición geográfica al suroeste del país, con la protección al norte de cadenas montañosas impiden la incursión de vientos alisios del noreste, estableciéndose una modificación de este régimen del Pacífico, dando origen a la presencia de dos estaciones marcadas como el clima tropical seco, con una estación seca corta y moderada desde enero a marzo y un período lluvioso muy severo y largo dividido en dos períodos; el primero de mayo a agosto y el segundo de septiembre a octubre.

Mientras que los meses de abril y diciembre están marcados como los meses de transición. La precipitación promedio de la zona es de 3500 mm anuales y la temperatura máxima promedio es de 31.0 °C y la mínima promedio es de 22.7 °C.



**Mapa 1.** Ubicación del área de estudios, Pacífico Central.

Se caracteriza por un sistema fluvial, perteneciente a la vertiente del Pacífico, donde sobresalen ríos como el Tárcoles, Jesús María, Guacimal y Aranjuez. Mismos que han configurado su geomorfología dando origen a extensas llanuras, en que se desarrollan actividades como la agricultura y la ganadería, sobresaliendo las llanuras del Tárcoles y Parrita (Astorga, sf).

## Materiales y Métodos

En esta investigación se identificaron dos escenarios, el primero referido al hábitat potencial del cocodrilo americano (*C. acutus*), considerando elementos físico-geográficos como la altitud, red de drenaje, áreas de inundación y la delimitación de las áreas de manglar, ríos anchos y desembocaduras. El segundo escenario correspondiente a todas las actividades concernientes a la alteración del hábitat donde se consideraron elementos socioambientales como: densidad de las vías de comunicación, densidad de poblados, cantidad de población por distrito, coberturas de uso del suelo (asentamientos, cultivos y pastos). A partir de los cuales se deriva la generación de las áreas de interacción entre el ser humano y este reptil, proceso que se describe a continuación:

En la realización del primer escenario se elaboró el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) a partir de la capa vectorial de curvas a escala 1:50 000. Posteriormente, se realizó un proceso de interpolación para la obtención del MDE con la herramienta de

*interpolation / topo to raster* del ArcGis, el cual es definido por ESRI como un método de interpolación diseñado específicamente para crear modelos digitales de elevación (DEM) hidrológicamente correctos, el cual está basado en el programa ANUDEM, desarrollado por Hutchinson en el periodo 1988-2011. Una vez realizado el MDE se deriva la red de drenaje, con la aplicación de Hidrology del ArcGIS, la cual se usa en la delimitación de cuencas hidrográficas, con el fin de que los cauces de los ríos y quebradas coincidan con el MDE y evitar el desplazamiento de las capas de ríos existentes. Con la generación de la red hídrica en el área de estudio se utilizó la aplicación de density/Kernel Density, para estimar la densidad de ríos por km<sup>2</sup>, con el fin de facilitar la integración de las variables posteriormente, cada una es clasificada en tres categorías (alta, media y baja) utilizando la clasificación igualitaria por intervalo.

Se consideraron las áreas de inundación correspondientes a la demarcación oficial realizada por la Comisión Nacional de Emergencias, las cuales se ajustaron al MDT para evitar desplazamiento. A las áreas que no presentaban riesgo de inundación se asignaron valores de cero. Otra de las variables identificadas a partir de la literatura existente para el hábitat del cocodrilo son las coberturas de manglares, cauces de ríos, desembocaduras y cuerpos de agua, que fueron identificadas utilizando imágenes RapidEye a escala 1:25 000, mediante la técnica de fotointerpretación y las herramientas de edición del programa ArcGis 10.5. Una vez identificadas y procesadas las capas en formato vectorial se procede a su integración para la obtención del hábitat potencial del cocodrilo.

Para el segundo escenario, relacionado a la alteración del hábitat por actividades humanas se procesaron las capas vectoriales: red de caminos para generar un ráster de densidad de caminos en km<sup>2</sup>, con base a la metodología implementada por Ramírez, Jiménez y Martínez (2005), la cual consiste en la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para realizar el análisis de la estructura y de la densidad de la red caminos. Esta última definida como el promedio de la longitud total de caminos por unidad de área (km/km<sup>2</sup>). Específicamente, se utilizó la extensión Density Kernel, procesamiento aplicado a la capa vectorial de poblados con el fin de generar áreas continuas para su posterior análisis.

La identificación de las coberturas de uso del suelo que muestran el desarrollo de actividades humanas se elaboró utilizando las imágenes satelitales LandSat con una resolución espacial de 30 metros para los años 2000 y 2015. Adicionalmente, se aplicó una corrección radiométrica y atmosférica, la cual, según Ambrosio *et al.* (sf), es

necesaria para modelar adecuadamente parámetros físicos realistas y consistentes, al abordar estudios multitemporales, mismos que facilitan el proceso de clasificación supervisada y de fotointerpretación. Las categorías de uso identificadas se definen en La tabla 1.

**Tabla 1**  
**Definición de las categorías de uso del suelo**

| <i>Categoría</i>         | <i>Descripción</i>  |
|--------------------------|---|
| Bosque en pendiente alta | Cobertura vegetal dominada por árboles de copas anchas y casi continuas, en pendientes mayores a 30%  |
| Bosque en pendiente baja | Cobertura vegetal con la presencia de elementos arbóreos y arbustivos con copas menos continuos. Han sido intervenidas y se encuentran en regeneración, en pendientes menores a 30% |
| Pasto en pendiente alta  | Supresión total de los bosques por perturbaciones humanas y sustitución por gramínea para ganadería intensiva en pendientes mayores al 30%  |
| Pasto en pendiente baja  | Supresión total de los bosques por perturbaciones humanas y sustitución por gramínea para ganadería intensiva en pendientes menores al 30%  |
| Manglar                  | Bosques pantanosos que ocupan espacios con alta sedimentación donde se mezcla el ambiente marino y el terrestre   |
| Cuerpos de agua          | Áreas de lagos, lagunas y del curso de agua (río principal y tributarios)   |
| Cultivos                 | Son áreas con ocupación agrícola que puede ser permanentes o estacionales   |
| Asentamientos humanos    | Están representados por la ocupación urbano-residencial dispersa, acompañado de servicios públicos institucionales, industrial, comercial   |

**Fuente:** adaptado de Morera y Sandoval, 2015.

Con la realización de cada una de las variables del primer y segundo escenario, se realizó la clasificación de cada una de las capas, donde cada uno de los valores se normalizaron, lo cual consiste en la estandarización de los pesos asignados mediante el

método de máximo de lista, que se fundamenta en dividir el peso de cada registro asignado entre el valor máximo de los pesos por cada una de las categorías, obteniendo así un valor normalizado para cada registro, que oscila en un rango de 0 a 1 (Submitted, Fulfillment, y Kong, 2010). Siendo 1 el valor óptimo y 0 el menos óptimo para cada una de las variables a relacionar.

$$xx_{ii}' = xx_{ii}/xx_{mmmmmm} \quad (1) \text{ Normalización por máximo de lista}$$

Una vez realizada la normalización se establecieron tres grupos de categorías por valor, según los pesos normalizados asignados a cada variable y clasificados en tres rangos: alta, moderada y baja. Una vez determinados los rangos se relacionan por medio de un álgebra de mapas (suma), utilizando la media o promedio correspondiente a la suma de todas las puntuaciones de la variable dividida por el número total de casos, Fierro (2010). Obteniendo dos modelos espaciales, los cuales son representados cartográficamente, relacionados al hábitat potencial (topografía, red de drenaje y coberturas de uso del suelo) y el mapa de la alteración del hábitat (la densidad de caminos, densidad de población y la distancia a centros poblados). Con la generación de ambos modelos, se procede a establecer la relación entre ambos para determinar cuáles son los sectores que representan mayor interacción entre el ser humano y el cocodrilo, utilizando el mismo método descrito anteriormente, por lo que se constituye la siguiente clasificación para los mapas de hábitat potencial y alteración del hábitat, Tabla 2.

**Tabla 2**  
**Normalización del hábitat potencial y alteración del hábitat**

| <i>Hábitat potencial</i>      |             |                      |
|-------------------------------|-------------|----------------------|
| <i>Clasificación</i>          | <i>Peso</i> | <i>Normalización</i> |
| Alta                          | 3           | 1                    |
| Moderada                      | 2           | 0.66                 |
| Baja                          | 1           | 0.33                 |
| <i>Alteración del hábitat</i> |             |                      |
| <i>Clasificación</i>          | <i>Peso</i> | <i>Normalización</i> |
| Alta                          | 3           | 1                    |
| Moderada                      | 2           | 0.66                 |
| Baja                          | 1           | 0.33                 |

**Fuente:** elaboración propia.

Con la generación de los dos escenarios descritos, se desarrolló el mapa de interacciones entre el ser humano y el cocodrilo, donde se realizó el mismo procedimiento descrito en el hábitat potencial y alteración del hábitat, donde la integración de los valores se agrupó en tres categorías como se muestra en La tabla 3.

Con la realización de las zonas de interacción entre ambas especies se evidencian los incidentes con cocodrilos, atendidos y registrados por el cuerpo de bomberos para el periodo 2007-2017, los cuales eran los únicos registros que contenían una localización espacial.

**Tabla 3**  
**Zonas de interacción entre el cocodrilo y el ser humano**

| <i>ID</i> | <i>Rango de la sumatoria</i> | <i>Categorías</i> |
|-----------|------------------------------|-------------------|
| 1         | 0.33 - 0.495                 | Baja              |
| 2         | 0.4951 - 0.665               | Media             |
| 3         | 0.6651 - 1                   | Alta              |

**Fuente:** elaboración propia.

## Resultados y discusión

### **Dinámicas ecológicas y hábitat del cocodrilo**

La distribución de los cocodrilos se encuentra influenciada por elementos como la altitud, la hidrografía, el tipo de cobertura y la presencia de áreas de inundación, lo cual, de acuerdo con Bolaños, Sánchez y Piedra (1995), son condiciones que delimitan su hábitat a sectores específicos, abarcando principalmente áreas de manglar, ríos anchos y caudalosos. Todas estas prevalecen en el Pacífico Central en ríos como: Jesús María, Tivives y El Grande de Tárcoles. Adicionalmente, la distribución y densidad de los individuos puede afectarse por los patrones de migración o dispersión que estos efectúan, principalmente durante la época de apareamientos, comprendida, en general, de agosto a diciembre, meses que se catalogan como los más peligrosos, ya que los machos dominantes desplazan a los machos subordinados a hábitats de baja calidad (sitios sin hembras, con baja cobertura boscosa, con cercanía a poblados, zonas de ríos angostos y contaminados), llegando estos animales a áreas donde normalmente no se encuentran fuera de la época reproductiva. Esta situación, potencia la interacción entre los seres humanos y la especie (Sandoval, 2016).

Por otra parte, durante la época lluviosa, comprendida entre mayo a noviembre, los cocodrilos tienden a distribuirse aleatoriamente por cuerpos de agua que se forman durante fuertes precipitaciones y, posteriormente durante la época seca tienden a localizarse en los cauces principales de ríos o lagunas que mantienen agua aún durante la ausencia de precipitación. De la misma manera, cuando el río baja su nivel y/o se extrae gran cantidad de agua, muchos cocodrilos encuentran sus espacios en canales de riego o estanques de las empresas que se dedican a actividades de cultivo de peces y actividades agrícolas (Sánchez, 2001a). Con respecto a su densidad, en Costa Rica se han encontrado abundancias relativas por km<sup>2</sup> de nueve cocodrilos en los ríos Tempisque, cinco en el Tárcoles y cinco en el Terraba-Sierpe, asimismo se han observado en sitios donde normalmente no se les encontraba. Sin embargo, no existe un censo de la cantidad de individuos por hábitat, por lo cual es erróneo referirse a una sobrepoblación de la especie (Estado de la Nación, 2008).

Sin embargo, la invasión del hábitat del cocodrilo perturba el comportamiento normal de la especie, porque a pesar de ser animales muy resistentes, son vulnerables a

los constantes cambios de la cobertura de uso del suelo, producto de las actividades antrópicas (mismas que invaden su hábitat, incidiendo en la destrucción de la vegetación, alteración y modificación de los márgenes de los ríos), afectando los sitios de postura, asoleo, y distribución en general de la especie. Además, producto de la interacción con humanos se destruyen las cuevas que utilizan los animales para ocultarse del peligro o, eventualmente descansar o guardar alimento. Es muy importante señalar la afectación del comportamiento propio de la especie, producto de actividades turísticas en áreas de su distribución. De esta manera, la dinámica mencionada incide en la variación de las características y condiciones de su hábitat, los animales están obligados a migrar a otros sitios donde las condiciones naturales les ofrezcan protección y alternativas para sus actividades de descanso, asoleo, alimentación, protección y anidamiento (Sánchez, 2001b).

Sandoval y Bolaños (2016) argumentan que la fragmentación del paisaje en los últimos años en la región Pacífico Central y el Gran Humedal Tempisque está relacionada con una mayor interacción entre el cocodrilo y el ser humano, características que están determinadas por la distribución espacial, la forma, el tamaño del fragmento y el grado de conectividad entre las unidades de paisaje, acciones que generarían consecuencias como pérdida y reducción del hábitat de la especie. Además, esta fragmentación incrementa la presencia de especies generalistas como ratas (*Rattus*), pizotes (*Nasua Narica*), mapaches (*Procyon lotor*), zorros pelones (*Didelphis virginiana*), así como espacios con alta densidad humana con frecuencia de animales domésticos como perros, gatos, gallinas, cerdos, entre otros que pueden convertirse en presa fácil para los cocodrilos (Cortijo, sf).

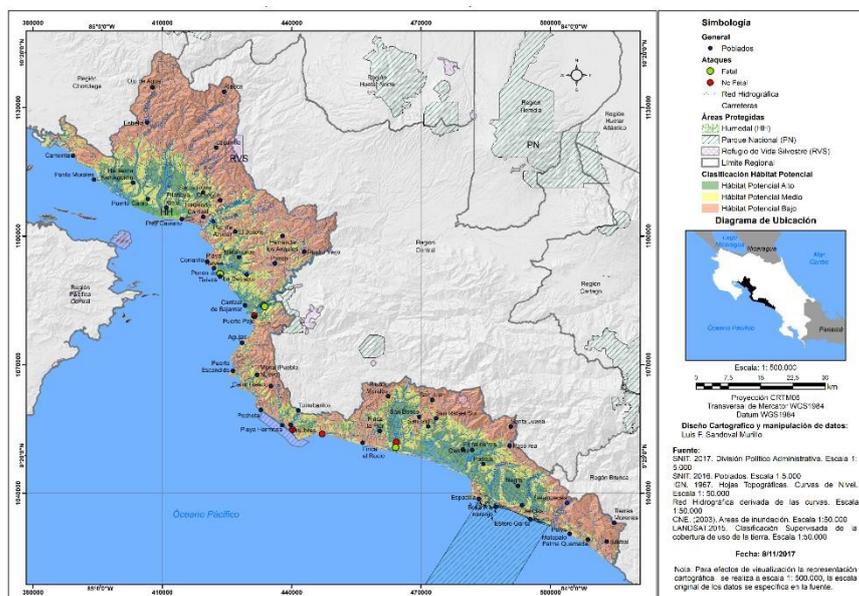
Con respecto al hábitat potencial del cocodrilo, son diversos los factores que se relacionan para la determinación del mismo como: la altitud menor a los 700 msnm, la presencia de áreas de manglar, acompañada de ríos caudalosos y anchos, la existencia de playones, así como las áreas de inundación mismas que funcionan de medio de desplazamiento durante la crecida de los ríos en presencia de fuertes precipitaciones o fenómenos atmosféricos prolongados, todos son un conjunto de variables que posibilitan la demarcación de su hábitat espacial dentro de un territorio, para el caso de la Región Pacífico Central se estableció la presencia de áreas propensas a la presencia del cocodrilo, como se refleja en el Mapa 2 y La tabla 4, donde se muestra la distribución espacial del hábitat potencial en tres sectores contemplados como; alto, medio y bajo.

El hábitat potencial alto se caracteriza por elementos como cuerpos de agua, una alta densidad de la red de drenaje (1 862-3 053 km<sup>2</sup>), donde se destacan ríos importantes como el Jesús María, Tivives y El Grande de Tárcoles, además de manglares, esteros, elevaciones menores a los 240 msnm, y áreas propensas a inundaciones, representando el 21.5% del Pacífico Central. Estas condiciones posibilitan la presencia del cocodrilo, debido a que pueden reunir las variables óptimas características de su hábitat, que de acuerdo con Bolaños, Sánchez y Piedra (1995) son condiciones que delimitan su hábitat a sectores específicos, abarcando principalmente áreas de manglar, ríos anchos y caudalosos. Todas estas condiciones que prevalecen en ríos como el Grande de Tárcoles y en el Jesús María.

**Tabla 4**  
**Región Pacífico Central, Clasificación del hábitat potencial y superficie**

| <i>Clasificación hábitat</i> | <i>Hectáreas</i> | <i>Porcentaje</i> |
|------------------------------|------------------|-------------------|
| Hábitat Potencial Alto       | 59 484.0         | 21.5              |
| Hábitat Potencial Bajo       | 117 781.4        | 42.5              |
| Hábitat Potencial Medio      | 99 658.0         | 36.0              |
| Total                        | 276 923.4        | 100               |

**Fuente:** elaboración propia.



**Mapa 2.** Hábitat potencial del *Crocodylus acutus*, Pacífico Central Costa Rica.

Con respecto al hábitat potencial medio, se presenta una moderada densidad de ríos por km<sup>2</sup> entre 1 196-1 861 km<sup>2</sup>, donde se da la presencia de coberturas de uso del suelo como pasto y bosque en pendientes moderadas, cuerpos de agua, cultivos y elevaciones entre 234-466 msnm, representando un 42.5 % de la Región (Mapa 2). Estas condiciones son poco viables para la presencia del cocodrilo, ya que no presentan las características necesarias para su hábitat. Con respecto al hábitat potencial, las posibilidades de la presencia del cocodrilo van de escasas a nulas, debido a que las condiciones de esta categoría muestran una insuficiente densidad de la red de drenaje por km<sup>2</sup> (0.074-1.195), nula presencia de cuerpos de agua y manglares, y pendientes superiores a los 467 msnm. Abarcando una superficie de un 36% de la región.

### **Alteración del hábitat potencial del cocodrilo**

La integración de las variables antrópicas que constituyen la alteración del medio, producto de su desarrollo sobre el espacio geográfico, se vinculan a el aumento en la infraestructura y actividades como: vías de comunicación (densidad por km<sup>2</sup>), crecimiento de la población por distrito, asociado a la expansión residencial concentrada y dispersa, actividades agropecuarias y la cantidad de centros poblados por km<sup>2</sup> en el PC. Condiciones que se reflejan en investigaciones realizadas por Bolaños (2011), donde se evidencia la invasión y alteración del hábitat del cocodrilo en las últimas décadas, producto del crecimiento demográfico, el avance de la frontera agrícola, la presión urbana, la construcción y mejoramiento de la red vial, consecuentemente, con la generación de la fragmentación de los ecosistemas. Su combinación espacial permite visualizar la agrupación de actividades en el territorio y relacionarlo con el grado de alteración del hábitat potencial del cocodrilo en el Pacífico Central.

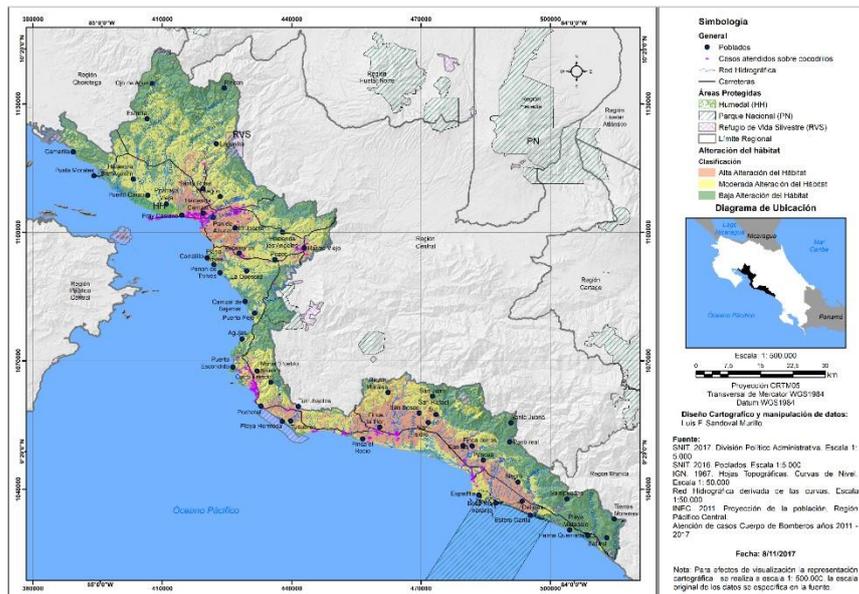
La tabla 5, muestra las áreas de alteración por el desarrollo de actividades humanas en la región, donde un 20.4% presenta alta alteración de las condiciones naturales, producto del dinamismo de cultivos, áreas residenciales dispersas, distritos con una alta cantidad de habitantes como el Roble, Chacharita, Jaco y Parrita, mismos que reúnen una alta densidad de vías por km<sup>2</sup>, entre 1.56-2.33, así como una alta densidad de poblados. Con respecto al hábitat potencial delimitado anteriormente, el porcentaje de alteración corresponde a un 8.47%, evidenciando una alta degradación, lo que incrementa la interacción entre el cocodrilo y el ser humano (Mapa 3), producto del rápido crecimiento y establecimiento de asentamientos humanos en las últimas décadas,

atribuido a políticas de desarrollo agropecuario que propiciaron la demanda de tierras, ocupando las llanuras de inundación, esteros y lagunas costeras, las cuales son habitadas por el *Crocodylus acutus* (García y Buenrostro, 2015).

**Tabla 5**  
**Alteración del hábitat potencial del cocodrilo americano**

| <i>Alteración hábitat región</i>    |                  |                   |
|-------------------------------------|------------------|-------------------|
| <i>Clasificación</i>                | <i>hectáreas</i> | <i>porcentaje</i> |
| Alta alteración del hábitat         | 55913.96         | 20.44             |
| Baja Alteración del hábitat         | 110718.42        | 40.47             |
| Moderada alteración del hábitat     | 106973.39        | 39.10             |
| <i>Total</i>                        | <i>273605.77</i> | <i>100</i>        |
| <i>Alteración hábitat potencial</i> |                  |                   |
| <i>Clasificación</i>                | <i>hectáreas</i> | <i>Porcentaje</i> |
| Alta alteración del hábitat         | 23187.71         | 8.47              |
| Moderada alteración del hábitat     | 22619.32         | 8.27              |
| Baja alteración del hábitat         | 12206.53         | 4.46              |
| <i>Total</i>                        | <i>58013.56</i>  | <i>100</i>        |

**Fuente:** elaboración propia.



**Mapa 3.** Alteración del hábitat potencial del cocodrilo, Pacífico Central Costa Rica.

La superficie ocupada por una moderada alteración del hábitat corresponde a un 40% para la totalidad de la región, considerando únicamente la alteración del hábitat potencial alto de la especie, representa un 8.27%, producto de la presencia de actividades humanas de forma no intensificada, pero que de igual forma influye en la alteración del entorno natural, conllevando a la interacción directa con la vida silvestre. Con respecto a las áreas de baja alteración, estas corresponden a sectores con una fuerte irregularidad del terreno, que imposibilitan la presencia de actividades humanas, las que representan un 40.47% del Pacífico Central y un 4.46% del hábitat potencial de la especie, en el primer caso, por sus características geomorfológicas imposibilitan la presencia del cocodrilo.

### Zonas de interacción entre el ser humano y el cocodrilo

La realización de este apartado se fundamentó en la modelización del hábitat potencial abordado anteriormente, considerando las condiciones óptimas para la presencia de *C. acutus*, a partir de la relación de las variables que caracterizan su hábitat, como elevaciones menores a los 700 msnm, una alta densidad de la red hidrográfica, la presencia de manglar, playones de río y áreas propensas a inundaciones (Bolaños, 2002).

En este aspecto es significativo resaltar lo establecido por Santillán (2013), cuando se realiza la modelación de la distribución de una especie, cuando afirma que la presencia de todas las variables ambientales óptimas en un determinado hábitat no

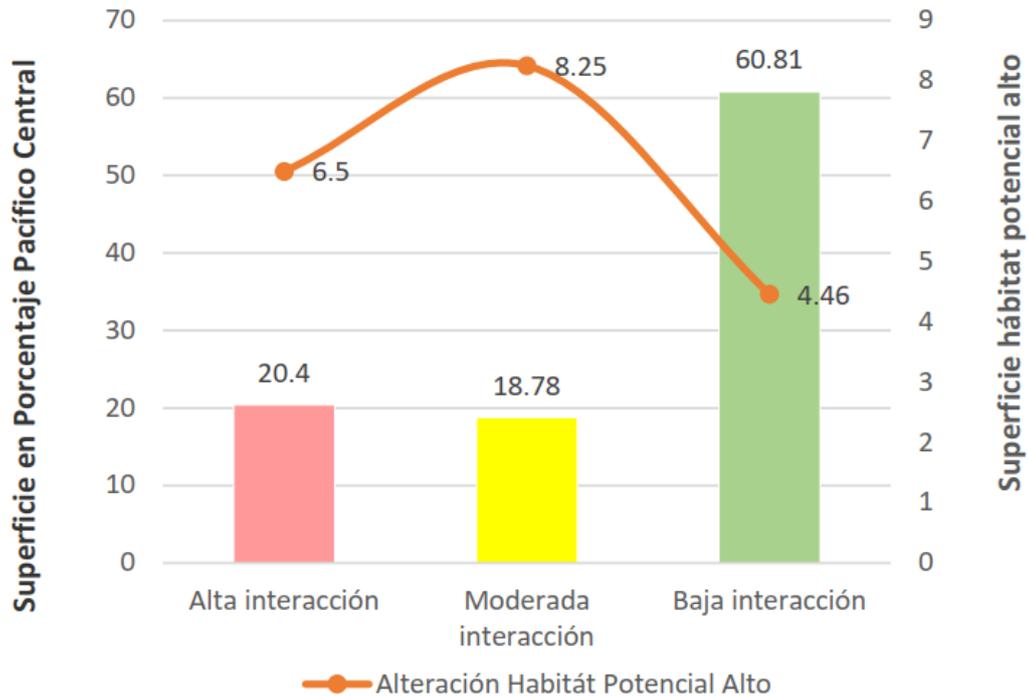
garantiza la existencia efectiva de la especie. Asociando la dispersión a factores reproductivos de la especie, así como las alteraciones generadas por las actividades humanas que inciden en la fragmentación ecosistémica y constituye barreras geográficas.

De acuerdo con Sandoval, Morera y Sandoval (en prensa), el hábitat potencial del cocodrilo en el Pacífico Central durante el periodo 2000-2015 ha experimentado cambios de uso y la fragmentación de su paisaje en coberturas como el manglar, cuerpos de agua y bosque, presentándose un incremento en el número de fragmentos asociados a una reducción en su superficie. Lo anterior es resultado de la alteración y la presión a la que han sido sometidas estas coberturas en áreas consideradas como óptimas para la presencia del cocodrilo, producto del desarrollo de actividades antrópicas. Dinámicas que se evidencian en los últimos años a partir de reportes de periódicos, atención de casos por Bomberos, reportes al servicio 911 y registros realizados por asociaciones como CrocBITE, así como recopilaciones de casos por investigadores como Bolaños (2017).

A partir de la combinación del hábitat potencial y las áreas de interacción por actividades humanas, considerando únicamente los sectores determinados como hábitat potencial alto para el cocodrilo, se obtuvo la representación espacial de las zonas que presentan la posibilidad de una mayor interacción entre el ser humano y el cocodrilo, misma que podría potenciar el encuentro entre ambas especies, que tal como lo menciona Andrade (2013) se han incrementado en los últimos 40 años, potencializado por las actividades antrópicas en áreas naturales donde habita el cocodrilo. La Figura 1, muestra las áreas de alta interacción entre el ser humano y el cocodrilo en el Pacífico Central con un 20.44% de su superficie, de la cual un 6.5%, se localiza dentro del hábitat potencial alto de la especie (Mapa 4), donde se desarrollan actividades antrópicas con una alta concentración como densidad de carreteras por km<sup>2</sup>, cantidad de población, densidad de poblados por km<sup>2</sup> y amplio desarrollo de actividades agrícolas y turísticas. De acuerdo con Bolaños (2002), la alteración del hábitat del cocodrilo se ve afectada por el incremento y desarrollo de vías de comunicación, las cuales influyeron en el acrecentamiento del tránsito de personas en diferentes lugares, y un lógico aumento de la población humana, derivando en el surgimiento y expansión de asentamientos antrópicos, en detrimento de las áreas silvestres, incidiendo en la fragmentación de los ecosistemas.

Por otra parte, el amplio desarrollo antrópico que se refleja en los datos expuestos anteriormente y la atención de casos por parte del cuerpo de bomberos entre el periodo 2007-2017, colaboran con lo obtenido en la zonificación de las áreas de interacción entre ambas especies. Además, coinciden con los sitios donde se han registrado más accidentes

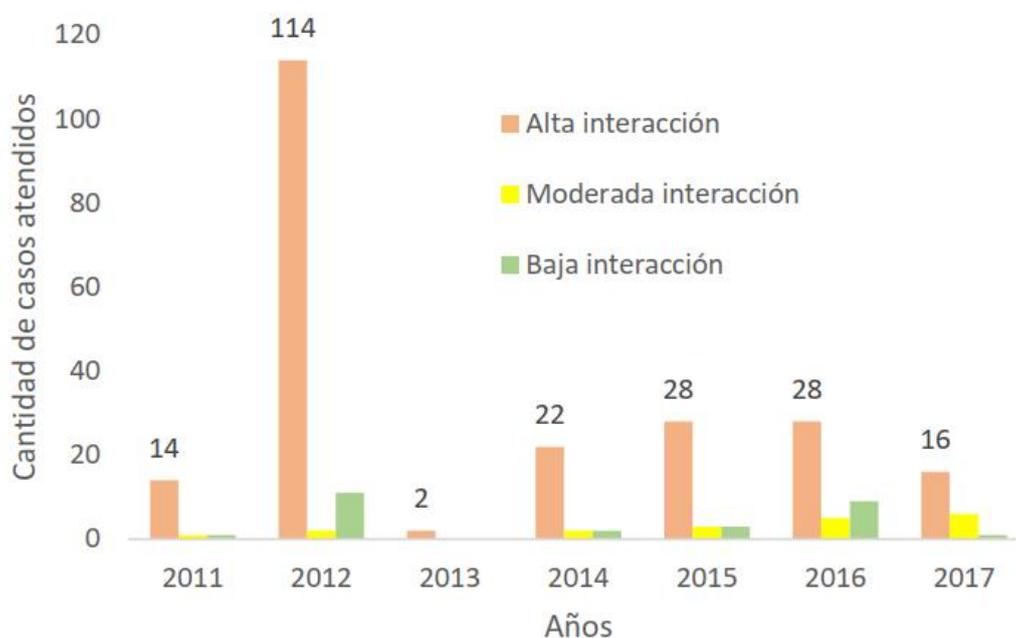
por cocodrilos, relacionados con el río Parrita, y en áreas cercanas al mar, sobresaliendo ataques en playa Esterillos, ambas áreas que concuerdan con las zonas de alta interacción.



**Figura 1.** Pacífico Central: zonas de interacción entre el ser humano y *Crocodylus acutus*.

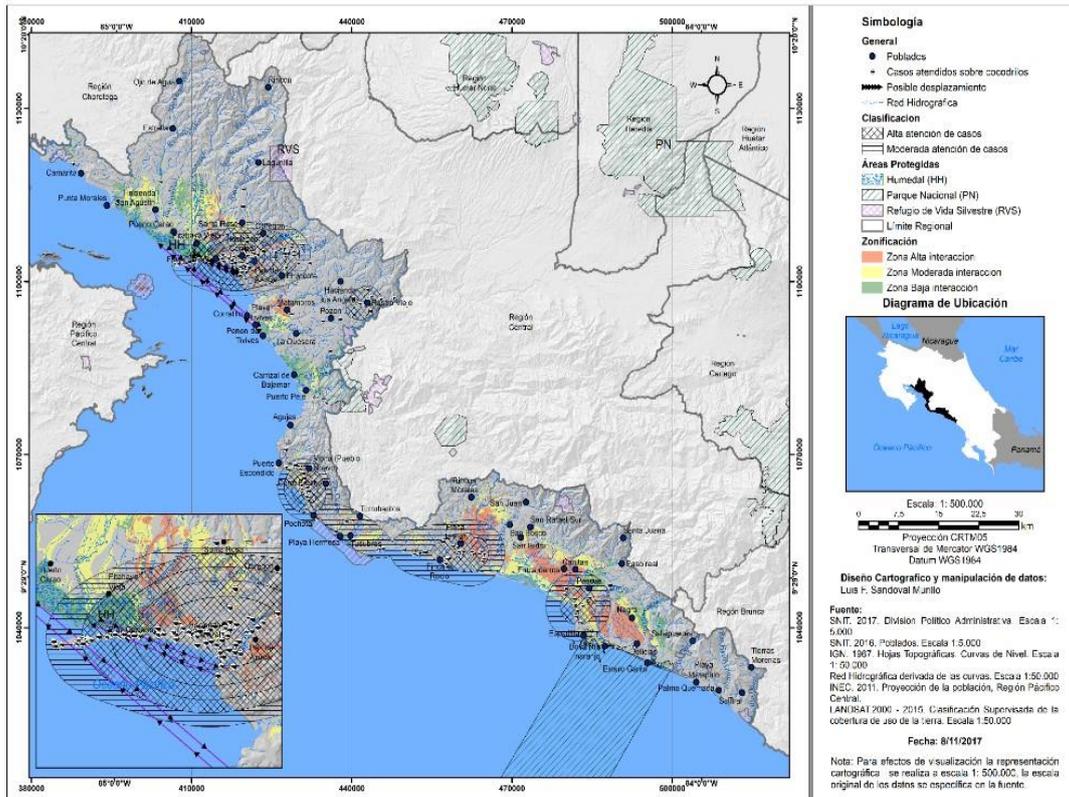
Las zonas de moderada interacción abarcan un 18.78% del Pacífico Central, sin embargo, dentro de las condiciones moderadas para la presencia del cocodrilo se representa un 8.25%, en distritos como: Savegre, Quepos, Parrita, Tárcoles, Pithaya, Chomes y Manzanillo (Mapa 4). Con respecto a las zonas de baja interacción, esta corresponde a sectores donde aún se conservan las condiciones naturales como manglares y la presencia de las actividades antrópicas son escasas o nulas correspondiendo a un 60.81% en la totalidad del área de estudio y constituye un 4.46% en el hábitat potencial de la especie. La Figura 2 muestra la cantidad de casos atendidos en las zonas de interacción entre ambas especies, donde la mayor cantidad de casos se registran en zonas con una alta interacción entre el periodo 2011-2017, destacando el año 2012 con la mayor cantidad de atenciones con un total de 114, el 2014 registra la atención de 22 casos y los años 2015 y 2016 un total de 28, con respecto al 2017 la disponibilidad de los datos son registrados al mes de julio, por lo que se muestra una disminución de los casos atendidos

(16). Lo anterior, según lo expresado por Magaña *et al.* (2010), quienes indican que la ocurrencia de ataques de cocodrilos, sin provocación de los humanos, responden a la defensa territorial, defensa de nidos y/o crías, caza para alimentación, confusión de identidad o humano como objetivo secundario y autodefensa.



**Figura 2.** Pacífico Central: cantidad de casos atendidos según zona de interacción.

En la tabla 6 se muestran los poblados que se localizan en las zonas de alta interacción catalogados como hábitat potencial del cocodrilo, los cuales se ubican dentro de los distritos de Quepos (Delicias, Damas, San Rafael y otros), Parrita (Pueblo Nuevo, San Isidro, Playa Sur y Julieta), Jaco (Turrubaritos), Ceiba (Machuca y Matamoros), Barranca (Sitio Junta) y San Juan Grande (Jesús María). La presencia de esta diversidad de poblados en sectores donde se reúnen las condiciones óptimas para la presencia de la especie constituye una zona de alto potencial de interacción entre el ser humano y el cocodrilo, el cual podría aumentar la atención de casos y efectos negativos hacia la población antrópica.



**Mapa 4.** Zonas de interacción entre el ser humano y el *Crocodylus acutus*, Pacífico Central Costa Rica.

**Tabla 6**

**Poblad​os ubicados en las zonas de alta interacci​n en el h​bitat  
potencial del *Crocodylus acutus***

| <i>Tipo de poblado</i> | <i>Nombre Poblado</i> | <i>Distrito</i> | <i>Tipo de poblado</i> | <i>Nombre Poblado</i>   | <i>Distrito</i> |
|------------------------|-----------------------|-----------------|------------------------|-------------------------|-----------------|
| Poblado                | Delicias              | Quepos          | Cabecera de cant​n     | Parrita                 | Parrita         |
| Poblado                | Mona                  | Quepos          | Barrio                 | Pueblo Nuevo            | Parrita         |
| Hacienda/ finca        | Finca Pastora         | Quepos          | Poblado                | Cabas                   | Quepos          |
| Hacienda/ finca        | Finca Llorona         | Quepos          | Poblado                | Pirras (Las Parcelas)   | Parrita         |
| Poblado                | Llorona               | Quepos          | Barrio                 | Julieta                 | Parrita         |
| Poblado                | Roncador              | Quepos          | Poblado                | Pocares                 | Parrita         |
| Hacienda/ finca        | Finca Roncador        | Quepos          | Poblado                | Tigre                   | Parrita         |
| Poblado                | Bartolo               | Quepos          | Poblado                | San Rafael Norte        | Parrita         |
| Poblado                | Llamaron              | Quepos          | Poblado                | Jicote                  | Parrita         |
| Hacienda/ finca        | Finca Bartolo         | Quepos          | Poblado                | Teca                    | Parrita         |
| Poblado                | Managua               | Quepos          | Poblado                | Sardinal Sur            | Parrita         |
| Poblado                | Junta Naranjo         | Quepos          | Poblado                | Quebrada Amarilla       | Jac​            |
| Poblado                | Paquita               | Quepos          | Poblado                | San Isidro              | Parrita         |
| Poblado                | Paquita               | Quepos          | Poblado                | Turrubaritos            | Jac​            |
| Hacienda/ finca        | Finca Anita           | Quepos          | Poblado                | Playa Sur               | Parrita         |
| Poblado                | Estero Damas          | Quepos          | Poblado                | I Griega                | Parrita         |
| Poblado                | Anita                 | Quepos          | Poblado                | Surubres                | Parrita         |
| Poblado                | R​os                  | Quepos          | Hacienda/ finca        | Finca Brazo Seco        | San Juan grande |
| Poblado                | Papaturro             | Quepos          | Sitio                  | Sitio Uvita             | Ceiba           |
| Poblado                | Damas                 | Quepos          | Poblado                | Matamoros               | Ceiba           |
| Poblado                | Damas                 | Quepos          | Sitio                  | Sitio Tablas            | Ceiba           |
| Poblado                | Cabitas               | Quepos          | Hacienda/ finca        | Hacienda Mata de Guinea | San Juan grande |
| Poblado                | Cerritos              | Quepos          | Hacienda/ finca        | Finca Trinidad Nueva    | Ceiba           |
| Hacienda/ finca        | Finca Cerros          | Quepos          | Poblado                | Machuca                 | Ceiba           |
| Poblado                | Cerros                | Quepos          | Poblado                | Jes​s Mar​a             | San Juan grande |
| Poblado                | Cerros                | Quepos          | Sitio                  | Sitio Palmichal         | Esp​ritu Santo  |
| Poblado                | Gallega               | Quepos          | Poblado                | Gregg                   | Esp​ritu Santo  |
| Hacienda/ finca        | Finca Pirris          | Quepos          | Sitio                  | Sitio Junta             | Barranca        |
| Poblado                | San Rafael            | Quepos          | Hacienda/ finca        | Finca San Manuel        | Pitahaya        |
| Poblado                | San Rafael            | Quepos          | Poblado                | Barbudal                | Miramar         |

**Fuente:** elaborado a partir de poblados del SNIT a escala 1:5 000 y modelo de interacci​n.

## Conclusiones

La realización de esta investigación pone en evidencia los factores que se relacionan directamente con la determinación del hábitat potencial del cocodrilo, tales como: la altitud menor a los 700 msnm, la presencia de áreas de manglar, de ríos caudalosos y anchos, y playones, así como de áreas de inundación. Estos factores se convierten en variables que demarcan su localización espacial dentro de un territorio.

Con respecto a las condiciones socio ambientales en el Pacífico Central, durante los últimos años, han transformado el mosaico paisajístico en las partes más planas a una matriz más dominante por las actividades agropecuarias. Lo anterior sumado al acrecentamiento de la población humana, ha inducido la ocupación de nuevos espacios para las actividades antrópicas y el establecimiento de infraestructura en áreas consideradas óptimas para el cocodrilo, lo cual ha incrementado la interacción entre ambas especies, tal como se reflejó en las Zonas de interacción entre el ser humano y el cocodrilo abordados en este estudio.

Lo anterior es un proceso que debe de considerarse fundamental en la definición de estrategias, acciones y propuestas que deben ser promovidas desde el ordenamiento territorial en el Pacífico Central, las cuales son insuficientes o carecen de una aplicación óptima que garantice la protección del hábitat potencial del *Crocodylus acutus*, por lo que es fundamental incrementar actividades de planificación y ordenamiento territorial a nivel local, en conjunto con las instituciones asociadas al tema y de esa manera garantizar el desarrollo de las actividades antrópicas en las zonas que se consideran no aptas para la presencia del cocodrilo, con el fin de reducir la interacción entre el ser humano y la especie.

Lo antepuesto tiene que estar relacionado con estrategias de educación y sensibilización, los resultados obtenidos reflejan la necesidad de establecer programas de educación ambiental en las comunidades cercanas al hábitat potencial o áreas de transición entre hábitats, con el fin de dar a conocer las condiciones biológicas de la especie, donde se considere su importancia a nivel ecosistémica y factores que afectan su hábitat aumentando la interacción entre el ser humano y el cocodrilo. Así como delimitar las áreas de accesibilidad por parte de las actividades turísticas, ya que constituyen una interacción directa con la especie, donde se generan imprudencias como ofrecer alimento, generando en ocasiones interacciones negativas. Y finalmente, sería importante para futuras investigaciones complementar este tipo de trabajo de forma multidisciplinaria,

donde se logre incorporar y desarrollar el componente biológico, en asociación con las características geográficas que conforman su entorno natural.

## Bibliografía

Andrade, A. (2013). Recomendaciones sobre la presencia del cocodrilo de río: *Crocodylus acutus* en cuerpos de agua del Campo de Golf “El Tigre” Nuevo Vallarta, Nayarit, Dirección estatal de Protección Civil y Bomberos División Fauna Silvestre, México.

Ambrosio, G., González, J. y Arévalo, V. (s.f.). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Málaga.

Astorga, Y. (s.f.). “Situación del recurso hídrico”, Décimo cuarto informe de la nación en desarrollo humano sostenible, CONARE, Costa Rica.

Bolaños, J., Sánchez, J. y Piedra, L. (1995). “Inventario y estructura poblacional de crocodílidos en tres zonas de Costa Rica. Laboratorio de Manglares, Área de Ecología y Manejo de Recursos Costeros”, Rev. BioL Trop., 44(3)/45(1):283-287, 1996-1997, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Bolaños, J. (2012). “Manejo de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en estanques de cultivo de tilapia en Cañas, Guanacaste”, Revista de Ciencias Ambientales 43(1):6372. EISSN: 2215-3896.

——— (2011). Propuesta plan de contingencia en el manejo de la población de cocodrilos del Gran Humedal del Tempisque (GHT), Asociación de Especialistas en Crocodílidos, Centroamérica, San José, Costa Rica.

——— (2002). Reflexiones acerca del conflicto entre el hombre (*Homo sapiens*) y el cocodrilo (*Crocodylus acutus*), Asociación de Especialistas en Crocodílidos, Centroamérica, San José, Costa Rica.

Cortijo, M. (s.f.). El cocodrilo de tumbres, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Perú. Recuperado de <<http://hdl.handle.net/10757/345938>>.

ESRI (2016). ArcGis (Spatial Analysis. Hydrology), EE.UU. Recuperado el 25 de abril del 2017 en la web:

<<http://resources.arcgis.com/search/?do=search&start=0&lg=en&product=&version=&collection=&subject=&q=hydrology>>

——— (2015). Comprender el análisis de distancia euclidiana, EE.UU. Recuperado el 20 de octubre del 2016 en la web:

<<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analysttoolbox/understanding-euclidean-distance-analysis.htm>>.

Estado de la Nación. (2008). “La zona marino-costera”, Decimocuarto informe estado de la nación en desarrollo humano sostenible, CONARE, Costa Rica.

Fierro, J. (2010). Análisis estadístico univariado, bivariado y variables control, Universidad de Chile, Chile.

IMN (s.f.). Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica, San José, Costa Rica.

García, J. y Buenrostro, A. (2015). Áreas de interacción entre humanos y cocodrilos (*Crocodylus acutus* Cuvier) en Chacahua, Oaxaca, México —Areas of Interaction Between Humans and Crocodiles (*Crocodylus acutus* Cuvier) in Chacahua, Oaxaca—, Editorial del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México.

Magaña, F., Delgado, A., Núñez, C., Campos, E. y Pecero, L. (2010). Ataques de cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*) en Puerto Vallarta, Jalisco, México: presentación de cinco casos, Universidad de Guadalajara, México.

Morera, C. y Sandoval, L. (2015). Evaluación de los procesos de conectividad/fragmentación en Costa Rica en el año 2000, Escuela de Ciencias Geográficas, UNA, Heredia, Costa Rica.

Ramírez, M., Jiménez, M. y Martínez, A. (2005). “Estructura y densidad de la red de caminos en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca”, Investigaciones Geográficas, Boletín (57):68-80, Instituto de Geografía, UNAM.

Sánchez, J. (2001). Estado de la población de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. INBIO, Heredia, Costa Rica.

Sandoval, L., Morera, C. y Sandoval, I. (2019). Fragmentación del hábitat del Cocodrilo Americano (*Crocodylus acutus*: Reptilia: Crocodylidae) por actividades humanas en el Pacífico Central, de Costa Rica. Capítulo de libro. Paisaje y corredores en Costa Rica. Artículo en preparación.

Sandoval, I. (comunicación personal, 3 de noviembre, 2016). Distribución del cocodrilo durante la época lluviosa, Heredia, Heredia, Costa Rica.

Sandoval, I. y Bolaños, J. (2016). Análisis del Hábitat del Cocodrilo —*Crocodylus acutus*— (Reptilia: Crocodylidae) en el Gran Humedal del Tempisque Guanacaste y la vertiente del Pacífico Central de Costa Rica, Costa Rica, San José.

SINAC (2014). Sistema Nacional de Áreas de Conservación, San José, Costa Rica.

Submitted, T., Fulfillment, P., and Kong, H. (2010). Application of Urban Climatic Map to Urban Planning of High Density Cities - A Case Study of Hong Kong, China.

Santillán, R. (2013). Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la elaboración de modelos zoogeográficos: un estudio de caso, tesis de maestría en Geomática, con mención en ordenamiento territorial, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.



## Capítulo 8. Hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*: reptilia: Crocodylidae) e identificación de áreas de interacción con humanos en Costa Rica.

South American Journal of Herpetology, En Revisión (revisiones menores).

Iván Sandoval Hernández <sup>1 y 3</sup>, Mahmood Sasa Marín <sup>2</sup>, Juan S. Monrós González <sup>3</sup>, Juan R. Bolaños Montero <sup>4</sup>, Juan Sánchez Ramírez <sup>4</sup>

1. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

2. Instituto Clodomiro Picado, Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.

3. Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva, Universitat de València.

4. Asociación de Profesionales en Crocodylidos (ASOPROCROC).

**Resumen:** Se sabe que los cocodrilos son un grupo que interactúa intensamente con los humanos. Los conflictos se observan cuando ambas especies comparten el hábitat lo cual está documentado en todo el mundo. En Costa Rica, este conflicto se ha detectado en zonas que presentan actividades humanas. Por esta razón, identificamos el hábitat potencial del cocodrilo, además identificamos las áreas de interacción con humanos en las costas del Pacífico, Caribe y la Zona Norte de Costa Rica. Este trabajo se realizó durante 2019 y 2020 en ambas regiones, y la determinación del hábitat potencial de los cocodrilos se realizó mediante el análisis de la altitud, topografía, red de drenaje, áreas de inundación, áreas de manglares y ríos y sus desembocaduras. Para identificar áreas de interacciones entre humanos y cocodrilos, se utilizó un mapa del hábitat potencial y se analizó la alteración del hábitat (densidad de carreteras, densidad de población y densidad de población). La relación entre especies se estableció para predecir puntos críticos de interacción entre humanos y cocodrilos. Los hábitats con alto potencial para cocodrilos en la vertiente del Pacífico corresponden al 18% del área de estudio, el hábitat de potencial medio (54%). Dentro del Pacífico Central hay pocas áreas de elevada altitud o con un evado índice de urbanismo, estos son hábitats de bajo potencial y representan el 27% (del área de estudio). En el Pacífico Central, los hábitats de potencial alto y medio juntos representan el 72% (del área estudiada). En la vertiente del Caribe, el hábitat potencial alto se identificó en áreas más cercanas a la costa principalmente en el Caribe Norte y Central (29% del área de estudio), mientras que el 66% del área se etiquetó como hábitat de potencial medio. En la zona norte, la mayor parte del hábitat se identificó como de potencial medio, habiendo solo pequeños fragmentos reconocidos como hábitat potencial alto. En la Zona Norte y la Zona del Caribe, las áreas de mayor altitud con algún desarrollo territorial fueron identificadas como hábitat de bajo potencial (4%). Es importante destacar que el 96% del área de la vertiente del Caribe y la Zona Norte se identificaron como hábitat de alto o mediano potencial.

**Palabras clave:** Actividades humanas; Conflicto humano-cocodrilo; Pérdida de hábitat; Urbanismo.

**Abstract:** The crocodylians are known to be a group that interacts substantially with humans. Conflicts are observed when both species share a habitat and are documented worldwide. In Costa Rica, this conflict has been detected along with increases in human activities. For this reason, we undertook identification of the potential habitats of crocodiles along with identification of the areas of interaction with humans in the Pacific and Caribbean coasts and the Northern Zone of Costa Rica. This work was performed during 2019 and 2020 in both regions, and determination of the potential habitat of crocodiles was made through analysis of the altitude, topography, drainage net, flooding areas, mangrove areas, and rivers and their outlets. To identify areas of human-crocodile interactions, a map of the potential habitat was used and alterations to those habitats were analyzed (e.g., road density, population density and the density of the populated core). The relationship between species was established to predict interaction hotspots between humans and crocodiles. The habitats with high potential for crocodiles in the Pacific slope correspond to 18% of the study area, and the medium potential habitat to 54%. Within the Central Pacific there are few areas at higher altitudes or with a large index of urbanism, this low potential habitats represent 27% (of study area). In the Central Pacific, the high and medium potential habitats together represent 72% (of studied area). On the Caribbean slope, the high potential habitat was identified in areas closer to the coast mainly in the North and Central Caribbean (corresponding to 29% of area of study), while 66% of the area of study was labeled as medium potential habitat. In the Northern area, most of the habitat was identified as medium potential, there being only small fragments recognized as high potential habitat. In the Northern Zone and Caribbean Zone, the areas at higher altitude with some land development were identified as low potential habitat (4%). Importantly, 96% of the area of the Caribbean slope and the Northern Zone were identified as high or medium potential habitat.

**Keywords:** Habitat loss; Human activities; Human-crocodile conflict; Urbanism.

## Introducción

El orden Crocodylia está compuesto por 23 especies distribuidas en las zonas tropicales y subtropicales. Entre estas especies, 13 pertenecen a la familia Crocodylidae, ocho a la familia Alligatoridae y dos a la familia Gavialidae (Ross, 1998; Leenders, 2019). En el continente americano, el género *Crocodylus* está representado por cuatro especies: *Crocodylus acutus* [Cuvier, 1807], *C. moreletii* [Duméril & Bibron, 1851], *C. intermedius* [Graves, 1819] y *C. rhombifer* [Cuvier, 1807] (Crocodylia: Crocodylidae) (Franz, et al ., 1985; Ray et al., 2004). *C. acutus* está ampliamente distribuida en las regiones costeras del continente (Kushlan y Mazzotti, 1989; Thorbjarnarson, 1989), desde la parte sur de los Estados Unidos (Florida) hasta la zona norte de América del Sur (Colombia y Venezuela) en la vertiente del Mar Caribe, y desde Sinaloa en México hasta Tumbes en Perú en la vertiente del Océano Pacífico; su distribución también llega a las islas de las Antillas Mayores en el Mar Caribe (Thorbjarnarson, 1989). Esta especie habita

comúnmente en ríos, lagos y pantanos de agua dulce o salada (Ross, 1998; Leenders, 2001; Salvaje, 2002).

En Costa Rica, *C. acutus* se encuentra a lo largo de ambas costas, así como tierra adentro, con poblaciones concentradas en el Pacífico. A pesar de la prevalencia de esta especie, no hay muchas investigaciones que identifiquen el hábitat del cocodrilo para todo el país y los que existen se concentran únicamente en el Pacífico Central. Para los cocodrilos la única información que se presenta es que habitan ríos, lagos, pantanos, estuarios y manglares, todos en elevaciones inferiores a 700 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), además de habitar también en las aguas costeras (Bolaños et al., 1995; Porras 2004., Sandoval et al., 2020; Porras et al., 2020).

Woodroffe et al., (2005) han observado que los conflictos entre humanos y la vida silvestre son un problema creciente en todo el mundo, señalando que los crocodílidos son uno de los principales grupos involucrados (Lamarque et al., 2009; Amarasinghe et al., 2015). De hecho, los cocodrilos se caracterizan por ser un grupo involucrado en un gran número de interacciones con humanos en todo el mundo, ya que humanos y crocodílidos a menudo comparten hábitats (Vanwersch, 1998; Ferguson, 2004; McGregor, 2005; Woodroffe et al., 2005; Langley, 2005; Caldicott, 2005; Aust et al., 2009; Lamarque et al., 2009; Amarasinghe et al., 2015; Pooley, 2017, Pooley et al., 2021), y los conflictos puede ocurrir incluso cuando los humanos generan cambios en el hábitat que resultan en una reducción en el tamaño de las poblaciones de cocodrilos (Mazzotti et al., 2007; Murray et al., 2015).

En Costa Rica, a principios de la década de 1990, el número de cocodrilos aumentó junto con un aumento en los ataques contra los humanos. Estos incidentes se han asociado con el aumento de las interacciones entre humanos y cocodrilos, probablemente debido a que los humanos están ingresando a los hábitats de los cocodrilos (Bolaños, 2012). Sandoval et al., (2019) y Sandoval et al., (2020) han realizado análisis del hábitat del cocodrilo en el Pacífico Central del país, después de encontrar que en los últimos años se ha detectado incremento de actividades humanas en zonas que se identifican como óptimas para la presencia de cocodrilos.

En la región del Pacífico de Costa Rica, las interacciones entre humanos y cocodrilos en áreas donde se realizan una amplia variedad de actividades antrópicas (Porras, 2007; Morales, 2013; Orozco, 2015; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; Sandoval et al., 2020; Porras et al., 2020) a esto se le debe sumar que las poblaciones de

cocodrilos se han recuperado satisfactoriamente en sus zonas de distribución original en Costa Rica (Sánchez, 2001; Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b; Orozco, 2015; Sandoval et al., 2017). *C. acutus* abundante en zonas con alto grado de urbanización, presentando un patrón de convivencia con las poblaciones humanas debido a la reducción de los hábitats naturales y al crecimiento de las poblaciones humanas, en muchos casos estas zonas presentan importantes actividades turísticas (King et al., 1990; Sánchez et al., 1996; Bolaños et al., 1997; Sánchez, 2001, Escobedo-Galván, 2008; Barrantes, 2010; Bolaños, 2011; Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Orozco, 2015).

Además de la protección que les brinda la ley en Costa Rica, al ser el cocodrilo una especie oportunista que se puede beneficiar del crecimiento demográfico humano, el avance de la frontera agrícola y la presión urbana, podría estar encontrando para su alimentación, presas de fácil captura, tales como animales domésticos en zonas con alta presencia de poblados, lo que podría estar disminuyendo la presión de competencia intra e inter específica en los diferentes hábitat de su distribución (Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Carrillo, 2013; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; Sandoval et al., 2020).

La invasión progresiva de los humanos en diversos ambientes podría estar generando mayores conflictos entre humanos y cocodrilos a medida que los humanos cambian las condiciones de esos ambientes habitados por cocodrilos, afectando a su vez el comportamiento de estos animales (Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b; Valdelomar et al., 2011; Morales, 2013; Peraza, 2015; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019). Debido a lo anterior, realizamos una identificación del hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*: Reptilia: Crocodylidae), así como una identificación de áreas de interacción con humanos en la costa Pacífica y Caribe y zona norte de Costa Rica.

## Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó durante los años 2019 y 2020 en las vertientes y zonas reconocidas por la literatura por ser áreas de distribución de cocodrilos en Costa Rica. Para la determinación del hábitat potencial de este reptil, se analizó la altitud, topografía, red de drenaje, áreas de inundación, áreas de manglar, ríos y sus desembocaduras y el uso del suelo como en Sandoval et al., (2019) y Sandoval et al., (2020):

### **Altitud**

Se generó un modelo digital de elevación (MDE) a partir de la capa vectorial de curvas a escala 1: 50.000 de las hojas topográficas del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (Ortiz 2014). posteriormente realizamos un proceso de interpolación para la obtención del MDE con la herramienta de interpolation / topo to raster (ArcGis), el cual está basado en el programa ANUDEM (Hutchinson 1988 – 2011). El MDE se reclasificó para obtener los rangos de altitud, en los que se tendrían las condiciones topográficas óptimas para la presencia de la especie en ambas vertientes, además de la zona norte (en un rango de elevación comprendida 0 – 700 msnm) (King, Espinal, & Cerrato, 1990; Sánchez, Bolaños y Piedra, 1996; Bolaños, Sánchez y Piedra, 1997; Sánchez-Ramírez, 2001; Bolaños, 2011a; Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b; Orozco, 2015; Sandoval-Hernández, Durán-Apuy, & Quirós-Valerio, 2017; Sandoval et al., 2019; Sandoval et al., 2020. En el Caribe y la Zona Norte, trabajamos entre 0 – 200 m.s.n.m. porque es un área plana sin altitudes elevadas. Para el análisis del paisaje, fue necesario reclasificar esta variable en categorías basado en la probabilidad de encuentro cocodrilos, y se establecieron las siguientes clases: 0 – 233 m.s.n.m. (alto), 234 – 466 m.s.n.m. (medio) y 467 – 700 m.s.n.m. (bajo) para la costa del Pacífico; 0 – 87.1 m.s.n.m. y 87.2 – 200 m.s.n.m. para la costa Caribe y la Zona Norte (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación digital del modelo de elevación para los hábitats potenciales del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021

| <i>Altitud caribeña</i>     |            |          |           |
|-----------------------------|------------|----------|-----------|
| Clasifi_mdt                 | Weight_mdt | mdt_norm | Categoría |
| 10 – 87.1                   | 3          | 1        | Alto      |
| 87.2 – 200                  | 2          | 0.666667 | Medio     |
| <i>Altitud del Pacífico</i> |            |          |           |
| Clasifi_mdt                 | Weigh_mdt  | mdt_norm | Categoría |
| 1 – 233 msnm                | 3          | 1        | Alto      |
| 234 – 466 msnm              | 2          | 0.666667 | Medio     |
| 469 – 600 msnm              | 1          | 0.333337 | Bajo      |

### **Red de drenaje**

Esto se calculó para el área de estudio utilizando la capa vectorial de los ríos a una escala de 1:50.000 en las hojas topográficas del IGN (Ortiz 2014). Posteriormente, se determinaron los sectores con mayor densidad de drenaje por km<sup>2</sup> en la zona de estudio utilizando la herramienta Density/Kernel. Posteriormente, se reclasificaron en tres categorías: bajo (con un rango entre 0,074 – 1,195), medio (1,196 – 1,861) y alto (1,862 – 3,053) (Tabla 2).

### **Áreas de inundación**

Utilizando la red de drenaje, se asignó el valor tres a los sitios susceptibles de inundación, y se asignó uno a las áreas no expuestas a este tipo de eventos en el área de estudio, según la base de datos de riesgo de inundación del Atlas de Costa Rica (Ortiz, 2014) (Tabla 2).

Tabla 2. Densidad de la red de drenaje (km<sup>2</sup>) y áreas de inundación de hábitats potenciales para el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021.

| <b>Caribe</b>                       |             |                      |
|-------------------------------------|-------------|----------------------|
| <b>Clasificación</b>                | <b>Peso</b> | <b>Normalización</b> |
| <b>0.074 – 1.195 baja densidad</b>  | 1           | 0.33                 |
| <b>1.196 – 1.861 densidad media</b> | 2           | 0.66                 |
| <b>1.862 – 3.053 alta densidad</b>  | 3           | 1                    |
| <b>Pacífico</b>                     |             |                      |
| <b>Clasificación</b>                | <b>Peso</b> | <b>Normalización</b> |
| <b>0.074 – 1.195 baja densidad</b>  | 1           | 0.33                 |
| <b>1.196 – 1.861 densidad media</b> | 2           | 0.66                 |
| <b>1.862 – 3.053 alta densidad</b>  | 3           | 1                    |
| <b>Zonas inundables</b>             |             |                      |
| <b>Clasificación</b>                | <b>Peso</b> | <b>Normalización</b> |
| <b>Sin propenso a inundaciones</b>  | 1           | 0.33                 |
| <b>Propenso a inundaciones</b>      | 3           | 1                    |

### **Delimitación de áreas de bosque, manglar, ríos y sus desembocaduras.**

Para realizar la delimitación de áreas con cobertura de bosque, cuerpos de agua, manglares y vegetación inundada, se utilizaron imágenes satelitales rapid eye (años 2000 y 2015) a una escala de 1:25.000, seguido de fotointerpretación utilizando las herramientas de edición del software ArcGIS 10.5.

### **Clasificación de las categorías de uso del suelo**

La capa de uso del suelo se compone de las varias categorías de bosques: en baja pendiente, manglares, vegetación inundada, cuerpos de agua. Se les asignó un peso de acuerdo con las condiciones óptimas para la presencia de cocodrilos. Las coberturas de manglar y la vegetación inundada recibieron una ponderación mayor. Estas capas de uso del suelo se utilizaron en la elaboración de un modelo del hábitat potencial para los cocodrilos, mientras que las categorías pasto, cultivos y urbano tienen ponderaciones menores en el mapa de alteración del hábitat del cocodrilo (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación del uso de categorías de tierras para el hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021.

| Clasificación               | Peso | Normalización | Categoría |
|-----------------------------|------|---------------|-----------|
| Bosque de alto descenso     | 1    | 0.33          | Alto      |
| Bosque de baja descendencia | 3    | 1             | Alto      |
| Mangle                      | 3    | 1             | Alto      |
| Vegetación inundada         | 3    | 1             | Alto      |
| Pasto de baja descendencia  | 2    | 0.66          | Medio     |
| Pastura de alto descenso    | 1    | 0.33          | Bajo      |
| Agricultura                 | 1    | 0.33          | Bajo      |
| Urbano                      | 1    | 0.33          | Bajo      |

### Clasificación del hábitat potencial

Con la clasificación realizada, se utilizó en ArcGis 10.5 la sumatoria de las variables utilizando los pesos normalizados de cada una, con la calculadora de campo, se sumaron y dividieron sus valores entre el total de las variables y luego fueron clasificados en tres grupos por medio de una jerarquía igualitaria entre valores, para obtener el hábitat potencial del cocodrilo, según categorías (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación del hábitat potencial para el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021.

| IDENTIFICACIÓN | Rango de suma | Categorías |
|----------------|---------------|------------|
| 1              | 1 – 1.5       | Bajo       |
| 2              | 1.51- 2.24    | Medio      |
| 3              | 2.25 – 3      | Alto       |

### Identificación de las actividades humanas en el hábitat del cocodrilo (posible alteración del hábitat).

Para la identificación de la alteración de hábitat, se analizó elementos socioambientales (densidad de las vías de comunicación, densidad de poblados, cantidad de población por distrito, coberturas de uso de la tierra (asentamientos, cultivos y pastos)). Además, para la estimación del grado de alteración del medio consideramos elementos como el comportamiento en el tiempo de las diferentes coberturas de uso de la tierra entre los años 2000, 2015, así como la inclusión de índices de paisaje para determinar el grado de fragmentación del hábitat del cocodrilo.

### Uso del suelo

Se utilizó imágenes satelitales LandSat con una resolución espacial de 30 metros, para los años 2000 y 2015. Adicionalmente aplicamos una corrección radiométrica y atmosférica según Martínez et al. (2004). El procesamiento de las imágenes Landsat, se consideró en dos etapas: la primera se centró en la identificación de las coberturas (áreas

urbanas, cuerpos de agua, cultivos y manglares), las cuales fueron delimitadas por medio de fotointerpretación, en la segunda etapa se tomaron las muestras en la imagen de cada firma espectral de las coberturas faltantes por clasificar (bosques en pendiente alta, bosque en pendiente baja, pastos en pendiente alta y pasto en pendiente baja), según Morera y Sandoval, (2014) (Tabla 5).

Tabla 5. Definición del uso de categorías de tierras para el hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021.

| <b>Categoría</b>                   | <b>Descripción</b>   |
|------------------------------------|--|
| <b>Bosque de alto descenso</b>     | Cubierta vegetal dominada por árboles con copas anchas, casi continuas, en descensos superiores al 30%.  |
| <b>Bosque de baja descendencia</b> | Cubierta vegetal con la presencia de árboles y arbustos creando copas menos continuas. Estas zonas se están regenerando y descienden por debajo del 30%. |
| <b>Pastura de alto descenso</b>    | Supresión del bosque por perturbaciones humanas y sustitución con pasto por ganadería intensiva, en descensos superiores al 30%                          |
| <b>Pasto de baja descendencia</b>  | Supresión del bosque por perturbaciones humanas y sustitución con pasto por ganadería intensiva, en descensos inferiores al 30%                          |
| <b>Mangle</b>                      | Los bosques pantanosos ocupan espacios con alta sedimentación donde el hábitat marino se mezcla con el hábitat terrestre.                                |
| <b>Vegetación inundada</b>         | Cubierta vegetal que permanece bajo el agua la mayor parte del año.  |
| <b>Masas de agua</b>               | Áreas con lagos, lagunas y cursos de agua (ríos principales y sus afluentes).  |
| <b>Agricultura</b>                 | Áreas que se cultivan permanentemente.   |
| <b>Asentamientos humanos</b>       | Representada por la dispersión de la ocupación urbano-residencial, acompañada de servicios públicos, institucionales, industriales y comerciales         |

Fuente: Adaptado de Morera y Sandoval, 2016.

### **Evaluación de la estructura del paisaje**

Se utilizó la herramienta Patch analysis, del programa ArcGis 10.5, seleccionando los siguientes índices de paisaje: a) Superficie: es el área de cada cobertura en hectáreas, b) Número de fragmentos: es el número total de fragmentos de cada categoría, c) Tamaño medio de los fragmentos: es la suma de las áreas de cada cobertura dividido entre el

número de fragmentos, d) Desviación estándar de los fragmentos: es una medida de dispersión del tamaño de los fragmentos, según cada cobertura. Para establecer el cambio de coberturas de uso del suelo, realizamos una suma algebraica de mapas para el uso de la tierra del año 2000 y el año 2015, a partir de la interpretación de la matriz (Tabla 6\*), permitiendo identificar las áreas que presentaron cambios de cobertura de uso de la tierra en el hábitat potencial del cocodrilo.

Tabla 6. Evaluación de la estructura paisajística del hábitat potencial para el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021.

| <b>PACÍFICO</b>             |   |                         |                             |                |             |        |                          |                            |        |                     |       |
|-----------------------------|---|-------------------------|-----------------------------|----------------|-------------|--------|--------------------------|----------------------------|--------|---------------------|-------|
| Categorías, año 2015        |   |                         |                             |                |             |        |                          |                            |        |                     |       |
|                             |   | Bosque de alto descenso | Bosque de baja descendencia | Cuerpo de agua | Agricultura | Mangle | Pastura de alto descenso | Pasto de baja descendencia | Urbano | Vegetación inundada | Nubes |
| Peso                        |   | 100                     | 200                         | 300            | 400         | 500    | 600                      | 700                        | 800    | 900                 | 1000  |
| Uso año 2000                |   |                         |                             |                |             |        |                          |                            |        |                     |       |
| Pacífico                    |   |                         |                             |                |             |        |                          |                            |        |                     |       |
| Bosque de alto descenso     | 1 | 101                     | 201                         | 301            | 401         | 501    | 601                      | 701                        | 801    | 901                 | 1001  |
| Bosque de baja descendencia | 2 | 102                     | 202                         | 302            | 402         | 502    | 602                      | 702                        | 802    | 902                 | 1002  |
| Cuerpo de agua              | 3 | 103                     | 203                         | 303            | 403         | 503    | 603                      | 703                        | 803    | 903                 | 1003  |
| Agricultura                 | 4 | 104                     | 204                         | 304            | 404         | 504    | 604                      | 704                        | 804    | 904                 | 1004  |
| Mangle                      | 5 | 105                     | 205                         | 305            | 405         | 505    | 605                      | 705                        | 805    | 905                 | 1005  |
| Pastura de alto descenso    | 6 | 106                     | 206                         | 306            | 406         | 506    | 606                      | 706                        | 806    | 906                 | 1006  |
| Pasto de baja descendencia  | 7 | 107                     | 207                         | 307            | 407         | 507    | 607                      | 707                        | 807    | 907                 | 1007  |
| Urbano                      | 8 | 108                     | 208                         | 308            | 408         | 508    | 608                      | 708                        | 808    | 908                 | 1008  |
| Vegetación inundada         | 9 | 109                     | 209                         | 309            | 409         | 509    | 609                      | 709                        | 809    | 909                 | 1009  |

|       |   |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
|-------|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| Nubes | 1 | 0 | 110 | 210 | 310 | 410 | 510 | 610 | 710 | 810 | 910 | 10 | 10 |
|-------|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|

## CARIBE

|                             |   | Bosque de alto descenso | Bosque de baja descendencia | Cuerpo de agua | Agricultura | Pastura de alto descenso | Pasto de baja descendencia | Urbano | Vegetación inundada |  |
|-----------------------------|---|-------------------------|-----------------------------|----------------|-------------|--------------------------|----------------------------|--------|---------------------|--|
| Peso                        |   | 10                      | 20                          | 30             | 40          | 50                       | 60                         | 70     | 80                  |  |
| Uso, año 2000               |   |                         |                             |                |             |                          |                            |        |                     |  |
| Bosque de alto descenso     | 1 | 11                      | 21                          | 31             | 41          | 51                       | 61                         | 71     | 81                  |  |
| Bosque de baja descendencia | 2 | 12                      | 22                          | 32             | 42          | 52                       | 62                         | 72     | 82                  |  |
| Cuerpo de agua              | 3 | 13                      | 23                          | 33             | 43          | 53                       | 63                         | 73     | 83                  |  |
| Agricultura                 | 4 | 14                      | 24                          | 34             | 44          | 54                       | 64                         | 74     | 84                  |  |
| Pastura de alto descenso    | 5 | 15                      | 25                          | 35             | 45          | 55                       | 65                         | 75     | 85                  |  |
| Pasto de baja descendencia  | 6 | 16                      | 26                          | 36             | 46          | 56                       | 66                         | 76     | 86                  |  |
| Urbano                      | 7 | 17                      | 27                          | 37             | 47          | 57                       | 67                         | 77     | 87                  |  |
| Vegetación inundada         | 8 | 18                      | 28                          | 38             | 48          | 58                       | 68                         | 78     | 88                  |  |
| Nubes                       | 9 | 19                      | 29                          | 39             | 49          | 59                       | 69                         | 79     | 89                  |  |

Sin cambios

Cambio

## **Densidad de la red vial e incidentes de cocodrilos atendidos por el departamento de bomberos de Costa Rica**

Con respecto a la densidad de la red vial, se usó la metodología implementada por Ramírez, Jiménez y Martínez (2005), definiendo como el promedio de la longitud total de caminos por unidad de área (km/km<sup>2</sup>) con la extensión Density > Line Density, determinamos la densidad de caminos en las áreas cercanas al hábitat del cocodrilo y su posterior relación con la incidencia de atención de incidentes de cocodrilianos por parte del Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. Siendo así, la clasificación de la red de caminos en densidades funciona como un indicador para la alteración del hábitat de la especie (Tabla 7).

Tabla 7. Densidad de la red vial del hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021.

| Clasificación | Peso | Normalización | Categoría |
|---------------|------|---------------|-----------|
| 0 – 0.77      | 1    | 0.33          | Bajo      |
| 0.78 – 1.55   | 2    | 0.66          | Medio     |
| 1.56 – 2.33   | 3    | 1             | Alto      |

## **Tamaño y densidad de población por distrito**

El total de población humana de cada distrito se analizó para los periodos establecidos (2011- 2025). Adquirimos esta información en el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) correspondiente al censo realizado en el año 2011 y las proyecciones para los años 2017 y 2025. utilizamos la aplicación de distancia

euclidiana proporcionando la distancia desde cada celda en el ráster hasta el origen más cercano, ésta se utiliza con frecuencia como una herramienta para crear una capa de adecuación, donde se necesitan datos que representan la distancia desde un objeto determinado (ESRI, 2015) (Tablas 8 y 9).

Tabla 8. Densidad de población del hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021.

| Clasificación | Peso | Normalización | Categoría |
|---------------|------|---------------|-----------|
| 0 – 0.1       | 1    | 0.33          | Bajo      |
| 0.11 – 0.25   | 2    | 0.66          | Medio     |
| 0.26 – 0.4    | 3    | 1             | Alto      |

Tabla 9. Cantidad de población por distrito para el hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021.

| Clasificación    | Peso | Normalización | Categoría |
|------------------|------|---------------|-----------|
| 635 – 2997       | 1    | 0.33          | Bajo      |
| 2997.1 – 7741    | 2    | 0.66          | Medio     |
| Alcalde a 7741.1 | 3    | 1             | Alto      |

**Concentración de actividades humanas (mencionada anteriormente).**

Se realizó el mismo procedimiento utilizado en la generación del hábitat potencial (Tabla 10).

Tabla 10. Concentración de actividades humanas en el hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021.

| IDENTIFICACIÓN | Rango de suma | Categorías |
|----------------|---------------|------------|
| 1              | 1 – 1.5       | Bajo       |
| 2              | 1.51 – 2.24   | Medio      |
| 3              | 2.25 – 3      | Alto       |

### **Zonas de interacción humano-cocodrilo**

Con el mapa de hábitat potencial (topografía, red de drenaje y coberturas de uso de la tierra) y el mapa de la alteración del hábitat (la densidad de caminos, densidad de población y la distancia a centros poblados), se estableció la relación entre ambos para detectar zonas de interacción entre el ser humano y cocodrilianos (Tabla 11).

Tabla 11. Zonas de interacción humano-cocodrilo en Costa Rica, 2021.

| Hábitat potencial      |      |               |
|------------------------|------|---------------|
| Clasificación          | Peso | Normalización |
| Alto                   | 3    | 1             |
| Medio                  | 2    | 0.66          |
| Bajo                   | 1    | 0.33          |
| Alteración del hábitat |      |               |
| Clasificación          | Peso | Normalización |
| Alto                   | 3    | 1             |
| Medio                  | 2    | 0.66          |
| Bajo                   | 1    | 0.33          |

**Clasificación de variables para la determinación de las zonas de interacción entre el cocodrilo y el ser humano.**

La creación de la capa de las zonas de interacción entre el cocodrilo y el ser humano se realizó con el mismo procedimiento en la generación del hábitat potencial (Tabla 12).

Tabla 12. Áreas de interacción entre cocodrilos y humanos en el hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) Costa Rica, 2021.

| IDENTIFICACIÓN | Rango de suma  | Categorías |
|----------------|----------------|------------|
| 1              | 0.33 – 0.495   | Alto       |
| 2              | 0.4951 – 0.665 | Medio      |
| 3              | 0.6651- 1      | Bajo       |

## **Registro de incidentes de cocodrilos**

En el análisis se utilizó la base de datos de incidentes con cocodrilos atendidos por el cuerpo nacional de bomberos (2017)

### **Proceso de clasificación de valores, asignación de pesos y normalización de cada variable.**

Con las variables de altitud, red de drenaje, áreas de manglar, áreas de inundación, coberturas de uso de la tierra, densidad de caminos, densidad de población y densidad de poblados, estandarizamos y se normalizaron los pesos asignados a cada variable mediante el método de máximo de lista (Sandoval et al., 2019; Sandoval et al., 2020), que se fundamenta en dividir el peso de cada registro asignado entre el valor máximo de los pesos por cada una de las categorías, obteniendo así un valor normalizado para cada registro, que oscila en un rango de 0 a 1 (Submitted, Fulfillment and Kong, 2010).

$$x'_i = x_i/x_{max} \quad (1) \text{ Normalización por máximo de lista.}$$

Con la normalización, se establecieron tres grupos de categorías por valor según los pesos normalizados asignados a cada variable y clasificados en tres rangos de alta, moderada y baja, una vez determinados los rangos se relacionaron por medio de una relación algebraica de mapas (suma), utilizando la media o promedio correspondiente a la suma de todas las puntuaciones de la variable dividida por el número total de casos, Fierro (2010). El hábitat potencial integra las variables altitud, red de drenaje, áreas de manglar,

áreas de inundación y coberturas de uso de la tierra. La alteración y pérdida del hábitat relaciona las variables afines: la densidad de caminos, densidad de población, la distancia a centros poblados y coberturas de uso de la tierra que generan alteración de hábitat

## Resultados

Determinamos que el hábitat potencial alto en la vertiente del Pacífico corresponde a un área de 317,743.3 hectáreas (18% del área total de estudio de la vertiente del Pacífico). Esto coincide la zona del Pacífico Norte y con el Gran Humedal del Tempisque en el Pacífico Central y con las zonas más cercanas a las ciudades de Puntarenas, Parrita, Quepos y Sierpe en el Pacífico Sur. Asimismo, algunas zonas insulares asociadas a los Humedales Sierpe-Térraba y áreas de la Península de Osa presentaron valores de hábitat potencial alto. El hábitat Potencial medio encontrado corresponde a 485,845.9 hectáreas (54% del total), está ampliamente identificado en el Pacífico Norte y Sur, el Pacífico Central presenta pocas áreas con hábitat potencial medio (sólo hacia el Sur de esta misma área, cercano a Barú, y Bahía Ballena), en las localidades un poco más altas o con altos índices de urbanismo, como Tárcoles, Jacó hay valores de hábitat Potencial bajo (27% del total del área estudiada). En la vertiente del Pacífico, el hábitat potencial alto y medio corresponde al 72% del área de estudio (632.715,2 hectáreas) (Figura 1).

Para la vertiente del Caribe, el hábitat Potencial alto se identificó en áreas cercanas a las zonas costeras principalmente en el Caribe Norte y Central (269,475.3 hectáreas, correspondientes al 29% del área total de estudio). Al ser esta vertiente bastante plana encontramos que cuenta con buenas condiciones para la presencia de cuerpos de agua e identificamos que el 66% del área de estudio fue identificada como hábitat Potencial medio (614,628.7 hectáreas), principalmente en las zonas bajas, como Siquirres, Bataan, La Rita, Cariari, en el Caribe (Figura 1).

Para la zona norte la mayoría del hábitat fue identificado como medio (por ejemplo, en Horquetas), sólo hay pequeños fragmentos cercanos a Caño negro identificado como hábitat potencial alto. Para ambas regiones (zona norte y Caribe) las zonas más altas y con alguna urbanización son identificadas como hábitat Potencial bajo con 35.114,7 ha (cerca de un 4% del total). Es importante resaltar que el 96% del área (884,104.0 hectáreas) de la vertiente del Caribe y la zona Norte fueron identificadas como hábitat potencial alto o medio.

Con respecto a la identificación de zonas de interacción entre el humano y el cocodrilo encontramos que en el Pacífico Norte las zonas de alta interacción fueron identificadas en las zonas de influencia del Río Tempisque, principalmente en áreas como Belén, Filadelfia, Ortega, Bolsón, además, en la Península en zonas cercanas a Nicoya, Quebrada Honda, Mansión y Santa Rita, en la zona continental las áreas de Cañas y Bebedero se identifican como zonas de alta interacción entre humanos y cocodrilos, lo mismo sucede en la zona

costera cercana a Chomes, Punta Morales, Santa Teresa y Malpaís . Las zonas de interacción medio en esta misma región norte se identificaron hacia la desembocadura del Río Tempisque, así como a las áreas cercanas a Quebrada Honda y Puerto Thiel. En el Pacífico Central, las zonas de Pitahaya, El Roble, Barranca, Labrador, Tárcoles, Jacó, Parrita y Quepos son identificadas como áreas con alta y media interacción entre humanos y cocodrilos. Para el Pacífico Sur, zonas cercanas a Palmar, Sierpe, Ciudad Cortés, y Puerto Jiménez tienen pequeñas áreas identificadas con zonas de alta y media interacción, en la zona continental hay zonas cercanas al río Térraba como Buenos Aires y Pilas presentan valores de interacción alta (Figura 2).

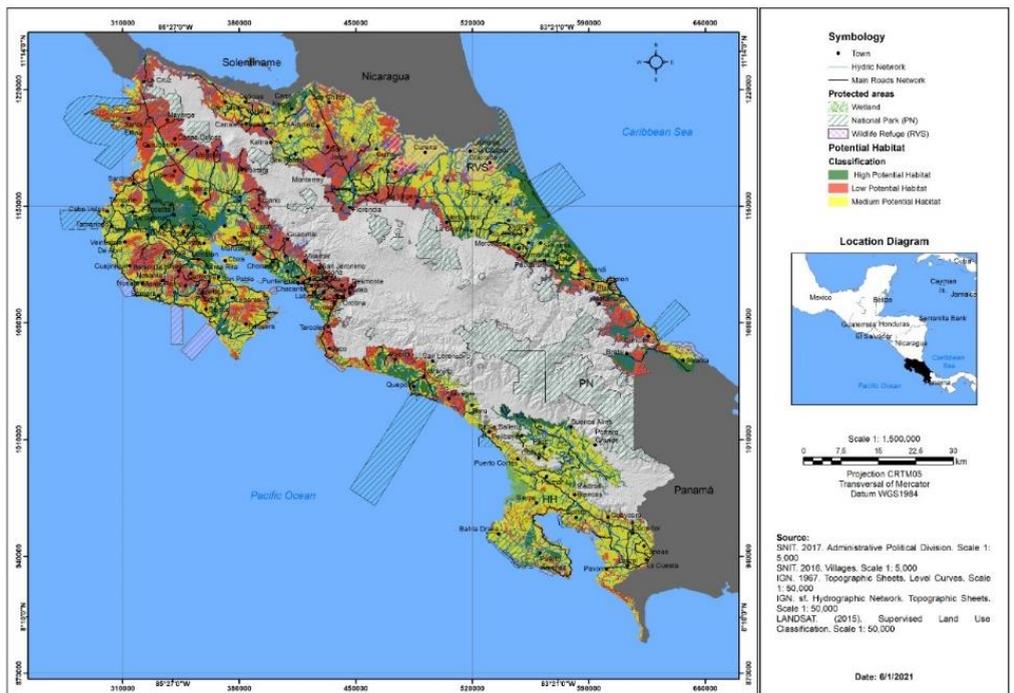


Figura 1. Hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021.

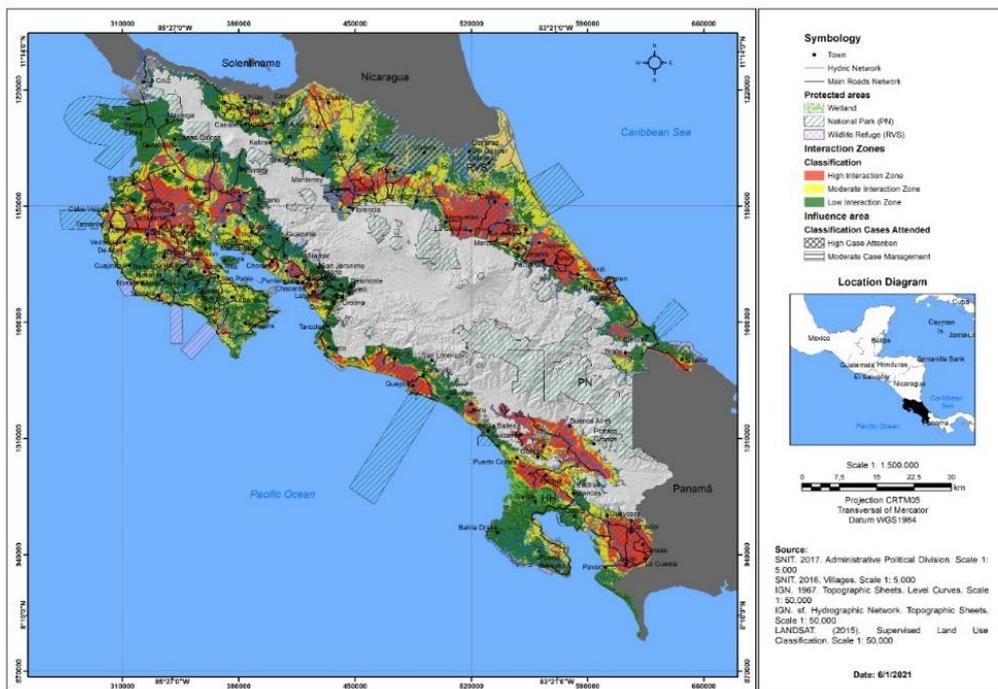


Figura 2. Áreas de interacción entre humanos y el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en Costa Rica, 2021.

En la Zona Norte se encuentran pocas zonas identificadas como de alta interacción, algunas de ellas pequeñas áreas cercanas a los Chiles, las zonas cercanas a Caño Negro, Aguas Zarcas, Florencia, Pital y Horquetas, las zonas de interacción media se identifican de la misma manera en Caño Negro. En la Vertiente del Caribe la mayoría de la zona costera es identificada como zona de interacción media (Barra del Colorado, Tortuguero, Parismina, Pacuare). En la zona costera del Caribe Sur si se identifican áreas de alta interacción hacia Matama y Cahuita. En la zona continental la situación varía en zonas con mayor

densidad urbana (Río Jiménez, Siquirres, Germania, Matina y Bataan), presentándose como áreas de interacción alta (figura 2).

## Discusión

Las áreas identificadas como hábitat potencial alto y medio en el Pacífico coinciden en el Norte con el Gran Humedal del Tempisque, área que ha sido reconocida por presentar una de las poblaciones más importantes de cocodrilos de Costa Rica (Sánchez, 2001; Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b; Valdelomar et al., 2012; Orozco, 2015; Murray et al., 2015; Peraza, 2015; Sandoval et al., 2017). Esta área también abarca una alta densidad de humedales y áreas favorables para los cocodrilos y sus presas (Menacho, 2001; Ramírez, 2008). En el Pacífico Central y Sur, tanto los hábitats de alto y medio potencial coinciden con áreas de manglar (Puntarenas y Sierpe Térraba) y desembocaduras de ríos (por ejemplo, Jesús María y Tárcoles), áreas consideradas importantes para la especie, sin embargo, con importantes cantidades de actividades humanas, incluido el turismo (Sánchez et al., 1996; Bolaños et al., 1997; Escobedo-Galván, 2003; Sánchez, 2001; Porras, 2007; Barrantes, 2008; Bolaños, 2011; Orozco, 2015; Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Sandoval et al., 2017; Sandoval, et al., 2019; Sandoval et al., 2020; Porras et al., 2020).

Las áreas que tienen un hábitat potencial alto o medio para los cocodrilos y que también albergan actividades humanas plantean un desafío importante para la gestión de posibles conflictos entre humanos

y cocodrilos. De esta manera, la vertiente del Pacífico de Costa Rica es reconocida como un área importante para el turismo nacional e internacional (Bartels, 2012), en el Pacífico Norte los conflictos humano-cocodrilo han sido documentados por múltiples investigadores (Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Sandoval et al., 2017). Así mismo, Sandoval et al., (2019) y Sandoval et al., (2020) han determinado conflictos similares en el Pacífico Central del país.

En la vertiente caribeña, las zonas identificadas como hábitat potencial alto y medio coinciden con las regiones costeras y las áreas más cercanas a centros de población humana, situación que coincide con lo mencionado por Bolaños et al., (2019). En la vertiente del Caribe, el nivel de desarrollo de infraestructura es menor que en la vertiente del Pacífico, particularmente en el Caribe se han reportado menos incidentes entre humanos y cocodrilos. Esta diferencia también puede explicarse porque las condiciones geográficas de las dos vertientes son diferentes en términos de pendientes, altura y el clima.

La identificación de áreas en la Zona Norte que tienen poblaciones de cocodrilos también ha sido mencionada por Allsteadt y Vaughan, (1992). En la vertiente caribeña, los cocodrilos tienden a evitar la interacción con los humanos y sus comportamientos son evasivos por lo que se generan menos conflictos (Bolaños et al., 2019). Estos mismos autores también identificaron un número importante de cocodrilos en la zona de los ríos Matina, Pacuare, Reventazón y Parismina, además de la región costera del Caribe Central y hasta Tortuguero. Bolaños et al., (2019) también reportaron que el hábitat en

el Caribe tiene condiciones importantes para el establecimiento de cocodrilos, además citan que sus densidades tienden a aumentar en zonas cercanas a las poblaciones humanas, por lo que identificar zonas de interacción se vuelve importante para informar y manejar conflictos, especialmente en zonas como Matina y Siquirres. Balaguera-Reina y González-Maya, (2010) identifican que, en Colombia, el nivel de interacción puede definir el grado de conflicto entre humanos y cocodrilos. Cuando las densidades humanas son bajas y las condiciones económicas de los pobladores son malas, puede haber explotación de las poblaciones de cocodrilos.

En este sentido, Aust et al., (2009) recomiendan el control efectivo de los animales que podrían ser un problema, mejorar la educación de las comunidades sobre la ecología de los cocodrilos y sobre las medidas para evitar conflictos. Afirman que es importante conocer más sobre los contextos sociales, políticos y culturales, que han derivado en conflictos entre humanos y cocodrilos (Poley, 2017). En este sentido, por ejemplo en África, la expansión de los asentamientos humanos y las actividades en los hábitats de los cocodrilos, así como la creciente demanda de suministros de productos para el turismo han resultado en una escalada en los conflictos (Poley, 2016), situación similar a lo que se está experimentando en Costa Rica (Carrillo, 2013; Porras et al., 2020).

En este asunto, Carrillo, (2013) reportó conflictos en el Pacífico Norte de Costa Rica entre humanos y cocodrilos relacionados con ataques, pérdida de animales domésticos, y afectando actividades

económicas, recreativas, y pesquerías. En general, Carrillo, (2013) describe una baja tolerancia por parte de las personas a la presencia de cocodrilos en la zona. Para el Pacífico Central, los conflictos son similares, además de que la desinformación juega en contra de ambas especies, una situación que puede generar aumento en las interacciones entre humanos y cocodrilos (Chavarría, 2020; Madrigal, 2020).

En las zonas habitadas por cocodrilos en las que las actividades humanas son abundantes, por ejemplo el turismo, la acuicultura o incluso en donde se presenta una mala gestión de los residuos, las interacciones entre estas especies aumentan (Amarasinghe et al., 2015; Pooley, 2017; Pooley et al., 2017; Pooley et al., 2021). Según estos autores, las interacciones con los humanos son impulsadas por la presencia de posibles presas de los cocodrilos, como ratas, aves y perros que se sienten atraídos por los desechos, lo que acerca a los cocodrilos a los humanos. Estas situaciones están presentes en la mayoría de las zonas identificadas en el presente estudio.

Los conflictos e interacciones entre los humanos y los cocodrilos pueden aumentar cuando los cocodrilos son cazados, tal vez porque estos son percibidos como animales místicos o porque son cazado por su carne o grasa, a las cuales se atribuye a propiedades curativas o afrodisíacas. Estas actividades reducen nuevamente la distancia entre ambas especies (Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Amarasinghe et al., 2015; Pooley, 2017; Pooley et al., 2017; Sandoval et al., 2017; Porrás et al., 2020; Pooley et al., 2021).

En resumen, este trabajo presenta una identificación del hábitat potencial del cocodrilo y las áreas de interacción con los humanos, brinda perspectivas importantes para el Ministerio del Ambiente de Costa Rica, al Sistema Nacional de Áreas de Conservación, al Ministerio de Educación Pública y el Ministerio de Turismo para la toma de decisiones que busquen la disminución de los conflictos entre humanos y cocodrilos. La evidencia de la relación entre los cocodrilos y áreas antrópicas es clara y da la oportunidad por primera vez en Costa Rica de abordar políticas de manejo, y estrategias de educación en áreas específicas, para garantizar la seguridad humana y la conservación de este reptil. Así mismo, el uso por parte de los humanos de las áreas silvestres está aumentando, por lo tanto, es probable que aumenten los encuentros entre humanos y cocodrilos. Las características generalistas y oportunistas de *C. acutus* convierten a la especie en una "amenaza" para las áreas antrópicas y zonas turísticas identificadas en este trabajo, por lo cual ahora se presenta un desafío en términos de conservación y desarrollo para Costa Rica.

El conocimiento aportado a través de este estudio, permite que se puedan tomar asertivamente decisiones que históricamente han sido postergadas, en parte debido a que aún no existía suficiente información relacionada con el estado de las poblaciones de cocodrilos en el país, y su dinámica poblacional; y además de que esa información no se había integrado con la información sobre la evolución de las poblaciones humanas en el hábitat (que ahora comparten ambas

especies), así como de las condiciones ambientales identificadas en este estudio.

Esperamos que la información generada impulse futuras investigaciones y políticas para identificar y minimizar las interacciones entre humanos y cocodrilos así como sus efectos adversos. Este enfoque ayudará a desarrollar una nueva línea de pensamiento sobre los problemas de conservación, la tolerancia, la capacitación a las comunidades así como el manejo efectivo de especies en áreas dominadas por la vida silvestre y que cuentan con actividades antrópicas.

### **Agradecimientos**

A Luis Fernando Sandoval Murillo, y Carlos Morera Beita por su contribución con el trabajo SIG realizado.

### **Bibliografía**

Allsteadt J., Vaughan-Dickhaut C. 1992. Population status of *Caiman crocodylus* (Crocodylia: Alligatoridae) in Caño Negro, Costa Rica. Estado de la población del *Caiman crocodylus* (Crocodylia: Alligatoridae) en Caño Negro, Costa Rica. *Brenesia* 38:57-64.

Amarasinghe A.A.T., Madawala M.B., Karunarathna D.M.S.S., Manolis S.C., De Silva A., Sommerlad R. 2015. Human-crocodile conflict and conservation implications of Saltwater Crocodiles *Crocodylus porosus* (Reptilia: Crocodylia: Crocodylidae) in Sri Lanka. *Journal of Threatened Taxa* 7:111-7130. doi:10.11609/JoTT.o4159.7111-30

Aust P., Boyle B., Fergusson R., Coulson T. 2009. The impact of Nile crocodiles on rural livelihoods in northeastern Namibia. *South African Journal of Wildlife Research* 39: 57- 69.

Balaguera-Reina S.A., González-Maya J. F. 2010. Percepciones, conocimientos y relaciones entre los Crocodylia y poblaciones humanas en la Vía Parque Isla de Salamanca y su zona de amortiguamiento, Caribe colombiano. *Revista Latinoamericana de Conservación* 1:53-63.

Barrantes L.D. 2010. Analysis of crocodile attacks in Costa Rica 1990-2009. *Crocodile Specialist Group Newsletter* 29:14-15.

Barrantes L. 2008. Determinación de la variabilidad genética y flujo genético entre poblaciones de cocodrilo (*Crocodylus acutus*) de los ríos Tempisque, Tárcoles y el complejo Terraba-Sierpe, con mención especial a la condición de la población del Tempisque. M.Sc. Dissertation, UNA. Heredia, Costa Rica.

Bartels J. 2012. Aportes del turismo según los habitantes de las comunidades de Playas del Coco, Guanacaste, y el Roble, Puntarenas. *Diálogos, Revista electrónica de Historia, Escuela de Historia, Universidad de Costa Rica* 13: Octubre 2012. DOI 10.15517/DRE.V13I0.6388

Bolaños, J., Sánchez, J., Piedra, L. (1995). Inventario y estructura poblacional de crocódilidos en tres zonas de Costa Rica. *Laboratorio de Manglares, Área de Ecología y Manejo de Recursos Costeros, Revista de Biología Tropical* 44/45:283-287.

Bolaños J. 2011. Plan Estratégico para el Manejo de la población de *Crocodylus acutus* (cocodrilo americano), en el Gran Humedal Tempisque. Sistema Nacional de Áreas de Conservación. Dirección Regional. Área de Conservación Arenal Tempisque. 20 p.

Bolaños J. R. 2012a. Manejo de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en estanques de cultivo de tilapia en Cañas, Guanacaste. *Revista de Ciencias Ambientales* 43:63-72. <https://doi.org/10.15359/rca.43-1.6>

Bolaños J. 2012b. Survey of American Crocodiles in Tempisque Great Wetlands, Guanacaste, Costa Rica. *Crocodile Specialist Group Newsletter* 31: 2-7.

Bolaños J. R., Sánchez J., Piedra L. 1997. Inventario y estructura poblacional de crocodílicos en tres zonas de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 45: 283-287.

Bolaños J., Sánchez J., Sigler L., Barr B. R., Sandoval I. 2019. Population status of the American crocodile, *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) and the caiman, *Caiman crocodilus* (Reptilia: Alligatoridae), in the Central Caribbean of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 67(6). DOI 10.15517/RBT.V67I6.35023

Caldicott D.G., Croser D., Manolis C., Webb G., Britton B. 2005. Crocodile attack in Australia: an analysis of its incidence and review of the pathology and management of crocodile attacks in general. *Wilderness and Environmental Medicine* 16:143-159.

Chavarria, R. 2020. Hábitat Potencial y uso de hábitat del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) y su relación con la vulnerabilidad de cinco poblados del Pacífico Central de Costa Rica ante posibles incidentes humano-cocodrilos. Disertación. Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Carrillo-Rivera N. 2013. Interacción entre el Ser Humano y el Cocodrilo Americano (*Crocodylus acutus*) en el Gran Humedal Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. M.Sc. Dissertation, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Cuvier, G. 1807. Sur les différentes especes de crocodiles vivans et sur leurs caracteres distinctifs. *Ann. Muséum d'Histoire Naturelle de Paris*. Paris 10: 8-86.

Duméril, A.M.C. & A. H. A. Duméril 1851. Catalogue méthodique de la collection des reptiles du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. Gide et Baudry/Roret, Paris, 224 p.

Escobedo-Galván A. H. 2004. Avances en el conocimiento y el estado actual de conservación del Cocodrilo de Tumbes (*Crocodylus acutus*: Cuvier, 1807). *Revista peruana de biología* 11:203-208.

Escobedo-Galván A. H. 2008. Estructura poblacional y proporción de sexos en *Caiman crocodilus* en Caño Negro, Costa Rica.

Iheringia. Série Zoologia 98:489-492. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212008000400012>

Escobedo-Galván A.H., González-Maya J. F. 2006. Estructura poblacional y proporción de sexos del Caimán (*Caiman crocodilus*) en el río Sierpe, Costa Rica. Acta zoológica mexicana 22:151-153.

Escobedo-Galván A.H., González-Maya J. F. 2008. Estado poblacional del Caimán, *Caiman crocodilus*, en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Caño Negro, Costa Rica. Yuam: Revista Mesoamericana de la Conservación 1:15-22.

Franz R., Reid S., Puckett, C. 1985. Discovery of a population of Orinoco crocodile, *Crocodylus intermedius*, in Southern Venezuela. Biological Conservation 32:137-147.

Fergusson, R. 2004. Preliminary analysis of data in the African human–crocodile conflict database. Crocodile Specialist Group Newsletter 23–24:21–22. IUCN–CSG, Sanderson, Australia.

Fierro J. 2010. Análisis estadístico univariado, bivariado y variables control. Accesible en: [https://www.academia.edu/22367229/AN%C3%81LISIS\\_ESTAD%C3%8DSTICO\\_UNIVARIADO\\_BIVARIADO\\_Y\\_VARIABLES\\_CONTROL\\_1](https://www.academia.edu/22367229/AN%C3%81LISIS_ESTAD%C3%8DSTICO_UNIVARIADO_BIVARIADO_Y_VARIABLES_CONTROL_1)

Graves, M. L. 1819. Sur deux nouvelles espèces de crocodile. Annales de la Société scientifique de Bruxelles. 2: 343-353.

King F., Espinal M., Cerrato C. 1990. Distribution and status of the crocodylian of Honduras. Results of a survey conducted for the Convention of International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, and the Honduras Secretaría de Recursos Renovables. In Proceedings of the 10th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group of the Species Survival Commission of IUCN (pp. 313-354). Florida, USA.

Kushlan J. A., Mazzotti F. J. 1989. Population biology of the American crocodile. Journal of Herpetology. 23: 7-21. <https://doi.org/10.2307/1564310>

Lamarque F., Anderson J., Fergusson R., Lagrange M., Osei-Owusu Y., Bakker L. 2009. Human-wildlife conflict in Africa: Causes,

consequences, and management strategies. Food and Agriculture Organization of the United Nations Bulletin, Rome, Italy, 98p.

Langley, R.L. 2005. Alligator attacks on humans in the United States. *Wilderness and Environmental Medicine*. 16:119–124. DOI:[https://doi.org/10.1580/1080-6032\(2005\)16\[119:AAOHIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1580/1080-6032(2005)16[119:AAOHIT]2.0.CO;2)

Laurance W., Nascimento H., Laurance S., Andrade A., Fearnside P., Ribeiro J., Capretz R. 2006. Rain Forest Fragmentation and The Proliferation of Successional Trees. *Ecology* 87:469-482. DOI:10.1890/05-0064

Leenders T. 2001. A guide to amphibians and reptiles of Costa Rica. Editorial Zona Tropical. Miami. 186 p.

Leenders T. 2019. Reptiles of Costa Rica: A Field Guide. Comstock Publishing Associates. USA. 640 p.

Madrigal, A. 2020. La educación ambiental como un aporte para el manejo del conflicto humano-cocodrilo, en cinco comunidades del Pacífico Central de Costa Rica. Disertación. Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Mauger L. A., Velez E., Cherkiss M. S., Brien M. L., Boston M., Mazzotti F. J., Spotila J. R. 2012. Population assessment of the American crocodile, *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) on the Pacific coast of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 60:1889-1901.

Mauger L. A., Velez E., Cherkiss M. S., Brien M. L., Mazzotti F. J., Spotila, J. R. 2017. Conservation genetics of American crocodile, *Crocodylus acutus*, populations in Pacific Costa Rica. *Nature Conservation* 17:1-17. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.17.9714>

Mazzotti F. L., Brandt P., Moler., Cherkiss M. 2007. American Crocodile (*Crocodylus acutus*) in Florida: Recommendations for Endangered Species Recovery and Ecosystem Restoration. *Journal of Herpetology*, Vol. 41 (1): 121–131.

McGregor, J. 2005. Crocodile crimes: people versus wildlife and the politics of postcolonial conservation on Lake Kariba, Zimbabwe. *Geoforum* 36(3): 353–369. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2004.06.007>.

Menacho R. 2001. Turismo y vida silvestre en los humedales del Tempisque. *Revista de Ciencias Ambientales*. 21(1): 13-22. <https://doi.org/10.15359/rca.21-1.3>

Morales A. 2013. Percepciones y conocimiento popular sobre cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en las zonas aledañas al río Tempisque, Costa Rica. *Biocenosis* 27 (1-2):71–76.

Murray C. M., Easter M., Padilla S., Garrigós D. B., Stone J. A., Bolaños-Montero J., Guyer C. 2015. Cohort-dependent sex ratio biases in the American crocodiles (*Crocodylus acutus*) of the Tempisque basin. *Copeia* 103:541-545. <https://doi.org/10.1643/CE-14-186>

Orozco W. 2015. Monitoreo de la población de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Tempisque. Guanacaste. Costa Rica. 2011-2014. Disertación. Práctica Dirigida. Universidad Estatal a Distancia (UNED). San José. Costa Rica.

Ortiz E. 2014. Atlas de Costa Rica 2014. Cartago, Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. Accesible en <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6749?show=full>.

Piedra L. 2000. Estado de las poblaciones de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) (Reptilia: Crocodylidae) en tres ríos del Pacífico Central de Costa Rica (Disertación. Licenciatura, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica).

Peraza M. 2015. Estado actual, distribución y cuota de cosecha de la población de *Crocodylus acutus* en la cuenca baja del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Magister Scientiae en Conservación y Manejo de Vida Silvestre. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 70 pp.

Pooley S. 2017. A Cultural Herpetology of Nile Crocodiles in Africa. *Conservation and Society* 14:391-405. DOI: 10.4103/0972-4923.197609

Pooley S., Barua M., Beinart W., Dickman A., Holmes G., Lorimer J., Sillero-Zubiri C. 2017. An interdisciplinary review of current and future approaches to improving human–predator relations. *Conservation Biology* 31:513-523. DOI: 10.1111/cobi.12859

Pooley S., Siroski P., Fernandez L., Sideleau B., Ponce-Campos P. 2021. Human–crocodilian interactions in Latin America and the Caribbean region. *Conservation Science and Practice* Volume 3, Issue 5 e351. <https://doi.org/10.1111/csp2.351>

Porras, L. 2004. Situación actual del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en los ríos Jesús María, Tárcoles y Tusubres: estructura poblacional e intercambio genético. Tesis de Maestría. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 82 p.

Porras, L. 2007. Cocodrilos en Costa Rica: ¿poblaciones o metapoblaciones? *Revista de Ciencias ambientales*, 33 (1), 18-22. <https://doi.org/10.15359/rca.33-1.3>

Porras, L. & Mata E. 2020. Analysis of the Interactions Between Humans and Crocodiles in Costa Rica. *South American Journal of Herpetology*, 16, 2020, 26–33

Ramírez A. 2008. Análisis de conflictos socioambientales relacionados con el aprovechamiento y la contaminación de los recursos hídricos en Guanacaste (1997-2006). Disertación. Licenciatura Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Ray D. A., Dever J. A., Platt S. G., Rainwater T. R., Finger A. G., McMurry S. T., Densmore L. D. 2004. Low levels of nucleotide diversity in *Crocodylus moreletii* and evidence of hybridization with *C. acutus*. *Conservation Genetics* 5:449-462. <https://doi.org/10.1023/B:COGE.0000041024.96928.fe>

Ross J.P. (ed.). (1998) *Crocodiles. Status Survey and Conservation Action Plan*. 2nd Edition. IUCN/SSC Crocodile Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 96 p.

Sanchez J., Bolaños J., Piedra L. 1996. Población de *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) en dos ríos de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 44:835-840.

Sánchez-Ramírez J. 2001. Estado de la población de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. INBIO, Heredia, Costa Rica. 49 p.

Sandoval I., Castillo M. 2011. Áreas protegidas de Costa Rica: Fragmentación, tamaño y forma. *Métodos en Ecología y Sistemática* 6:21.

Sandoval L., Morera C., Sandoval I. 2019. Zonificación de las áreas propensas a incidentes por ataques de *Crocodylus acutus* en el Pacífico Central de Costa Rica utilizando un Sistema de Información Geográfico. *Revista Cartográfica* 98 enero-junio 2019: 259-279. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i98.150>

Sandoval I., Morera C., Sandoval I. 2020. Determinación del hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) como estrategia para la reducción de conflictos con el ser humano en el Pacífico Central, Costa Rica. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. 17: 1-17

Sandoval-Hernández I., Duran-Apuy A., Quirós-Valerio J. 2017. Activities That May Influence the Risk of Crocodile (*Crocodylus acutus*: Reptilia: Crocodylidae) Attack to Humans in the Tempisque River Area, Guanacaste, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(1), 13-22. <https://doi.org/10.15359/ru.31-1.2>

Savage J. M. 2002. The amphibians and reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents, between two seas. University of Chicago Press. 954 p

Thorbjarnarson J.B. 1989. Ecology of American Crocodile, *Crocodylus acutus*. Pp. 228–259, in International Union for the Conservation of Nature (Ed.), *Crocodyles: Their Ecology, Management and Conservation*. IUCN, Gland.

Thorbjarnarson J. B. 2010. American crocodile *Crocodylus acutus*. *Crocodyles. Status survey and conservation action plan*, 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.013>

Thorbjarnarson J., Mazzotti F., Sanderson E., Buitrago F., Lazcano M., Minkowski K., Muñiz M... Velasco A. 2006. *Regional*

habitat conservation priorities for the American Crocodile. *Biological Conservation* 128:25-36. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.013>

Torrealba, I., Paz, O., & Motte, M. (1992). Censo de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Grande de Tárcoles, Costa Rica. Heredia, Costa Rica: Aportes al conocimiento de la vida silvestre en el caso de la Reserva Biológica Carara y la Reserva de Manglares Guacalillo. Proyecto Integrado de Investigación y Extensión: 1992-1993. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 25-35 pp.

Vanwersch, K. 1998. Crocodile bite injury in southern Malawi. *Tropical Doctor*. 28:221-222. <https://doi.org/10.1177/004947559802800411>

Valdelomar V., Ramírez-Vargas M.A., Quesada-Acuña S.G., Arrieta C., Carranza I., Ruiz-Morales G., ... Gómez-Lépiz A. 2012. Percepción y conocimiento popular sobre el cocodrilo *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) en zonas aledañas al río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. *Cuaderno de Investigación UNED* 4:191-202. <https://doi.org/10.22458/urj.v4i2.8>.

Woodroffe R., Thirgood S., Rabinowitz A. 2005. *People and Wildlife: Conflict or Coexistence*. Cambridge University Press, UK, 516 p.

Woodroffe, R., Thirgood, S., Rabinowitz, A. (2005). The impact of human-wildlife conflict on natural systems. In R. Woodroffe, S. Thirgood, & A. Rabinowitz (Eds.), *People and Wildlife, Conflict or Co-existence?* (Conservation Biology, pp. 1-12). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511614774.002



## Capítulo 9. Discusión general y perspectivas.

Esta tesis brinda información del estado de las poblaciones en el Caribe Central y Caribe norte de Costa Rica por primera vez, los capítulos I y II dan la evidencia del estado de las poblaciones de Cocodrilianos de la zona, para el caso del Caribe Central (capítulo I) se encontró una población de 1 084 caimanes y 503 cocodrilos, para una abundancia relativa de 8.64 y 2.80 ind/km respectivamente. Para caimanes, poco más del 12 % de los animales observados estaba en edad reproductiva, mientras que para cocodrilos sólo un 2 %. Estos resultados respaldan la idea de que este hábitat en las tierras bajas del Caribe Central proporciona una buena zona para que los cocodrilos grandes puedan cazar y establecer sus territorios, pero que no es un lugar apropiado para aparearse y anidar, dado que toda el área está expuesta a inundaciones repentinas, especialmente durante los meses de principios de invierno cuando los nidos de cocodrilos todavía están en el campo. Complementariamente es importante mencionar que los cocodrilos, presentan mayores tamaños poblacionales en lugares cercanos a asentamientos humanos (Bolaños, 2012a; Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; 2020; Porras et al., 2020).

Estas condiciones parecen apoyar la idea de que los grandes cocodrilos en el área podrían estar habitando en mayor número en la parte superior de los cursos de agua que riegan la zona, más allá de los

límites interiores de 25 km de la zona de estudio; principalmente en los ríos Raventazón, Chirripó Atlántico y Pacuare. La situación anterior podría deberse al hecho de que toda el área de estudio es una llanura aluvial, con menos de 15 m sobre el nivel del mar en su sector más alto (Herrera & Mata 1993, INDER, 2016), es posible que los individuos reproductores más grandes prefieren ubicarse permanentemente en un área que no está sujeta a cambios climáticos bruscos, lo que les permite colocar sus nidos sin riesgo de perder los huevos como consecuencia de las inundaciones características en el área de estudio durante un período de al menos 6 meses cada año (Kushlan y Mazzotti, 1986).

En el Caribe Norte (Capítulo II) la abundancia relativa encontrada fue de 0,55 cocodrilos y 1,37 caimanes por kilómetro lineal, se observaron en total 85 cocodrilos y 205 caimanes. La ocurrencia de *C. acutus* y *C. crocodilus* difirió significativamente entre los segmentos muestreados. Asimismo, la distribución de tamaño de las especies fue diferente entre los segmentos estudiados, se encontró tendencia a encontrar cocodrilos en el Refugio de Vida Silvestre Barra del Colorado y caimanes en el Parque Nacional Tortuguero *C. crocodilus* se caracterizó por una distribución más homogénea (King et al., 1990). Se puede pensar que como el área de estudio es una región baja permanentemente inundada, los caimanes de menor tamaño encontrarían un hábitat más adecuado en las áreas internas de los humedales, donde serían menos vulnerables a las perturbaciones generadas por embarcaciones en canales abiertos. Además, estos individuos más pequeños estarían menos expuestos a los ataques de sus depredadores (Bolaños et al., 1997). Asimismo, existen otros estudios

que suponen la permanencia de estos individuos juveniles en los humedales interiores como una estrategia natural de conservación (Bolaños et al., 1997; Da Silveira et al., 1997).

Por otro lado, abundancia relativa de *C. acutus* es mucho menor en el Caribe Norte (0,55 ind./km) que en el Caribe Central donde se encontraron 1,77 ind./km (Bolaños et al., 2019). No obstante, debe tenerse en cuenta que el 89% de los avistamientos de esta especie ocurrieron en la parte más externa del área en estudio, donde el río Colorado y Caño Negro forman dos segmentos y hay contacto directo con el río San Juan. Esta disparidad podría estar relacionada con una mayor actividad humana en el Caribe Central (que podría proporcionar más fuentes alimenticias, áreas de apareamiento y cría, entre otros), situación evidenciada para otros centros de distribución de cocodrilos (Pooley et al., 1989; Venegas-Anaya et al., 2015; Pooley, 2017; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; 2020). La abundancia relativa de *C. acutus* en el Caribe norte es alta, si se compara con el reportado para los ríos en la cuenca del Pacífico (Sánchez et al., 1996; Sánchez, 2001; Bolaños, 2011a; 2012b; Valdelomar et al., 2012; Orozco, 2015; Sandoval et al., 2020).

El Capítulo III inicia con el análisis del paisaje del hábitat del cocodrilo en las zonas de mayor abundancia de la especie en Costa Rica, En el noroeste de Costa Rica, las poblaciones de *C. acutus* se concentran principalmente en los ríos costeros del Pacífico Central (Sasa y Chaves, 1992; Torrealba et al., 1992; Motte et al., 1994; Abadía et al., 1998; Escobedo, 2005; Piedra, 2000; Porras, 2004) y en la zona del Pacífico Norte, en el Gran Humedal del Tempisque (Sánchez et al.,

1996; Sánchez, 2001; Barrantes, 2008; Bolaños, 2012b; Mauger et al., 2012; Murray et al., 2015; Orozco, 2015; Peraza, 2015).

En Costa Rica, desde principios de los noventa se identificó una mayor presencia de cocodrilos en sus áreas de distribución, así como un incremento de incidentes con seres humanos en el Pacífico Noroeste y Central (Bolaños, 2012a; Sandoval et al., 2019; Porras et al., 2020). Gran parte de estos incidentes entre las especies está en relación directa con que los humanos invaden el hábitat del cocodrilo en el área de estudio (Bolaños, 2012b; Porras et al., 2020). Actualmente estas interacciones persisten debido al extenso desarrollo de actividades antrópicas asociadas a caminos, crecimiento poblacional humano, actividades agrícolas en áreas o márgenes de ríos, esteros y cuerpos de agua. Estas actividades han generado la alteración del medio natural afectando el hábitat de la especie y potenciando la interacción con los humanos (Sandoval et al., 2019; 2020). El análisis del paisaje incluyó en el Pacífico Norte al Gran Humedal del Tempisque (GHT) y la región del Pacífico Central (PC). El GHT presentó mayor densidad ríos, caminos, humedales y zonas de inundación, mientras que el PC presentó mayor número de poblados. La cobertura forestal se ha recuperado en ambas regiones, aunque la tasa de recuperación fue diferente, estos resultados son consistentes con Ramírez, (2008) quien reportó fuertes variaciones en la composición y estructura del paisaje en el área de estudio; debido a la reducción de casi un 50% en el tamaño de las áreas destinadas a potreros (producción de ganado entre 1990 y 2006). Con la contracción sustancial de la actividad ganadera, el cambio en la cobertura forestal de 1997 a 2013 mostró que los

bosques se regeneraron en las áreas antes dedicadas a pastos, comenzando con la recuperación de pequeños fragmentos. Estos resultados de fragmentación forestal obtenidos son similares a los reportados por Laurance et al., (2006) y Gardner et al., (2018).

De la misma manera los cambios en la estructura del paisaje podrían deberse a mejoras en las vías de comunicación y a que las provincias de Guanacaste y Puntarenas (ubicadas del GHT y PC) se convierten en destinos turísticos. Además, en el GHT el desarrollo de la acuicultura atrajo mayor inversión, mayor visitación y desarrollo de infraestructura (Ramírez, 2008). Como resultado de tales cambios en el uso del suelo, la fragmentación del paisaje se volvió inevitable, y los aumentos en los índices de fragmentación apoyan esa conclusión, Sandoval et al., (2019; 2020) encontraron una situación similar en el PC.

Adicionalmente, el aumento en las poblaciones de cocodrilos podría haber ocurrido debido a que este reptil es una especie generalista, sus individuos tienden a ser abundantes en áreas alteradas por humanos y en zonas de bosque en regeneración, como los que se encuentran en el GHT y algunas partes del PC (Ryall y Farig, 2006; Schwenk et al., 2012; Karchesy et al., 2016). Las fuentes alimenticias, así como las áreas de apareamiento y reproducción, entre otros factores, han aumentado en otras zonas de distribución de cocodrilos en las cuales hay actividades humanas (Pooley et al., 1989; Venegas-Anaya et al., 2015; Pooley, 2016; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; 2020).

Los valores de la dimensión fractal (FD), el índice de forma (SI), los índices de diversidad y equidad de Shannon aumentaron levemente en ambas zonas, lo que indica que la fragmentación está aumentando en el área de estudio. La densidad promedio de cocodrilos se correlacionó con el cambio en la cobertura por año ( $r_s = 0,74$ ), con la FD y SI ( $r_s = 0,65$  para ambos). En el PC, la densidad de cocodrilos también se correlacionó con el cambio de cobertura por año ( $r_s = 0,48$ ) y con la FD y SI ( $r_s = 0,93$  y  $0,74$ , respectivamente). Así, estos resultados permiten pensar que los cocodrilos en el área de estudio pueden beneficiarse de los recursos provistos por la fragmentación del hábitat y las actividades humanas en sus zonas de distribución.

La fragmentación, la variación del tamaño y forma de estos puede generar que especies generalistas como los cocodrilos puedan beneficiarse y su población crecer fácilmente (Beier, 1993; Simonetti y Mella, 1997; Rau y Gantz, 2001; Fahrig, 2002; Pincheira et al., 2009). En particular, un paisaje fragmentado con actividades humanas como el GHT y el PC, puede beneficiar a los cocodrilos al aumentar la disponibilidad de alimentos inesperados provenientes de los asentamientos humanos, y de algunas presas que puedan estar deambulando también en busca de su propia comida (Amarasinghe et al., 2015; Pooley, 2016; Pooley et al., 2017; Pooley et al., 2021).

Los datos obtenidos pueden respaldar la idea de que los cambios en el uso del suelo en el GHT y el PC se pueden correlacionar con el aumento de las poblaciones de cocodrilos, estas situaciones pueden influir en los conflictos y las interacciones entre humanos y cocodrilos, y es probable que aumenten a medida que aumentan las

poblaciones de cocodrilos bajo las actuales condiciones (Bolaños, 2012a; 2012b; Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; 2020; Porras et al., 2020). Al parecer, las poblaciones de cocodrilos en Costa Rica podrían beneficiarse de la fragmentación del hábitat y las actividades humanas, los cambios en el paisaje pueden aumentar los recursos disponibles y esto promover el crecimiento de las poblaciones.

En los capítulos IV y V se muestran los resultados del trabajo hecho en el Pacífico Central de Costa Rica en donde se crearon los primeros análisis del hábitat potencial del cocodrilo, además se desarrolló un trabajo para disminuir conflictos con humanos a partir de una zonificación del área. Se encuentra que la distribución del cocodrilo en la zona puede obedecer a la densidad de drenaje, para esta variable se abarca una superficie de 39.5% del área de estudio, y en ella destacan los ríos como el Tárcoles, Tivives, Lagarto, Barranca, Jesús María, Turrubares y Naranjo, los cuales están cerca de poblados como Santa Rosa, Pan de Azúcar, Bajos del Coyote, Tusubres y Finca la Flor entre otros. Las zonas de alta y media densidad de ríos por km<sup>2</sup>, se caracterizan por estar en regiones cercanas a las costas, en estas zonas hay presencia de ríos más sinuosos, sectores pantanosos, manglares y esteros; todos estos al norte de Puntarenas y en las comunidades de Quepos, Parrita y el distrito de Caldera) (Álvarez et al., 2014). A partir de esta delimitación se pudo corroborar que estos elementos constituyen condiciones óptimas para el hábitat del cocodrilo (Bolaños, 2012b).

Para la determinación del hábitat potencial del cocodrilo es importante considerar la cobertura de uso del suelo principalmente las coberturas de manglar, ríos (idealmente ríos anchos) y la presencia de cuerpos de agua; estos usos de la tierra representan un 5.10 % de la superficie total de la Región Pacífico Central analizada y están conformados de la siguiente manera: manglares en un 3.91%, cuerpos de agua 0.87% y playones de río en un 0.32%, Bajo esta condición destacan sectores de los ríos Lagarto, Sardinal, Tusubres, Pirris; y Esteros como: Cantón, Tendal, Morales, , Guacalillo, Zapote, Barbudal, Tárcoles, Jesús María y Palo Seco; espacios que reúnen las condiciones óptimas para la presencia del cocodrilo, de acuerdo a lo expresado por Bolaños, (1993; 2012b).

A nivel general las condiciones de hábitat potencial alto para cocodrilo representan el 21.5% de la superficie del Pacífico Central y se asocian con la presencia cuerpos de agua, una alta densidad de la red de drenaje y la presencia de manglares, esteros, en altitudes menores a los 240 msnm. Las áreas identificadas como óptimas para la especie presentan áreas propensas a inundación en los ríos Pirris, Jesús María, Aranjuez, Guácimal, Tárcoles, Tusubres, Palo seco y en quebradas como Trinidad, Negros, Mona entre otros. Realizado este ejercicio se desarrolló una zonificación del hábitat del cocodrilo debido al aumento de interacciones entre humanos y cocodrilos en los últimos años en Costa Rica (Sandoval et al., 2017; Porras et al., 2020). Estos incidentes están normalmente asociados al desarrollo de actividades humanas en áreas consideradas como óptimas para la presencia de cocodrilos (Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; 2020; Porras

et al., 2020). Los resultados obtenidos en la investigación constituyen un insumo importante en la toma de decisiones a nivel político, de manejo de vida silvestre y de ordenamiento territorial en la Región del Pacífico Central ya que, en esta zona, la pesca, la agricultura y el turismo son algunas de las principales actividades económicas que pueden verse amenazadas por un aumento de interacciones entre humanos y cocodrilos.

Las áreas de alta interacción entre el ser humano y el cocodrilo en el Pacífico Central corresponden a un 20.44% de su superficie, de la cual un 6.5%, se localiza dentro del hábitat potencial alto. En estas zonas se desarrollan actividades antrópicas con una alta concentración de carreteras por km<sup>2</sup>, población, densidad de poblados y amplio desarrollo de actividades agrícolas y turísticas. De acuerdo con Bolaños, (2002), la alteración del hábitat del cocodrilo se ve afectada por el incremento y desarrollo de vías de comunicación, las cuales influyeron en el acrecentamiento del tránsito de personas en diferentes lugares y en un lógico aumento de la población humana, derivando en el surgimiento y expansión de asentamientos antrópicos, en detrimento de las áreas silvestres, incidiendo en la fragmentación de los ecosistemas. Estas zonas coinciden con los sitios donde se han registrado más accidentes por cocodrilos, por ejemplo, en las cercanías del río Parrita, áreas cercanas al mar, sobresaliendo playa Esterillos.

Las zonas de moderada interacción abarcan un 18.78% del Pacífico Central, y están ubicadas en los distritos de Savegre, Quepos, Parrita, Tárcoles, Pithaya, Chomes y Manzanillo. Con respecto a las zonas de baja interacción, éstas corresponden a sectores donde aún se

conservan las condiciones naturales como manglares y donde la presencia de las actividades antrópicas es escasa o nula correspondiendo a un 60.81% en la totalidad del área de estudio.

El capítulo final (VI) recopila y capitaliza todas las experiencias generadas en los capítulos anteriores y permite desarrollar a nivel de todo Costa Rica la identificación del hábitat potencial del cocodrilo, además permite hacer la caracterización de las áreas de interacción con humanos.

La información generada se convierte en un insumo importante para los tomadores de decisión. Como se ha mencionado, en Costa Rica, *C. acutus* se encuentra a lo largo de ambas costas, así como en zonas continentales, con poblaciones concentradas en el lado del Pacífico y el Caribe, a la fecha no existen muchas investigaciones que identifiquen potenciales hábitats de cocodrilos para todo el país y sólo se encuentran los esfuerzos presentados en los capítulos anteriores. En general, la literatura para Costa Rica sólo presenta información de que los cocodrilos habitan en ríos, lagos, pantanos, estuarios y manglares, todos a alturas menores a 700 metros sobre el nivel del mar (msnm), y también en las aguas costeras (Bolaños et al., 1995; Porras, 2004; Sandoval et al., 2019; 2020; Porras et al., 2020).

De la misma manera, como se ha discutido en los capítulos anteriores, en la región del Pacífico de Costa Rica, las interacciones entre humanos y cocodrilos ocurren en áreas donde existe una amplia variedad de actividades antropogénicas (Porras, 2007; Morales, 2013; Orozco, 2015; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; 2020; Porras et al., 2020). Se ha presentado evidencia de que esta especie es

abundante en zonas con alto índice de desarrollo territorial, presentando un patrón de convivencia con las poblaciones humanas. (King et al., 1990; Sánchez et al., 1996; Bolaños et al., 1997; Sánchez, 2001; Escobedo-Galván, 2008; Barrantes, 2010; Bolaños, 2011a; Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Orozco, 2015). Así mismo, se ha comprobado cómo la invasión progresiva de los humanos al hábitat del cocodrilo podría estar generando un aumento de los conflictos entre ambas especies (Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b; Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Peraza, 2015; Sandoval et al., 2017; Sandoval et al., 2019; 2020). En Costa Rica, los hábitats con alto potencial para cocodrilos en la vertiente del Pacífico corresponden al 18% del área de estudio, el hábitat de potencial medio corresponde a un 54% del área. Dentro del Pacífico Central hay pocas áreas de elevada altitud o con un elevado índice de urbanismo, estos son hábitats de bajo potencial y representan el 27% del área de estudio. En el Pacífico Central, los hábitats de potencial alto y medio, juntos, representan el 72% del área estudiada.

Las áreas identificadas como hábitat potencial alto y medio para los cocodrilos en el Pacífico coinciden en el norte con los Humedales del Gran Tempisque; área que ha sido reconocida por albergar una de las poblaciones de cocodrilos más importantes de Costa Rica (Sánchez, 2001; Bolaños, 2012a; Bolaños, 2012b; Valdelomar et al., 2012; Orozco, 2015; Murray et al., 2015; Peraza, 2015; Sandoval et al., 2017). Esta área también comprende una alta densidad de humedales y áreas favorables para los cocodrilos y sus presas (Menacho, 2001, Ramírez, 2008). En el Pacífico Central y Sur,

tanto los hábitats de alto y medio potencial coinciden con áreas de manglar (Puntarenas y Sierpe Térraba), y desembocaduras de ríos (ej. Jesús María y Tárcoles), áreas consideradas importantes para la especie, sin embargo, atraen importantes cantidades de humanos interesados en actividades como el turismo y otras, identificadas por Sánchez et al., (1996); Bolaños et al., (1997); Escobedo-Galván, (2003); Sánchez, (2001); Porras, (2007); Barrantes, (2008); Bolaños, (2011a); Valdelomar et al., (2012); Orozco, (2015); Morales, (2013); Sandoval et al., (2017); Sandoval et al., (2019; 2020); Porras et al., (2020).

Las áreas que tienen un hábitat potencial alto o medio para los cocodrilos y que también albergan actividades humanas representan un desafío importante para la gestión de posibles conflictos entre humanos y cocodrilos. Debido a que la vertiente del Pacífico de Costa Rica se ha reconocido como un área importante para el turismo nacional e internacional (Bartels, 2012), los conflictos entre humanos y cocodrilos han sido documentados por múltiples grupos de investigación en la zona del Pacífico Norte (Valdelomar et al., 2012; Morales, 2013; Sandoval et al., 2017), de la misma manera, Sandoval et al., (2019; 2020) han determinado conflictos similares en el Pacífico Central del país.

En la vertiente del Caribe, el hábitat potencial alto se identificó en áreas más cercanas a la costa principalmente en el Caribe Norte y Central en aproximadamente el 29% del área de estudio, mientras que el 66% del área se etiquetó como hábitat de potencial medio. En la zona norte, la mayor parte del hábitat se identificó como de potencial medio,

habiendo solo pequeños fragmentos reconocidos como hábitat potencial alto. En la Zona Norte y la Zona del Caribe, las áreas de mayor altitud con algún desarrollo territorial fueron identificadas como hábitat de bajo potencial (4%). Es importante destacar que el 96% del área de la vertiente del Caribe y la Zona Norte se identificaron como hábitat potencial alto y/o medio.

En la vertiente caribeña, las zonas identificadas como hábitat potencial alto y medio coinciden con las regiones costeras y las áreas más cercanas a los núcleos de grandes poblaciones, situación que coincide con lo mencionado por Bolaños et al., (2019). En la vertiente del Caribe, el nivel de desarrollo de infraestructura es más bajo que en la vertiente del Pacífico y se reportan menos incidentes entre humanos y cocodrilos. Esta diferencia también puede explicarse porque las condiciones geográficas en las dos vertientes son diferentes en cuanto a pendientes, alturas de la tierra y clima.

Allsteadt y Vaughan, (1992), también han mencionado la identificación de áreas en la Zona Norte que tienen poblaciones de cocodrilos. En la vertiente caribeña, los cocodrilos tienden a evitar la interacción con los humanos y sus comportamientos son evasivos (Bolaños et al., 2019) por lo que se generan menos conflictos. Los mismos autores también identificaron un número importante de cocodrilos en la zona representada por los ríos Matina, Pacuare, Reventazón y Parismina, además de la región costera del Caribe Central y hasta en Tortuguero. Bolaños et al., (2019) también informaron que el hábitat en el Caribe trae condiciones importantes para el establecimiento de cocodrilos en la zona, y, también, que sus

densidades tienden a aumentar en las zonas más cercanas a las poblaciones humanas, identificando así las zonas de interacción. La información generada, cobra importancia para informar y mejora la gestión de conflictos, especialmente en zonas como Matina y Siquirres. En este sentido, Balaguera-Reina y González-Maya, (2010) identifican que, en Colombia, el nivel de interacción puede definir el grado de conflicto entre humanos y cocodrilos. Cuando las densidades humanas son bajas y las condiciones económicas de los aldeanos son pobres, puede haber una explotación de la población de cocodrilos.

En resumen, este trabajo presenta una identificación del hábitat potencial del cocodrilo y las áreas de interacción con los humanos, brindando perspectivas importantes para el Ministerio de Ambiente de Costa Rica, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, el Ministerio de Educación Pública y el Ministerio de Turismo de Costa Rica en busca de toma de decisiones para la disminución de los conflictos entre humanos y cocodrilos. La evidencia encontrada de la relación entre cocodrilos y áreas antrópicas es clara y nos brinda la oportunidad por primera vez en Costa Rica de poder generar políticas de manejo, y estrategias de educación en áreas específicas, para garantizar la seguridad humana y la conservación de este reptil. El uso por parte de las poblaciones humanas de las áreas silvestres está aumentando, por lo tanto, es probable que aumenten los encuentros entre humanos y cocodrilos. Las características generalistas y oportunistas de *C. acutus* convierten a esta especie en una “amenaza” para las áreas antrópicas y turísticas identificadas en este trabajo y se

convierte en un desafío en términos de conservación y desarrollo para Costa Rica.

El conocimiento aportado por medio de este estudio, permite tomar de manera asertiva algunas decisiones que se han postergado históricamente en Costa Rica, debido en parte a que no se disponía aún del conocimiento relacionado con el estado de las poblaciones de cocodrilos en el país y su dinámica poblacional; desconocimiento debido en parte, a que no se había integrado esta información con la información de la evolución de las poblaciones humanas en el hábitat compartido y las condiciones ambientales que este estudio aporta.

Con los resultados presentados es posible afirmar que las entidades administrativas correspondientes, ya están en capacidad de dictar pautas y directrices oportunas para manejar de forma atinada la relación entre humanos y cocodrilos, proveyendo mejor seguridad y facilitando la convivencia entre ambas especies.

Esta investigación permite formular las siguientes sugerencias:

- Determinación de áreas de presencia irrestricta de cocodrilos.
- Determinación de áreas de presencia selectiva según talla de cocodrilos (Convivencia condicionada).
- Determinación de espacios libres de cocodrilos.
- Creación de grupos especializados en el manejo de cocodrilos en las áreas de mayor interacción entre cocodrilos y humanos.
- Promoción y fomento de zocriaderos, como medio de proteger el hábitat y garantizar el involucramiento de los

habitantes de las áreas en las que se comparte el ambiente entre ambas especies.

- Realización de campañas informativas para dar a conocer el hábitat potencial del cocodrilo y las medidas de manejo por tomar en estas zonas, en busca de la conservación de la especie y el resguardo de la vida humana.

## Conclusiones

1. La abundancia relativa de *C. acutus* es menor en el Caribe Norte (0,55 ind./km) que en el Caribe Central, donde se encontraron 1,77 ind./km. De la misma manera, la abundancia relativa de *C. crocodilus* (1.37 ind./km) es menor que en la vecina región del Caribe Central (8.63 ind./km).
2. La menor abundancia de cocodrilianos en el Caribe Norte puede estar relacionada con la presencia de mayor actividad humana en el Caribe Central, que brinda más recursos de abastecimiento a la especie (alimentos, zonas de apareamiento y reproducción, entre otros).
3. Las tierras bajas del Caribe proporcionan una buena zona para que los cocodrilos grandes patrullen, casen y consoliden territorio, pero un mal lugar para aparearse y anidar, dado que la zona está expuesta a inundaciones repentinas, especialmente durante los meses de principios de invierno, cuando los nidos de cocodrilos todavía están en el campo. Esta característica favorece el desarrollo de la población de caimanes, cuya estrategia de construcción nidos considera esta posibilidad y permite la fácil y drenaje rápido del nido, y los huevos presentan una estructura de cáscara para tratar el problema como bien.

4. Los cocodrilos, presentan mayores poblaciones en lugares cercanos a asentamientos humanos. En el Caribe Norte y Central los grandes cocodrilos habitan la parte superior de los cursos de agua que riegan la zona, más allá de los límites de 25 km tierra adentro de este estudio; los ríos Raventazón, Chirripó Atlántico y Pacuare
5. El río Matina y la laguna de Jalova son los dos sitios principales para la observación de *C. acutus* en el caribe de Costa Rica, pero sus poblaciones son más pequeñas que las reportadas para la zona del pacífico norte y central de Costa Rica.
6. En el Pacífico Central de Costa Rica se presentan interacciones entre humanos y cocodrilos, debido al extenso desarrollo de actividades antrópicas asociadas a caminos, crecimiento poblacional humano, actividades agrícolas en áreas o márgenes de ríos, esteros y cuerpos de agua, estas actividades han generado la alteración del medio natural afectando el hábitat de la especie y potenciando la interacción con los humanos.
7. El aumento en las poblaciones de *C. acutus* en el Pacífico Norte y Central de Costa Rica podría haber ocurrido debido a que este reptil es una especie que tiende a ser abundante en áreas alteradas por humanos y en zonas de bosque en regeneración, como lo que se encuentra en el GHT y el PC, estos paisajes fragmentados con actividades humanas pueden beneficiar a los

cocodrilos al aumentar la disponibilidad de fuentes alimenticias, así como áreas de apareamiento y reproducción.

8. Los cambios en el uso del suelo en el Pacífico norte y Central de Costa Rica se correlacionan con el aumento de las poblaciones de cocodrilos, estas situaciones generan conflictos e interacciones entre humanos y cocodrilos, por lo que es probable que estas aumenten a medida que aumentan las poblaciones de cocodrilos bajo las actuales condiciones.
9. En el Pacífico Central la distribución del *C. acutus* obedece a la densidad de drenaje, las zonas de alta y media densidad de ríos por km<sup>2</sup>, se caracterizan por estar en regiones cercanas a las costas, en estas zonas hay presencia de ríos más sinuosos, sectores pantanosos, manglares y esteros, todos estos al norte de Puntarenas, y en las comunidades de Quepos, Parrita y el distrito de Caldera.
10. El hábitat potencial del cocodrilo en el Pacífico Central está determinado por la cobertura de uso del suelo principalmente las coberturas de manglar, ríos y la presencia de cuerpos de agua. Para esta zona las condiciones de hábitat potencial alto se asocian con la presencia cuerpos de agua, una alta densidad de la red de drenaje y la presencia de manglares, esteros, en altitudes menores a los 240 msnm.

11. Se confirma que *C. acutus* es abundante en zonas con alto índice de desarrollo territorial, presentando un patrón de convivencia con las poblaciones humanas, así mismo, se demuestra que la invasión progresiva de los humanos al hábitat del cocodrilo podría estar generando un aumento de los conflictos entre ambas especies.
  
12. La relación entre *C. acutus* y áreas antrópicas es clara y brinda la oportunidad de que se generen políticas de manejo, y estrategias de educación en áreas específicas por parte de las autoridades del Ministerio de Ambiente y el sistema Nacional de Áreas de conservación, para garantizar la seguridad humana y la conservación de este reptil.
  
13. El uso de las áreas silvestres por poblaciones humanas está aumentando, por lo tanto, se dará un aumento en los encuentros entre humanos y cocodrilos.

## Bibliografía

Abadía, G., Aparicio, K., Araiza, M., Gómez, H., Guerra, D., y Hidalgo, M. 1998. Situación poblacional de *Amazona auropalliata* in Costa Rica. Informe técnico, Programa Regional in Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica 16 pp.

Allsteadt J, Vaughan C. 1992. Ecological studies of the Central American Caiman (*Caiman crocodilus fuscus*) in the Caño Negro National Wildlife Refuge, Costa Rica. Bulletin of the Chicago Herpetological Society. 23:123–126.

Álvarez; M, Calvo; C, Coto; F, Gómez; M, Rodgers; R y Villalobos; M (2014). Estudio de determinación de necesidades de capacitación, formación profesional en la unidad regional Pacífico Central. San José, Costa Rica.

Amarasinghe A. A. T., Madawala M. B., Karunarathna D. M. S. S., Manolis S. C., De Silva A., Sommerlad R. 2015. Human-crocodile conflict and conservation implications of Saltwater Crocodiles *Crocodylus porosus* (Reptilia: Crocodylia: Crocodylidae) in Sri Lanka. Journal of Threatened Taxa 7:111-7130.

Aust P., Boyle B., Fergusson R., Coulson T. 2009. The impact of Nile crocodiles on rural livelihoods in northeastern Namibia. South African Journal of Wildlife Research 39: 57- 69.

Balaguera-Reina S. A., González-Maya J. F. 2010. Percepciones, conocimientos y relaciones entre los Crocodylia y poblaciones humanas en la Vía Parque Isla de Salamanca y su zona de amortiguamiento, Caribe colombiano. Revista Latinoamericana de Conservación 1:53-63.

Barrantes L. 2008. Determinación de la variabilidad genética y flujo genético entre poblaciones de cocodrilo (*Crocodylus acutus*) de los ríos Tempisque, Tárcoles y el complejo Terraba-Sierpe, con mención especial a la condición de la población del Tempisque. M.Sc. Dissertation, UNA. Heredia, Costa Rica.

Barrantes L. D. 2010. Analysis of crocodile attacks in Costa Rica 1990-2009. Crocodile Specialist Group Newsletter 29:14-15.

Bartels J. 2012. Aportes del turismo según los habitantes de las comunidades de Playas del Coco, Guanacaste, y el Roble, Puntarenas. Diálogos, Revista electrónica de Historia, Escuela de Historia, Universidad de Costa Rica 13: Octubre 2012.

Beier, P. 1993. Determining minimum habitat areas and habitat corridors for cougars. Conservation Biology 7(1):94–108.

Bennett, A. 2004. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de vida silvestre. UICN. San José, Costa Rica. 276 p

Bolaños J. 2012a. Manejo de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en estanques de cultivo de tilapia en Cañas, Guanacaste. Revista de Ciencias Ambientales 43:63-72.

Bolaños J. 2011a. Plan Estratégico para el Manejo de la población de *Crocodylus acutus* (cocodrilo americano), en el Gran Humedal Tempisque. Sistema Nacional de Áreas de Conservación. Dirección Regional. Área de Conservación Arenal Tempisque. 20 p.

Bolaños J. 2012b. Survey of American Crocodiles in Tempisque Great Wetlands, Guanacaste, Costa Rica. Crocodile Specialist Group Newsletter 31: 2-7.

Bolaños J., Sánchez J., Piedra L. 1997. Inventario y estructura poblacional de crocodílidos en tres zonas de Costa Rica. Revista de Biología Tropical 45: 283-287.

Bolaños J., Sánchez J., Sigler L., Barr B. R., Sandoval I. 2019. Population status of the American crocodile, *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) and the caiman, *Caiman crocodilus* (Reptilia: Alligatoridae), in the Central Caribbean of Costa Rica. Revista de Biología Tropical 67(6).

Bolaños, J. (1993). Manejo sostenido del cocodrilo y del caimán. San José, Costa Rica.

Bolaños, J. (2002). Reflexiones acerca del conflicto entre el hombre (*Homo sapiens*) y el cocodrilo *Crocodylus acutus*. Asociación de especialistas en crocodílidos –Centroamérica. San José. Costa Rica.

Bolaños, J. 2011b. Propuesta plan de contingencia en el manejo de la población de cocodrilos del Gran Humedal del Tempisque. San José, Costa Rica: SINAC.

Bolaños, J., Sánchez, J., Piedra, L. 1995. “Inventario y estructura poblacional de crocodílidos en tres zonas de Costa Rica. Revista de Biología Tropical: 44(3)/45(1): 283-287, 1996-1997

Brien, M. L., Cherkiss M. S., Mazzotti F. J. 2008. American crocodile, *Crocodylus acutus*, mortalities in Southern Florida. Florida Field Naturalist 36: 55-59

Caldicott D. G., Croser D., Manolis C., Webb G., Britton B. 2005. Crocodile attack in Australia: an analysis of its incidence and review of the pathology and management of crocodile attacks in general. Wilderness and Environmental Medicine 16:143-159.

Carrillo, E., Vaughan C. 1994. La Vida Silvestre de Mesoamérica: diagnóstico y estrategia para su conservación. 1era. Edición. Editorial EUNA. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 362 p

Carrillo-Rivera N. 2013. Interacción entre el Ser Humano y el Cocodrilo Americano (*Crocodylus acutus*) en el Gran Humedal Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. M.Sc. Dissertation, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Da Silveira R, Magnusson W, Campos Z. 1997. Monitoring the distribution, abundance, and breeding areas of *Caiman crocodilus* and *Melanosuchus niger* in the Anavilhanas archipelago, Central Amazonia, Brazil. Journal of Herpetology. 31:514–520.

Delgado L. A. 2018. Landscape Heterogeneity and tree species diversity in a tropical forest. Development and validation of a methodological proposal. Ecosistemas 27(1): 105-115.

Escobedo Galván, Armando. 2005. El lagarto amarillo (*Crocodylus acutus*, Crocodylia: Crocodylidae): su estado poblacional

en dos ríos del Pacífico Central de Costa Rica. *Brenesia*, Vol 2005, No 63-64:113-120

Escobedo, A. (2003). Periodos de actividad y efectos de las variables ambientales en cocodrilos (*Crocodylus acutus* Cuvier 1807): evaluando los métodos de determinación de la fracción visible. *Ecología aplicada*, 2(1), 136-140.

Escobedo-Galván A. H. 2008. Estructura poblacional y proporción de sexos en *Caiman crocodilus* en Caño Negro, Costa Rica. *Iheringia. Série Zoologia* 98:489-492.

Fahrig, L. 2002. Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: a synthesis. *Ecological Applications*. 12:346–53.

Fergusson, R. 2004. Preliminary analysis of data in the African human–crocodile conflict database. *Crocodile Specialist Group Newsletter* 23–24:21–22.

Fonseca A. 2008. Decimocuarto informe estado de la nación en desarrollo humano sostenible. La Zona Marino Costera. Consejo Nacional de Rectores (CONARE). San José, Costa Rica. 62 pp

Gardner, PC., Goossens, B., Goon Ee Wern, J., Kretzschmar, P., Bohm, T., Vaughan, IP (2018) Spatial and temporal behavioural responses of wild cattle to tropical forest degradation. *PLoS ONE* 13(4): e0195444.

Haila, Y. 2002. A conceptual genealogy of fragmentation research: From Island Biogeography To Landscape Ecology. *Ecological Applications* 12(2):321–334.

Harris, L. D. 1984. The fragmented forest: island biogeography theory and the preservation of biotic diversity. The University of Chicago press. Chicago, EUA. 211 pp.

Harrison, S. 1991. Population growth, land use and deforestation in Costa Rica, 1950-1984. *Interciencia* 16(2):83-93

Herrera, V., & Mata, R. (1993). Cartografía y clasificación de los suelos de la llanura aluvial delimitada por los ríos Madre de Dios, Barbilla y Matina. *Agronomía Costarricense*, 17(1), 7-24.

INDER. (2016). Caracterización del territorio Limón Matina. Limón, Costa Rica: Dirección Huetar Caribe - INDER.

Jiménez, J. A., González, E., Jiménez, A., Pizarro, F. 2008. Determinación preliminar del caudal ambiental en el río Tempisque, Costa Rica?: el enfoque hidrológico con limitación de datos. *Revista Forestal* 5(13):1-18

Karchesy, YM., Kelsey. RG, Constantine, G., Karchesy, JJ. 2016. Biological screening of selected Pacific Northwest forest plants using the brine shrimp (*Artemia salina*) toxicity bioassay. *SpringerPlus*. 5(1):510.

King F., Espinal M., Cerrato C. 1990. Distribution and status of the crocodylian of Honduras. Results of a survey conducted for the Convention of International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, and the Honduras Secretaría de Recursos Renovables. In *Proceedings of the 10th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group of the Species Survival Commission of IUCN* (pp. 313-354). Florida, USA.

Kushlan, J., & Mazzoti, F. (1986). Population biology and status of the American crocodile in South Florida. Florida, USA: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

Lamarque F., Anderson J., Fergusson R., Lagrange M., Osei-Owusu Y., Bakker L. 2009. Human-wildlife conflict in Africa: Causes, consequences, and management strategies. *Food and Agriculture Organization of the United Nations Bulletin*, Rome, Italy, 98pp.

Langley, R. L. 2005. Alligator attacks on humans in the United States. *Wilderness and Environmental Medicine*. 16:119–124.

Laurance W., Nascimento H., Laurance S., Andrade A., Fearnside P., Ribeiro J., Capretz R. 2006. Rain Forest Fragmentation and The Proliferation of Successional Trees. *Ecology* 87:469-482.

Leenders T.2019. Reptiles of Costa Rica: A Field Guide. Comstock Publishing Associates. USA. 640 pp.

Levy, C. (1981). *Endangered Species: Crocodiles and Alligators*. Nueva Jersey, USA: Chartwell Books.

Martínez-Salinas, M. A. 2008. Conectividad funcional para aves terrestres dependientes de bosque en un paisaje fragmentado en Matiguás, Nicaragua. Tesis de maestría en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 141 pp

Mauger L. A., Velez E., Cherkiss M. S., Brien M. L., Mazzotti F. J., Spotila, J. R. 2017. Conservation genetics of American crocodile, *Crocodylus acutus*, populations in Pacific Costa Rica. *Nature Conservation* 17:1- 17.

Mazzotti F. L., Brandt P., Moler., Cherkiss M. 2007. American Crocodile (*Crocodylus acutus*) in Florida: Recommendations for Endangered Species Recovery and Ecosystem Restoration. *Journal of Herpetology* 41(1):121–131.

McGregor, J. 2005. Crocodile crimes: people versus wildlife and the politics of postcolonial conservation on Lake Kariba, Zimbabwe. *Geoforum* 36(3):353– 369.

Medem F. 1981. Los Crocodylia de Sur América. Los Crocodylia de Colombia. Vol. I. Bogotá, Colombia: Editorial Carrera. 354 pp.

Menacho R. 2001. Turismo y vida silvestre en los humedales del Tempisque. *Revista de Ciencias Ambientales*. 21(1): 13-22.

Messel, H., Vorlicek, G., Wells, A., & Green, W. (1981). *Surveys of the tidal river system in Northern Territory of Australia and their crocodile populations*. Sydney, Australia: Pergamon.

Morales A. 2013. Percepciones y conocimiento popular sobre cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en las zonas aledañas al río Tempisque, Costa Rica. *Biocenosis* 27(1-2):71–76.

Morera C., Sandoval L. 2016. Evaluación de la cobertura boscosa en Costa Rica: Un análisis a nivel de áreas de conservación. *Revista geográfica de América Central*. Heredia, Costa Rica.

Motte, M. 1994. Abundancia, distribución e impacto de predación del cocodrilo (*Crocodylus acutus*, Cuvier 1807) sobre el

ganado vacuno en las fincas aledañas al Río Grande de Tárcoles, Costa Rica. Tesis de Maestría para optar al grado de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Vida Silvestre. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 94 pp.

Murray C. M., Easter M., Padilla S., Garrigós D. B., Stone J. A., Bolaños-Montero J., Guyer C. 2015. Cohort-dependent sex ratio biases in the American crocodiles (*Crocodylus acutus*) of the Tempisque basin. *Copeia* 103:541-545.

Orozco W. 2015. Monitoreo de la población de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Tempisque. Guanacaste. Costa Rica. 2011-2014. Disertación. Práctica Dirigida. Universidad Estatal a Distancia (UNED). San José. Costa Rica.

Peraza, M. 2015. Estado actual, distribución y cuota de cosecha de la población de *Crocodylus acutus* en la cuenca baja del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. M.Sc. Dissertation, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 70 pp.

Pickett, S.T., Thompson, J. 1978. Patch dynamics and the design of nature reserves. *Biological Conservation* 13:27-37

Piedra L. 2000. Estado de las poblaciones de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) (Reptilia: Crocodylidae) en tres ríos del Pacífico Central de Costa Rica (Disertación. Licenciatura, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica).

Pincheira-Ulbrich, J., Rau, J., Peña-Cortés, F. 2009. Tamaño y forma de fragmentos de bosque y su relación con la riqueza de especies de árboles y arbustos. *Phyton*. 78:121–128.

Pooley AC, Hines T, Shields J. 1989. Attacks on humans. In: *Crocodiles and Alligators*. New York: Weldon Owen. p. 172–187.

Pooley S. 2017. A Cultural Herpetology of Nile Crocodiles in Africa. *Conservation and Society* 14:391-405.

Pooley S., Barua M., Beinart W., Dickman A., Holmes G., Lorimer J., Sillero-Zubiri C. 2017. An interdisciplinary review of

current and future approaches to improving human–predator relations. *Conservation Biology* 31:513-523.

Pooley S., Siroski P., Fernandez L., Sideleau B., Ponce-Campos P. 2021. Human–crocodilian interactions in Latin America and the Caribbean region. *Conservation Science and Practice* 3(5): e351.

Pooley, AC., Hines, T., Shields, J. 1989. Attacks on humans. In: *Crocodiles and Alligators*. New York: Weldon Owen. p. 172–187.

Pooley, S. 2016. A cultural herpetology of Nile crocodiles in Africa. *Conservation and Society*. 14(4):391–405.

Porras L. 2007. Cocodrilos en Costa Rica: ¿poblaciones o metapoblaciones? *Revista de Ciencias ambientales*, 33(1):18-22.

Porras L., Mata E. 2020. Analysis of the Interactions Between Humans and Crocodiles in Costa Rica. *South American Journal of Herpetology* 16:26–33

Porras, L. 2004. Situación actual del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en los ríos Jesús María, Tárcoles y Tusubres: estructura poblacional e intercambio genético. Tesis de Maestría. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 82 p.

Porras, L. 2007. Cocodrilos en Costa Rica: ¿poblaciones o metapoblaciones? *Revista de Ciencias ambientales*, 33 (1), 18-22.

Porras-Murillo, L. P., Bolaños-Montero, J. R., Barr, B. R. 2008. Variación genética y flujo de genes entre poblaciones de *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) en tres ríos del Pacífico Central, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 56(3):1471-1480.

Prado, M., Quirós, D., Lomonte, B. 2009. Mortalidad por picaduras de himenopteros en Costa Rica, 1985-2006. *Revista Panamericana de Salud Pública* 25(5):389

Ramírez, A. 2008. Análisis de conflictos socioambientales relacionados con el aprovechamiento y la contaminación de los recursos hídricos en Guanacaste (1997-2006). *Anuario de Estudios Centroamericanos*, Universidad de Costa Rica, 33-34: 359-385, 2007-2008

Rau, J. y Gantz, A. 2001. Fragmentación del bosque nativo del sur de Chile: efectos del área y la forma sobre la biodiversidad de aves. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción*. 72:109–119.

Ross J.P. (ed.). 1998 *Crocodiles. Status Survey and Conservation Action Plan*. 2nd Edition. IUCN/SSC Crocodile Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 96 pp.

Ryall, K.K., Fahrig, L. 2006. Response of predators to loss and fragmentation of prey habitat: a review of theory. *Ecology*. 87(5):1086–1093.

Sánchez J. 2001. Estado de la población de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. INBIO, Heredia, Costa Rica. 49 pp.

Sánchez J., Bolaños J., Piedra L. 1996. Población de *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) en dos ríos de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 44(2):835-840

Sánchez J., Bolaños J., Piedra L. 1996. Población de *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) en dos ríos de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 44:835-840.

Sandoval I., Duran-Apuy A., Quirós-Valerio J. 2017. Activities That May Influence the Risk of Crocodile (*Crocodylus acutus*: Reptilia: Crocodylidae) Attack to Humans in the Tempisque River Area, Guanacaste, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(1):13-22.

Sandoval I., Castillo M. 2011. Áreas protegidas de Costa Rica: Fragmentación, tamaño y forma. *Métodos en Ecología y Sistemática* 6:21.

Sandoval L., Morera C., Sandoval I. 2019. Zonificación de las áreas propensas a incidentes por ataques de *Crocodylus acutus* en el Pacífico Central de Costa Rica utilizando un Sistema de Información Geográfico. *Revista Cartográfica* 98:259-279.

Sandoval I., Morera C., Sandoval I. 2020. Determinación del hábitat potencial del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) como estrategia para la reducción de conflictos con el ser humano en el

Pacífico Central, Costa Rica. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)* 17: 1-17

Sasa M., Chaves G. 1992. Tamaño, estructura y distribución de una población de *Crocodylus acutus* (Crocodylia: Crocodylidae) en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 40(1):131–134.

Saunders D., Hobbs R., Margules C. 1991. Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. *Conservation Biology* 5:18 - 32.

Schwenk, WS., Donovan, TM., Keeton, WS., Nunery, JS. 2012. Carbon storage, timber production, and biodiversity: comparing ecosystem services with multi-criteria decision analysis. *Ecological Applications*. 22(5):1612–1627.

Simmonetti, J., Mella, J. 1997. Park size and the conservation of Chilean mammals. *Revista Chilena de Historia Natural*. 70:213–220.

Thorbjarnarson J. B. 1989. Ecology of American Crocodile, *Crocodylus acutus*. Pp. 228–259, in International Union for the Conservation of Nature (Ed.), *Crocodyles: Their Ecology, Management and Conservation*. IUCN, Gland.

Torrealba, I., Paz, O., & Motte, M. (1992). Censo de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en el río Grande de Tárcoles, Costa Rica. Heredia, Costa Rica: Aportes al conocimiento de la vida silvestre en el caso de la Reserva Biológica Carara y la Reserva de Manglares Guacalillo. Proyecto Integrado de Investigación y Extensión: 1992-1993. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 25-35 pp.

Troche, C., Guarachi, E. 2001. Análisis del cambio de cobertura y fragmentación del hábitat en el municipio de Independencia. Una propuesta metodológica simple para la identificación de áreas prioritarias de investigación biológica. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales, CLAS. 44

Turner, M. 2005. Landscape ecology: what is the state Of the science? *Ecology Evolution and Systematics* 36:319–44

Valdelomar, V., Ramírez-Vargas, M. A., Quesada-Acuña, S. G., Arrieta, C., Carranza, I., Ruiz-Morales, G., Espinoza-Bolaños, S., Mena-Villalobos, J. M., Brizuela, C., Miranda-Fonseca, L., Matarrita-Herrera, M., González-Venegas, J., Calderón-Sancho, E., Araya, J. F., Sauma-Rossi, Álvaro, Sandoval-Hernández, I., & Gómez-Lépiz, A. (2012). Percepción y conocimiento popular sobre el cocodrilo *Crocodylus acutus*; (Reptilia:Crocodylidae) en zonas aledañas al río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. UNED Research Journal, 4(2), 191-202.

Vanwersch, K. 1998. Crocodile bite injury in southern Malawi. Tropical Doctor 28:221–222.

Venegas-Anaya, M., Escobedo-Galván, A., Balaguera-Reina, S., Lawrence, F., Sanjur, O., Densmore, L. 2015. Population ecology of American crocodile (*Crocodylus acutus*) in Coiba National Park, Panama. Journal of Herpetology 49(3):349–357.

Wiens, J. A. 1994 Scale Effects of Vegetation on Forager Movement and Seed Harvesting by Ants. Oikos 69, 37-46.

Woodroffe R., Thirgood S., Rabinowitz A. 2005. People and Wildlife: Conflict or Coexistence. Cambridge University Press, UK, 516 pp.