

RANGOS DE HOGAR Y DESPLAZAMIENTO DE *Caiman crocodilus* Y *Crocodylus acutus* EN TEMPORADA SECA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL TAYRONA, COLOMBIA: UNA APROXIMACIÓN A TRAVÉS DE LA RADIOTELEMETRÍA COMO HERRAMIENTA DE CONSERVACIÓN



MARÍA CATALINA PINZÓN BARRERA

TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR

EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

DIRECTOR:

SERGIO A. BALAGUERA-REINA. Ph. D

CODIRECTORA:

NELSY ROCÍO PINTO SANCHEZ. Ph. D

FECHA DE SUSTENTACIÓN:

26 DE SEPTIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

PROGRAMA DE BIOLOGÍA APLICADA

CAJICÁ, CUNDINAMARCA

2022

ÍNDICE

	PÁG
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
1. MARCO TEÓRICO	7
1.1. Tipos de sistemas de radiotelemetría	9
1.1.1 Telemetría VHF	9
1.1.2 Telemetría UHF	10
1.1.3 Telemetría satelital / GPS	11
1.1.4 Telemetría acústica	12
1.2 Métodos estadísticos para analizar datos de telemetría	13
1.2.1 Análisis espacial: autocorrelación y patrones espaciales	13
1.2.2 Mínimo Polígono convexo	14
1.2.3 Análisis de cascos convexos locales	14
1.2.4 Densidad de kernel	15
1.2.5 Análisis de puntos calientes	15
1.3 Ecología espacial en el orden Crocodylia	16
1.3.1 Contexto regional y local	19
2. ANTECEDENTES	21
2.1. Familia Crocodylidae	21
2.2. Familia Alligatoridae	22
2.3. Familia Gavialidae	26
2.4. La mujer y los crocodylianos: ¿existe una brecha de género en estudios de ecología espacial por radiotelemetría?	27

2.5 Perspectivas y oportunidades	29
3. ARTÍCULO CIENTÍFICO	31
3.1 Resumen	31
3.2 Abstract	32
3.3 Introducción	33
3.4 Materiales y métodos	35
3.4.1 Área de estudio	35
3.4.2 Captura, marcaje e instalación de transmisores	35
3.4.3 Rutas de registros y triangulación	36
3.4.4 Análisis espacial: autocorrelación, patrones espaciales y rangos de hogar	37
3.4.5 Análisis estadístico	38
3.5 Resultados	38
3.6 Discusión	45
3.7 Conclusiones y recomendaciones	50
3.8 Agradecimientos	51
4. Literatura citada	52
5. Anexos	71

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Sergio A. Balaguera Reina y a Nelsy Pinto Sánchez por su orientación durante la realización del proyecto e igualmente a Nidia Farfán Ardila por su gran apoyo en campo. Esta experiencia fue única y maravillosa, solo tengo gratitud por la paciencia, enseñanza y pasión brindada por ellos. De igual manera, agradezco a la Universidad Militar Nueva Granada y al programa de Biología Aplicada por formarme profesionalmente.

Estoy muy agradecida con la ayuda financiera de la beca otorgada por el Programa de Apoyo de Investigación para el Estudiante del Grupo de Especialistas de Cocodrilos (CSG), de la Comisión para la Supervivencia de Especies (SSC) de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), al igual que con los demás colaboradores del proyecto. A Parques Nacionales Naturales de Colombia por permitirme desarrollar la fase I del proyecto de investigación, denominado “*Ecología espacial de Caimán aguja (Crocodylus acutus) en el Parque Nacional Natural Tayrona*”, con el aval de investigación ORFEO 20202000002463 del 26 de marzo del 2020, a CrocFest por la financiación para la compra de los equipos, a la Universidad de Ibagué, Corporación Natural SIG y Texas Tech University por su apoyo económico y logístico.

Agradezco profundamente a mis colegas Paula Rozo y Sebastián Pinilla por su amistad incondicional. A Dani, mi oreme munyarco por su amor infinito y apoyo incondicional a lo largo de este proyecto. A los guardaparques del PNN Tayrona por su amistad y colaboración en las jornadas de captura y monitoreo: Tatis, Karen, Jader, Paula, Denisse, Robin, Octavio, Wilber, Álvaro, Cristóbal, Chimbi, Erika, Jeiner y Elkin. Igualmente, a Vega, Chucho y Helena por todo su cariño e historias regaladas. Por último, pero no menos importante, a mi familia que sin ellos no hubiera sido posible este logro, muchas gracias ¡Los amo!

Senyarle

(¡gracias! en lengua Kogui)

“No se puede pasar un solo día sin tener un impacto en el mundo que nos rodea. Lo que hacemos marca la diferencia, y tenemos que decidir qué tipo de diferencia queremos hacer.” - Jane Goodall

“La prueba de todo conocimiento es el experimento, ...es el único juez de la verdad científica; necesitamos enseñar a que la duda no sea temida, sino bienvenida y debatida. No hay problema en decir: «No lo sé»; Es posible que, en el fondo de su corazón, la naturaleza sea completamente asimétrica, pero su complejidad nos acaba pareciendo simétrica.” - Richard Feynman

RESUMEN

Colombia es uno de los países con mayor diversidad de crocodylianos en el mundo. Sin embargo, el conocimiento ecológico sobre sus poblaciones es escaso para la mayoría de las especies. A nivel de ecología espacial, no se han realizado a la fecha estudios en el país que permitan entender las dinámicas espaciales de estas especies y su relación con el entorno por medio de radiotelemetría. De manera que, en este documento se presenta el primer estudio piloto en Colombia que trabaja la ecología espacial de *C. acutus* y *C. crocodilus* a nivel local, para una temporada de sequía (febrero-julio) del 2021 en el Parque Nacional Natural Tayrona del Caribe colombiano, con el fin de brindar un recurso técnico a Parques Nacionales Naturales de Colombia para la conservación de estas especies al interior del Área Protegida (AP) y de sus ecosistemas asociados. Este estudio además permitió identificar zonas de mayor prevención de interacciones negativas entre crocodylianos y humanos dentro del sector oriental del AP.

En el primer capítulo se aborda la revisión bibliográfica del estado actual del conocimiento sobre estudios de rangos de hogar y/o patrones de desplazamiento en crocodylianos (Familias Crocodylidae, Alligatoridae y Gavialidae), a nivel mundial. Este marco teórico se enfocó en el monitoreo por diferentes sistemas de radiotelemetría y en el manejo de los datos espaciales obtenidos. Se registraron un total de 77 publicaciones desde 1970-2022, donde la familia Alligatoridae corresponde al 51.95% de estudios, seguido de Crocodylidae con 45.55% y con menor proporción Gavialidae con el 2.60%. Además, se encontró que la mayor cantidad de estudios se concentran en Estados Unidos (n=26), seguido de Australia (n= 11) y Brasil (n=10), siendo *Alligator mississippiensis*, *Crocodylus porosus* y *Crocodylus acutus*, las especies más investigadas en este campo de estudio. Asimismo, se reportan mayor cantidad de estudios con telemetría VHF (71.42%), que satelital (15.58%) y sistemas combinados (12.98%) para monitorear crocodylianos. Por otro lado, en el estado del conocimiento de la ecología espacial del Orden Crocodylia a través de la radiotelemetría, se encontró una brecha de género entre los investigadores que contribuyeron en las publicaciones. Se reconoce que al menos una mujer ha participado en el 47.50% de todas las publicaciones, sin embargo, al estudiar la proporción histórica de géneros, los hombres han aportado más del 80% del conocimiento en estas investigaciones. Finalmente, se resalta la necesidad de buscar estrategias para evitar esta tendencia entre mujeres y hombres, ya que, esto posibilitará mayor diversidad de ideas y gestión de proyectos para la conservación de crocodylianos y ecosistemas asociados a su distribución.

En el segundo capítulo de este trabajo de grado, se presenta el artículo científico que evidencia una aproximación de la ecología espacial de *C. acutus* y *C. crocodilus* en el sector oriental del PNNT, específicamente en las localidades de Arrecifes y Cañaveral, basado en los datos obtenidos por radiotelemetría VHF. Se obtuvieron 275 registros (167 de *C. acutus*, n=3 y 108 de *C. crocodilus*, n=3), con un porcentaje de error del 12.69% y frecuencia de monitoreos por día de 1.02 ± 0.56 y 0.61 ± 0.37 respectivamente. Se obtuvieron rangos de hogar mediante el uso de tres métodos: Mínimo Polígono Convexo (MPC), Casco Convexo Local (LoCoH) y estimación de densidad kernel (KDE) con isopletas al 100%, 95% y 50%,

encontrando en los tres casos un rango de hogar máximo para *C. acutus* de 0.189 km² y de 0.042 km² para *C. crocodilus*. No obstante, todos los individuos tuvieron distancias medias recorridas (DMR) < 1 km en un periodo de cinco meses (Feb-Jul), con una época de sequía extendida en campo del 2021. Se comprobó que *C. acutus* presentó mayores desplazamientos que *C. crocodilus*. De igual manera, con el inicio de lluvias en julio aumentaron las DMR semanales de *C. acutus*, se encontró un efecto positivo con la precipitación promedio (PP), a través de regresiones lineales generalizadas con base en distribuciones negativas binomiales. En contraste, las DMR semanales de *C. crocodilus* se vieron afectadas por más co-variables ambientales (radiación solar, PP, temperatura media y mínima). Se concluye que estos datos espaciales aportan información valiosa en planes de manejo y futuras investigaciones del área protegida para la conservación y manejo de crocodylianos, al igual que de los ecosistemas asociados.

Se espera que la información brindada en este trabajo de grado sirva como precedente para futuros estudios espaciales de crocodylianos dentro y fuera del AP, direccionados en el manejo y protección de las especies, al igual que los ecosistemas asociados a su distribución en el Caribe colombiano. Se reconoce que la radiotelemetría VHF es una herramienta útil para monitorear estas poblaciones de crocodylianos, a corto y mediano plazo. Finalmente, los hallazgos presentados en este estudio disminuyen el vacío de información que existe a nivel nacional y regional sobre la ecología espacial de *C. acutus* y *C. crocodilus* para el Caribe colombiano, específicamente para una temporada de sequía extendida en el PNNT del Caribe colombiano.

1. MARCO TEÓRICO

La radiotelemetría en estudios espaciales y conservación de vida silvestre

Estudiar el movimiento es una de las características más importantes y básicas en la ecología de todos los vertebrados (Kingsbury y Robinsnson, 2016). Conocer los patrones de desplazamiento en relación con sus requerimientos de hábitat, permite entender las condiciones ambientales que necesita para poder obtener su alimento, crecer y reproducirse (Millspaugh y Marzluff, 2001). La rama que se encarga de analizar los patrones de desplazamiento y rangos de hogar se llama ecología espacial, en este campo se estudian las geolocalizaciones espacio/temporales de individuos dentro de una población, la cual interactúa con el medio ambiente por medio de factores bióticos y abióticos (Fletcher y Fortin 2018).

La forma en que se distribuye un organismo en la naturaleza permite cuantificar su vulnerabilidad frente a extinciones locales o regionales (Primack, 2010). De manera que al analizar la distribución espacial es posible orientar e identificar áreas de priorización para mitigar o conservar una población específica (Fletcher y Fortin, 2018). No obstante, al rastrear los desplazamientos de un animal, también es posible comprender otro tipo de información biológica, como su tolerancia fisiológica, esfuerzo reproductivo e interacciones sociales, si existen órdenes jerárquicos dentro de la población a la que pertenecen o conocer acerca de su capacidad competitiva interespecífica y/o intraespecífica (Kays et al., 2015; Kingsbury y Robinsnson, 2016).

Una herramienta para estudiar la ecología espacial de la vida silvestre es la radiotelemetría, telemetría, biotelemetría o “radio-tracking” en inglés (Priede y Swift, 1992; Cooke et al., 2004), la cual hace referencia a la transmisión de información por ondas de radio de forma aérea o acuática (Gallina y López, 2011). Su principio físico está basado en la emisión inalámbrica de ondas electromagnéticas por parte de un transmisor instalado en el animal, que pueden ser propagadas por atenuación, reflexión, difracción y/o polarización. Esta señal es traducida gracias a un receptor o un sistema automatizado que busca en el rango de frecuencia (Hz) al que está configurado el transmisor para obtener una localización (Kenward, 2001^a).

La técnica surgió en la década de los 50 's en Estados Unidos para monitorear parámetros fisiológicos (Kenward, 2001^b) y se convirtió en una herramienta muy útil para seguir individuos a largas distancias. Para ello en las siguientes cuatro décadas se trabajó en disminuir el tamaño de los transmisores, aumentar la potencia informática y mejorar el tiempo de vida de la batería (Kenward, 2001^b), siendo importante la década de los 90 por el libre uso de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y sistemas de localización satelital en tiempo real.

Actualmente, la radiotelemetría sigue siendo reconocida y utilizada para el monitoreo de vida silvestre (Kays et al., 2015). Sin embargo, esta no es la única forma de monitorear animales, ya que existen métodos más antiguos como captura - recaptura y marcaje visual directo (collares, bandas, serpentinas de colores numeradas) o indirecto con emisores de luz en la noche (Kenward, 2001^a). Al igual que el uso de registros fotográficos de su morfología, marcas naturales o heridas distintivas (Sánchez-Herrera et al., 2011; Balaguera-Reina, et al., 2017). La diferencia de usar radiotelemetría es que se hace un seguimiento continuo, de modo que permite conocer patrones de movimiento, sin necesidad de molestar o manipular el animal hasta que sea necesario retirar el transmisor. Es una ventaja con especies crípticas o que viven en lugares que son difíciles de monitorear visualmente, como los entornos marinos (Kingsbury y Robisnson, 2016). Gallina y López (2011) modifican la clasificación existente de Garton y colaboradores (2001) que explica la diversidad de información que es posible de analizar con la telemetría y que no se obtiene por otra técnica en tres diferentes aspectos:

- (1) **Aspectos descriptivos:** áreas de actividad, uso de hábitat, frecuencia de interacciones con otros individuos, frecuencia de depredación, y comportamientos de territorialidad o parentalidad.
- (2) **Aspectos relacionales:** tasas de supervivencia, productividad o dispersión del animal en función del hábitat, tensores antrópicos o clima.
- (3) **Aspectos manipulativos:** Experimentos de liberación, forrajeo, comportamiento social con humanos.

Esta herramienta proporciona información clave para explicar la historia de vida de un animal (Kays et al., 2015). Sin embargo, esto debe ir acompañado de un riguroso diseño experimental, el cual no debe estar basado en la cantidad de transmisores que se usarán, sino en el valor y uso potencial que se les da a estos datos ecológicos (Millspaugh y Marzluff, 2001). Primero es importante hacer una prueba piloto, saber que es posible capturar los individuos y practicar el método de instalación más eficiente con el animal de estudio. Es mejor evitar un impacto negativo por parte del transmisor, teniendo en cuenta la relación indirecta entre el tamaño y longevidad del dispositivo; este debe ser liviano, compacto y no debe superar el 5% del peso corporal del animal (Brander y Cochran, 1971), ya que esto puede ocasionar cambios en sus desplazamientos al afectar el comportamiento, supervivencia o desplazamiento del individuo (Withey et al., 2001).

De igual forma, el presupuesto para estos proyectos usualmente es limitado con dispositivos de telemetría entre los 150-5000\$ USD (Kingsbury y Robisnson, 2016). Por lo anterior, se debe seleccionar el tipo de sistema de radiotelemetría que se ajuste más a la pregunta que se quiere responder, evitando la mayor cantidad de error posible. Desde la habilidad del investigador en campo durante el registro del movimiento del animal, en relación a la configuración del paisaje (distancia del investigador al espécimen con presencia de vegetación u obstáculos presentes); hasta la creación de los mapas (estimación de error y

reporte durante el análisis de datos), al igual que es importante mantener en buen estado el mantenimiento del equipo de radiotelemetría para evitar señales de rebote e interferencia electromagnética (Withey et al., 2001). Existe un costo/beneficio implicado en cada uno de los sistemas de radiotelemetría, ya que de estas características dependerá el diseño experimental, el gasto inicial de equipos y/o mano de obra durante la toma de datos espaciales (Kenward, 2001^a). De manera que, al seleccionar cualquier sistema de telemetría, este presentará un tipo de error de precisión en los datos, sin embargo, no quiere decir que esta información sea inválida o carezca de fundamento, sino que tiene que ser tratada rigurosamente para hacer inferencias sobre los movimientos de la especie (Millsaugh y Marzluff, 2001). A continuación, se explica brevemente cada una de ellas.

1.1. Tipos de sistemas de radiotelemetría

1.1.1 Telemetría de muy alta frecuencia (VHF): Es el sistema más antiguo y usado para monitorear vida silvestre (Kenward, 2001^b). Consiste en el uso de transmisores con frecuencias de operación 150kHz – 250 MHz sujetos al animal monitoreado. Estas frecuencias son preestablecidas por la calibración del cuarzo que tiene en su interior, ya que trabajan con diferentes grosores para vibrar a una velocidad específica. Este transmisor puede ser instalado en un collar, arnés o un implante, donde dicha onda será captada por una antena Yagi de dos, tres o cuatro elementos que traducirá la señal al receptor, emitiendo así, un sonar (decibeles - dB) que demuestra la detección de señal de pulso (ms) de la frecuencia recibida (Kenward, 2001^a) (Fig. 1A).

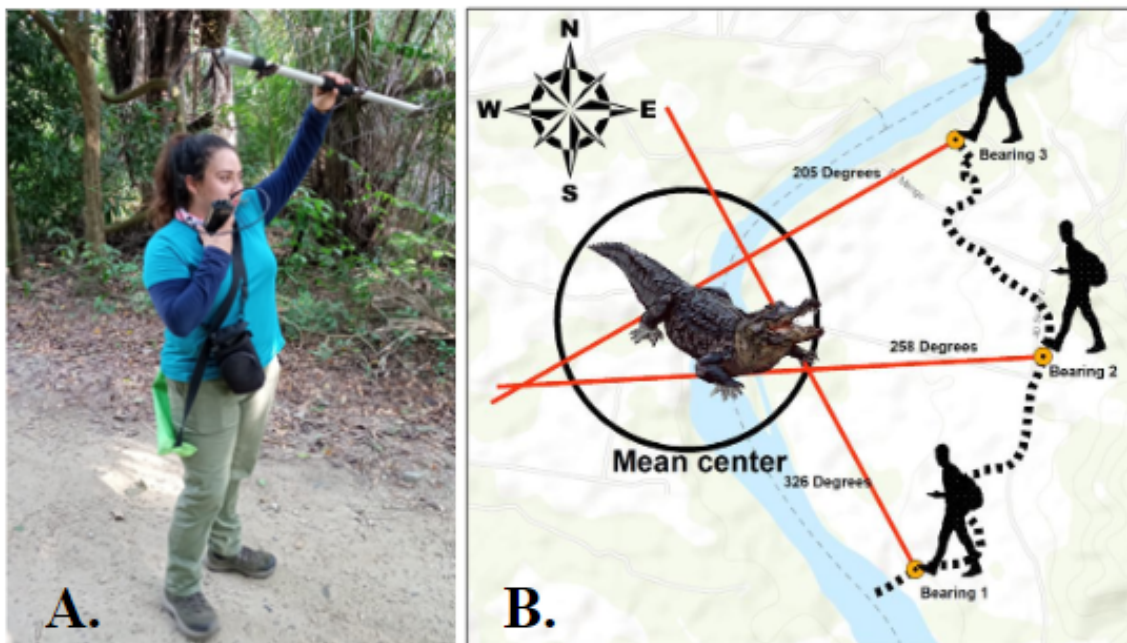


Figura 1. A. Implementos usados por radiotelemetría VHF. Se observa la antena yagi direccional de tres elementos, cable coaxial y receptor portátil. B. Proceso de triangulación para la obtención de registros (geolocalizaciones) de los individuos monitoreados.

En la medida que el individuo monitoreado esté más cerca del investigador, será menor la ganancia modulada para obtener la señal del transmisor, ya que de esto depende la resolución y fuerza de la señal recibida (Garton et al., 2001). Para generar la localización por este sistema, es necesario triangular los monitoreos (Fig. 1B), es decir registrar con una brújula el ángulo de la orientación o azimut (grados) en dirección de la señal. Al igual, que las coordenadas de mínimo tres estaciones (“bearing”), de manera que sea posible obtener los vectores intersecantes que permitan la formación de un centroide, el cual representará el área donde se encuentra la localización del individuo (Gallina y López, 2011).

Esta técnica se caracteriza por ser la más económica y práctica en campo (Kenward, 2001^b). Sin embargo, la selección de implementos VHF debe ser precisa porque de lo contrario representará un costo mayor en campo y quizás afecte el registro de datos espaciales. En el caso de la antena, la selección de cantidad y longitud de elementos depende del tamaño del animal y el entorno por el que se mueve (Kenward 2001^a). No es lo mismo trabajar con animales acuáticos o terrestres, en entornos de bosques densos o en terrenos abiertos. Al tener más elementos en la antena es posible aumentar el rango de ganancia, es decir, se puede mejorar la precisión y direccionalidad de la señal, en relación con el ruido ambiental a una distancia segura para el investigador (Kingsbury y Robinsnson, 2016). Sin embargo, la precisión de la localización por este sistema depende de las características del paisaje, la experiencia del investigador y el mantenimiento del equipo de telemetría, por lo que siempre se reportará un error de la localización, ya que su precisión nunca será exacta (Withey et al., 2001).

Para la selección de transmisores y receptor portátil, si se manejan altas frecuencias (142-230 MHz) esto se verá reflejado en el peso de los transmisores y por consiguiente de su batería (voltios-V) (Kenward, 2001^a). Kolz y Johnson (1981) encontraron que la detección de la frecuencia en volumen (dB) aumenta si el ancho de pulsos emitidos (ms) por el transmisor es mayor (>30ms), lo cual implicaría más gasto energético de la batería. Es posible calibrar el transmisor en relación con la variación del ancho de pulso. Debido a que se ha estudiado que las bajas temperaturas en el transmisor pueden ralentizar los pulsos emitidos, que en efecto contrario aumentaría el tiempo de vida del transmisor (Kingsbury y Robinsnson, 2016), esto permitiría conocer si hay una disminución de la temperatura corporal del individuo o la ambiental de la zona de estudio, y a la vez inferir si el animal se encuentra bajo el suelo. De modo que es importante tener en cuenta el costo/beneficio de la batería y la temperatura en relación con las condiciones climáticas donde se monitorea el espécimen por telemetría VHF.

1.1.2 Telemetría de ultra alta frecuencia (UHF): Con relación al sistema UHF, este se destaca por manejar frecuencias mayores a VHF de 300MHz-3GHz, por lo que atraviesa mejor las barreras que pueden presentarse por interferencia electromagnética o vegetación presente en el área de estudio (Kenward, 2001^a), permitiendo obtener información a distancias que superan los 80 km (Lawson et al., 1976). A su vez, las antenas receptoras poseen menores tamaños, ya que la longitud y el alcance de las ondas con las que se trabaja. De manera que las configuraciones del paisaje no son necesariamente un obstáculo para detectar señales a distancias mayores como sí pasa con VHF (Withey et al., 2001). No

obstante, los requerimientos energéticos son mayores, lo que se traduce en baterías de mayor tamaño (Kenward, 2001^a). Una manera de disminuir esos requerimientos energéticos es mediante la programación de microcontroladores, con el fin de establecer periodos de actividad en la recolección de señal. Esto permite establecer periodos de inactividad alargando la vida útil de la batería, y por ende, los costos del equipo (Kenward, 2001^a). La principal ventaja del sistema UHF frente a VHF, es la capacidad de utilizar sistemas de antena altamente direccionales, de alta ganancia y físicamente más pequeños (Lawson et al., 1976).

1.1.3 Telemetría satelital: Este sistema automatizado no necesita el registro manual de los datos y es usado cuando la probabilidad de recapturar al animal es muy baja (Kenward, 2001^a). Con el sistema de Geoposicionamiento satelital (GPS), se manejan dispositivos que obtienen las localizaciones a partir de la recepción de una nube de 24 satélites públicos del gobierno de los Estados Unidos. Estos satélites manejan frecuencias L1 de 1575.42 MHz y L2 de 1227.60 MHz, las cuales están distribuidas uniformemente en seis planos orbitales en el espacio (Tomkiewicz et al., 2010). Este sistema es costoso, sin embargo, recopila grandes cantidades de localizaciones a diferentes frecuencias de forma periódica y preestablecida, las cuales permiten identificar patrones de movimiento a grandes escalas (Kingsbury y Robisonson, 2016).

Existen tres formas de obtener la información: la primera es que se recapture el animal y se retire el transmisor, la segunda es vía bluetooth, pero la persona necesita estar en un radio de cercanía menor con respecto al animal, para obtener una transmisión exitosa (Tomkiewicz et al., 2010), y la tercera es a través de una estación de seguimiento y control que guarda la información triangulada por los satélites, con el fin de descargar un solo paquete de los datos espaciales que llegan vía satélite (Gallina y López, 2011), los cuales proporcionan las coordenadas tridimensionales de latitud, longitud y altitud, así como la hora local precisa. No obstante, se debe tener en cuenta la corrección diferencial para ajustar el error de las localizaciones con la precisión del área de estudio (Kenward, 2001^a).

Actualmente, la precisión de las localizaciones por satélites GPS es la más precisa en el mercado (Frair et al., 2010). Sin embargo, este sistema puede estar limitado a la disponibilidad de satélites en órbita que reciben señales temporizadas (a 1,5 GHz) (Kenward, 2001a), al igual que el estado del clima, por lo que puede generar sesgos en el monitoreo continuo (Tomkiewicz et al., 2010). Si el transmisor GPS no cuenta con precisión submétrica es necesario calibrar las localizaciones con las primeras distancias cortas recorridas (Kingsbury y Robisonson, 2016). La desventaja principal de este sistema es que el investigador no podrá reconocer de forma detallada los cambios que ocurren en el paisaje e impactos antropogénicos que pueden influenciar los movimientos de los individuos con transmisor durante el tiempo de monitoreo (Kingsbury y Robisonson, 2016), puesto que esta información es obtenida de manera remota. Posiblemente, las alteraciones del hábitat pasarán desapercibidas para el investigador si no tiene información topográfica reciente, al igual que los comportamientos atípicos que pueden presentar los animales, que sólo se observarían con el investigador presente en la zona de estudio (Millspaugh y Marzluff, 2001).

En el sistema satelital, también se pueden usar transmisores terminales de plataforma (PTT) que envían señales UHF a satélites privados como Argos o Iridium (Pérez-Solano y Mandujano, 2018). Donde se calcula la ubicación de un transmisor mediante el efecto Doppler y el período de repetición entre dos señales enviadas por el PTT (Kingsbury y Robisonson, 2016). Al usar este sistema es posible ubicar al individuo en cualquier lugar de la tierra. Sin embargo, el costo de estos PTT puede llegar a ser mayor de los 1000\$ USD (Kenward, 2001^a). Aun así, cuando se obtienen datos espaciales en tiempo real, el satélite reporta periódicamente el cálculo de la geoposición con precisión en kilómetros junto con una calificación según el error del valor asociado. Esta información se envía directamente al usuario vía correo electrónico o página web (Gallina y López, 2011).

Se recomienda no usar estos PTT en animales pequeños o juveniles dado el gran peso que pueden tener estos transmisores, ya que es mayor la cantidad de energía que requiere para transmitir el mensaje UHF a un satélite. Por último, para enviar la información de los PTT también se puede usar el sistema GPS-satelital que mejora la precisión a metros (Kingsbury y Robisonson, 2016). Sin embargo, se debe tener en cuenta el desfase de tiempo de la geolocalización dada la recepción de satélites, en relación con entornos bajo el agua o dosel. Puesto que hay mayor riesgo de que se interrumpa la señal satelital, lo que aumenta el error o pérdida de localizaciones (Cabrera et al., 2016).

1.1.4 Telemetría acústica: Este sistema se usa para monitorear animales acuáticos, preferiblemente en ambientes marinos, estuarios o ríos grandes con baja turbulencia (Franklin et al., 2009), ya que las bajas frecuencias audibles (30-100 kHz) son detectadas con conductividades mayores a 0.5 mho/m (Keuchle et al., 1982; Priede y Swift, 1992). La obtención de la señal acústica puede ser más precisa y similar al mecanismo de VHF/UHF, donde se rastrea manualmente y se triangula la posible localización del individuo, comúnmente conocido como monitoreo acústico activo (MAA) (Stein, 2011). De lo contrario, la telemetría acústica pasiva (MAP) recolecta la señal de estas frecuencias bajas por hidrófonos o estaciones fijas automáticas (Browning et al., 2017). Sin embargo, sólo funcionan para obtener localizaciones de recorridos con distancias cortas (<1km) (Kenward, 2001^a), lo que genera un mayor costo en la cantidad de estaciones fijas. No obstante, estos datos acústicos permiten inferir más allá de solo sus movimientos, también es posible conocer los patrones de actividad y comportamiento de buceo bajo el agua (Browning et al., 2017).

El sistema de estos transmisores es excelente para monitoreos a largo plazo (8-10 años), puesto que al usar bajas frecuencias se disminuye el consumo de energía de la batería (Franklin et al., 2009). De igual forma los sensores de presión y temperatura que tienen estos transmisores permiten calibrar y determinar las profundidades (<30m) de los desplazamientos en relación con la variación del ancho de pulso emitido (ms) bajo el agua (Keuchle, 1982; Priede, 1992; Kenward, 2001^a). Se sugiere que la mejor estrategia es combinar este sistema acústico con otros sistemas de telemetría, por ejemplo, VHF, ya que, a través de la programación de sus sensores de salinidad del transmisor, es posible desactivar el sistema acústico, cuando pasa a aguas salobres o dulceacuícolas y se activa el transmisor VHF. Lo

que puede ser una ventaja para monitorear animales que se desplazan por diferentes cuerpos de agua con alta y baja conductividad (Rodgers, 2001).

1.2 Métodos estadísticos para analizar datos de telemetría

1.2.1 Análisis espacial: autocorrelación y patrones espaciales. Inicialmente es relevante entender que el seguimiento de los especímenes realmente son localizaciones repetidas de los mismos individuos, de manera que los datos están autocorrelacionados temporalmente en el periodo de monitoreo definido por el investigador (Swihart y Slade, 1985). Para determinar la existencia de patrones espacio/temporales de un individuo es necesario analizar si los datos puntuales o “entidades de entrada” (ESRI, 2022), también presentan una autocorrelación de manera explícita espacial, es decir si existe correlación entre la variación de las localizaciones. Por medio del índice de Moran (I-Moran) con dominio de valores de $[-1, +1]$ (Moran, 1950), es posible definir si las entidades corresponden a un fenómeno geográfico de datos aleatorios o a un agrupamiento espacial (Siabato y Guzmán-Manrique, 2019) con patrones de distribución de clúster o disperso usando el criterio de vecindad (Fig. 2). De igual forma, para evaluar la dependencia espacial se hace a través de la distribución normal estándar (z) definiendo un valor crítico ($1 - z$) que permita evaluar la hipótesis nula bajo un nivel de confianza definido.

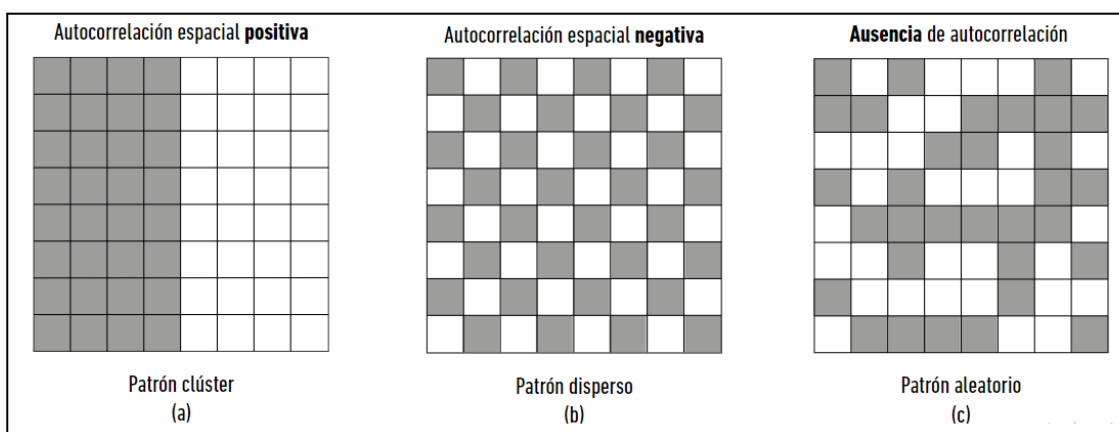


Figura 2. Patrones espaciales según el tipo de autocorrelación espacial. Se observa la diferencia cuando hay autocorrelación espacial ($I \neq 0$) con valores positivos ($I > 0$) correspondientes a un patrón de cluster (a); valores negativos ($I < 0$) asociados a patrones dispersos (b); o simplemente un comportamiento no estructurado de las entidades por la ausencia de autocorrelación ($I = 0$), evidenciando patrones aleatorios (c) (Siabato y Guzmán-Manrique, 2019).

De manera que es posible evaluar si existe una autocorrelación similar entre los individuos de la población (Diggle, 1990), si se monitorean en el mismo tiempo de estudio. Si se tiene en cuenta un enfoque conservador (Millspaugh et al., 1998), se seleccionaría el patrón de distribución del espécimen con mayor correlación entre los dos para explicar el comportamiento espacial local o regional. No obstante, se debe reconocer que realmente la unidad de réplica es el individuo y su inferencia promedio corresponde a una población más

grande que la monitoreada para poder definir un patrón de distribución en la especie de estudio (Millsaugh y Marzluff, 2001).

Partiendo del concepto del rango de hogar de un espécimen “área usada para realizar sus actividades normales de recolección de alimento, apareamiento y cuidado de las crías a lo largo del tiempo” (Burt, 1943), es importante que para la construcción de mapas no se generalice el movimiento y/o distribución de utilización (UD) observado a partir de los datos monitoreados (Ford y Krumme, 1979; Getz y Wilmers, 2006). Debido a que la telemetría es una herramienta que permite evidenciar donde se ubicó un individuo, pero no necesariamente es todo el rango que puede usar el individuo dentro del área estudiada (Burke et al., 1995). Para esto es necesario la superposición de localizaciones a través del tiempo para que sea una inferencia más precisa. Se sugiere que los estudios aclaren el ámbito estacional o temporada seca-lluviosa con el fin de observar patrones comparativos de UD a través del tiempo (Kingsbury y Robinsnson, 2016). Existen tres grupos básicos de estimadores de rango de hogar: (1) los métodos de polígonos, (2) métodos de celdas de cuadrícula y (3) métodos probabilísticos (Kernohan et al., 2001). A continuación, se presentan brevemente los cuatro métodos más conocidos y utilizados para analizar la distribución espacial y movimientos a partir de datos obtenidos por radiotelemetría.

1.2.2 *Mínimo Polígono Convexo (MPC)*: Fue uno de los primeros métodos planteados en la determinación del rango de hogar de las especies. Este método es el más simplista, ya que se basa en los puntos más externos para establecer el tamaño del área de actividad y corredores utilizados para moverse un individuo o población por el paisaje (Mohr, 1947). MPC aún se sigue usando, pero se ha podido evidenciar falencias en su metodología, puesto que tiende a sobreestimar el área de actividad al tener en cuenta sólo los puntos más externos. La problemática de este método es que puede abarcar zonas con valores atípicos de la triangulación, localizaciones exploratorias por parte del animal o áreas específicas que posiblemente no coinciden con los requerimientos de hábitat del animal (Worton, 1987; Börger et al., 2006).

Diversos autores han planteado variantes a este método (Voigt y Tinline, 1980; Clutton et al., 1982). Sin embargo, los que tuvieron más aplicabilidad se basaron en la eliminación del 10 al 20% de los puntos más externos para evitar un sesgo en la adición de área (Schoener, 1981) y en el uso de polígonos convexos individuales como alternativa a este sesgo para minimizar el área y maximizar la precisión (Hartigan, 1987; Kenward, 2001^a). No obstante, MPC es más útil para evidenciar rangos de hogar a gran escala de una especie, dada la sobrestimación que puede ocurrir en escalas regionales y/o locales a nivel intraespecífico (Nielsen et al., 2007).

1.2.3 *Análisis de cascos convexos locales (LoCoH)*: Este método no paramétrico es un híbrido del MPC (Kenward, 2001^a), el cual se basa en la elaboración de cascos convexos teniendo en cuenta las acotaciones de las localizaciones internas. Este construye los cascos convexos filtrando todos los lados respectivos, más largos que la mediana de los lados originales, es decir, los lados periféricos obtenidos por el MPC (Burgman y Fox, 2003). De

manera que LoCoH es un método conservativo y robusto, ya que tiene en cuenta el área mínima en un polígono pero que abarque la mayoría de la proporción de las localizaciones estudiadas (Kenward, 2001^a) (Getz y Wilmers, 2004). Al igual que el MPC sus resultados se basan en la distribución de los datos y no en la densidad de estos como si es el caso de densidad de Kernel. Dicha distribución es la que incide en la forma del rango de hogar y no una función establecida (Getz et al., 2007). Es por esto que el LoCoH permite evidenciar con más precisión los requerimientos de hábitat y posibles barreras geográficas debido a que los datos están asociados al espacio por el que se mueven los animales (Getz y Wilmers, 2004).

1.2.4 Densidad de Kernel (KDE): Este método probabilístico es el más usado en estudios de ecología (Kie et al., 2010) y fue introducido por Worton (1987). El análisis no paramétrico de KDE es considerado un complementario de MPC (Kingsbury y Robinsnson, 2016). No obstante, este método se diferencia por estimar los rangos de hogar a partir de la interpolación de los datos para conocer diferencias de abundancia de puntos en relación con el factor de suavizado (k) seleccionado (Kenward, 2001^a). Como resultado, se evidencia la probabilidad de encontrar al modelo de estudio (individuo y/o población) en un lugar determinado (Worton, 1989). KDE se destaca por brindar información adicional sobre las áreas de mayor actividad y significancia dentro del rango de hogar, como lo son las áreas de núcleo (50%) (Samuel et al. 1985; Kingsbury y Robinsnson, 2016). Para realizar esta estimación es necesario mínimo 30 observaciones (Seaman et al. 1999) puesto que menor a este valor puede sobrestimar gran parte del área de utilización o también subestimar si el rango de hogar proviene de una muestra poblacional pequeña (Kernohan et al. 2001).

El principal sesgo de KDE ocurre en los criterios de elección errónea sobre el ancho de banda, ya que depende del tamaño de la muestra (Lichti y Swihart, 2011) e influye considerablemente en la estimación del área de distribución del periodo estudiado (Hemson et al., 2005; Walter et al., 2011). También es importante reconocer que la inferencia de las geolocalizaciones no son datos independientes, ya que viola el supuesto de autocorrelación temporal (Swihart y Slade 1985). Lo que ha llevado a plantearse el uso de métodos que tengan en cuenta las variaciones temporales entre las localizaciones, como los modelos de movimiento de puentes brownianos (Horne et al., 2007).

1.2.5 Análisis de puntos calientes: Este método consiste en el análisis de clúster o celdas de cuadrículas que diferencia significativamente áreas de mayor (puntos calientes) y menor incidencia (puntos fríos). Este permite conocer zonas de mayor actividad como KDE, pero no necesariamente abarca toda el área de utilización (Kernohan et al. 2001). El método de puntos calientes se usó inicialmente para designar áreas a nivel mundial con altos niveles de endemismos en zonas tropicales (Myers, 1988). Actualmente se usa para analizar patrones de agregación a nivel de riqueza, abundancia de una población o especies con algún interés de conservación, como especies endémicas y sitios que superan algún umbral relacionado con alguna actividad biológica (ej. dispersión y migración) (Prendergast et al., 1993; Harvey et al., 2017). No obstante, es necesario aclarar el proceso de toma decisiones, como el parámetro de agrupación para asignar los incidentes dentro del campo de análisis (Sussman, 2019), ya que si no se reporta puede complejizar u ocasionar sesgos en comparar resultados disímiles

por las métricas usadas (Araujo, 2002; Harvey et al., 2017; Prendergast et al., 1993). Una ventaja de este método optimizado en ArcGIS Pro, es que identifica la escala de análisis apropiada para hacer los clústeres, los cuales siempre deben estar acompañados de una prueba estadística de dependencia espacial.

1.3 Ecología espacial del orden Crocodylia a partir de radiotelemetría

Se ha evidenciado que la historia de vida y ecología de los reptiles es tan diversa, que es necesario implementar estrategias de conservación enfocadas en la población y el hábitat específico donde se ubica (Kingsbury y Robinsnson, 2016). El área de distribución no es la misma todos los años, motivo por el cual, es necesario evaluar la ecología espacial para el manejo y protección de las especies (Somaweera et al., 2019). En este caso, la radiotelemetría en reptiles ha sido infravalorada para determinar los desplazamientos y rangos de hogar, en contraste con los reportes históricos del uso de esta herramienta para monitorear mamíferos y aves (Millspaugh y Marzluff, 2001). Actualmente, la distribución geográfica del orden Crocodylia (Fig 3.), se observa que la mayoría de las especies abarcan toda la zona ecuatorial, tropical y algunas regiones subtropicales (*Alligator mississippiensis*, *Alligator sinensis*, *Crocodylus niloticus*, *Crocodylus palustris* y *Gavialis gangeticus*), que corresponden a climas cálidos y áridos, con el caso de *C. niloticus*, teniendo en cuenta la clasificación climática de Köppen (Cui et al., 2021).

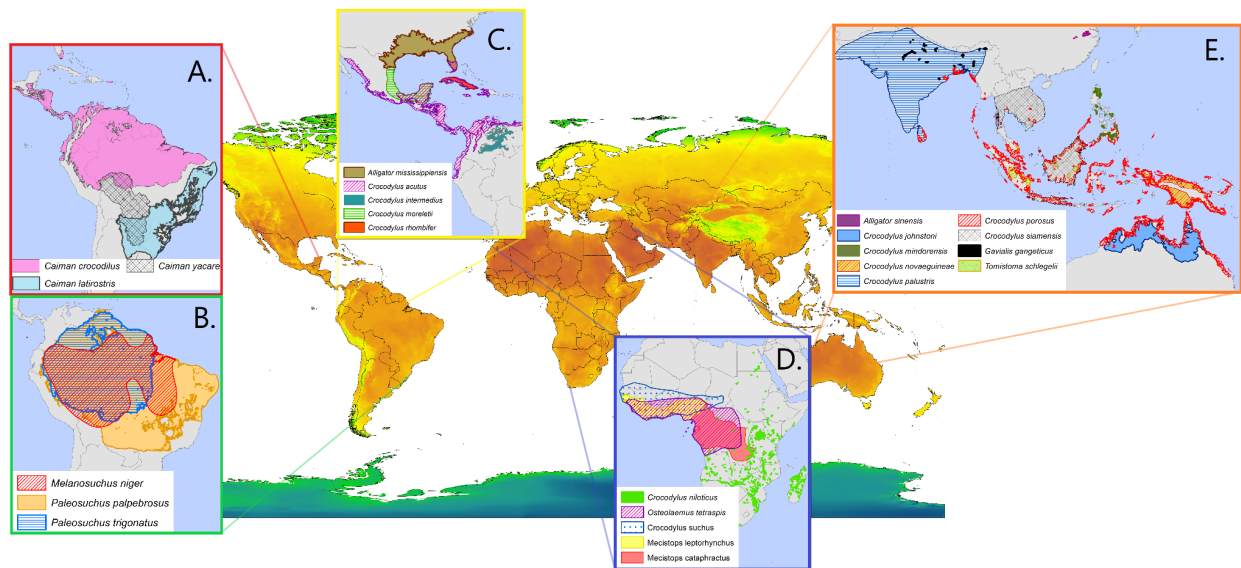


Figura 3. Distribución potencial de crocodylianos existentes a nivel mundial. Se representa la distribución de la subfamilia Caimaninae; géneros *Caiman* spp. (A), *Paleosuchus* spp. y *Melanosuchus* sp.(B), la subfamilia Alligatorinae; *A. mississippiensis* (C) y *Alligator sinensis* (E), familia Crocodylidae; géneros *Crocodylus* spp., *Mecistops* spp., *Osteolaemus* spp. (C)(D)(E) y finalmente, la familia Gavialidae; *Tomistoma schlegelii* y *G. gangeticus* (E). Tomado de IUCN (2019).

Las especies del orden Crocodylia se caracterizan por su gran diversidad de habilidades locomotoras para moverse tanto en tierra como en agua (Grigg y Kirshner, 2015). Pueden caminar, arrastrarse, correr/galopar, saltar en el agua o hacia ella, flotar, nadar con diferentes posturas del cuerpo usando sus cuatro extremidades o solo su cola, bucear y/o caminar en el fondo del agua (Grigg y Kirshner, 2015). De manera que, estos animales semiacuáticos tienen una gran diversidad de formas para desplazarse teniendo en cuenta sus requerimientos de hábitat y preferencia. A nivel mundial actualmente se reportan 24 especies de crocodylianos y tres recientes propuestas de nuevas especies, siendo un total de 27 spp distribuidas en tres familias distintas (Crocodylidae, Alligatoridae y Gavialidae) (Eaton et al., 2009; Hekkala et al., 2011; Shirley et al., 2014; Grigg y Kirshner, 2015; Shirley et al., 2018; Pan et al., 2021).

Se tiene conocimiento de un total de 77 publicaciones para el orden Crocodylia (1970-2022), donde se han analizado sus rangos de hogar y/o patrones de desplazamientos a través de radiotelemetría. Los estudios con más de una especie se contaron como publicaciones independientes. Estos estudios abarcan 17 spp. con un 62.96% de representatividad del orden Crocodylia (Fig.4). Donde el 51.95% corresponde a la familia Alligatoridae, seguido de Crocodylidae con 45.55% y con menor proporción Gavialidae con el 2.60%. Al observar la distribución de estudios global por países, Estados Unidos es el país con mayor cantidad de estudios (n=26), seguido de Australia (n= 11) y Brasil (n=10).

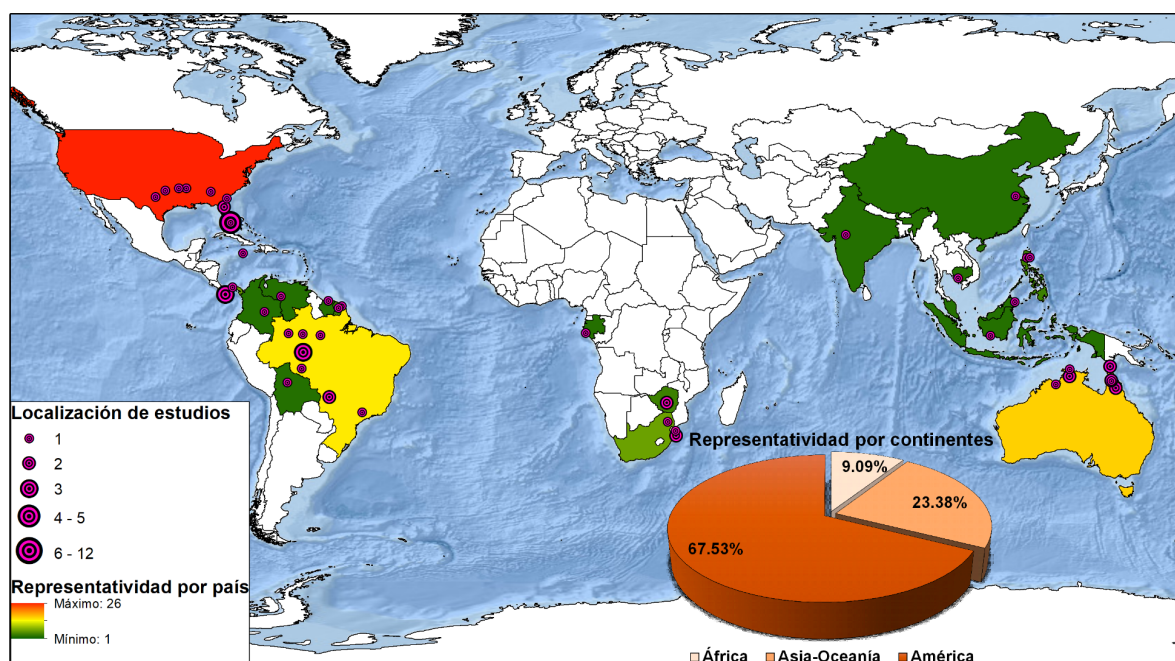


Figura 4. Representatividad de estudios de ecología espacial en el Orden Crocodylia por radiotelemetría desde 1970-2022, dividido en continentes: América (67,53%), África (9,09%) y Asia/Oceanía (23,38%), con un total de 77 publicaciones.

Para monitorear a las poblaciones de crocodylianos se ha utilizado radiotelemetría VHF, satelital y acústico, al igual que sistemas combinados o híbridos entre VHF-satelital

(Brien et al., 2010; Fujisaki et al., 2014; Calverley y Downs 2015), VHF-GPS (Strauss et al., 2008; Skupien et al., 2016), acústico-satelital (Campbell et al., 2010) y acústico-GPS (Rosenblatt et al., 2013; Campbell et al., 2014; Dwyer et al., 2015). Históricamente las publicaciones de telemetría en cocodrylianos iniciaron en los años 70 's empleando el sistema VHF (Fig. 5) con *A. mississippiensis* al sur de Estados Unidos (Joanen y McNease, 1970; Joanen y McNease, 1972; McNease y Joanen, 1974; Taylor et al., 1976; Goodwin y Marion, 1979). No obstante, sólo hasta la siguiente década se empezó a estudiar a *Crocodylus acutus* (Mazzotti, 1983; Rodda, 1984^b; Gaby et al., 1985; Kushlan y Mazzotti, 1989) en el mismo país y en Panamá. A finales de los 80 's y 90 's se publicaron investigaciones pioneras para diferentes especies en todo el mundo, en Sudamérica con *Caiman crocodilus* en Suriname (Ouboter y Nanhoe 1988), *Paleosuchus trigonatus* en Brasil (Magnusson y Lima 1991) y *Melanosuchus niger* (Martin y da Silva, 1998) del mismo país; Por otro lado, en el continente africano se reportó a *C. niloticus* en Zimbabwe (Hutton, 1989; Hocutt et al., 1992).

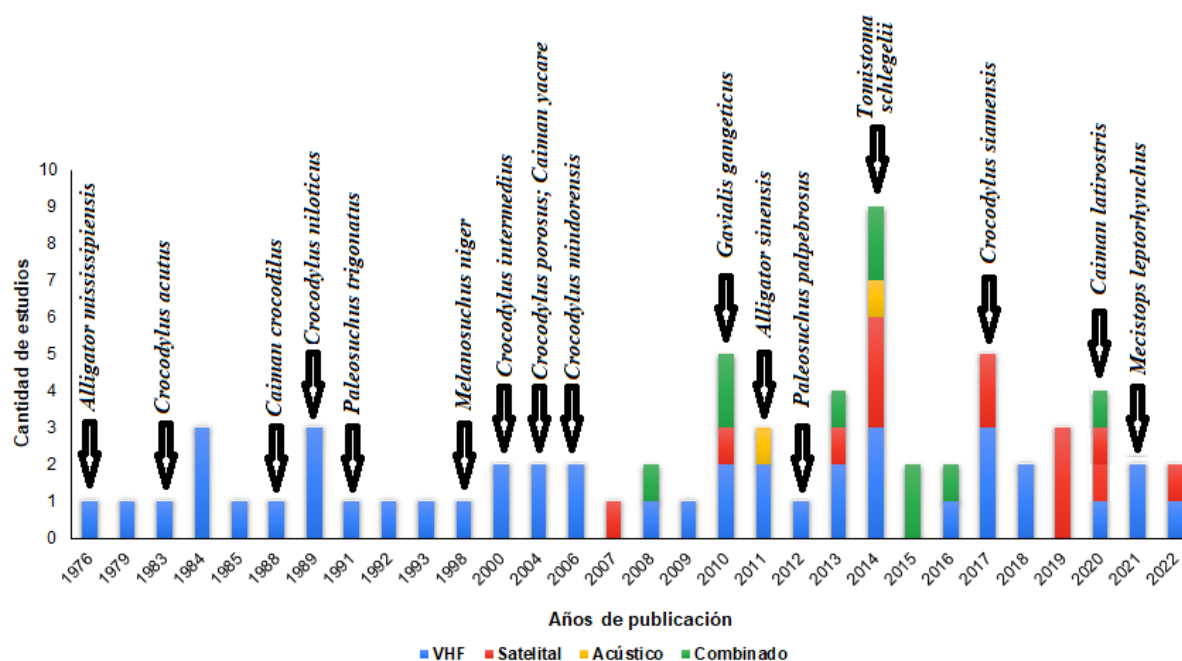


Figura 5. Cronología de publicaciones desde 1970-2022 sobre ecología espacial del Orden Crocodylia empleando diferentes sistemas de radiotelemetría a nivel mundial, cada flecha representa el primer estudio publicado de las especies monitoreadas.

En los inicios del 2000, se reporta por primera vez estudios de telemetría en *Crocodylus intermedius* en Venezuela (Muñoz y Thorbjarnarson 2000), al igual que *Caiman yacare* en Brasil (Campos et al., 2004). En el caso de *Crocodylus porosus*, la especie con el mayor rango de distribución y dispersión de cocodrylianos existentes (Webb y Manoli, 1989), se realizaron intentos no exitosos por radiotelemetría (Webb y Messel, 1978), debido a las limitaciones del prototipo e instalación de los transmisores. De manera que hasta el 2004 se publicó el primer estudio de telemetría VHF en Australia para la especie (Kay, 2004). No obstante, para las siguientes dos décadas se reportan más estudios de ecología espacial para la especie (Read et al., 2007; Brien et al., 2008; Brien et al., 2010; Thomas et al., 2010;

Campbell et al., 2010; Campbell et al., 2013; Campbell et al., 2015; Hanson et al., 2014; Dwyer et al., 2015; Evans et al., 2017; Fukuda et al., 2019), siendo el pionero en utilizar telemetría satelital y acústica para estudiar los desplazamientos de largas y cortas distancias, respectivamente (Read et al., 2007).

Con el avance de sistemas de radiotelemetría para el siglo XXI, se observa el crecimiento considerable de estudios satelitales (Fig. 5). Se dieron a conocer nuevos estudios para especies como *Crocodylus mindorensis* en Filipinas (van Weerd et al., 2006), *G. gangeticus* en India (Lang y Whitaker, 2010), *A. sinensis* en China (Wang et al., 2011), *Paleosuchus palpebrosus* en Brasil (Campos et al., 2012), *T. schlegelii* en Indonesia (Bonke et al., 2014), *P. trigonatus* en Brasil (Campos et al., 2017), *Crocodylus siamensis* en Camboya (Sam et al., 2017) y *Caiman latirostris* en Brasil (Marquez et al., 2020). Siendo la publicación más reciente con *Mecistops leptorhynchus* en Gabón (Mariori et al., 2022). Continúa siendo un enigma la ecología espacial para varias especies, pues aún existe un vacío de información en *Crocodylus johnstoni*, *Crocodylus rhombifer*, *Crocodylus moreletii*, *Crocodylus novaeguineae*, *Crocodylus palustris*, *Mecistops cataphractus*, *Crocodylus suchus*, *Osteolaemus tetraspis*, *Osteolaemus sf. tetraspis* y *Osteolaemus osborni*.

De igual manera, si se tiene en cuenta toda la distribución potencial para cada especie y las amenazas directas e indirectas a nivel regional, este desconocimiento aumentaría notoriamente, pues la ausencia de información no significa la ausencia confirmada de las especies, sino todo lo contrario, que aún faltan zonas por explorar y evaluar (Somaweera et al., 2019; Somaweera et al., 2020). Es necesaria la información de datos ecológicos y/o espaciales para clarificar el estado de vulnerabilidad de las poblaciones frente a extinciones locales o regionales (Primack, 2010; Somaweera et al., 2020) y a su vez esto permitirá fortalecer la historia de vida de los cocodrylianos (Hutton 1989). Actualmente, en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) más de 10 especies de cocodrylianos está en alguna categoría de amenaza a nivel mundial. De estas solo cuatro especies no cuentan con ningún estudio sobre su ecología espacial, *C. rhombifer*- Peligro Crítico (Targarona et al., 2008), *C. palustris* - Vulnerable (Choudhury y de Silva, 2013), *O. tetraspis* - Vulnerable (Crocodile Specialist Group, 1996), y *M. cataphractus* - Peligro Crítico (Shirley, 2014).

1.3.1 Contexto regional y local

En Colombia existe una alta representatividad del Orden Crocodylia con seis especies vivas (Medem, 1981; Morales-Betancourt et al., 2013). Para la familia Alligatoridae las especies se encuentran catalogadas en preocupación menor, *C. crocodilus* (Balaguera-Reina y Velasco, 2019), *P. trigonatus* (Campos et al., 2019), *P. palpebrosus* (Magnusson et al., 2019) y *M. niger* (Ross, 2000). Sin embargo, para la familia Crocodylidae si se encuentran amenazadas sus dos especies, *C. acutus* (Rainwater et al., 2021) y *C. intermedius* (Balaguera-Reina et al., 2018). Históricamente, el Caimán aguja y el Caimán llanero fueron cazados para la obtención y venta de sus pieles desde los años 30's (Medem, 1981; Thorbjarnarson et al., 2006). En el caso de *C. acutus*, aún se continúan cazando de

manera ilegal y están siendo amenazadas por las limitaciones de su hábitat, debido al desarrollo residencial, comercial, agrícola y acuícola en los ecosistemas donde la especie habita (Rainwater et al., 2021), lo que genera un impacto directo sobre las poblaciones en diferentes estadios de desarrollo. Para *C. intermedius* los hábitats fragmentados, la contaminación en el río Cojedes y la ocupación humana han hecho que esta especie esté con un alto grado de amenaza a nivel nacional (Balaguera-Reina et al., 2018).

En relación con las especies objeto de estudio (*C. acutus* y *C. crocodilus*), se desconoce el estado de conservación y presencia- ausencia de poblaciones de *C. acutus* en diferentes zonas del país. Como el Chocó biogeográfico, una bioregión de alta prioridad de conservación (Thorbjarnarson et al., 2006) y los valles interandinos meridionales (Balaguera-Reina et al., 2015), siendo el trabajo más completo a nivel nacional para crocodylianos, reportado por Medem (1981). De manera que la ausencia de información espacial impide aclarar con precisión el riesgo real de extinción de las especies a nivel regional y local. Al igual, que dificulta la toma de decisiones para su conservación y uso sostenible, a mediano y largo plazo, respectivamente (Balaguera-Reina et al., 2015). En este caso, la telemetría ha sido pobremente utilizada para conocer la distribución espacial de crocodylianos. En el Complejo Cenagoso de Zapatosa del departamento del Cesar, se instalaron transmisores para monitorear individuos de *C. crocodilus* (González-Maya et al., 2011). De igual manera en la Costa Caribe, se están monitoreando individuos de *C. acutus* en la Ciénaga Grande del departamento del Magdalena (Corpamag, 2021) y en el departamento de la Guajira (Corpoguajira, 2022^a; 2022^b). No obstante, estos resultados no han sido publicados. Hasta la fecha, solo *C. intermedius* cuenta con un estudio de ecología espacial (Moreno-Arias y Ardila-Robayo 2020), usando telemetría satelital en cuatro individuos reintroducidos a los ríos Guayabero y Losada en el departamento del Meta.

Teniendo en cuenta la zona de estudio de este trabajo, el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT) es una de las áreas protegidas (AP) más importantes del país, por su interés socioeconómico al recibir anualmente una gran cantidad de visitas por parte de turistas y trabajadores locales (Brüggemann et al., 2002). De igual manera, esta AP cuenta con una biodiversidad representativa y endémica de la región Caribe, perteneciente a las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta. De manera que se plantea como un laboratorio natural (Chape et al. 2005), para estudiar la ecología espacial del Caimán aguja (*C. acutus*) en el Caribe colombiano en relación con su especie simpátrica la babilla (*C. crocodilus*). Previas investigaciones de crocodylianos en el PNNT, reportan por primera vez en el 2012 a *C. acutus* dentro del AP (Balaguera-Reina et al., 2012). Se ha registrado que esta especie comparte áreas de distribución con zonas destinadas para el aprovechamiento turístico, específicamente, en Los Naranjos, Cañaveral, Arrecifes y Cabo San Juan del Guía (Farfán-Ardila, 2013; Vargas-Ortega, 2014; Farfán-Ardila et al., 2019). Por lo tanto, es relevante comprender los patrones de desplazamiento y áreas de uso de estas dos especies con radiotelemetría, para el manejo y protección de las especies a nivel local y evitar futuras interacciones negativas en coexistencia con los humanos (Balaguera-Reina et al., 2019). Al igual, que conservar ecosistemas asociados tanto en áreas protegidas como no protegidas del Caribe colombiano.

2. ANTECEDENTES

A continuación, se presenta una revisión de los estudios publicados desde 1970 hasta mayo del 2022, que evidencian los patrones de movimiento y/o rangos de hogar, reportados para las especies del orden Crocodylia, a nivel mundial.

2.1 Familia Crocodylidae (Cuvier, 1807)

Esta familia contiene la mayor cantidad de especies del orden Crocodylia (17 spp), generalmente se caracterizan por tener un gran tamaño y rangos amplios de distribución geográfica (Fig. 3) (Grigg y Kirshner, 2015). Los crocodylidos pueden llegar a registrar largas distancias de dispersión, como es el caso de *C. porosus* que presentaron largas distancias de desplazamiento (56.99 - 400 km) (Read et al. 2007). Se ha sugerido que pueden aprovechar las corrientes marinas superficiales, para moverse a largas distancias (Read et al. 2007; Cambpell et al., 2010; Cherkiss et al., 2014; Balaguera-Reina et al., 2021). De igual forma, estos reptiles poseen características fisiológicas, morfológicas y comportamentales que les permiten soportar y habitar diferentes ambientes costero-marinos, al igual que dulceacuícolas (Nicolai y Matzke, 2019). Ahora bien, esta familia cuenta con una gran cantidad de estudios espaciales con telemetría, siendo reportadas 35 publicaciones (46.05%) para 7 spp hasta la fecha, concentrándose la mayor cantidad en Asia y Oceanía (42.85%), seguido por América (37.14%) y por último África (20%). A nivel de especies, *C. acutus* es la especie con la mayor cantidad de estudios (34.28%), en segundo lugar *C. porosus* (28.57%), seguido por *C. niloticus* (17.14%). El resto de especies *C. intermedius*, *C. mindorensis*, *C. siamensis* y *M. leptorhynchus* juntas representan (20,01%) de estudios.

La telemetría VHF fue la más usada con el 48.57% de los estudios en crocodylidos, seguido por satelital 31.43% y sistemas combinados (VHF-Satelital, Acústico-Satelital, VHF-GPS y Acústico-GPS) con 17.14% y por último el sistema acústico con 2.85%. Cabe mencionar que, dentro de los documentos encontrados, se han propuesto y evaluado metodologías para la instalación y ubicación de los transmisores en los cocodrilos (Strauss et al., 2008; Brien et al., 2010), al igual que comparaciones entre la precisión de sistemas de telemetría en campo (Dwyer et al., 2015).

Por otro lado, se ha evidenciado que el sexo de los cocodrilos es una variable que influencia el rango de hogar y los desplazamientos en *C. acutus* (Balaguera-Reina et al., 2016), *C. intermedius* (Moreno-Arias y Ardila-Robayo 2020), *C. porosus* (Kay 2004, Brien et al., 2008) y *M. leptorhynchus* (Kouman et al., 2021), observándose mayores áreas de uso en los machos. Del mismo modo, para las tres primeras especies se ha podido registrar que las temporadas climáticas inciden sobre el área de actividad y desplazamientos (Muñoz y Thorbjarnarson, 2000; Kay, 2004; Balaguera-Reina et al., 2016; Moreno-Arias y

Ardila-Robayo 2020). No obstante, se ha estudiado que la temporada de anidamiento también presenta una considerable influencia sobre los desplazamientos de *C. acutus* y *C. niloticus*, (Mazzotti, 1983; Kushlan y Mazzotti, 1989; Combrink 2014; Beauchamp, 2014; Beauchamp et al., 2018). También se ha podido demostrar en *C. acutus* junto a *C. mindorensis*, *C. porosus*, *C. siamensis* y *C. niloticus*, que el área del rango de hogar son directamente proporcionales al tamaño de los individuos estudiados (Hutton, 1989; Van Weerd et al., 2006; Arbelaez-Muñoz, 2013; Sánchez, 2014; Hanson et al., 2014; Calverley y Downs, 2015; Balaguera-Reina et al., 2016; Van De Ven et al., 2017; Combrink et al., 2017; Sam et al., 2017), los cuales se sugieren que pueden estar vinculados con el tipo de hábitat que ocupan (Gaby et al., 1985; Combrink 2014; Evans et al., 2017; Mazzotti et al., 2019). Asimismo, se encontró que los crocodylidos presentan picos máximos de actividad durante la noche, como *C. porosus* (Thomas et al. 2010) y *C. acutus* (Rodda 1984b).

Se ha comprobado que la radiotelemetría ha sido una herramienta útil en el monitoreo de cocodrilos reubicados con el fin de evitar interacciones negativas con los seres humanos (Hocutt et al. 1992; Moreno-Arias y Ardila-Robayo 2020). A su vez, ha permitido examinar en *C. porosus*, cómo los individuos muestran una fuerte fidelidad o territorialidad a su área de actividad (Campbell et al. 2013), mientras que machos nómadas (adultos y subadultos) se movían de manera dispersa en busca de hembras sin vigilancia. Donde se ha encontrado que estos cocodrilos pueden volver a sus lugares de origen cuando son reubicados (Read et al., 2007; Fukuda et al., 2019).

Que para la región de las costas del pacífico noroccidental y centro de México todavía no se encuentran estudios de ecología espacial para *C. acutus* con radiotelemetría, siendo una zona de alta prioridad de conservación para la especie (Thorbjarnarson et al., 2006). De igual manera, se resalta la ausencia de estudios de ecología espacial para *C. moreletii* en México, *C. rhombifer* en Cuba y *O. tetraspis* en el golfo de Guinea. Por último, se destaca que la información espacial reportada por *C. johnstoni* ha sido únicamente por captura y recaptura (Webb et al., 1983; Tucker et al., 1997). Donde, se observó que más del 90% de los individuos se encontraron a menos de 10 km del sitio de captura. En contraste, no hay un patrón significativo entre los sexos pero sí de los grupos etarios, pues encontraron mayores desplazamientos en juveniles.

2.2 Familia Alligatoridae (Gray, 1844)

A excepción de *A. sinensis* ubicado en China, los aligatóridos se distribuyen por todo el continente americano, desde Estados Unidos hasta Argentina (Figura 3). Estos, se diferencian de otras familias gracias a un hocico más ancho con forma de U, en donde la mandíbula superior es más ancha que la inferior, permitiendo que todos los dientes inferiores al cerrar la mandíbula no queden visibles (Grigg y Kirshner, 2015). Aunado a ello, carecen de glándulas salinas lo que implica en una baja tolerancia a ambientes salobres (Huchzermeyer, 2003).

Este grupo se destaca por tener la mayor cantidad de estudios espaciales por radiotelemetría (n=40) con un 51.95% representatividad para el orden Crocodylia, lo cual abarca todas las siete especies de la familia Alligatoridae. El 97.43% corresponde a estudios hechos en América, seguido de 2.56% en Asia/Oceanía con *A. sinensis*. Al observar la distribución de estudios por países (Fig 4), Estados Unidos contiene aproximadamente la mitad de publicaciones de la familia con 50.0%, seguido de Brasil con 35.0% y en tercer lugar están Bolivia y Guyana Francesa con el mismo porcentaje de 5.0%. Donde los demás países China y Suriname contaron con el 2.5% de publicaciones, respectivamente. Por otro lado, se resalta que *A. mississippiensis* contó 50.0% de los estudios de telemetría para la familia Alligatoridae, seguido de *M. niger* con 12.5% y con la misma cantidad (10.0%) *C. yacare*, *P. palpebrosus*, *P. trigonatus*. En el caso *A. sinensis*, *C. crocodilus* y *C. latirostris* contaron con menor cantidad de estudios con el 2.5% respectivamente.

En la familia Alligatoridae los rangos de distribución están restringidos a cuerpos de agua dulceacuícolas (Grigg y Kirshner, 2015). Con respecto a *A. mississippiensis*, los machos tuvieron mayores rangos de hogar (16.59-5082.85 ha) que las hembras (2.59 - 16.59 ha) (Joanen y McNease, 1970; Joanen y McNease, 1972). Pues parece ser que este patrón entre sexos aplica para toda la familia (Taylor, 1984; Ouboter y Nanhoe, 1988; Magnusson y Lima, 1991; Morea et al., 2000; Campos et al., 2004; Saalfeld, 2010; Wang et al., 2011; Fujisaki et al., 2014; Marquez et al., 2020; Strickland et al., 2022).

Para la subfamilia Caimaninae, se reporta en el único estudio de *C. crocodilus* que las hembras se desplazaron muy poco (500m), donde los individuos no se alejaron del sitio de captura y liberación (<3km) (Ouboter y Nanhoe, 1988). Para *C. yacaré*, los machos recorrieron distancias medias de 3.4 ± 4.2 km, superiores a los desplazamientos de las hembras 2.2 ± 3.2 km (Campos et al., 2004; Campos et al., 2006). En el Amazonas, se encontró patrones similares con adultos de *P. trigonatus*; esta especie tiende a ser más sedentaria, donde los machos suelen ser más territoriales desplazándose más que las hembras. Pues ellas tienden a compartir distancias más reducidas con sus congéneres de 25-100 m (Magnusson y Lima, 1991). En el caso de *M. niger*, se han registrado movimientos bastante variables con distancias cortas (≤ 500 m) y distancias largas máximas de 33,8 km (Silveira et al., 2011). No obstante, Taylor (1984) registró estos desplazamientos mínimos entre 2.3-238m para *A. mississippiensis* de la subfamilia Alligatorinae, al igual que Wang y colaboradores (2011) con *A. sinensis* para machos 65.70 ± 36.43 m y hembras 43.80 ± 33.39 m.

Por otro lado, se evidenció en *C. yacare* patrones de desplazamientos que variaron según el tallaje de los individuos, reportando datos mayores en individuos grandes y adultos. A su vez, los neonatos y juveniles no presentaron una gran cantidad de movimientos exploratorios, como sí lo hicieron individuos más grandes (Campos et al., 2006). En contraste, se reporta que *A. mississippiensis* en estadio inmaduro, se desplazaron mayores distancias al día en la misma área que los adultos (McNease y Joanen, 1974). Sin embargo, al observar los rangos de hogar en otros lugares de estudio de USA, estos pueden ser muy variables. Se ha reportado que en estadios inmaduros pueden alcanzar distribuciones de uso entre 0.8-321 ha para los dos sexos (Taylor et al., 1976). Por el contrario, Rootes (1989)

encontró una variación similar entre los desplazamientos en hembras de diferentes estadios de aligátor americano. De igual forma, no se observaron diferencias en los patrones de movimiento entre hembras anidadoras y no anidadoras (Rootes y Chabreck, 1993).

En machos de *A. mississippiensis* sugirieron que los desplazamientos pueden ser distintos a los movimientos cuando no hay zonas de anidamiento cerca. Posiblemente la disponibilidad de alimento y las características propias de cada individuo sean variables que tienen mayor incidencia intraespecífica, que la territorialidad de los mismos (Rosenblatt et al. 2013). En Florida, USA, Rodda (1984a) observó que individuos juveniles de *A. mississippiensis* evitan zonas de aguas abiertas posiblemente por depredación. Posterior a ello, Lewis y Colaboradores (2014) encontraron el mismo patrón para la mayoría de individuos estudiados en Texas, USA. Los animales monitoreados seleccionaron principalmente canales de ríos y costas de los cuerpos de agua durante el día. No obstante, se ha encontrado que los humedales juegan un papel importante para el aligátor americano, puesto que estos proporcionan sitios de anidación y cría óptimos (Subalusky et al., 2009). Para otras especies, como *P. trigonatus*, se determinó que durante las jornadas diurnas se hallaron mayormente relacionados a madriguera y/o vegetación muerta fuera del cauce y en las noches, con vegetación acuática y aguas abiertas (Lemaire et al., 2018). En *M. niger* se reportó que este individuo se encontró mayormente asociado a zonas de praderas inundadas, sin embargo, *C. yacare* presentó una mayor relación de presencia en bosques pantanosos y marismas (De la Quintana et al., 2020).

Desde otro punto de vista, las variables ambientales y temporadas climáticas tienen un efecto significativo dentro del rango de hogar y desplazamientos en los Aligátoridos. Principalmente en *A. mississippiensis* se ha observado que en meses fríos reducen su área de uso y desplazamientos, siendo mayores en primavera y otoño dadas por la temperatura del aire (Joanen y McNease, 1972; McNease y Joanen, 1974; Goodwin y Marion, 1979). Así mismo, los efectos hidrológicos pueden incidir sobre la ecología espacial en *A. mississippiensis*, pues en época seca presentan mayores rangos de hogar que en las épocas húmedas (Rosenblatt et al. 2013; Strickland et al., 2022), patrón observado también en *M. niger* (Caut et al., 2019). A su vez, durante la época seca, las hembras de *P. palpebrosus* pueden llegar a restringir o minimizar sus desplazamientos con el fin de cuidar a los nidos (Campos et al., 2012).

Por consiguiente, se ha evidenciado que la temperatura promedio y máxima incide positivamente sobre los desplazamientos de los aligátoridos (Morea et al. 2000; Wang et al., 2011), al igual que la salinidad del agua (Rosenblatt and Heithaus, 2011; Fujisaki et al., 2014). Campos y Guilherme (2021) observaron que cuando aumenta el nivel de agua se reducen significativamente los desplazamientos de *C. yacare*, *M. niger* y *P. palpebrosus*. Donde *P. palpebrosus* se ve más afectada por esta covariable que *P. trigonatus*. De igual forma identificaron particiones de hábitat cuando se encuentran distribuidas de manera simpátrica (Mariori et al., 2022). Cabe mencionar que Ouboter y Nanhoe (1988) también observaron un patrón de migración de *C. crocodilus* con el aumento en el nivel del agua, que

cuando vuelve a estar en los niveles normales el cuerpo de agua, más del 60% de los individuos retornan a dicha zona.

También, se ha evidenciado que fenómenos naturales como huracanes en *A. mississippiensis* (Strickland et al., 2020) y desbordamientos de ríos en *C. yacare* y *M. niger* (De la Quintana et al., 2020) influyen sobre sus rangos de área. En contraste, se evidenció que fenómenos de origen antrópico como construcciones de represas, curiosamente no incidieron sobre los desplazamientos y área de ocupación de *P. trigonatus* (< 1km² to 5 km²) y *P. palpebrosus* (< 1km² to 91 km²) (Campos et al., 2017). De modo que los patrones de movimiento en los aligatóridos son tan diversos que los horarios de actividad no fueron la excepción. Lemaire y colaboradores (2018) observaron en *P. trigonatus* tiende a ser más activo durante el día, este patrón que fue observado mucho antes en otros aligatóridos por Watanabe y colaboradores (2013) en *A. mississippiensis* durante los meses fríos, caso contrario en los días cálidos de verano, con mayor actividad nocturna. No obstante, en el mismo año de publicación, Rosenblatt y colaboradores (2013) reportaron que los horarios de actividad no varían dependiendo de las estaciones o temporadas climáticas en *A. mississippiensis*, pues encontraron que el 80% de los individuos tienen un ciclo circadiano nocturno, asociado a comportamientos exploratorios. Lo que tiene mayor sentido con la termorregulación de la especie (Smith, 1975) y es soportado por una gran cantidad de datos espaciales colectados en esta investigación al usar telemetría acústica pasiva.

Se destaca que el sistema de telemetría más usado en estudios de ecología espacial en aligatóridos fue radiotelemetría VHF con 80.0%, seguido de los sistemas combinados (Acústico-GPS, VHF-satelital y VHF-satelital) con 7.5% y con menor proporción Acústico (5.0%) y Satelital (2.5%), respectivamente. Este orden de uso concuerda con lo reportado por Kenward (2001), al igual que Kingsbury y Robisnson (2016) para monitoreo de reptiles. Existen trabajos con *A. mississippiensis* que comparan el tiempo de vida, ventajas y sesgos de los sistemas VHF y satelital, pues se sustenta que este último método construye rangos de hogar más grandes y precisos a nivel biológico, ya que colecta mayor cantidad de puntos (Fujisaki et al., 2014). Del mismo modo, se han usado sistemas automáticos fijos de telemetría para monitorear caimanes negros, los cuales presentaron muchas limitaciones y problemáticas por las condiciones ambientales de la zona. Que incidió en la efectividad de señal y en el óptimo desempeño de todos los componentes electrónicos (Martin y da Silva, 1998). De manera que se recomienda usar sistemas combinados con VHF, ya que este proporciona información directa del microhábitat, comportamiento (ej. cortejo y búsqueda de alimento) (Kenward, 2001). Pues este mismo argumento se sustenta entre los sistemas de telemetría VHF y GPS (Skupien, et al., 2016).

Finalmente, Saalfeld (2010) resalta que pueden ser varios los factores que contribuyen a esta variación significativa en los patrones de movimientos y rangos de hogar en aligatóridos, como la disponibilidad de presas, la densidad de población, la extensión del hábitat disponible, el nivel del agua y presencia de plantas exóticas (ej. *Salvinia molesta*, *Eichhornia crassipes*), siendo significativo el efecto negativo de este último factor para los sitios de anidamiento, ya que el crecimiento de estas plantas restringen el movimiento y

rangos de hogar para los aligatóridos. Un enfoque distinto es el estudio de la conectividad funcional en relación con el uso del hábitat en aligatóridos. Pues muy pocos estudios estudian el servicio ecosistémico que brinda los crocodylianos en la heterogeneidad del paisaje (Soomawera et al., 2020), por ejemplo, con indicadores de la biomasa de los caimanes y su excreción de nutrientes a los hábitats (Subalusky et al., 2009).

2.3 Familia Gavialidae (Adams, 1854)

Los gaviálidos poseen la menor cantidad de especies (2 spp.) y cuenta con la menor área de distribución geográfica dentro del orden Crocodylia (Fig. 3). Estas, se diferencian de las otras familias por una fuerza de mordida menor dada por la forma delgada y alargada de su hocico (Grigg y Kirshner, 2015). Actualmente, dicha familia está compuesta por los géneros *Gavialis* spp. y *Tomistoma* spp. (Lee y Yates, 2018), los cuales se encuentran amenazados debido a diferentes impactos de origen antrópico como la deforestación, contaminación hídrica, irrigación, embalses, pesca artesanal y especies introducidas (Bezuijen et al., 2014; Lang et al., 2019).

En el orden Crocodylia, los gaviálidos se destacan por ser la familia con menor cantidad de estudios de telemetría publicados (2.63%), con dos estudios para *G. gangeticus* y *T. schlegelii*, respectivamente. Lang y Whitaker (2010) analizaron la ecología espacial de 10 individuos de *G. gangeticus* usando telemetría de VHF. Encontraron áreas de actividad que variaron estacionalmente y se ven influenciados sus desplazamientos por variables ambientales como los vientos estacionales (Monzón) en la India. Por otra parte, Bonke y colaboradores (2014) monitorearon tres individuos de *T. schlegelii* con VHF para determinar el rango de hogar y los patrones de desplazamiento durante la temporada seca en Indonesia. Ellos obtuvieron que las áreas de hogar variaron entre 0.10- 1.76 ha usando MPC al 100%. De igual forma, analizaron que el estimador de rango de hogar óptimo fue LoCoH ya que no sobreestimó los datos espaciales, como si paso con el MPC y KDE. Ambos estudios, aportan significativamente en la comprensión de la ecología espacial para ambas especies. No obstante, hay un nicho de investigación dada la categoría de amenaza que presentan, *G. gangeticus* en peligro crítico (Lang et al., 2019) y *T. schlegelii* en la categoría vulnerable (Bezuijen et al., 2014).

Al analizar el rango de hogar dentro de los estudios publicados, KDE fue el método más usado con 34 registros (44.74%), seguido por MPC con 28 investigaciones (36.84%) y LoCoH con cinco registros (6.58%). Curiosamente, solo el 27.63% de estudios usaron más de un método para determinar el rango de hogar. No obstante, se destaca la baja representatividad de LoCoH en estudios de telemetría con crocodylianos, siendo el método de análisis más apropiado para comparar la eficiencia de sistemas de telemetría (Skupien et al., 2016), al igual que áreas de actividad (Bonke et al. 2014; Campos y Guilherme, 2021). Puesto que, este método permite observar mayor precisión en su distribución de uso con relación a sus requerimientos de hábitat, al igual que las posibles barreras geográficas dado por los movimientos de los individuos (Getz y Wilmers, 2004), siendo idóneo para animales acuáticos y/o semiacuáticos (Getz et al., 2007). Finalmente, dentro de los sistemas de

telemetría, se encontró que el sistema acústico sigue siendo menos usado para crocodylianos, que para los aligatóridos, donde ha sido estudiado en *A. mississippiensis* (Rosenblatt y Heithaus, 2011; Rosenblatt et al., 2013) y en crocodylidos con *C. porosus* (Campbell et al., 2010; Campbell et al., 2014; Dwyer et al., 2015). Se resalta que este tipo de telemetría vale la pena seguir explorando en el orden, al igual que sistemas combinados, ya que pueden brindar no solo información espacial, sino también ambiental, poblacional y comportamental para las especies (Browning et al., 2017).

2.4 La mujer y los crocodylianos: ¿existe una brecha de género en estudios de ecología espacial por radiotelemetría?

Existe una tendencia de brecha de género en el estado del conocimiento en diferentes campos STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), donde la baja representatividad en publicaciones por parte de las mujeres es notoria (Zandonà, 2022). Este patrón también ha sido reportado en estudios de ecología, específicamente en el campo de la herpetología (Grosso et al., 2021). La disparidad de géneros es una realidad que no se puede ignorar, pues las mujeres son menos asociadas a rasgos o estereotipos de científicos exitosos, en comparación a los hombres (Carli et al., 2016), lo que también puede ocasionar sesgos en las redes profesionales y oportunidades laborales en el campo de la investigación científica (Díaz-Faes et al., 2020). Por lo tanto, dentro del estado del arte de este trabajo de grado, también se revisó la representatividad femenina en estudios de ecología espacial de crocodylianos, usando la radiotelemetría como herramienta de monitoreo y conservación.

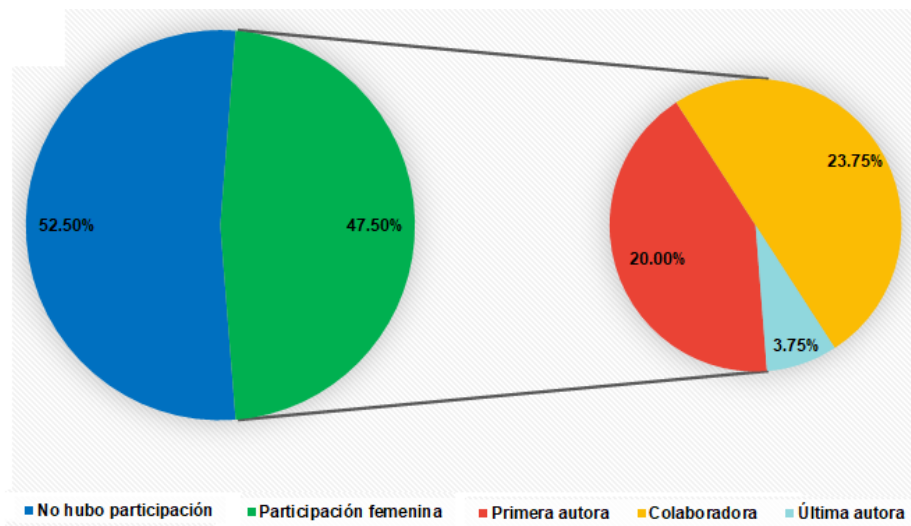


Figura 6. Participación histórica femenina en estudios de ecología espacial por radiotelemetría en el orden Crocodylia a nivel mundial desde 1970 hasta la fecha. El color verde representa el porcentaje de publicaciones donde hubo participación de al menos una mujer, el subgráfico evidencia si la mujer fue investigadora principal, colaboradora o última coautora de la publicación.

En este caso la participación femenina ha estado presente en casi la mitad de los trabajos publicados entre 1970-2022 (Fig. 6). Se observa que es mayor la proporción de mujeres colaboradoras (23.17%) y menor el de mujeres como últimas autoras (6.10%), que usualmente son las líderes de las investigaciones. Sin embargo, lo dicho anteriormente no quiere decir que exista igualdad de géneros en dichas publicaciones (Fig. 7), ya que se observa otra tendencia al comparar la proporción de géneros a nivel histórico; las mujeres han participado solo un 17% en relación al total de personas que han publicado estudios de telemetría con crocodylianos. La representatividad del hombre es mayor en comparación de las mujeres (>80%), a excepción de 1995-1999 siendo el único periodo en el que hubo una participación igualitaria entre investigadores hombres y mujeres.

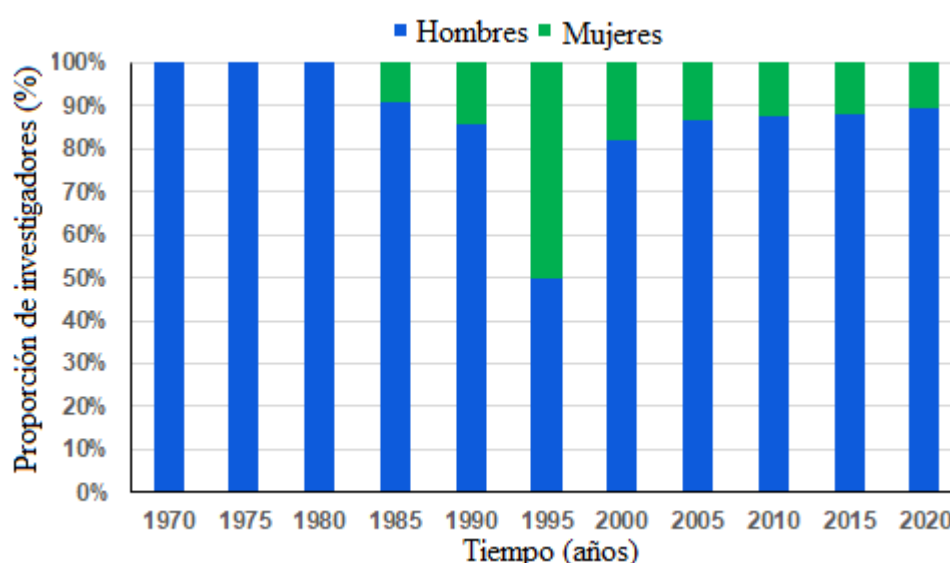


Figura 7. Participación histórica por géneros en publicaciones de ecología espacial por radiotelemetría en el orden Crocodylia, desde la primera publicación de telemetría en crocodylianos hasta la actualidad.

Siguiendo el patrón global para todas las décadas, este es similar a lo reportado en un caso de estudio de Argentina para investigadoras en el campo de la herpetología (Chuliver et al., 2021), donde la participación femenina es muy baja en relación a la masculina. Posiblemente los estereotipos que se tienen o tuvieron sobre las mujeres en estas décadas dificultó su participación en este campo de estudio, pues se ha reportado que las mujeres del siglo XX recibieron poco reconocimiento o menos oportunidades de sobresalir en alguna actividad y/o labor científica (Ruskai, 1989). Que para el siglo XXI, en un estudio de red de coautoría con dos revistas de herpetología sudamericanas, se demostró que aún existen preferencias masculinas (homofilia masculina) que discrimina a las mujeres (Grosso et al., 2021), donde encontraron que hay una disminución de coautoras cuando el hombre es líder del artículo, al igual que menor representatividad femenina en los consejos editoriales.

Se destaca a la investigadora principal con mayor cantidad de publicaciones en el monitoreo de crocodylianos (*C. yacaré*, *P. palembosus*, *P. trigonatus* y *M. niger*) por

radiotelemetría VHF, es la Dra. Zilca Campos; ecóloga e investigadora en la Corporación Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA). Este es un caso singular, pues contrasta con el patrón de representatividad femenina en ecólogas de Brasil, donde muchas mujeres no logran sobresalir en un área académica (Zandonà, 2022). En este mismo estudio, demuestran una disminución drástica de la participación femenina en programas de posgrados de ecología, lo cual asocian a diferentes factores, tales como, la deserción por maternidad, acoso, desigualdad en financiamiento de proyectos y la falta de modelos a seguir.

Asimismo, se han relacionado aspectos como la nacionalidad, raza, color de piel y/o cuidado parental, que pueden estar aportando negativamente sobre la disparidad de género y fomentar más barreras en la participación investigativa de las mujeres (Gay-Antaki y Liverman, 2018). No obstante, no es posible afirmar que las mujeres en estudios de telemetría para el orden Crocodylia se hayan visto afectadas por todos los factores mencionados anteriormente. Lo que demuestra la necesidad de investigar las percepciones de las mujeres que han participado en estudios de crocodylianos, con el fin de conocer y entender las barreras o no que hayan presentado. Es necesario mantener la diversidad de ideas en la ciencia, que en el estado del conocimiento de la ecología espacial en crocodylianos no es la excepción.

Finalmente, se concluye que la mitad de los estudios de ecología espacial de crocodylianos a través de radiotelemetría, cuenta con la participación de al menos una mujer. No obstante, la proporción de mujeres a nivel histórico es muy baja en comparación a los hombres. Es necesario reconocer que no hay un aumento de la participación femenina en las últimas dos décadas, sino un decrecimiento de la misma en relación al porcentaje histórico ocurrido entre 1995-1999. De manera que, no se puede descartar la existencia de una brecha de género en este campo de estudio del monitoreo en crocodylianos. Es necesario buscar estrategias para evitar esta tendencia entre mujeres y hombres, ya que esto posibilitará una mayor diversidad en la gestión de proyectos para la conservación de crocodylianos y ecosistemas asociados a su distribución.

2.5 Perspectivas y oportunidades

La radiotelemetría es una herramienta útil en la adquisición de información relacionada a la ecología espacial de los crocodylianos, principalmente de sus movimientos, el uso de hábitat, áreas de actividad y preferencia. Lo que permite entender cómo estos reptiles interactúan en sus entornos y qué variables antrópicas, abióticas y/o bióticas inciden sobre sus requerimientos espaciales. Esta información es relevante para la conservación de estas especies y sus ecosistemas asociados. Es necesario buscar estrategias de monitoreo a largo plazo para determinar patrones y rangos de hogar de las poblaciones. De tal forma, que cuando se tengan diferentes estudios se pueda llegar a un consenso con expertos en la especie acerca de su ecología espacial.

De manera que, cuando se hagan estudios de monitoreo con radiotelemetría, se debe tener presente las características de hábitat, el tamaño de los individuos y el presupuesto

disponible, ya que esto influye directamente sobre el tipo de telemetría a usar en el proyecto investigativo. Cada sistema de radiotelemetría presenta ventajas y desventajas, no obstante, la elección de la misma dependerá de la pregunta que se quiere responder con estos registros de movimiento. Por otro lado, se debe tener en cuenta cuál es el método apropiado para estimar el rango de hogar de la especie, puesto que los más usados en crocodylianos (MPC y KDE), no necesariamente son los más precisos para estimar áreas de actividad, estos métodos pueden llegar a sobreestimar o subestimar su distribución de uso. Es por ello, que se recomienda el uso del método LoCoH, dado que al tener en cuenta el vecino más cercano en la construcción de los rangos de hogar, permite evidenciar posibles barreras dentro de las áreas de actividad de estos animales semiacuáticos.

Entendemos que la mayoría de especies del orden Crocodylia presentan amplios rangos de distribución, no obstante la mayoría de los estudios publicados de 17 spp de las 27 spp vivas de crocodylianos, solo representan una pequeña parte de lo que está sucediendo con sus movimientos. Estos estudios reportados abarcan el 60% de todo el orden, es imprescindible continuar los esfuerzos de monitoreo en las especies restantes: *C. johnstoni*, *C. rhombifer*, *C. moreletii*, *C. novaeguineae*, *C. palustris*, *M. cataphractus*, *C. suchus*, *O. tetraspis*, *O. sf. tetraspis* y *O. osborni*. De igual manera, dar prioridad a las especies que presentan alguna categoría de amenaza en relación a su rango de distribución, tales como: *C. rhombifer*- Peligro Crítico, *C. palustris* -Vulnerable, *O. tetraspis* - Vulnerable , y *M. cataphractus* - Peligro Crítico.

Es necesario reconocer que algunas especies de crocodylianos pueden estar presentes en diferentes tipos de hábitat, y su ecología espacial puede variar dependiendo la disponibilidad del hábitat, condiciones climáticas y bióticas de las mismas. De manera que, no basta solo con dos o tres estudios de monitoreo para establecer patrones de movimiento o rangos de distribución para especies, lo que realmente se podría replantear si realmente la mayoría de estas publicaciones son aproximaciones de lo que está ocurriendo en poblaciones específicas del sitio de estudio.

Finalmente, los estudios con radiotelemetría en crocodylianos no presentan un patrón único en relación a las variables bióticas, abióticas y/o antrópicas que pueden influenciar su ecología espacial. Demostrando que muchas de esas variables son propias de las zonas de estudio y se resalta la importancia de conocer esa información a diferentes escalas espacio-temporales. De igual manera, es necesario estandarizar los métodos de estimación de rangos de hogar para crocodylianos, que en el caso de los patrones de distribución, no es la excepción. Aún falta por explorar los análisis de dependencia espacial y patrones espaciales posibles de las poblaciones de estudio, con el fin de que la información ecológica espacial sea comparable entre estudios.

3. ARTÍCULO CIENTÍFICO

Una aproximación de los rangos de hogar y patrones de desplazamiento de *Caiman crocodilus* y *Crocodylus acutus* por radiotelemetría VHF en temporada seca del Parque Nacional Natural Tayrona, Colombia

Catalina Pinzón-Barrera^{1*}, Nelsy Rocío Pinto-Sánchez¹, Elkin Hernández², Nidia Farfán-Ardila³, Sergio A. Balaguera-Reina⁴

¹ Grupo de Ecotoxicología, Evolución, Medio Ambiente y Conservación, Semillero de Evolución y Conservación (SEC), Programa de Biología Aplicada, Universidad Militar Nueva Granada

² Parque Nacional Natural Tayrona, Dirección Territorial Caribe, Calle 17 4-06 Santa Marta, Colombia

³ Corporación Natural SIG, Calle 24a No. 2 – 27 El Prado, Santa Marta – Colombia

⁴ Department of Wildlife Ecology and Conservation, Fort Lauderdale Research and Education Center, University of Florida, Fort Lauderdale, FL, USA

*Autor para correspondencia: u0501069@unimilitar.edu.co (Catalina Pinzón-Barrera)

3.1 Resumen

Colombia es uno de los países más diversos en crocodylianos del mundo. Sin embargo, se desconoce ampliamente la ecología espacial de *Crocodylus acutus* (Caimán aguja) y *Caiman crocodilus* (babilla) en estado silvestre. Actualmente, no se han realizado estudios en el país para conocer la dinámica espacial de estas especies y su relación con el medio ambiente a través de radiotelemetría. Se evaluó la ecología espacial de *Crocodylus acutus* y *Caiman crocodilus* en el sector oriental del Parque Nacional Natural Tayrona (Arrecifes y Cañaveral) usando transmisores VHF durante el primer semestre del 2021. Se obtuvieron 275 registros a partir de seis individuos monitoreados con rangos etarios de juvenil y adulto para *C. acutus* y subadultos para *C. crocodilus*. Específicamente, se monitorearon dos machos y una hembra para cada especie, con un porcentaje de error del 12.69% y frecuencia de monitoreos por día de 1.02 ± 0.56 y 0.61 ± 0.37 , respectivamente. Se determinó el rango de hogar mediante los métodos del Mínimo Polígono Convexo (MPC), cascos convexos locales (LoCoH) y estimación de densidad kernel (KDE) con isopletras al 100%, 95% y 50%, encontrando en los tres métodos un rango máximo para *C. acutus* de 0.189 km^2 y de 0.042 km^2 para *C. crocodilus*, siendo LoCoH el método más preciso. Solo dos individuos presentaron autocorrelación espacial significativa (I-Moran z-score: 2.65, p-value: 0.08e-01 y z-score: 2.23, p-value: 0.26e-01) correspondiente a una distribución agrupada con confianza superior al 97%. No obstante, todos los individuos tuvieron distancias medias recorridas (DMR) < 1 km en un periodo de cinco meses (Feb-Jul), con una época de sequía extendida en campo del 2021. Se comprobó que *C. acutus* presentó significativamente mayores desplazamientos que *C. crocodilus* (p-value = 3.82×10^{-6} , p-value = 1.53×10^{-5} , respectivamente). Por otro lado, con el inicio de lluvias en julio aumentaron las DMR semanales de *C. acutus*, se encontró un efecto positivo con la precipitación promedio (PP) (z-value: 2.04, p-value: 0.04, 95% de confianza), a través de regresiones lineales

generalizadas con base en distribuciones negativas binomiales. En contraste, las DMR semanales de *C. crocodilus* se vieron afectadas por más co-variables ambientales (radiación solar, PP, temperatura media y mínima). Se resalta que el modelo más robusto que se obtuvo para *C. crocodilus* tiene una fuerza explicativa del 87.76%, contrastado con *C. acutus* de 31.41%. Por lo tanto, es necesario aumentar el número de individuos y tiempo de monitoreo, al igual que explorar más variables abióticas y bióticas que pueden estar influenciando las DMR de las especies de estudio. Finalmente, estos datos espaciales aportan información valiosa en planes de manejo y futuras investigaciones dentro y fuera del área protegida para la conservación y manejo de crocodylianos, así mismo de los ecosistemas asociados a su distribución.

3.2 Abstract

Colombia is one of the most diverse countries regarding crocodylians in the world. However, the spatial ecology of *Crocodylus acutus* (American crocodile) and *Caiman crocodilus* (Spectacled caiman) in the wild is largely unknown. To date, no studies have been carried out in the country to understand the spatial dynamics of these species and their relationship with the environment through radiotelemetry. We evaluated the spatial ecology of *C. acutus* and *C. crocodilus* in the eastern sector of Tayrona National Natural Park (Arrecifes and Cañaveral) using VHF transmitters during February through July 2021. We collected 275 records from six monitored individuals with age ranges of juvenile and adult for *C. acutus* and subadults for *C. crocodilus*. Specifically, two males and one female were monitored for each species with an error rate of 12.69% and frequency of records per day of 1.02 ± 0.56 and 0.61 ± 0.37 respectively. The home range was determined with Minimum Convex Polygon (MCP), Local Convex hull (LoCoH), and the kernel density estimation (KDE) with isopleths at 100%, 95%, and 50%, finding in this method a maximum range for *C. acutus* of 0.189 km² and 0.042 km² for *C. crocodilus*, with LoCoH being the most accurate method. Only two individuals showed significant spatial autocorrelation (I-Moran z-score: 2.65, p-value: 0.08e-01 and z-score: 2.23, p-value: 0.26e-01) corresponding to a clustered distribution with confidence greater than 97%. However, all individuals had mean distances traveled (DMR) <1km in a period of five months (Feb-Jul), with an extended dry season in the field from 2021. It was checked that *C. acutus* presented significantly greater movements than *C. crocodilus* (p-value = 3.82e-06, p-value = 1.53e-05, respectively). On the other hand, with the onset of rains in July, the weekly DMR of *C. acutus* increased, a positive effect was found with the average precipitation (PP) (z-value: 2.04, p-value: 0.04, 95% confidence), through generalized linear regressions based on binomial negative distributions. In contrast, the weekly DMRs of *C. crocodilus* were affected by more environmental co-variables: solar radiation, PP, mean and minimum temperature (z-value: 2.12, p-value: 0.33e-01; z-value: -2.01, p-value: 0.45e-01; z-value: -2.42, p-value: 0.16e-01, respectively). The most robust model obtained for *C. crocodilus* has an explanatory power of 87.76%, compared to 31.41% for *C. acutus*. Therefore, it is necessary to increase the number of individuals and monitoring time, as well as to explore more abiotic and biotic variables that may be influencing the DMR of the study species. Finally, these spatial data provide valuable information for management plans and future research inside and outside the protected area for the conservation and management of crocodylians and associated ecosystems.

3.3 Introducción

Estudiar los patrones de desplazamiento y rangos de hogar permite entender las condiciones espaciales que necesitan los individuos para obtener su alimento, crecer y reproducirse (Millsbaugh y Marzluff, 2001). Una herramienta para obtener esta información es la radiotelemetría de muy alta frecuencia (VHF, siglas en inglés) (Priede y Swift, 1992; Cooke, et al., 2004), la cual puede brindar información clave para explicar la historia de vida de los crocodylianos (Hutton, 1989). A su vez, comprender la variabilidad a escala espacio-temporal de procesos comportamentales y de dispersión, que ocurren dentro del área de distribución (Kay, 2004). Por estos motivos, evaluar la ecología espacial en crocodylianos es vital, no solo para el manejo y protección de las especies (Fletcher y Fortin 2018), sino también para conocer su impacto en niveles tróficos menores y el uso de hábitat en los ecosistemas asociados (Rosenblatt et al. 2013).

En esta investigación se propone como modelo de estudio a *Crocodylus acutus* (Caimán aguja) (Cuvier, 1807) y *Caiman crocodilus* (babilla) (Linnaeus, 1758), que están distribuidas de manera simpátrica en la costa caribe, pacífico y en los valles interandinos colombianos. En la actualidad, la fragmentación, deforestación y cacería ilegal están limitando las áreas de ocupación para las dos especies a nivel nacional (Morales-Betancourt et al., 2013). Los esfuerzos de monitoreo son escasos en Colombia, donde aún existe un desconocimiento de la presencia-ausencia de poblaciones en diferentes zonas del país, por lo que dificulta la toma de decisiones para su conservación y uso sostenible (Balaguera-Reina et al. 2015). En este caso, la telemetría ha sido pobremente empleada para conocer la distribución espacial de crocodylianos, se tienen reportes de instalación de transmisores en el Complejo Cenagoso de Zapatosa para *C. crocodilus* (González-Maya et al., 2011), en la Ciénaga Grande para *C. acutus* (Corpamag, 2021), al igual que en el departamento de la Guajira (Corpoguajira, 2022a, 2022b), pero ninguno de estos monitoreos han sido publicados. Siendo el único estudio con radiotelemetría para crocodylianos, reportado para caimanes llaneros reintroducidos (*C. intermedius*) en el departamento del Meta (Moreno-Arias y Ardila-Robayo 2020).

A nivel local, el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT) se plantea como un laboratorio natural (Chape et al. 2005), puesto que alberga una gran biodiversidad representativa de la costa Caribe colombiana y el zonobioma tropical alternohigrico de la Sierra Nevada de Santa Marta (Pineda-Guerrero y Hernández, 2016). En esta localidad se ha reportado un aumento de avistamientos de crocodylidos en zonas ecoturísticas (Balaguera-Reina et al., 2012), específicamente, en el sector oriental con las localidades de Los Naranjos, Cañaveral, Arrecifes y Cabo San Juan del Guía, las cuales pueden estar compartiendo áreas de distribución de los crocodylianos con los humanos dentro del PNNT (Balaguera-Reina et al., 2012; Farfán-Ardila et al., 2019). Por lo tanto, es necesario comprender los patrones de desplazamiento y áreas de uso de estas dos especies a través de radio telemetría, para el manejo de estas y conservación de los ecosistemas asociados. Al igual que prevenir interacciones negativas en coexistencia con los visitantes y locales dentro del AP (Balaguera-Reina et al., 2019).

Previos estudios de radiotelemetría en *C. acutus*, demuestran una baja representatividad de lo que está ocurriendo a nivel espacial para la especie (Balaguera-Reina et al. 2016), debido a que solo se han investigado poblaciones en Panamá, Estados Unidos y Jamaica, de los 18 países que abarcan toda su distribución (Rainwater et al., 2021). En el caso de *C. crocodilus*, no es la excepción, pues solo se ha estudiado en Surinam de los 20 países en los que se encuentra distribuido (Balaguera-Reina y Velasco, 2019). Sin embargo, estos estudios analizan diferentes factores que pueden estar influenciando la ecología espacial de *C. acutus* y *C. crocodilus*. En Estados Unidos han encontrado diferencias significativas en ausencia de anidamientos, con mayores rangos de hogar para las hembras de *C. acutus* (Beauchamp, 2014; Beauchamp et al., 2018). Del mismo modo, sugieren que la selección de hábitat varía en relación con el grupo etario, temporadas de anidamiento y presencia de humanos (Mazzotti, 1983; Kushlan y Mazzotti 1989; Beauchamp et al., 2019). Para el caimán aguja se reportan desplazamientos menores a 330 m en juveniles del Lago Gatún en Panamá, los cuales variaron su actividad nocturna con relación a la fase lunar (Rodda 1984). No obstante, se han registrado también recorridos de largas distancias para *C. acutus* (± 700 km) (Cherkiss et al., 2014; Balaguera-Reina et al., 2021) y su especie hermana *C. porosus* (± 400 km) (Read et al. 2007; Campbell et al., 2010).

Basado en los desplazamientos medios recorridos de *C. acutus*, estos pueden variar según el grupo etario o el tamaño del individuo (Balaguera-Reina et al., 2016). Se esperó encontrar que los individuos monitoreados seguirían un patrón de distribución agregado o de tipo clúster para la población del PNNT (Hipótesis H-1), sugerido por Farfán-Ardila y colaboradores (2019). Del mismo modo, se ha registrado que las temporadas climáticas inciden sobre el área de actividad y desplazamientos de los crocodylidos (Muñoz y Thorbjarnarson, 2000; Kay, 2004; Balaguera-Reina et al., 2016; Moreno-Arias y Ardila-Robayo 2020). Por lo tanto, variables climáticas como la precipitación pueden tener un efecto significativo sobre la ecología espacial de *C. acutus* en temporada de sequía en el sector oriental del PNNT (Hipótesis H-2).

En el caso de *C. crocodilus*, únicamente se han monitoreado dos hembras en Surinam, las cuales presentaron áreas de actividad diferentes y restringidas entre sí (11,25 ha y 35 ha), donde no se alejaron mucho del sitio de captura y liberación (Ouboter y Nanhoe 1988). De manera que, en el presente estudio se esperó encontrar este mismo patrón de desplazamientos de forma agregada en *C. crocodilus* (Hipótesis H-3). Teniendo en cuenta lo reportado para la familia Alligatoridae, los desplazamientos pueden ser diferentes a nivel intraespecífico, ya que pueden presentar amplios intervalos en la variabilidad de sus desplazamientos medios recorridos (DMR) (Taylor et al., 1976; Taylor, 1984; Ouboter y Nanhoe, 1988; Magnusson y Lima, 1991; Wang et al., 2011; Silveira et al., 2011; Campos y Mourão, 2021). Por lo tanto, también se esperó encontrar estas diferencias intraespecíficas entre las DMR de individuos de *C. crocodilus* (Hipótesis H-4), dentro del sector oriental, PNNT.

Asimismo, dentro de los estudios de ecología espacial en aligatíridos se evidencia que el aumento de temperatura promedio y máxima, pueden ser dos factores que cambien los desplazamientos de los individuos a lo largo del tiempo (Morea et al., 2000). De manera que,

también se esperaba encontrar una relación significativa de estas co-variables sobre los desplazamientos (Hipótesis H-5). Finalmente, la presente investigación tiene como objetivo analizar los patrones de desplazamiento y rangos de hogar para *C. acutus* y *C. crocodilus* en el sector Oriental del PNNT. Se presenta un análisis preliminar de los patrones de distribución y dependencia espacial de las especies. Comparamos los diferentes métodos de análisis de rangos de hogar y determinamos la significancia de las co-variables ambientales propuestas que influyen los desplazamientos de los individuos. Este es el primer estudio en Colombia que evidencia la ecología espacial de *C. acutus* y *C. crocodilus* a nivel local, para una temporada de sequía extendida en el PNNT del Caribe colombiano.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Área de estudio

El estudio fue ejecutado durante cinco meses y cinco días en campo, desde el 15 febrero de 2021 hasta el 20 julio del 2021. Se llevó a cabo en las localidades de Arrecifes y Cañaveral, en el sector oriental del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT) (Fig 1), ubicado en el departamento del Magdalena, Colombia, entre 11.28333 N y -74.18333W. Este abarca 15.000 ha de extensión, 12.000 ha terrestres y 3.000 ha marinas, la cual pertenece a las 15 Áreas Protegidas (AP) de la región del Caribe colombiano, siendo éste importante para las cuatro comunidades indígenas (Kogui, Arhuaco, Wiwas y Kankuamo) que habitan en la ecoregión de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSS). El PNNT se caracteriza por su gradiente altitudinal entre 0-900 msnm, temperatura ambiental promedio de 27°C y humedad relativa del 79% (Rueda-solano et al. 2010). Este patrón climático está influenciado por los vientos alisios y el Chorro de Bajo Nivel del Caribe (CLLJ), que a su vez ocasionan el régimen de precipitación bimodal tetraestacional del AP (PNNT 2006), siendo las temporadas secas entre diciembre a abril y julio a agosto. No obstante, durante el tiempo de monitoreo se presentó una temporada de sequía extendida, ya que no hubo un periodo de precipitación entre abril y junio. Con un promedio de precipitación mensual de 9.15 mm y desviación estándar 20.12 mm de lluvia, basado en la información climática suministrada por el PNNT, de la estación meteorológica del sector de Cañaveral (11.3027139 N, -73.9279724 W).

El estudio se desarrolló en ecosistemas marino-costeros como playas arenosas, litoral rocoso, madre viejas, manglar y bosque húmedo tropical. El AP está representado en su gran mayoría por bosque seco tropical y bosque húmedo tropical. Con una gran variedad de biomas, siendo el más representativo para el sector oriental, el zonobioma tropical alternohigrico como parte de las estribaciones de la SNSS. También se registran pedobiomas con condiciones azonales de vegetación, como helobiomas (suelos con mal drenaje, con inundación permanente o periódica), halobiomas (suelos inundables con influencia salina) y los psanmobiomas (vegetación de playa marina) (PNNT 2006).

3.4.2 Captura, marcaje e instalación de transmisores

Basado en los reportes de avistamientos en el sector oriental del PNNT para el orden Crocodylia (Balaguera-Reina et al., 2012; Farfán-Ardila et al., 2019; Balaguera-Reina et al., 2020), se realizaron tres jornadas por mes de avistamiento nocturno y captura de individuos, aproximadamente. Con un esfuerzo mínimo de recorridos de cuatro horas por jornada, en los

cuales se logró ubicar a los crocodylianos gracias al efecto de reflexión ocular del *tapetum lucidum* (Chabreck, 1963). Para la diferenciación de especies fue necesaria su captura, se siguió la metodología modificada de Sánchez-Marín (2014), se ubicaron los individuos lo más lejos de la orilla del mar o cuerpo de agua (madrevieja, quebrada, poceta de agua) y luego se marcaron las colas de los individuos con una numeración única, a través del corte o remoción de crestas caudales sencillas (Fig. 2) (De La Ossa, 2001). Al igual, se retiró la cuarta escama izquierda caudal doble para caimanes aguja, con el fin de reconocer futuros desplazamientos entre AP, dado los largos trayectos de desplazamientos que pueden tener estos animales en la costa Caribe colombiana (Balaguera-Reina et al., 2021). Así mismo, se registró la información básica de cada animal capturado (coordenadas geográficas, hora de captura, sexo, grupo etario por longitud total-LT y peso) (Anexo 1).

Para instalar los transmisores de muy alta frecuencia (VHF) se tuvo en cuenta sólo a los individuos que superaron $LT > 1m$, también que el peso del transmisor no superara el 5% del peso del espécimen (Brander and Cochran, 1971), ya que esto puede afectar el movimiento de los individuos (Franklin et al., 2009). A partir del ancho y largo de las escamas nucales, se seleccionó el tamaño del transmisor que se ajustara mejor al animal. Se usaron los modelos de transmisor TXE-311BR (26g; 17x55mm), TXF-315BR (36g; 17x85mm) y TXF-317BR (70g; 17x55x31mm) de la marca Telenax ® con un alcance de 30 - 40 km de transmisión de señal sin obstáculos (TELENAX, 2020). De modo que se instalaron seis transmisores VHF tipo mochila (tres en *C. acutus* y tres en *C. crocodilus*) encima de las escamas nucales, respectivamente y luego se atravesó una guaya de acero plastificada (1.5 mm) por debajo de los osteodermos nucales, de manera que se pudiera asegurar los transmisores (Brien et al., 2010). De igual forma, se usaron mini coopers de doble manga para prensar la guaya y se aplicó dos capas de sikaflex para cubrir el transmisor. Una vez terminada la instalación los individuos fueron liberados en el mismo lugar de captura.

3.4.3 Rutas de registros y triangulación

Se establecieron 17 rutas de monitoreos en el sector oriental del PNNT (Fig.3), donde se recorrian 10 km/día aproximadamente, con el fin de obtener las localizaciones de cada animal diariamente en tres jornadas de búsqueda (mañana, tarde y noche). Específicamente, se buscó las frecuencias únicas calibradas entre el rango de 216.060 - 216.843 MHz, mediante el uso de una antena Yagi de tres elementos con ganancia a este mismo rango y un receptor Tr-8 de 138-235MHz de marca Telonics S. A® (Telonics, 2020). Cuando se obtuvo la señal de un individuo se denominó esto como un registro (“radio tag”), el cual consistió en documentar al menos tres estaciones distintas con el azimut respectivo, en dirección y sentido a la frecuencia percibida por el investigador (Kenward, 2001a). No obstante, se tomó la georreferencia de estas estaciones con GPS a una distancia mínima de 10m entre éstas (error precisión $\leq 3m$, Garmin® eTrex 10), ya que es necesaria para la triangulación de los datos (Garton et al., 2001; Arbelaez-Muñoz 2013; Sánchez-Marín, 2014).

Una vez tabulados los datos en campo, se filtraron los monitoreos que no cumplieron los siguientes parámetros: (1) las posiciones no pueden superponerse temporalmente con mínimo de 30 segundos; (2) las posiciones secuenciales no deben ser intersecantes entre

geolocalizaciones y (3) que no supere la velocidad umbral máxima (12km /h) (Balaguera-Reina et al., 2016). Luego se triangularon los monitoreos para hallar las geolocalizaciones generados en “model builder” de ArcGIS Pro 2.8 (ESRI, 2021), propuestos por Balaguera-Reina y colaboradores (2016). De igual manera, se filtraron las localizaciones atípicas que tuvieron un error de distancia estándar muy grande (>100m) luego de la triangulación (White and Garrett, 1990).

3.4.4 Análisis espacial: autocorrelación, patrones espaciales y rangos de hogar.

Con base en estos datos filtrados, primero se analizaron los patrones espaciales, estimamos las distancias medias recorridas (DMR), distancias de movimiento máximas (DMM), velocidad media recorrida (VMR) y velocidad máxima (VM) por individuo de las dos especies propuestas mediante la herramienta de ArcMET (Wall, 2014) para ArcMap 10.6 (ESRI, 2018). Se realizó la prueba I de Moran (Moran, 1950), basado en el criterio de vecindad para determinar la autocorrelación global o comportamiento explícito espacial entre las localizaciones de cada individuo, también llamadas “entidades de entrada” (Siabato y Guzmán-Manrique, 2019; ESRI, 2022). Para comprobar las hipótesis H-1 y H-3, se determinó si el fenómeno geográfico corresponde a entidades aleatorias o un agrupamiento significativo de manera dispersa o en clúster (Siabato y Guzmán-Manrique, 2019). Siendo la hipótesis alterna (Ha1) ($p \leq 0.05$), que existe una autocorrelación de las entidades con un nivel de confianza del 95%. Si la puntuación z es positiva (Ha2) ($z > 0$), corresponde a un patrón de distribución de clúster o negativo (Ha3) con un patrón de entidades dispersas.

De manera conservada, se seleccionó el patrón espacial del individuo con mayor autocorrelación para *C. crocodilus*, teniendo en cuenta la similaridad de los valores de p y z. De igual manera, se comparó si hubo algún efecto en la autocorrelación espacial de Joselito (ID 11, *C. acutus*) con el 100% de las geolocalizaciones y el 87.59% de las mismas. Esto debido a que cuando se recapturó a Joselito en la playa de Arrecifes durante el mes de mayo, fue liberado a 300 m más al sureste, cerca a la madre vieja de La Gumarra. Por consiguiente, se ejecutó un análisis de puntos calientes optimizados para cada individuo, mediante el conteo de incidentes dentro de una cuadrícula hexagonal por ArcGIS Pro 2.8 (ESRI, 2021). Con el fin de establecer las zonas o clusters significativos con mayor incidencia (puntos calientes) y menor incidencia (puntos fríos) basados en entidades de tipo puntos para las dos especies (Baddeley, 2010).

Para la estimación de rangos de hogar se usó el método determinista del Mínimo Polígono Convexo (MPC) (Mohr, 1947), luego el método de interpolación de Densidad de Kernel (KDE) (Worton, 1989) usando un tamaño de píxel de 0.01 m y un radio de búsqueda (ancho de banda) para la Juiciosa, Joselito, Rosa, Hugo y Lulo de 30.78 m, 46.69 m, 11.00 m, 24.89m y 8.50m, respectivamente. En el caso de Pepe, no se logró estimar KDE por la cantidad de registros disponibles. Por último, se empleó el método de cascos convexos locales adaptativos (aLoCoH) (Getz et al., 2007) con isopletas de 50% , 95% y 100% mediante ArcMap 10.6 (ESRI, 2018). Con el objetivo de comparar los tres métodos para cada especie y resaltar las áreas mínimas donde pasarían el 100% y 95% de su distribución de utilización (UD), al igual que su área núcleo (50% UD), correspondiente al área donde posiblemente hay mayor actividad de los individuos (Downs et al., 2011).

3.4.5 Análisis estadístico

Para cada individuo se promedió las distancias medias recorridas semanales (DMR-S) e hicimos una prueba de Kruskal Wallis (Kruskal y Wallis, 1952), respectivamente. Se determinó la homogeneidad de varianzas usando la prueba de Levene (McDonald, 2014). Donde se tuvo en cuenta únicamente los datos de “Joselito” (*C. acutus*), “Rosa” y “Hugo” (*C. crocodilus*), ya que “La Juiciosa”, “Pepe” y “Lulo” presentaron una baja cantidad de datos para calcular la DMR-S registrados en campo para realizar las respectivas pruebas estadísticas. Para comprobar la H-4, se determinó si existen diferencias intraespecíficas significativa de los DMR-S para *C. crocodilus* (H-4) mediante una prueba de Mann–Whitney–Wilcoxon (MWW) ($P\text{value} \leq 0.05$) (Lemmer, 1987).

Para entender la variación de las DMR-S de las dos especies en función de los atributos o co-variables ambientales (H-2 y H-5), se usó los modelos lineales generalizados (GLM) con distribución negativa binomial (Nelder y Wedderburn, 1972) y pseudo - R^2 McFadden (McFadden, 1973) para determinar su capacidad predictora. Para comprobar H-2, se evaluó tres modelos en *C. acutus*, el primero usando las co-variables de precipitación promedio (PP) y humedad relativa (HR), el segundo con radiación solar (RS), temperatura promedio (TP), máxima (Tmax), mínima (Tmin) y el tercero con la sumatoria de las co-variables del modelo uno y dos. En el caso de *C. crocodilus* (H-5) también evaluó tres modelos, el primero usando únicamente la variable individuo (IND), el segundo con las co-variables ambientales PP, HR, RS, TP, Tmax y Tmin, seguido del tercer modelo con la sumatoria de todas las covariables.

Para las dos especies seleccionamos los mejores GML respectivamente, teniendo en cuenta el AIC y pseudo - R^2 McFadden. Esta información climática fue extraída de la estación meteorológica del sector de Cañaveral. Finalmente, se exploró un análisis de componentes principales (PCA) con las mismas co-variables descritas, con el fin de encontrar descriptivamente qué variables tienen mayor similitud entre ellas en función de las semanas monitoreadas, sin perder la mayor cantidad de variabilidad posible en los datos (Jolliffe y Cadima 2016). A su vez, cuantificar el porcentaje explicativo de las dimensiones para los tres individuos en relación con las variables estudiadas. Finalmente, los análisis estadísticos se realizaron en el programa RStudio versión 4.1.1 (Rstudio Team, 2020).

3.5 Resultados

En campo se capturaron nueve caimanes aguja y se recapturaron cuatro de ellos durante el semestre de monitoreo; para babillas fueron 17 capturas y cuatro recapturas, respectivamente (Anexo 1), de los cuales seis individuos fueron aptos para instalar transmisores por su tamaño y peso corporal (Tabla 1). Específicamente, se monitorearon dos machos y una hembra para cada especie, siendo un total de 275 registros con un porcentaje de error total del 12.69% (167 de *C. acutus* y 108 de *C. crocodilus*) y frecuencia de registros por día de 1.02 ± 0.56 y 0.61 ± 0.37 , respectivamente. Los errores reportados en los registros por radiotelemetría VHF fueron en un 37.50% de estaciones mal geoposicionadas por el GPS, 42.50% por ángulos erróneos en el acimut, 5.00% por registros con error de temporalidad, es

decir que no cumplen con la condición (1) y 15.00% por error en la distancia estándar de las localizaciones luego de la triangulación.

TABLA 1. Datos de los seis individuos *C. acutus* (n=3) y *C. crocodilus* (n=3) marcados y monitoreados con transmisores VHF en el sector oriental del Parque Nacional Natural Tayrona. *El día 13 de abril se le cayó el transmisor No. 6 y el 8 de mayo se le instaló nuevamente el transmisor No. 7; **Para esta frecuencia se incluyó los 15 días de monitoreo por avistamiento directo del individuo 77.

	<i>C. acutus</i>			<i>C. crocodilus</i>		
Nombre ID (marca- cresta caudal simple)	“Joselito” 11	“La Juiciosa” 4	“Pepe” 77	“Rosa” 11	“Lulo” 7	“Hugo” 10
No Transmisor	6-7*	10	16	2	12	8
Frecuencia	216.269 216.060	216.390	216.691	216.089	216.843	216.329
Modelo	TXE-315 BR	TXE-315 BR	TXE-317 BR	TXE-317 BR	TXE-317 BR	TXE-315 BR
Inicio emisión	16/02/21	21/02/21	16/02/21	12/5/2021	17/05/21	12/5/2021
Final emisión	20/07/21	28/02/21	17/02/21	20/07/21	20/07/21	20/07/21
Días emisión	126	7	1	69	64	69
Registros sin filtrar	176	9	6	69	17	38
Registros finales	153	8	6	61	15	32
Frecuencia de registros/día	1.40	1.29	0.375**	1.00	0.266	0.55
(%) Error registros totales	13.06	11.11	0	11.59	11.76	13.51

Se aclara que estos individuos no se monitorearon en rangos de tiempo similares (Tabla 2), para los caimanes Aguja fue posible monitorear durante todo los meses de campo a Joselito, un juvenil macho ubicado en Arrecifes. Sin embargo, se evidencia una disminución considerable de los registros luego de la caída de su transmisor en abril y su segunda

recaptura en mayo. En el caso de Pepe y La Juiciosa, se cayeron sus transmisores a pocos días de su instalación. No obstante, se encontró que es mayor la cantidad de registros por telemetría y avistamientos directos durante las jornadas de la mañana y tarde que en la noche (Tabla 2). En este mismo mes, se observó que hubo solo un monitoreo registrado para Hugo luego de su captura, que hasta el siguiente mes se volvió a registrar. En el caso de Lulo, solo se pudo registrar en mayo y junio, ya que para el mes de julio no se encontró en las rutas de monitoreo tanto principales, como secundarias del sector de Cañaveral (Fig.3).

TABLA 2. Categorización de registros de *C. acutus* y *C. crocodilus* por meses y jornada diaria en el sector oriental del Parque Nacional Natural Tayrona. TR: tipo de registro; Avs: avistamiento directo; VHF: Radioteleimetría de muy alta frecuencia; M: mañana; T: tarde; N: noche; RI: registros por individuo; NA*: meses no monitoreados por caída y/o pérdida del individuo en campo; NA: meses no monitoreados dada la captura de babillas en mayo.

	Meses TR Jornada	Febrero VHF Avs		Marzo VHF Avs		Abril VHF Avs		Mayo VHF Avs		Junio VHF Avs		Julio VHF Avs		RI
“Joselito” ID11 <i>C. acutus</i>	M	11	0	18	6	5	2	1	2	2	1	3	1	153
	T	6	2	17	2	5	3	2	2	6	1	6	0	
	N	4	0	9	9	4	2	3	3	1	4	9	1	
	Total parcial TP	21	2	44	17	14	7	6	7	9	6	18	2	
	Total parcial Mes	23		61		21		13		15		20		
“La Juiciosa” ID4 <i>C. acutus</i>	M	3	0	NA*										8
	T	2	0											
	N	2	1	NA*										
	Total parcial TP	7	1											
	Total parcial Mes	8		NA*										
“Pepe” ID77 <i>C. acutus</i>	M	0	1	0	1	NA*								6
	T	0	2	0	0									
	N	0	1	0	1	NA*								
	Total parcial TP	0	4	0	2									
	Total parcial Mes	4		2		NA*								

“Rosa” ID11 C. <i>crocodilus</i>	M T N	NA	4 4 5	2 0 3	6 10 7	1 2 0	6 9 0	0 2 0	61
	Total parcial TP	NA	13	5	23	3	15	2	
	Total parcial Mes	NA	18		26		17		
“Lulo” ID7 C. <i>crocodilus</i>	M T N	NA	4 3 2	1 0 2	2 1 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	15
	Total parcial TP	NA	9	3	3	0	0	0	
	Total parcial Mes	NA	12		3		0		
“Hugo” ID10 C. <i>crocodilus</i>	M T N	NA	0 0 0	0 0 1	3 3 2	0 1 1	12 8 0	0 1 0	32
	Total parcial TP	NA	0	1	8	2	20	1	
	Total parcial Mes	NA	1		10		21		
					Registros finales				275

El promedio de distancias medias recorridas fue de 0.24 ± 0.27 km para *C. acutus* y 0.04 ± 0.027 km para *C. crocodilus*. Encontramos que los caimanes aguja se desplazaron más que las babillas (prueba MWW p-value = $3.82e-06$, p-value = $1.53e-05$, respectivamente) (Fig. 4). Con distancias máximas recorridas de 2.53 km y de 0.68 km, para las dos especies (Tabla 3). Registramos que Joselito tuvo mayor distancia total recorrida, debido a que fue el animal con mayores registros y tiempo de monitoreo durante toda la temporada seca del 2021-1. Sin embargo, no se desplazó más de 0.8 km en toda el área de estudio.

De lo contrario, en el corto tiempo de monitoreo para Pepe, se alcanzó a desplazar 1.61 km desde la madre vieja de Arrecifes hasta la playa de San Felipe. Se observa que los desplazamientos de las babillas fueron menores al kilómetro, al igual que sus velocidades medias recorridas. Asimismo, se evidencia que los machos monitoreados recorrieron distancias máximas, mayores a las hembras. No obstante, se halló que sí existe una diferencia significativa entre los DMR-S de Hugo y Rosa (prueba MWW p-value = 0.03; p-value = $9.77e-04$, respectivamente), se sugiere que puede haber una variabilidad intraespecífica entre

los dos individuos monitoreados (H-4), siendo mayor los desplazamientos de Hugo que Rosa (Fig. 5).

TABLA 3. Desplazamientos y velocidades de los individuos monitoreados en el sector de Arrecifes y Cañaveral durante la temporada seca (2021-I), Parque Nacional Natural Tayrona.

	<i>C. acutus</i>			<i>C. crocodilus</i>		
Individuo ID	"Joselito" 11	"La Juiciosa" 4	"Pepe" 77	"Rosa" 11	"Lulo" 7	"Hugo" 10
Distancia total recorrida (km)	156.38	0.41	27.40	17.36	0.28	21.98
Distancia media recorrida (km)	0.10	0.06	0.55	0.03	0.02	0.07
Desviación estándar	0.11	0.02	0.65	0.02	0.01	0.09
Distancia máxima recorrida (km)	0.80	0.11	16.10	0.12	0.06	0.51
Velocidad máxima (km/h)	0.08	0.06	0.01	0.06	0.04	0.02
Velocidad media (km/h)	0.01	0.10	4E-3	4E-3	5E-3	5E-3
Desviación estándar	0.01	0.02	5E-3	9E-3	0,01	6E-3

Basándonos en los tres métodos de análisis de rangos de hogar (MPC, KDE y aLoCoH) (Tabla 4), se logró obtener una gran variedad de estimaciones de área (100%, 95%) y de actividad (50%) que están usando las dos especies durante la temporada seca extendida del 2021-I. Se encontró que el MPC (100%) para *C. acutus* (35.56 ha) y *C. crocodilus* (5.12 ha) estimó un rango de hogar mayor que aLoCoH (11.53 ha; 1.46 ha), seguido de KDE (0.62 ha; 0.26 ha), respectivamente. Se identifica que el Caimán aguja que menos área total tuvo fue la Juiciosa (Fig 6.), ubicada en la madreveja de Cañaveral. Para el caso de Pepe, solo fué

posible estimar el MPC y aLoCoH por la baja cantidad de registros, sin embargo, este adulto con 6 localizaciones fue el que más área de utilización obtuvo para la especie. No obstante, el individuo que registró la mayor área de núcleo (50%UD) fue Joselito en los tres métodos (MPC: 2 ha, KDE: 0.2 ha y aLoCoH: 1 ha), el cual se ubicó en las madrevejas ubicadas en la playa de Arrecifes y La Gumarra.

Al contrastar con los rangos de hogar de las babillas, estas presentaron áreas menores pues ocuparon un área de distribución restringida en el bosque húmedo tropical del sector de Cañaveral (Fig. 7), en dirección contraria a la playa. Entre los individuos de *C. crocodilus* encontramos que Hugo fue el que tuvo mayor área de núcleo (50%UD) con MPC; 0.1 ha, KDE; 0.2 ha, aLoCoH; 0.3 ha, seguido de Rosa y por último Lulo. Resaltamos que los rangos de hogar para las babillas se alcanzaron a sobrelapar con los senderos turísticos de Cañaveral (caballerizas, ecohabs, parqueadero y área administrativa), que en el caso de los caimanes aguja únicamente se cruzaron en la localidad de Arrecifes (madrevieja y playa arenosa).

TABLA 4. Estimación de rangos de hogar para *C. acutus* y *C. crocodilus* por Mínimo Polígono Convexo (MPC), estimación de densidad de kernel (KDE) y análisis de cascos convexos locales (LoCoH) para los individuos monitoreados en las localidades de Arrecifes y Cañaveral durante la temporada seca (2021-I), PNNT. (-) Por la baja cantidad de registros en el IND 77, no fue posible ejecutar el área núcleo (50% UD), al igual que el método KDE (95% UD).

Individuo ID	MPC (ha)			LoCoH (ha)			KDE (ha)	
	100%	95%	50%	100%	95%	50%	95%	50%
Joselito (11)	18.93	18.73	1.95	7.27	4.18	1.04	0.33	0.02
La Juiciosa (4)	0.63	0.53	0.25	0.42	0.18	0.14	0.29	0.01
Pepe (77)	16	10	-	3.85	0.66	-	-	-
TOTAL	35.56	29.26	2.2	11.52	5.02	1.18	0.62	0.03
Rosa (11)	0.81	0.52	0.01	0.41	0.28	0.05	0.15	0.01
Lulo (7)	0.12	0.09	0.01	0.1	0.06	0.05	0.02	7E-5
Hugo (10)	4.19	1.04	0.33	0.95	0.82	0.28	0.09	0.01
TOTAL	5.12	1.64	0.35	1.46	1.16	0.38	0.26	0.02

Desde otra perspectiva, al estudiar el comportamiento explícito espacial de las localizaciones para cada individuo, se encontró que estas localizaciones para Joselito, La Juiciosa, Pepe y Lulo no tuvieron una autocorrelación espacial significativa (I-Moran z-score: 6.62 p-value: 0.00; z-score: -0.04 p-value: 0.96 ; z-score: 1.69 p-value: 0.09; z-score: 0.095 p-value: 0.92 respectivamente), es decir que se movieron sin ningún patrón de dispersión identificable durante esta temporada seca del 2021-I (H-2 y H-4). Caso contrario ocurrió con Rosa y Hugo (I-Moran z-score: 2.65 p-value: 0.08e-01 y z-score: 2.23 p-value: 0.26e-01) (H-3), sus valores demostraron que, si se están agrupando las localizaciones de los dos individuos, correspondiente a una distribución de clúster o agregada con confianza del 99% y 97%, respectivamente. No obstante, con el análisis de puntos calientes (Fig 8.), se seleccionaron las localizaciones de Rosa para *C. crocodilus* al tener mayor autocorrelación espacial, que en el caso de Hugo no fue posible graficar por la cantidad de localizaciones (<60). Se encontró que hay mayor incidencia de localizaciones cerca al sendero que comunica la administración con la carretera principal, la cual dirige hacia el parqueadero de Cañaveral. De igual forma se tuvo en cuenta las incidencias de Joselito para el análisis de puntos calientes, ya que, al comparar la autocorrelación espacial del 100% de las localizaciones de Joselito (z-score: 6.62 p-value: 0.00) y el 87.59% de las mismas, sin los datos de La Gumarra (z-score: 3.57 p-value: 0.04e-02), se evidenció que sí se afectó la autocorrelación espacial por el cambio de localizaciones de este juvenil en mayo. De manera que, sin estos valores atípicos, Joselito estaba desplazándose de manera agregada con 99.9% de confianza, específicamente en la madreveja de Arrecifes, donde se ubicó por más de cuatro meses durante el tiempo de monitoreo por telemetría VHF.

Por otro lado, con regresiones negativas binomiales se halló la influencia significativa de la precipitación promedio (PP z-value: 2.04, p-value:0.04) sobre las DMR-S de *C. acutus* con un 95% de confianza (H-2). Se seleccionó el tercer GML, al ser el más robusto con una fuerza predictiva 31.41% (AIC: 224.33). Con respecto al modelo uno y dos no fueron considerados debido a que presentaron menor robustez (AIC: 225.05, Pseudo R²:0.66; AIC: 226.37, Pseudo R²: 0.08, respectivamente). En el caso de *C. crocodilus*, el GLM más robusto que se obtuvo fue el tercero, con una alta fuerza predictiva 87.76% (AIC: 154.84), donde se descartaron los modelos uno y dos (AIC: 160.78, Pseudo R²:0.63; AIC: 171.31, Pseudo R²: 0.62, respectivamente). Se comprobó que las DMR-S para *C. crocodilus* están siendo influenciadas por más co-variables ambientales (H-5), tales como TP e IND con un 99.9% de confianza. Al igual que PP, RS, Tmin con un 95% de confianza (z-value: 2.12, p-value: 0.33e-01; z-value: -2.01, p-value: 0.45e-01; z value: -2.42, p-value:0.16e-01).

Con el análisis de componentes principales (PCA) (Fig. 9), se encontró que la interacción de las co-variables más las DMR explica un 63.1% de la variación presente en los datos para las semanas monitoreadas. El vector que menos se relaciona con los DMR es la RS, la cual tiene una correlación opuesta a la PP. A su vez, se evidencia que los DMR tienen una correlación positiva con la PP. No obstante, por la longitud de la variable DMR se infiere que la cantidad de variabilidad que aporta esta a la interacción del PCA es muy baja. Se observa una gran similitud entre TP, Tmax y Tmin, las cuales están aportando mayor variedad

a la primera dimensión (38.9%), que para la segunda dimensión fueron PP, HR y DMR (24.2%). A partir de las agrupaciones, se entiende que hay mayor similitud entre la variación semanal de los individuos Hugo y Rosa (*C. crocodilus*), siendo diferentes los de Joselito (*C. acutus*). De manera que la variación semanal de *C. acutus* no está siendo explicada en su totalidad por las co-variables ambientales tenidas en cuenta en este estudio.

3.6 Discusión

Dada la cantidad de registros totales y la cantidad de individuos monitoreados en este estudio piloto, no es posible aceptar ninguna hipótesis para las dos especies. En relación con el tipo de distribución en clúster (H-1 y H-3), variación intraespecífica (H-4) e influencia de co-variables climáticas (H-2 y H-5). Se generaría un sesgo al afirmar que los resultados estadísticamente significativos aplican para las dos especies distribuidas de manera simpátrica en el Área Protegida (AP) del Caribe Colombiano. Sin embargo, esta es una aproximación relevante de los patrones de desplazamiento y rangos de hogar registrados, en la temporada seca del 2021 para el sector oriental del PNNT. Se resalta que para las dos especies se registraron desplazamientos reducidos dentro de las localidades de Arrecifes y Cañaveral. En el caso de los caimanes aguja se obtuvieron distancias medias recorridas (DMR) más bajas (240 m) que las reportadas para la población del Parque Nacional Coiba (PNC) en Panamá (280 m), donde fueron mayores las DMR para las hembras (375 m) (Balaguera-Reina et al., 2016). Sin embargo, los desplazamientos de los individuos del PNNT no se alejan drásticamente del promedio registrado para el PNC, esta diferencia pudo haber sido por la cantidad de cocodrilos monitoreados en su estudio (n=24), que les permitió obtener mayor precisión de los movimientos por individuo.

En el caso de Joselito (*C. acutus*), sus distancias máximas recorridas (800m) superan las reportadas para individuos juveniles (350m) (Rodda, 1984). En contraste con su especie hermana *C. intermedius*, se reportan distancias máximas recorridas superiores en Venezuela (11.6 km) (Muñoz y Thorbjarnarson, 2000), al igual que distancias recorridas totales por individuos que llegan hasta los 270 km (Moreno-Arias y Ardila-Robayo, 2020). Lo que podría ser explicado al ser individuos reintroducidos, los cuales pudieron presentar mayores movimientos exploratorios. Otras razones pueden ser las condiciones de hábitat, el tiempo de monitoreo (4 años) y el sistema de telemetría utilizado, ya que los transmisores satelitales permiten recopilar en tiempo real la mayor cantidad de geolocalizaciones por individuo (Kenward, 2001). En *C. porosus* se registran mayores desplazamientos máximos y totales, los cuales alcanzan a superar los 100 km (Kay, 2004; Read et al., 2007; Thomas et al., 2010; Campbell et al., 2010; Hanson et al., 2014). Del mismo modo en *C. mindorensis* con desplazamientos máximos que superan los 4 km (Eam et al., 2017), no obstante, en el cocodrilo filipino se ha evidenciado que cocodrilos machos se desplazan menos que las hembras (Van De Ven et al., 2017), resultado que contrasta con la población de caimanes aguja del PNNT.

En el caso de *C. crocodilus*, no fue posible comparar con el único estudio para la especie (Ouboter y Nanhoe, 1988), dado que no analizan los desplazamientos en los individuos con transmisores. Sin embargo, con la metodología de captura y recaptura reportan desplazamientos que varían entre los 100 - 3000 m de distancia, los cuales superan a los desplazamientos máximos recorridos para las babillas (680m) de nuestro estudio. Al igual que *C. yacare*, con desplazamientos máximos de 2km (Campos y Mourão, 2021) y de 9km (Campos et al., 2004; Campos et al., 2006). No obstante, estas distancias cortas pueden ser muy variables en aligatóridos, las cuales pueden deberse a la disponibilidad de presas, la densidad de la población, las temporadas de anidamiento y las condiciones del hábitat (Saalfeld, 2010), específicamente la presencia de plantas exóticas pueden restringir la disponibilidad de hábitat o el cambio del nivel del agua, como lo es el caso de *C. crocodilus* (Ouboter y Nanhoe, 1988).

De igual forma, la temporada climática puede ser otro factor importante que incidió en los movimientos reducidos de las babillas, puesto que se ha observado que en épocas de sequía restringen sus rangos de actividad, y por ende sus desplazamientos (Rueda-Almonacid et al., 2007). Para *P. palpebrosus* (subfamilia Caimaninae) sugieren que los desplazamientos disminuyen en la época seca con el fin de cuidar los nidos, en hembras (Campos et al., 2012). No obstante, dentro del PNNT se observó una diferencia entre los DMR-S de Hugo (70 m) y Rosa (30 m) (Fig 5.), siendo mayor las distancias máximas recorridas para machos (570m). Este patrón diferencial en sexos coincide con lo reportado para toda la familia Alligatoridae (Joanen y McNease, 1970; Joanen y McNease, 1972; Taylor, 1984; Ouboter y Nanhoe, 1988; Magnusson y Lima, 1991; Morea et al., 2000; Campos et al., 2004; Saalfeld, 2010; Wang et al., 2011; Fujisaki et al., 2014; Marquez et al., 2020; Strickland et al., 2022), sin embargo, por la cantidad de registros e individuos monitoreados, no es posible afirmar dicho patrón. En *Alligator mississippiensis* sugieren que la diferencia intraespecífica también puede ocurrir por la ausencia de zonas de anidamiento, pues la territorialidad cobra menos importancia a comparación de la disponibilidad de alimento y las características propias de cada individuo (Rosenblatt et al. 2013).

En relación a los rangos de hogar para *C. acutus*, se registraron diversas áreas de utilización y actividad por los tres métodos. Para MPC (95%) se registran rangos mayores para Joselito (18.73 ha) en comparación de Pepe (10ha) y La Juiciosa (0.53ha), con un total de 29. 26 ha. Este rango es notablemente menor al reportado para la población de Coiba, Panamá con 1050 ha, teniendo en cuenta el área de todos los 24 individuos monitoreados (Balaguera-Reina et al., 2016). No obstante, en este mismo estudio también reportan el promedio de área de actividad por individuo, con el área núcleo (50% UD) de 170 ha a partir de KDE y 20 ha de aLoCoH. Siendo este último, el rango más cercano con lo encontrado para los individuos monitoreados con el PNNT (1.18 ha).

Al comparar con otros estudios piloto de crocodylidos, se sugiere que estos rangos pueden ser específicos dadas las características ambientales del tipo de hábitat que ocupan (Combrink 2014; Evans et al., 2017; Beauchamp et al., 2018; Beauchamp et al., 2019). Se sugiere explorar el uso de hábitat para las dos especies simpátricas, puesto que pueden estar

compartiendo zonas de alimento. Probablemente este factor biótico de competencia interespecífica también puede estar influenciando los movimientos y rangos de hogar (Somaweera et al. 2019). De manera que identificar las particiones de hábitat a una escala multitemporal en especies simpátricas, ayuda a entender sus interacciones ecológicas y direccionar eficientemente los esfuerzos de conservación (Webb et al., 1983; Somaweera et al., 2020). Se infiere que es necesario aumentar el tiempo de monitoreo, abarcando temporadas de lluvias, pues con los valores encontrados se puede estar subestimando el área que usa la población de caimanes aguja del sector oriental del PNNT. Al igual que incrementar la cantidad de animales monitoreados, esto permitirá tener mayor robustez de la estimación de rangos de hogar. De igual forma fortalecer el análisis de dependencia espacial para Joselito, La Juiciosa y Pepe, correspondiente al patrón de tipo cluster sugerido para la población de caimanes aguja del sector oriental del PNNT (Farfán-Ardila et al., 2019). Lo que contrasta con lo encontrado para La Juiciosa, Pepe y Joselito (100% de los datos) que no presentaron autocorrelación espacial, es decir que sus localizaciones no presentan una agrupación significativa, sino aleatoria, similar a la encontrada para la población de Coiba, Panamá (Balaguera-Reina et al., 2016).

En el caso de *C. crocodilus* se registraron rangos de hogar similares (1.64 ha) a los reportados para *C. yacare* (1.09 ha) (De la Quintana et al., 2020) a partir de MPC (95% UD). Caso contrario, con *C. latirostris* (MPC 193.2 ha, KDE 86.3ha; 95%UD) en Brasil (Marques et al., 2020). Se infiere que la cantidad de individuos monitoreados ($n=8$) y el tipo de hábitat (extensas zonas inundables), posibilita tener mayores rangos de área. No obstante, si se tiene en cuenta el área de actividad restringida para Rosa (*C. crocodilus*), concuerda con lo reportado por Ouboter y Nanhoe (1988). De igual forma, con el análisis preliminar de dependencia espacial tanto para Rosa, como Hugo, coinciden con el patrón de distribución de tipo cluster. Igualmente, se sugiere continuar con los registros para afirmar este patrón de agrupamiento no aleatorio. Cabe mencionar que la época de sequía coincide con la temporada de anidamiento de las babillas, de manera que, Rosa posiblemente presentó cuidado parental. Esto pudo haber incidido en su rango de hogar tan restringido, similar a lo encontrado en *P. palpebrosus* por Campos y colaboradores (2012). En el caso de los rangos de hogar de Lulo, estos fueron menores a los de Rosa, se sugiere que probablemente tuvo movimientos exploratorios (Rosenblatt et al. 2013), ya sea para buscar alimento o refugio, lo que dificultó la toma de registros de este individuo por semanas. Se infiere que Hugo pudo presentar un caso similar durante su primer mes de monitoreo. Al comparar con el método aLoCoH (100% UD), los individuos de *C. crocodilus* (1.46ha) pueden tener menores rangos de hogar que *M. niger* (197 ha), *C. yacare* (93 ha), *P. palpebrosus* (799 ha) y *P. trigonatus* (102 ha) (Campos y Mourão, 2021). Así mismo, áreas núcleo (50%UD) de 0.38 ha en *C. crocodilus*, menores que las reportadas para *M. niger* (0.83 ha), *C. yacare* (4.9 ha), *P. trigonatus* (30.05 ha) y *P. palpebrosus* (30.5 ha) (Campos y Mourão, 2021).

Frente a los métodos de estimación del rango de hogar, se pudo evidenciar tanto para MPC como para KDE, una sobreestimación del área de los individuos monitoreados. Pese a que el MPC ha sido uno de los métodos más populares para determinar el rango de hogar en crocodylianos, debido a la baja cantidad de registros requeridos (Kouman et al., 2021). Su

simpleza lleva a presentar un margen de error alto en estudios locales, ya que puede tener en cuenta valores atípicos, localizaciones exploratorias por parte del animal o áreas específicas que posiblemente no coinciden con los requerimientos de hábitat del animal (Worton, 1987; Börger et al., 2006). Situación que se pudo evidenciar claramente en Joselito, Pepe, Hugo y Lulo. No obstante, fueron útiles para comparar nuestros datos con otros estudios. A su vez, no tuvimos en cuenta la recomendación de eliminar 5% -10% de los registros más externos (Schoener, 1981; Kenward, 2001), debido a la rigurosa filtración de geolocalizaciones realizada antes de la estimación de los rangos de hogar. De manera que los puntos periféricos del presente estudio abarcan zonas nuevas para los crocodylianos dentro del AP, lo cual cobra una importancia biológica y de conservación. Al comparar los tres métodos, LoCoH permite evidenciar con más precisión los rangos de hogar, debido a que se ajusta más a los requerimientos de hábitat y posibles barreras geográficas (Getz y Wilmers, 2004). En un estudio con *Tomistoma schlegelii*, sugieren que LoCoH es el estimador adecuado para determinar los rangos de hogar dada la posibilidad de mostrar límites geográficos (Bonke et al., 2014). Esto mismo mencionan Campos y Mourão (2021), donde específicamente resaltan que LoCoH es el método apropiado para animales acuáticos o que tienen su área ligada a ríos o cuerpos de agua.

Ahora bien, se ha sugerido que las poblaciones del caimán aguja al interior del AP, se establecieron a partir de procesos de dispersión de la zona de amortiguación y localidades cercanas al PNNT (Farfán-Ardila et al., 2019), en el cual se ha reportado un aumento de registros de *C. acutus* desde el 2006 (Balaguera-Reina et al., 2012; Farfán-Ardila et al., 2019). Esto es coherente para los caimanes aguja, ya que se ha descrito la capacidad que puede tener esta especie para viajar grandes distancias usando corrientes marinas en el Mar Caribe (Balaguera-Reina et al., 2021), lo que también ha sido estudiado en *C. porosus* (Read et al., 2007; Campbell et al., 2010). No obstante, en el presente estudio, el individuo que presentó el desplazamiento máximo registrado corresponde a Pepe (1.61km). Este adulto con sólo 6 registros pudo recorrer mayores distancias que los juveniles, antes de que se le cayera el transmisor y se perdiera su rastro. Posiblemente este individuo se desplazó por territorialidad, dado que hay otros individuos adultos en el sector oriental o también por razones reproductivas. Se ha discutido que estos dos factores pueden incidir en la dispersión de los cocodrilos (Campbell et al., 2013).

No obstante, aunque se ha evidenciado que las escamas nucales son lugares idóneos para instalar los transmisores usando alambres subcutáneos (Kay, 2004b; Brien et al., 2010), con resultados satisfactorios para *C. acutus* (Balaguera-Reina et al., 2016; Beauchamp et al., 2018; Beauchamp et al., 2019). En el presente estudio se presentaron problemas de instalación en los tres cocodrilos monitoreados, lo que afectó directamente la cantidad de localizaciones obtenidas. Se sugiere que los transmisores se desprendían de los individuos, por el sistema de aprehensión de las guayas con el transmisor y la adhesión del mismo a las placas nucales. Siendo recomendable usar métodos de adhesión adicionales como el uso de epoxi de fraguado rápido de alta resistencia, con el fin de prolongar el tiempo y asegurar el transmisor sobre el animal (Caut et al., 2019). No obstante, la caída de transmisores no fue el único factor que pudo afectar la cantidad de registros obtenidos. Se pudo evidenciar en este

periodo de sequía extendida, una diferencia en la cantidad de geolocalizaciones obtenidas durante las jornadas diurnas, siendo menor la cantidad de registros obtenidos en la noche (Tabla 2). Esto puede estar dado por la temperatura ambiental, ya que se ha encontrado en *A. mississippiensis* que en épocas donde las temperaturas son altas, los individuos tienen a ser más activos en las noches (Morea et al., 2000; Saalfeld, 2010). Ante la presencia del investigador en campo, posiblemente el animal tomó un comportamiento de evasión en el agua. Esto pudo afectar la detección de la señal nocturna, puesto que al sumergirse (>0.5 m), ya no es posible captar la señal del transmisor VHF fácilmente (Kingsbury y Robison, 2016). Esto refleja la necesidad de utilizar sistemas de monitoreos híbridos con telemetría acústica, para conocer los patrones de desplazamiento y de buceo bajo el agua (Browning et al., 2017). Si se tiene el presupuesto, otra opción podría ser el uso de transmisores satelitales.

De igual forma, la presencia de turistas también pudo haber influenciado el registro de animales, debido a que la presencia de personas en sus rangos de hogar ocasiona que cambien sus patrones de actividad como comportamiento evasivo (Campbell et al., 2013). Caso contrario, se ha evidenciado que también la alimentación intencional en *C. acutus* modifica sus rangos de actividad (Beauchamp et al., 2019). Esta situación dentro del AP si no es controlada adecuadamente, puede ocasionar interacciones negativas como accidentes que pueden llevar a la muerte tanto de personas como de cocodrilos (García-Grajales y Buenrostro-Silva, 2021). Se sabe que la principal causa de esos accidentes es por la expansión urbana y la intrusión del ser humano en áreas naturales (Mascarenhas-Junior et al., 2021). Destacamos que en el presente estudio, los rangos de hogar de los dos machos de *C. acutus* (Fig. 6) y los tres individuos de *C. crocodilus* (Fig. 7) se sobrelapan o bordean senderos turísticos, esto refuerza la necesidad de conocer la delimitación de las áreas de actividad de las dos especies dentro del AP. A partir del análisis de puntos calientes, se evidencia que la máxima cantidad de registros obtenidos para Rosa en un cluster fue de 11 geolocalizaciones (Fig. 8), las cuales atraviesan totalmente el camino que comunica el sendero de la cabaña de administración en Cañaveral. En el caso de Joselito, el cluster con la máxima agrupación de registros (17 geolocalizaciones) se encuentra a pocos metros del sendero turístico de Arrecifes. Por lo tanto, se sugiere aumentar la señalización de crocodylianos en los senderos del sector Cañaveral (ruta de administración, ruta turística Kogui, ruta ecohabs y playa La Piscinita)(Fig. 3) y sector Arrecifes (puente de San Felipe, ruta turística arrecifes- quebrada San Lucas y ruta Cabo San Juan del Guía)(Fig. 3), en especial de babillas para los senderos turísticos, puesto que *C. crocodilus* también pueden presentar comportamientos agresivos por territorialidad y cuidado parental en época reproductiva (Morales-Betancourt et al., 2013).

Por otra parte, con los modelos lineales generalizados (GLM) se pudo evidenciar para *C. acutus* que la precipitación fue la co-variable ambiental que incidió significativamente las DMR-S. Este patrón coincide con lo reportado para *C. acutus* en el PNC, Panamá (Balaguera-Reina et al., 2016). No obstante, ellos lograron determinar dicha relación abarcando por completo las temporadas climáticas seca y húmeda, sin embargo, en el presente estudio únicamente se abarcó una temporada seca, por lo que es necesario continuar el estudio incluyendo la temporada de lluvias para el Caribe colombiano. De igual manera, el PCA refuerza que la co-variable PP tiene mayor correlación con los DMR-S, al igual que HR.

Se infiere que puede haber más co-variables que pueden estar influenciando los movimientos de los crocodylianos dentro del AP. Diferentes estudios han encontrado que variables ambientales como la salinidad, hidrología inciden sobre los patrones de movimiento (Gaby et al., 1985; Muñoz y Thorbjarnarson, 2000; Kay, 2004; Moreno-Arias y Ardila-Robayo 2020), al igual que la fase lunar (Rodda, 1984b; Arbelaez-Muñoz, 2013) y las temporadas de apareamiento y anidamiento (Mazzotti, 1983; Kushlan y Mazzotti, 1989; Combrink 2014; Beauchamp, 2014; Beauchamp et al., 2018).

Para *C. crocodilus*, el GLM indicó que la TP, Tmin, RS, PP e IND son las variables ambientales y propias del individuo que inciden sobre los desplazamientos significativamente. Coincidiendo con lo reportado para *A. missipiensis*, se ha evidenciado que la temperatura promedio (TP) y máxima (Tmax) incide positivamente sobre los desplazamientos de los aligatóridos (Morea et al. 2000). Para el presente estudio, esta interacción se observa en el PCA (Fig. 9), la variación semanal de Hugo y Rosa estuvo mayormente regida por la TP, Tmax y Tmin. Al comparar con *A. sinensis* (Wang et al., 2011), ellos encontraron que, en las épocas secas con mayor RS aumenta la temperatura ambiental lo que obliga a los individuos a sumergirse a mayores profundidades. Esto tiene sentido al ser animales ectotermos que se termorregulan con la oferta térmica ambiental (Smith, 1975), pues buscarán estrategias para evitar la desecación. Por último, el GML evidenció que la PP también puede afectar los DMR-S para las babillas monitoreadas. Ouboter y Nanhoe (1988) para *C. crocodilus*, relacionan el aumento del nivel del agua con la llegada de las precipitaciones en Surinam, entonces la disponibilidad de agua en el hábitat posiblemente puede estar ocasionando comportamientos migratorios en las babillas (Ouboter y Nanhoe, 1988). De manera que, se sugiere estudiar la variación del nivel de agua en relación a los DMR-S de las babillas en el AP, lo que permitirá entender aún más los patrones de desplazamiento y rangos de hogar para diferentes temporadas climáticas.

3.7 Conclusiones y recomendaciones

Finalmente, el estudio evidencia una aproximación de los patrones de desplazamiento y rangos de hogar para *C. acutus* y *C. crocodilus* con telemetría VHF, específicamente en una temporada de sequía extendida para las localidades de Arrecifes y Cañaveral del sector Oriental del PNNT. Nuestros hallazgos brindan un análisis preliminar de los patrones de distribución o aleatoriedad de las localizaciones obtenidas para las dos especies simpátricas. No se pudo aceptar las hipótesis planteadas, dado por la escasa cantidad de registros y animales monitoreados. No obstante, se logró documentar bajos desplazamientos y rangos de actividad variables por parte de los individuos estudiados. Del mismo modo, se logró identificar que las co-variables ambientales (PP, TP, Tmin, RS) y la diferencia de individuos pueden influenciar significativamente los movimientos de los crocodylianos monitoreados para la temporada de sequía extendida del 2021.

Sugerimos aumentar el número de individuos y el tiempo de monitoreo, para evitar subestimar el área que usa las poblaciones de caimanes aguja y babillas del sector oriental del PNNT. Es necesario mejorar el sistema de adhesión de transmisores para evitar perder información valiosa. Al igual, se hace un llamado de atención de los senderos ecoturísticos

que se sobrelapan con los rangos de hogar y mayor incidencia de localizaciones de las especies de estudio. Finalmente, esta información obtenida brinda un recurso técnico a Parques Nacionales de Colombia para la conservación de estas especies al interior del AP, de sus ecosistemas asociados y también en la prevención de interacciones negativas entre crocodylianos y humanos. A su vez, estos resultados obtenidos disminuyen el vacío de información que existe a nivel nacional y regional sobre la ecología espacial de *C. acutus* y *C. crocodilus* para el Caribe colombiano.

3.8 Agradecimientos. —Producto derivado del proyecto “Ecología espacial de Caimán aguja (*Crocodylus acutus*) en el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT)”, con el aval de investigación ORFEO 20202000002463 del 26 de marzo del 2020. Este estudio piloto fue posible gracias a la beca otorgada por el Programa de Apoyo de Investigación para el Estudiante del Grupo de Especialistas de Cocodrilos (CSG), de la Comisión para la Supervivencia de Especies (SSC) de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el financiamiento de CrocFest para la compra de los equipos y a la Universidad de Ibagué, Corporación Natural SIG y Texas Tech University por su apoyo económico y logístico. Expresamos nuestra gratitud al PNNT por su recibimiento por parte de los guardaparques, al igual que su colaboración en las jornadas de captura y monitoreo en campo. Al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) por la información climática brindada de la estación de Cañaveral en el Sector oriental del PNNT. Finalmente, a Daniel Bonilla-Liberato por su ayuda para mejorar este manuscrito, al igual que el Semillero de Evolución y Conservación (SEC) por su retroalimentación durante el transcurso del proyecto.

4. LITERATURA CITADA

- ARAUJO, M. B. 2002. Biodiversity hotspots and zones of ecological transition. *Conservation Biology*, 16: 662–1663.
- ARBELAEZ-MUÑOZ, I. 2013. Patrones de Dispersión y Home Range de *Crocodylus acutus* (Cuvier, 1807) en El Parque Nacional Coiba, Panamá. Tesis de Pregrado, Universidad De Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia.
- BADDELEY, A. 2010. Multivariate and marked point processes. *Handbook of spatial statistics* 34: 371–402.
- BALAGUERA-REINA, S., ESPINOSA-BLANCO, A., ANTELO, R.,
MORALES-BETANCOURT, M. AND SEIJAS, A. 2018. *Crocodylus intermedius*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T5661A181089024. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-1.RLTS.T5661A181089024.en>. Accessed on 07 December 2021.
- BALAGUERA-REINA, S. A., FARFÁN-ARDILA, N., VARGAS-ORTEGA, D., Y
MEDRANO-BITAR, S. 2019. ¿Cómo lograr coexistencia entre cocodrilos y humanos? relaciones etnozoológicas entre el Caimán aguja y comunidades en el Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. Pp. 89-98 en M. C. Ardila, W. Martínez, M. C. Ardila y W. Martínez (Edits.), Homenaje a Federico Medem, aportes a la herpetología colombiana. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- BALAGUERA-REINA, S., MONCADA-JIMÉNEZ, J. F., PRADA-QUIROGA, C. F.,
HERNANDEZ-GONZALEZ, F., BOLAÑOS-CUBILLOS, N. W.,
FARFÁN-ARDILA, N., GARCIA-CALDERÓN, L. M. AND DENSMORE, L. D. 2021. Tracking a voyager: Mitochondrial DNA analyses reveal mainland-to-island dispersal of an American crocodile (*Crocodylus acutus*) across the Caribbean. *Biological Journal of the Linnean Society* 131:647–655.
- BALAGUERA-REINA, S., NAVARRETE, S., PESCADOR, F. AND RODRÍGUEZ, K. 2012. First report of Caimán aguja (*Crocodylus acutus*) population in the Tayrona National Natural Park, Colombia. *Crocodile Specialist Group Newsletter* 31:7–10.
- BALAGUERA-REINA, S. A., PINZÓN-BARRERA, C., FARFÁN-ARDILA, N.,
VARGAS-ORTEGA, D., AND DENSMORE, L. D., III. 2020. Individual identification patterns as a monitoring strategy for American crocodiles: Tayrona National Natural Park as a study case. *Amphibia-Reptilia* 42:73–80.

- BALAGUERA-REINA, S. AND VELASCO, A. 2019. *Caiman crocodilus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T46584A3009688. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-1.RLTS.T46584A3009688.en>. Accessed on 07 December 2021.
- BALAGUERA-REINA, S.A., VENEGAS-ANAYA, M., RIVERA-RIVERA, B. AND DENSMORE, L.D III. 2015. The Biology and Conservation Status of the American Crocodile in Colombia. *Journal of Herpetology* 49: 200–206.
- BALAGUERA-REINA, S.A., VENEGAS-ANAYA, M., RIVERA-RIVERA, B., AND DENSMORE, L.D. III. 2017. Scute patterns as an individual identification tool in an American crocodile (*Crocodylus acutus*) population on Coiba Island, Panama. *Journal of Herpetology* 51:523–531.
- BALAGUERA-REINA, S. A., VENEGAS-ANAYA, M., SÁNCHEZ, A., ARBELAEZ, I., LESSIOS, H. A., AND DENSMORE, L. D. 2016. Spatial Ecology of the American Crocodile in a Tropical Pacific Island in Central America. *PLOS ONE* 11:1–20.
- BEAUCHAMP, J. S. 2014. Spatial Ecology of the American Crocodile, *Crocodylus Acutus*, in Everglades National Park, Fl. Ph.D Dissertation, University of Florida, USA.
- BEAUCHAMP, J. S., HART, K. M., CHERKISS, M. S., AND MAZZOTTI, F. J. 2018. Variation in home range size and patterns in adult female American crocodiles *Crocodylus acutus*. *Endangered Species Research* 36:161–171.
- BEAUCHAMP, J. S., WILSON, B., MCLAREN, K., WASILEWSKI, J. A., AND HENRIQUES, L. P., MAZZOTTI, F. J. 2019. Satellite Telemetry of *Crocodylus acutus* in Jamaica: Habitat Selection and Management Implications. *Caribbean Naturalist* 61:1–13.
- BEZUIJEN, M.R., SHWEDICK, B., SIMPSON, B.K., STANIEWICZ, A. AND STUEBING, R. 2014. *Tomistoma schlegelii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T21981A2780499. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T21981A2780499.en>. Accessed on 09 June 2021
- BONKE, R., IHLOW, F., BÖHME, W., AND RÖDDER, D. 2014. Movement patterns of *Tomistoma schlegelii* in the Sekonyer Kanan River (Tanjung Puting National Park, Central Kalimantan, Indonesia): preliminary range size estimates. *Salamandra* 50: 40–52.
- BÖRGER, L., FRANCON, N., DE MICHELE, G., GANTZ, A., MESCHI, F., MANICA, A., LOVARI, S. AND COULSON, T. 2006. Effects of sampling regime on the mean and variance of home range size estimates. *Journal of Animal Ecology* 75:1393–1405.

- BRANDER, R. B. AND COCHRAN, W. W. 1971. Radio-location telemetry. Pp. 95-105 in R. J. Giles (Eds.), Wildlife management techniques manual. Third edition. The Wildlife Society, USA.
- BRIEN, M. L., READ, M. A., MCCALLUM, H. I. AND GRIGG, G. C. 2008. Home range and movements of radio-tracked estuarine crocodiles (*Crocodylus porosus*) within a non-tidal waterhole. Wildlife Research 35:140-149.
- BRIEN, M., WEBB, G., MANOLIS, C., LINDERK, G. AND OTTAWAY, D. 2010. A Method for Attaching Tracking Devices to Crocodilians. Herpetological Review 41: 305–308.
- BROWNING, E., GIBB, R., GLOVER-KAPFER, P., AND JONES, K. E. 2017. Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. Pp. 75 in WWF (Eds.) WWF Conservation Technology Series. WWF, United Kingdom.
- BRÜGGEMANN, J., RODRÍGUEZ, E. AND TAPPER, R. 2002. Biodiversidad y turismo en el marco de la Convención de Diversidad Biológica: El caso del Parque Nacional Natural Tayrona, Colombia. Reporte de taller en Cañaveral, Parque Nacional Natural Tayrona, Agencia Federal para la Conservación de la Naturaleza y Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales.
- BURGMAN, M. A., AND FOX, J. C. 2003. Bias in species range estimates from minimum convex polygons: implications for conservation and options for improved planning. Animal Conservation 6:19–28.
- BURT, W. H. 1943. Territoriality and Home Range Concepts as Applied to Mammals. Journal of Mammalogy 24: 346–352.
- CABRERA, J. A., MOLINA, E., GONZÁLEZ, T. AND ARMENTERAS, D. 2016. Does Plan B work? Home range estimations from stored on board and transmitted data sets produced by GPS-telemetry in the Colombian Amazon. Revista de Biología Tropical 64:1441–1450.
- CALVERLEY, P. M., AND DOWNS, C. T. 2015. Movement and home range of Nile crocodiles in Ndumo game reserve, South Africa. Koedoe: African Protected Area Conservation and Science 57:1–13.
- CAMPBELL, H. A., WATTS, M. E., SULLIVAN, S., READ, M. A., CHOUKROUN, S., IRWIN, S. R., AND FRANKLIN, C. E. 2010. Estuarine crocodiles ride surface currents to facilitate long-distance travel. Journal of Animal Ecology 79:955–964.
- CAMPBELL, H. A., DWYER, R. G., IRWIN, T. R., AND FRANKLIN, C. E. 2013. Home Range Utilization and Long-Range Movement of Estuarine Crocodiles during the Breeding and Nesting Season. PLOS ONE 8:1–9.

- CAMPBELL, H. A., DWYER, R. G., WILSON, H., IRWIN, T. R., AND FRANKLIN, C. E. 2014. Predicting the probability of large carnivore occurrence: a strategy to promote crocodile and human coexistence. *Animal Conservation* 18:387–395.
- CAMPOS, Z., COUTINHO, M., MOURÃO, G., BAYLISS, P., AND MAGNUSSON, W. E. 2006. Long distance movements by *Caiman crocodilus yacare*: implications for management of the species in the Brazilian Pantanal. *The Herpetological Journal* 16:123–132.
- CAMPOS, Z., SANAIOTTI, T., MUNIZ, F., FARIAS, I., AND MAGNUSSON, W. E. 2012. Parental care in the dwarf caiman, *Paleosuchus palpebrosus* Cuvier, 1807 (Reptilia: Crocodilia: Alligatoridae). *Journal of Natural History* 46:2979–2984.
- CAMPOS, Z., MOURÃO, G., COUTINHO, M. AND MAGNUSSON, W. E. 2004. Movimento e área de uso do jacaré-do-Pantanal. In IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal Corumbá/MS-23 a 26 Nov 2004. SIMPAN Sustentabilidade Regional, Brasil.
- CAMPOS, Z., MOURÃO, G., AND MAGNUSSON, W. E. 2017. The effect of dam construction on the movement of dwarf caimans, *Paleosuchus trigonatus* and *Paleosuchus palpebrosus*, in Brazilian Amazonia. *Plos one*, 12(11), e0188508.
- CAMPOS, Z., MAGNUSSON, W.E. AND MUNIZ, F. 2019. *Paleosuchus trigonatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T46588A3010035. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-1.RLTS.T46588A3010035.en>. Accessed on 07 December 2021.
- CAMPOS, ZILCA. AND MOURÃO, GUILHERME 2021. Distância movida e área de uso de crocodilianos em área de usina hidrelétrica, Amazônia área de usina hidrelétrica, Amazônia 1 Material e métodos Os jacarés foram capturados à noite e :1–9.
- CARLI, L. L., ALAWA, L., LEE, Y., ZHAO, B. AND KIM, E. 2016. Stereotypes about gender and science: Women≠ scientists. *Psychology of Women Quarterly* 40:244-260.
- CAUT, S., FRANCOIS, V., BACQUES, M., GUIRAL, D., LEMAIRE, J., LEPOINT, G., AND STURARO, N. 2019. The dark side of the black caiman: Shedding light on species dietary ecology and movement in Agami Pond, French Guiana. *PLOS ONE*, 14: e0217239.
- CHABRECK, R. H. 1963. Methods of capturing, marking, and sexing alligators. *Proceedings of the Annual Conference of the Southeast. Game and Fish Commission* 17:47–50.
- CHAPE, S., HARRISON, J., SPALDING, M., AND LYSENKO, I. 2005. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global

biodiversity targets. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences 360: 443–455

CHERKISS, M. S., MAZZOTTI, F. J., HORD, L., AND ALDECOA, M. 2014. Remarkable Movements of an American Crocodile (*Crocodylus acutus*) in Florida. Southeastern Naturalist 13:52–56.

CHOUDHURY, B. C. AND DE SILVA, A. 2013. *Crocodylus palustris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T5667A3046723. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-2.RLTS.T5667A3046723.en>. Downloaded on 10 December 2021.

CHULIVER, M., GROSSO, J., FONTANARROSA, G., FRATANI, J., PAOLA FERRARO, D., DUPORT-BRU, A. S., SCHNEIDER, R., CASAGRANDA, M., PEREYRA, L., VICENTE, N., SALICA, M., MEDINA, R., BESSA, C., SEMHAN, R. AND CORINA VERA, M. 2021. Gender inequities in herpetology: the case of the Argentine community. Cuadernos de Herpetología 35:195-205.

CLUTTON-BROCK, T. H., GUINNESS, F. E., AND ALBON, S. D. 1982. Red deer: behavior and ecology of two sexes. University of Chicago press, USA.

COMBRINK, A.S. 2014. Spatial and reproductive ecology and population status of the Nile Crocodile (*Crocodylus niloticus*) in the Lake St Lucia estuarine system, South Africa. Ph.D. Dissertation, University KwaZulu-Natal, South Africa.

COMBRINK, X., WARNER, J. K., AND DOWNS, C. T. 2017. Nest-site selection, nesting behavior and spatial ecology of female Nile crocodiles (*Crocodylus niloticus*) in South Africa. Behavioral Processes 135:101–112.

COOKE, S.J., HINCH, S.G., WIKELSKI, M., ANDREWS, R.D., KUCHEL, L.J., WOLCOTT, T.G. AND BUTTLER, P.J. 2004. Biotelemetry: a mechanistic approach to ecology. Trends in Ecology and Evolution 19:334–343.

CORPAMAG. 2021. Con tecnología satelital Corpamag continúa haciendo monitoreo permanente al caiman aguja liberado en la Ciénaga grande. Asocars. Disponible en: <https://www.asocars.org/con-tecnologia-satelital-corpamag-continua-haciendo-monitoreo-permanente-al-caiman-aguja-liberado-en-la-cienaga-grande/>.

CORPOGUAJIRA. 2022a. Con equipos de telemetría monitorean el estado del caimán aguja en La Guajira. Corpoguajira. Disponible en: <https://corpoguajira.gov.co/wp/con-equipos-de-telemetria-monitorean-estado-del-caiman-aguja-en-la-guajira/>.

CORPOGUAJIRA. 2022b. En Dibulla liberan caimanes aguja que serán monitoreados con equipos de telemetría. Corporación Autónoma Regional de La Guajira. Disponible

en:<https://corpoguajira.gov.co/wp/en-dibulla-liberan-caimanes-aguja-que-seran-monitoreados-con-equipos-de-telemetria/>.

- CROCODILE SPECIALIST GROUP. 1996. *Osteolaemus tetraspis*. The IUCN Red List of Threatened Species 1996: e.T15635A4931429. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1996.RLTS.T15635A4931429.en>. Downloaded on 10 December 2021.
- CUI, D., LIANG, S., AND WANG, D. 2021. Observed and projected changes in global climate zones based on Köppen climate classification. *WIREs Climate Change* 12: 1-28.
- DA SILVEIRA, R., AMARAL, J. V., MAGNUSSON, W. E., AND THORBJARNARSON, J. B. 2011. *Melanosuchus niger* (black caiman). Long distance movement. *Herpetological Review* 4:424–425.
- DE LA OSSA, J. 2001. Guía para el manejo y cría del caimán del Magdalena o caimán aguja *Crocodylus acutus* (Cuvier). In *Convenio Andrés Bello*, Colombia.
- DE LA QUINTANA, P., APARICIO, J., AND PACHECO, L. F. 2020. Home range and habitat use of two sympatric crocodylians (*Melanosuchus Niger* and *Caiman yacare*) under changing habitat conditions. *Amphibia Reptilia* 42:115–123.
- DIGGLE, P. J. 1990. Time series: a biostatistical introduction. Oxford Statistical Science Series, Volume 5. Clarendon Press, Oxford, United Kingdom.
- DÍAZ-FAES, A. A., OTERO-HERMIDA, P., OZMAN, M. AND D’ESTE, P. 2020. Do women in science form more diverse research networks than men? An analysis of Spanish biomedical scientists. *PloS one* 15: e0238229.
- DOWNS, J. A., HORNER, M. W., AND TUCKER, A. D. 2011. Time geographic density estimation for home range analysis. *Annals of GIS* 17:163-171.
- DWYER, R. G., CAMPBELL, H. A., IRWIN, T. R., AND FRANKLIN, C. E. 2015. Does the telemetry technology matter? Comparing estimates of aquatic animal space-use generated from GPS-based and passive acoustic tracking. *Marine and Freshwater Research* 66:654–664.
- EAM, S. U., SAM, H., HOR, L., MIZRAHI, M., AND FRECHETTE, J. L. 2017. Movement of captive-reared Siamese crocodiles *Crocodylus siamensis* released in the Southern Cardamom National Park, Cambodia. *Cambodian Journal of Natural History* 2017, 102–108.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2018. ArcGIS Version 10.6. ESRI. Redlands.

- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2021. ArcGIS Pro (Version 2.8). Esri Inc. Available from: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2022. Optimized Hot Spot Analysis (Spatial Statistics), ArcGIS Pro (Version 2.8). Esri Inc. Available from: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-statistics/optimized-hot-spot-analysis.htm> on 4 april 2022.
- EATON, M.J., MARTIN, A., THORBJARNARSON, J., AMATO, G. 2009. Species-level diversification of African dwarf crocodiles (Genus *Osteolaemus*): a geographic and phylogenetic perspective. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 50: 496–506.
- EVANS, L. J., DAVIES, A. B., GOOSSENS, B., AND ASNER, G. P. 2017. Riparian vegetation structure and the hunting behavior of adult estuarine crocodiles. *PLOS ONE* 12: e0184804.
- FARFÁN-ARDILA, N. 2013. Ecología poblacional de *Crocodylus acutus* en el Parque Nacional Natural Tayrona. Tesis de pregrado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia.
- FARFÁN-ARDILA, N., VARGAS-ORTEGA, D., MEDRANO-BITAR, S. AND BALAGUERA-REINA, S. A. 2019. Ecología poblacional del Caimán aguja (*Crocodylus acutus*, Cuvier 1807) en el Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. Pp. 49–59 en M. C. Ardila-Robayo and W. Martínez-Barreto (Eds.), *Homenaje a Federico Medem, aportes a la Herpetología Colombiana*. Universidad Nacional de Colombia.
- FLETCHER, R. AND FORTIN, M.J. 2018. *Spatial Ecology and Conservation Modeling: Applications with R*. Springer Nature, Switzerland.
- FORD, R. G., AND KRUMME, D. W. 1979. The analysis of space use patterns. *Journal of theoretical biology* 76:125–155.
- FRAIR, J. L., FIEBERG, J., HEBBLEWHITE, M., CAGNACCI, F., DECESARE, N. J., AND PEDROTTI, L. 2010. Resolving issues of imprecise and habitat-biased locations in ecological analyses using GPS telemetry data. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365: 2187–2200.
- FRANKLIN, C. E., READ, M. A., KRAFT, P. G., LIEBSCH, N., IRWIN, S. R., AND CAMPBELL, H. A. 2009. Remote monitoring of crocodilians: implantation, attachment and release methods for transmitters and data-loggers. *Marine and freshwater research* 60:284–292.
- FUJISAKI, I., HART, K. M., MAZZOTTI, F. J., CHERKISS, M. S., SARTAIN, A. R., JEFFERY, B. M., BEAUCHAMP, J. S. AND DENTON, M. 2014. Home range and

- movements of American alligators (*Alligator mississippiensis*) in an estuary habitat. *Animal Biotelemetry* 2:1–10.
- FUKUDA, Y., WEBB, G., MANOLIS, C., LINDNER, G., AND BANKS, S. 2019. Translocation, genetic structure and homing ability confirm geographic barriers disrupt saltwater crocodile movement and dispersal. *PLOS ONE* 14: e0205862.
- GABY R., MCMAHON M.P., MAZZOTTI F.J., GILLES W.N. AND WILCOX J.R. 1985. Ecology of a population of *Crocodylus acutus* at a power plant site in Florida. *Journal of Herpetology* 19:184–198.
- GALLINA, S. Y LÓPEZ, C. 2011. Manual de Técnicas para el Estudio de la Fauna. Universidad Autónoma de Querétaro, México. Disponible en: <http://www.uaq.mx>.
- GARCÍA-GRAJALES, J. AND BUENROSTRO-SILVA, A. 2019. Assessment of human–crocodile conflict in Mexico: patterns, trends and hotspots areas. *Marine and Freshwater Research*, 70:708-720.
- GARTON, E.O., WISDOM, M.J., LEBAN, F.A. AND JOHNSON, B.K. 2001. Experimental design for radiotelemetry studies. Pp. 15–42 in J.J. Millspaugh and J. M. Marzluffe (Eds.), *Radio tracking and animal populations*. Academic Press, USA.
- GAY-ANTAKI, M. AND LIVERMAN, D. 2018. Climate for women in climate science: Women scientists and the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115:2060-2065.
- GETZ, W. M., AND WILMERS, C. C. 2004. A local nearest-neighbor convex-hull construction of home ranges and utilization distributions. *Ecography* 27:489–505.
- GETZ, W.M., FORTMANN-ROE, S., CROSS, P.C., LYONS, A.J., RYAN, S.J. AND WILMERS, C.C. 2007. LoCoH: Nonparametric Kernel Methods for Constructing Home Ranges and Utilization Distributions. *PLOS ONE* 2: e207.
- GONZÁLEZ-MAYA, J. F., VELA-VARGAS, I. M., MURILLO-SÁNCHEZ, J. A., PINEDA-GUERRERO, A. AND FARFÁN-ARDILA, N. 2011. Proceso de liberación y monitoreo de Babillas (*Caiman crocodilus fuscus*) en el Complejo Cenagoso de Zapotosa. *Boletín Oficial Del Proyecto de Conservación de Aguas y Tierras (ProCAT)* 4: 13–14.
- GOODWIN, T. AND W. R. MARION 1979. Seasonal activity ranges and habitat preferences of adult alligators in a north-central Florida lake. *Journal of herpetology* 13:157–164.
- GRIGG, G. AND KIRSHNER, D. 2015. *Biology and evolution of crocodylians*. 1st ed. Cornell University Press, USA.

- GROSSO, J., FRATANI, J., FONTANARROSA, G., CHULIVER, M., DUPORT-BRU, A. S., SCHNEIDER, R. G., CASAGRANDA, M. D., FERRARO, D.P., VICENTE, N., SALICA, M., PEREYRA, L., MEDIAN, R. G., BESSA, C., SEMHAN, R. AND VERA, M. C. 2021. Male homophily in South American herpetology: one of the major processes underlying the gender gap in publications. *Amphibia-Reptilia* 42:407-418.
- HANSON, J. O., SALISBURY, S. W., CAMPBELL, H. A., DWYER, R. G., JARDINE, T. D., AND FRANKLIN, C. E. 2014. Feeding across the food web: The interaction between diet, movement and body size in estuarine crocodiles (*Crocodylus porosus*). *Austral Ecology* 40:275–286.
- HARVEY, G. K. A., NELSON, T. A., FOX, C. H., AND PAQUET, P. C. 2017. Quantifying marine mammal hotspots in British Columbia, Canada. *Ecosphere* 8:1–22.
- GAY-ANTAKI, M. AND LIVERMAN, D. 2018. Climate for women in climate science: Women scientists and the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115:2060-2065.
- HEKKALA, E., SHIRLEY, M. H., AMATO, G., AUSTIN, J. D., CHARTER, S., THORBJARNARSON, J., VLIET, K. A., HOUCK, M. L., DESALLE, R., AND BLUM, M. J. 2011. An ancient icon reveals new mysteries: mummy DNA resurrects a cryptic species within the Nile crocodile. *Molecular ecology* 20:4199–4215.
- HEMSON, G., JOHNSON, P., SOUTH, A., KENWARD, R., RIPLEY, R. AND MACDONALD, D. 2005. Are kernels the mustard? Data from global positioning systems (GPS) collars suggests problems for kernel home-range analyses with least-squares cross-validation. *Journal of Animal Ecology* 74:455–463.
- HOCUTT, C. H., LOVERIDGE, J. P., AND HUTTON, J. M. 1992. Biotelemetry monitoring of translocated *Crocodylus niloticus* in Lake Ngezi, Zimbabwe. *Journal of Zoology* 226:231-242.
- HORNE, J. S., GARTON, E. O., KRONE, S. M. AND LEWIS, J. S. 2007. Analyzing animal movements using Brownian bridges. *Ecology* 88:2354–2363.
- HUCHZERMEYER, F. W. 2003. Crocodiles: biology, husbandry and diseases. CABI Publishing, USA.
- HUTTON, J. 1989. Movements, Home Range, Dispersal and the Separation of Size Classes in Nile Crocodiles. *American Zoologist* 29:1033–1049.
- IUCN (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE). 2022. Order Crocodylia (spatial data). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022. <https://www.iucnredlist.org>. Accessed on 14 June 2022.

- JOANEN, T., AND MCNEASE, L. 1970. A telemetric study of nesting female alligators on Rockefeller Refuge, Louisiana. In Proceedings of the Annual Conference of the Southeastern Association of Game and Fish Commissioners 24:175–193.
- JOANEN, T., AND MCNEASE, L. 1972. A telemetric study of adult male alligators on Rockefeller Refuge, Louisiana. In Proceedings of the Annual Conference of the Southeastern Association of Game and Fish Commissioners 26:252–275.
- JOLLIFFE, I. T., AND CADIMA, J. 2016. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 374: 20150202.
- KAY, W. R. 2004. Movements and home ranges of radio-tracked *Crocodylus porosus* in the Cambridge Gulf region of Western Australia. *Wildlife Research* 31:495–508.
- KAYS, R., CROFOOT, M. C., JETZ, W., AND WIKELSKI, M. 2015. ECOLOGY. Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet. *Science* 348: aaa2478.
- KENWARD, R.E. 2001a. A manual for wildlife radio tagging. Academic Press, USA
- KENWARD, R.E. 2001b. Historical and practical perspectives. Pp. 3–12 in J. J. Millspaugh and J.M. Marzluff (Eds.), *Radio tracking and animal populations*. Academic Press, USA.
- KERNOHAN, B.J., GITZEN, R. A. AND MIL, J.J. 2001. Analysis of Animal Space Use and Movements. Pp. 126–164 in J. J. Millspaugh and J.M. Marzluff (Eds.), *Radio tracking and animal populations*. Academic Press, USA.
- KEUCHLE, V.B., HAYNES, J.M. AND REICHLE, R.A. 1989. Use of small computers as telemetry data collectors. Pp. 695–699 in C. I. Amlaner (Ed.), *Biotelemetry X*. University of Arkansas Press, USA.
- KIE, J. G., MATTHIOPOULOS, J., FIEBERG, J., POWELL, R. A., CAGNACCI, F., MITCHELL, M. S., GAILLARD, J. M. AND MOORCROFT, P. R. 2010. The home-range concept: are traditional estimators still relevant with modern telemetry technology? *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365:2221–2231.
- KINGSBURY, B. A. AND ROBINSON, N. J. 2016. Movement patterns and telemetry Pp.110–120 in C. K. Dodd (Ed.). *Reptile ecology and conservation. A hand- book of techniques*. Oxford University Press, United Kingdom.
- KOLZ, A.L. AND JOHNSON, R.E. 1981. The human hearing response to pulsed-audio tones: implications for wildlife telemetry design. *Proceedings of the Third International Conference on Wildlife Biotelemetry* 27–34.

- KOUMAN, C.Y., EBOME, A.E.A., AHIZI, M.N., OUATTARA, M., OUATTARA, A., FAIRET, E. AND SHIRLEY, M.H. 2021. Space use and social interactions of Central African slender-snouted crocodiles *Mecistops leptorhynchus* (Bennett, 1835) in Loango National Park, Gabon. *African Journal of Ecology* 59:866–879.
- KRUSKAL, W. H., AND WALLIS, W. A. 1952. Journal of the American Statistical Analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47: 583–621
- KUSHLAN, J. A., AND MAZZOTTI, F. J. 1989. Population Biology of the American Crocodile. *Journal of Herpetology* 23:7–21.
- LANG, J. AND WHITAKER, S. 2010. Application of telemetry techniques in crocodilian research: Gharial (*Gavialis gangeticus*) Spatial Ecology in the Chambal River, India. Pp. 161–171 in K. Sivakumar and B. Habib (Eds.), *Telemetry in Wildlife Science ENVIS Bulletin Wildlife and Protected Areas*. Wildlife Institute of India, India.
- LANG, J, CHOWFIN, S. AND ROSS, J.P. 2019. *Gavialis gangeticus* (errata version published in 2019). The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T8966A149227430. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-1.RLTS.T8966A149227430.en>. Accessed on 09 December 2021.
- LAWSON, K., KANWISHER, J. AND WILLIAMS, T. C. 1976. A UHF Radiotelemetry System for Wild Animals. *The Journal of Wildlife Management*, 40: 360-362.
- LEE, M. S. AND YATES, A. M. 2018. Tip-dating and homoplasy: reconciling the shallow molecular divergences of modern gharials with their long fossil record. *Proceedings of the Royal Society B*, 285:20181071.
- LEMMER, H. H. 1987. A Modified Mann-Whitney-Wilcoxon Test for the Two-Sample Location Problem. *Journal of Statistical Computation and Simulation* 27: 307–319.
- LEWIS, J. D., CAIN, J. W., AND DENKHAUS, R. 2014. Home Range and Habitat Selection of an Inland Alligator (*Alligator mississippiensis*) Population at the Northwestern Edge of the Distribution Range. *Southeastern Naturalist* 13:261–279.
- LICHTI, N. I. AND SWIHART, R. K. 2011. Estimating utilization distributions with kernel versus local convex hull methods. *Journal of Wildlife Management* 75:413–422.
- MACGREGOR, J. 2006. *The call of the wild: Captive crocodilian production and the shaping of conservation incentives*. Traffic International, Cambridge, UK.
- MAGNUSSON, W. E., AND LIMA, A. P. 1991. The ecology of a cryptic predator, *Paleosuchus trigonatus*, in a tropical rainforest. *Journal of Herpetology* 41–48.

- MAGNUSSON, W.E., CAMPOS, Z. AND MUNIZ, F. 2019. *Paleosuchus palpebrosus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T46587A3009946. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-1.RLTS.T46587A3009946.en>. Accessed on 07 December 2021
- MARIONI, B., MAGNUSSON, W. E., VOGT, R. C., AND VILLAMARÍN, F. 2022. Home range and movement patterns of male dwarf caimans (*Paleosuchus palpebrosus* and *Paleosuchus trigonatus*) living in sympatry in Amazonian floodplain streams. *Neotropical Biodiversity* 8: 156–166.
- MARQUES, T. S., BASSETTI, L. A. B., LARA, N. R. F., PORTELINHA, T. C. G., PIÑA, C. I., AND VERDADE, L. M. 2020. Home Range and Movement Pattern of the Broad-Snouted Caiman (*Caiman latirostris*) in a Silviculture Dominated Landscape. *South American Journal of Herpetology* 16:16–25.
- MARTIN, A. R., AND DA SILVA, V. M. 1998. Tracking aquatic vertebrates in dense tropical forest using VHF telemetry. *Marine Technology Society. Marine Technology Society Journal* 32:82–88.
- MASCARENHAS-JUNIOR, P., MAFFEI, F., MUNIZ, F., FREITAS-FILHO, R. F., PORTELINHA, T. C. G., CAMPOS, Z. AND BASSETTI, L. A. 2021. Conflicts between humans and crocodilians in urban areas across Brazil: a new approach to support management and conservation. *Ethnobiology and Conservation*, 10:37
- MAZZOTTI, F. 1983. The ecology of *Crocodylus acutus* in Florida. Ph.D. Dissertation, Pennsylvania State University Park, USA.
- MCDONALD, J.H. 2014. *Handbook of Biological Statistics* (3rd ed.). Printed version Sparky House Publishing, USA.
- MCNEASE, L., AND JOANEN, T. 1974. A study of immature alligators on Rockefeller Refuge, Louisiana. *Proceedings of the Southeastern Association of Game and Fish Commissioners* 28:482–500.
- MEDEM, F. 1981. *Los Crocodylia de Sur América. Los Crocodylia de Colombia*. Ministerio de Educación Nacional, Colombia,
- MILLSPAUGH, J. J. 1995. Seasonal movements, habitat use patterns, and the effects of human disturbances on elk in Custer State Park, South Dakota. M.S. Dissertation, South Dakota State University, USA.
- MILLSPAUGH, J. J., AND MARZLUFF, J. M. 2001. Radio-tracking and animal populations: past trends and future needs. Pp. 383–393 in J. J. Millspaugh and J.M. Marzluff (Eds.), *Radio tracking and animal populations*. Academic Press, USA.

- MILLSPAUGH, J. J., SKALSKI, J. R., KERNOHAN, B.J., RAEDEKE, K.J., BRUNDIGE, G. C. AND COOPER, A. B. 1998. Some comments on spatial independence in studies of resource selection. *Wildlife Society Bulletin* 26:232–236.
- MOHR, C. O. 1947. Table of equivalent populations of North American small mammals. *American Midland Naturalist* 37:223–449.
- MORALES-BETANCOURT, M. A., LASSO, C. A., OSSA, J. D. AND FAJARDO-PATIÑO, A. 2013. *Biología y conservación de los Crocodylia de Colombia*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Colombia.
- MORAN, R. A. 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 37:17–23.
- MOREA, C. R., RICE, K. G., PERCIVAL, H. F., AND HOWARTER, S. R. 2000. Home range and daily movement of the American alligator in the Everglades. In *Proceedings of the Working Meeting of the Crocodile Specialist Group* 15:486–505.
- MORENO-ARIAS, R. AND ARDILA-ROBAYO, M. C. 2020. Journeying to freedom: the spatial ecology of a reintroduced population of Orinoco crocodiles (*Crocodylus intermedius*) in Colombia. *Animal Biotelemetry* 8:1–13.
- MUÑOZ, M. D. C., AND THORBJARNARSON, J. 2000. Movement of captive-released Orinoco crocodiles (*Crocodylus intermedius*) in the Capanaparo River, Venezuela. *Journal of Herpetology* 397–403.
- MYERS, N. 1988. Threatened biotas: “Hot spots” in tropical forests. *The Environmentalist* 8: 187–208.
- NELDER, J. A., AND WEDDERBURN, R. W. M. 1972. Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society Series A*: 370–384.
- NICOLAÏ, M. P. J., AND MATZKE, N. J. 2019. Trait-based range expansion aided in the global radiation of Crocodylidae. *Global Ecology and Biogeography* 28:1244–1258.
- NILSEN, E. B., PEDERSEN, S., AND LINNELL, J. D. C. 2007. Can minimum convex polygon home ranges be used to draw biologically meaningful conclusions? *Ecological Research* 23:635–639.
- OUBOTER, P. E., AND NANHOE, L. M. R. 1988. Habitat Selection and Migration of Caiman crocodilus crocodilus in a Swamp and Swamp-Forest Habitat in Northern Suriname. *Journal of Herpetology* 22:283–294.
- PAN, T., MIAO, J.-S., ZHANG, H.-B., YAN, P., LEE, P.-S., JIANG, X.-Y., OUYANG, J.-H., DENG, Y.-P., ZHANG, B. -W. AND WU, X.-B. 2020. Near-complete phylogeny of

extant Crocodylia (Reptilia) using mitogenome-based data. Zoological Journal of the Linnean Society 191: 1075–1089.

PNNT - PARQUE NACIONAL NATURAL TAYRONA. 2006. Plan De Manejo 2005-2009. Parque Nacional Natural Tayrona. Parques Nacionales Naturales de Colombia, Pp. 283. Disponible en : <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/PMPNNTayrona.pdf>.

PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA DIRECCIÓN TERRITORIAL CARIBE 2020. Plan de manejo de los parques nacionales naturales Sierra Nevada de Santa Marta y Tayrona. Parques nacionales naturales de Colombia, Santa Marta, Pp 531. Disponible: <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2020/10/plan-de-manejo-del-pnn-sierra-nevada-de-santa-marta-y-tayrona.pdf>

PÉREZ-SOLANO, L. Y MANDUJANO, S. 2018. Radiotelemetría GPS: aplicación en el monitoreo del ganado caprino en la reserva de la biosfera de Tehuacán-Cuicatlán, Oaxaca, México. Agro productividad 11:63–69.

PINEDA-GUERRERO, A., AND HERNÁNDEZ, E. 2016. Four new reports of mammal species from Tayrona National Park, Colombia. Mammalogy Notes 3:44–45.

PRENDERGAST, J., QUINN, R. M., LAWTON, J. H., EVERS HAM, B. C., AND GIBBONS, D. W. 1993. Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies. Nature 365:335–337.

PRIEDE, I. G. AND SWIFT S.M. 1992. Wildlife telemetry: remote monitoring and tracking of animals. Ellis Horwood, England.

PRIMACK, R.B. 2010. Essentials of conservation biology. Fifth Edition. Sunderland: Sinauer Associates, USA.

RAINWATER, T. R., PLATT, S. G., CHARRUAU, P., BALAGUERA-REINA, S. A., SIGLER, L., CEDEÑO-VÁZQUEZ, J. R. AND THORBJARNARSON, J. B. 2021. *Crocodylus acutus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: E.T5659A168712617. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T5659A168712617.en>. Accessed on 07 December 2021.

READ M. A., GRIGG G. C., IRWIN S. R., SHANAHAN D. AND FRANKLIN C. E. 2007. Satellite Tracking Reveals Long Distance Coastal Travel and Homing by Translocated Estuarine Crocodiles, *Crocodylus porosus*. PLOS ONE 2: e949.

RODDA, G. H. 1984a Homeward paths of displaced juvenile alligators as determined by radiotelemetry. Behavioral Ecology and Sociobiology 14:241–246.

- RODDA, G. 1984b. Movements of Juvenile American Crocodiles in Gatun Lake, Panama. *Herpetologica* 40:444–451.
- RODGERS, R. A. 2001. Recent Telemetry Technology Pp 79–121 In: Millspaugh, J.J. and J.M. Marzluff (Eds.). *Radio tracking and animal populations*. Academic Press, USA.
- ROOTES, W. L. 1989. Behavior of the American alligator in a Louisiana freshwater marsh. Ph.D. Dissertation, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, USA.
- ROOTES, W. L., AND CHABRECK, R. H. 1993. Reproductive Status and Movement of Adult Female Alligators. *Journal of Herpetology* 27:121–126.
- ROSENBLATT, A. E., AND HEITHAUS, M. R. 2011. Does variation in movement tactics and trophic interactions among American alligators create habitat linkages? *Journal of Animal Ecology* 80:786–798.
- ROSENBLATT, A. E., HEITHAUS, M. R., MAZZOTTI, F. J., CHERKISS, M., AND JEFFERY, B. M. 2013. Intra-population variation in activity ranges, diel patterns, movement rates, and habitat use of American alligators in a subtropical estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 135:182–190.
- ROSS, J.P. 2000. *Melanosuchus niger*. The IUCN Red List of Threatened Species 2000: e.T13053A3407604. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2000.RLTS.T13053A3407604.en>. Accessed on 07 December 2021.
- RSTUDIO TEAM. 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA Available from: <http://www.rstudio.com/>.
- RUEDA-ALMONACID, J. V., CARR, J. L., MITTERMEIER, R. A., RODRÍGUEZ-MAHECHA, J. V., MAST, R. B., VOGT, R. C., RHODIN, A. G. J., VELÁSQUEZ, J., DE LA O., RUEDA, J. N. AND MITTERMEIER, C. G. 2007. Las tortugas y los cocodrilianos de los países andinos del Trópico. Serie de guías tropicales de campo N° 6. Conservación internacional. Editorial Panamericana.
- RUEDA-SOLANO, L.A. Y CASTELLANOS-BARLIZA, J. 2010. Herpetofauna De Neguanje, Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe Colombiano. *Acta Biológica Colombiana* 15: 195–206.
- RUSKAI, M. B. 1989. How stereotypes about science affect the participation of women. Washington, DC: Association for Women in Science.
- SAALFELD, D. T. 2010. American Alligator (*Alligator mississippiensis*) ecology in inland wetlands of east Texas. Ph.D. Dissertation, Stephen F. Austin State University, USA.

- SAMUEL, M. D., PIERCE, D. J. AND GARTON, E. O. 1985. Identifying areas of concentrated use within the home range. *Journal of Animal Ecology* 54:711–719.
- SÁNCHEZ-MARÍN, F. A. 2014. Evaluación de la ecología espacial del Cocodrilo Americano *Crocodylus acutus* (Crocodylidae – Crocodilia; Cuvier, 1807) en el Parque Nacional Coiba, Panamá. Trabajo de grado, Universidad del Quindío, Colombia.
- SCHOENER, T.W., 1981. An empirical based estimate of home range. *Theoretical Population Biology* 20: 281–325.
- SEAMAN, D. E., MILLSPAUGH, J. J., KERNOHAN, B.J., BRUNDIGE, G. C., RAEDEKE, K.J. AND GITZEN, R. A. 1999. Effects of sample size on kernel home range estimates. *Journal of Wildlife Management* 63:739–747.
- SIABATO, W. AND GUZMÁN-MANRIQUE, J. 2019. La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa. *Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía* 28:1–22.
- SHIRLEY, M. H. 2014. *Mecistops cataphractus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T5660A3044332. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T5660A3044332.en>. Downloaded on 10 December 2021.
- SHIRLEY, M.H., VLIET, K.A, CARR, A.N. AND AUSTIN, J. D. 2014. Rigorous approaches to species delimitation have significant implications for African crocodilian systematics and conservation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281: 20132483.
- SHIRLEY, M. H., CARR, A. N., NESTLER, J. H., VLIET, K. A., AND BROCHU, C. A. 2018. Systematic revision of the living African slender-snouted crocodiles (*Mecistops gray*, 1844). *Zootaxa* 4504:151–193.
- SKUPIEN, G. M., ANDREWS, K. M., AND NORTON, T. M. 2016. Benefits and biases of VHF and GPS telemetry: A case study of American alligator spatial ecology. *Wildlife Society Bulletin* 40: 772–780.
- SMITH, E. N. 1975. Thermoregulation of the American Alligator, *Alligator mississippiensis*. *Physiological Zoology* 48: 177–194.
- SOMAWEERA, R., BRIEN, M. L., SONNEMAN, T., DIDHAM, R. K., AND WEBBER, B. L. 2019. Absence of evidence is not evidence of absence: Knowledge shortfalls threaten the effective conservation of freshwater crocodiles. *Global Ecology and Conservation* 20: e00773.

- SOMAWEERA, R., NIFONG, J., ROSENBLATT, A., BRIEN, M., COMBRINK, X., ELSEY, R., GRIGG, G., MAGNUSSON, W., MAZZOTTI, F., PEARCY, A., PLATT, S., SHIRLEY, M., TELLEZ, M., VAN DER PLOEG, J., WEBB, G., WHITAKER, R. AND WEBBER, B. 2020. The ecological importance of crocodylians: towards evidence-based justification for their conservation. *Biological Reviews. Cambridge Philosophical Society* 95: 936–959.
- STEIN, P. J. 2011. Active acoustic monitoring systems for detecting, localizing, tracking, and classifying marine mammals and fish. *The Journal of the Acoustical Society of America* 129: 2369–2369.
- STRAUSS, M., BOTHA, H., AND VAN HOVEN, W. 2008. Nile crocodile *Crocodylus niloticus* telemetry: observations on transmitter attachment and longevity. *African Journal of Wildlife Research* 38:189–192.
- STRICKLAND, B. A., GASTRICH, K., MAZZOTTI, F. J., MASSIE, J. A., PAZ, V., VIADERO, N., REHAGE, J. AND HEITHAUS, M. R. 2020. Variation in movement behavior of alligators after a major hurricane. *Animal Biotelemetry* 8:1-10.
- STRICKLAND, B. A., GASTRICH, K., BEAUCHAMP, J. S., MAZZOTTI, F. J., AND HEITHAUS, M. R. 2022. Effects of hydrology on the movements of a large-bodied predator in a managed freshwater marsh. *Hydrobiologia* 849:861–878.
- SUBALUSKY, A. L., FITZGERALD, L. A., AND SMITH, L. L. 2009. Ontogenetic niche shifts in the American Alligator establish functional connectivity between aquatic systems. *Biological Conservation* 142:1507–1514.
- SWIHART, R.K. AND SLADE, N.A. 1985. Testing for independence of observations in animal movements. *Ecology* 66: 1176–1184.
- TARGARONA, R. R., SOBERÓN, R. R., COTAYO, L., TABET, M. A. AND THORBJARNARSON, J. 2008. *Crocodylus rhombifer*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T5670A112902585. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1996.RLTS.T5670A11516438.en>. Downloaded on 10 December 2021.
- TAYLOR, D., JOANEN, T. AND MCNEASE, L. 1976. A comparison of native and introduced immature alligators in northeast Louisiana. *Proceedings of the Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies* 30:362–370.
- TAYLOR, D. 1984. Management implications of an adult female alligator telemetry study. *Proceedings of the Annual Conference of the Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies* 38:222–227.

- TELENAX. (2020). Mochilas VHF para cocodrilos y caimanes: an online reference.
Available from: <https://telenax.com/product-details/mochilas-vhf/> on 3 March 2022.
- TELONICS S.A (2020). TR-8 Receiver Manual. 480. Available from:
[https://www.telonics.com/products/vhfReceivers/TR-8 User Manual.pdf](https://www.telonics.com/products/vhfReceivers/TR-8%20User%20Manual.pdf)
- THOMAS, B., HOLLAND, J. D., AND MINOT, E. O. 2010. Home range and movement patterns of an estuarine crocodile *Crocodylus porosus*: a satellite tracking pilot study. Northern Territory Naturalist 22:60–74.
- TOMKIEWICZ, S.M., FULLER, MR., KIE, J.G. AND BATES, K.K. 2010. Global positioning system and associated technologies in animal behavior and ecological research. Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences 365: 2163–2176.
- THORBJARNARSON, J., MAZZOTTI, F., SANDERN, E., BUITRAGO F., LAZCANO, M., MINKOWSKI, K., MUÑOZ, M., PONCE, P., SIGLER, L., SOBERON, R., TRELANCIA, A., AND VELASCO A. 2006. Regional habitat conservation priorities for the American crocodile. Biological Conservation 128:25–36.
- TUCKER, A. D., LIMPUS, C. J., MCCALLUM, H. I. AND MCDONALD, K. R. 1997. Movements and home ranges of *Crocodylus johnstoni* in the Lynd River, Queensland. Wildlife Research 24:379–396.
- VAN WEERD, M., VAN DER PLOEG, J., RODRIGUEZ, D., GUERRERO, J., TARUN, B., TELAN, S., AND DE JONGE, J. 2006. Philippine crocodile conservation in Northeast Luzon: an update of population status and new insights into *Crocodylus mindorensis* ecology. Proceedings 17th Working Meeting of the IUCN-SSC Crocodile Specialist Group: 306–321.
- VAN DE VEN, W., TELAN, S., JOSÉ, E., LINDEYER, F., TUBBS, N., DE JONGE, J., RODRIGUEZ, D. BALBAS, M., GUERRERO, J., VAN WEERD, M., PLOEG, V. D. AND DE IONGH, H. 2017. Movements and Home Ranges of Philippine crocodiles in San Mariano, Isabela. Journal of Natural History 2:40–46.
- VARGAS-ORTEGA, D. 2014. Estructura poblacional, distribución espacial y estudio de hábitat de *Crocodylus acutus* (Cuvier 1807) en Parque Nacional Natural Tayrona-(PNNT), Caribe colombiano. Tesis de pregrado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia.
- VOIGT, D. R. AND TINLINE, R. R. 1980. Strategies for analyzing radio tracking data. Pp. 387–404 in C. J. Jr. Amlaner and D. W. Macdonald. A handbook on biotelemetry and radio tracking. Pergamon, United Kingdom.

- WALL, J. 2014. Movement Ecology Tools for ArcGIS (ArcMET). Version 10.6.1. Available from: http://www.movementecology.net/arcmet_software.html on 1 March 2022.
- WALTER, W. D., FISCHER, J. W., BARUCH-MORDO, S. AND VERCAUTEREN, K. C. 2011. What Is the Proper Method to Delineate Home Range of an Animal Using Today's Advanced GPS Telemetry Systems: The Initial Step. Pp. 249–268 in O. Krejcar (Ed.) Modern Telemetry, Tech Open Access Publisher, England.
- WANG, Z., YAO, H., DING, Y., THORBJARNARSON, J., AND WANG, X. 2011. Testing reintroduction as a conservation strategy for the critically endangered Chinese alligator: movements and home range of released captive individuals. Chinese Science Bulletin 56:2586–2593.
- WATANABE, Y. Y., REYIER, E. A., LOWERS, R. H., IMHOFF, J. L., AND PAPASTAMATIOU, Y. P. 2013. Behavior of American alligators monitored by multi-sensor data loggers. Aquatic Biology 18: 1–8.
- WEBB, G., AND MESSEL, H. 1978. Movement and Dispersal Patterns of *Crocodylus porosus* in some Rivers of Arnhem Land, Northern Australia. Wildlife Research 5: 263–283.
- WEBB, G. J. W., MANOLIS, S. C. AND BUCKWORTH, R. 1983. *Crocodylus johnstoni* in the McKinlay River area N. T., III. Growth, movement and the population age structure. Wildlife Research 10:383-401.
- WEBB G. AND MANOLIS S. 1989. Crocodiles of Australia. Reed New Holland, Australia.
- WHITE, G. C, AND GARROTT, R. A. 1990. Analysis of wildlife radio-tracking data. Academic Press, USA.
- WITHEY, J.C., BLOXTON, T.D. AND MARZLUFF, J.M. 2001. Effects of Tagging and Location Error in Wildlife Radiotelemetry Studies Pp. 43-75 in J. J. Millspaugh and J.M. Marzluff (Eds.), Radio tracking and animal populations. Academic Press, USA.
- WORTON, B. J. 1987. A review of models of home range for animal movement. Ecological Modeling 38: 277–298.
- WORTON, B. J. 1989. Kernel methods for estimating the utilization distribution in homerange studies. Ecology 70:164–168.
- ZANDONÀ, E. 2022. Female ecologists are falling from the academic ladder: A call for action. Perspectives in Ecology and Conservation. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.04.001>

5. Anexos

Tabla A1: Información general de los individuos monitoreados durante la temporada de sequía extendida del 2021, localizados en Arrecifes y Cañaveral del sector oriental del Parque Nacional Natural Tayrona. ID: número de identificación individual basado en el corte de escamas de la cresta caudal simple. (*) (De La Ossa, 2002; Balaguera-Reina et al., 2010).

ESPECIE Nombre Grupo etario* ID	<i>C. acutus</i> "Joselito" Juvenil CLASE III 11	<i>C. acutus</i> "La Juiciosa" Juvenil CLASE III 4	<i>C. acutus</i> "Pepe" Adult CLASE V 77	<i>C. crocodilus</i> "Rosa" Sub-adult CLASE III 11	<i>C. crocodilus</i> "Lulo" Sub-adult CLASE III 7	<i>C. crocodilus</i> "Hugo" Sub-adult CLASE III 10
Fecha y hora de captura	15/02/2021 20:00	21/02/2021 22:01	16/02/2021 18:15	16/05/2021 11:45	16/05/2021 20:00	10/05/2021 19:35
Lugar de captura	Madrevieja, Arrecifes	Madrevieja, Cañaveral	Playa Gumarra	Vía cabaña administración Cañaveral	Vía cabaña administración Cañaveral	Ecohabs, Cañaveral
Coordenada (Norte; Occidente)	11,318480 -73,952790	11,307910 -73,929120	11,31256 -73,94093	11.3031 -73.92826	11.30311 -73.92827	11.30904 -73.93258
Modelo transmisor	TXE-315BR	TXE-315BR	TXE-317BR	TXE-317BR	TXE-317BR	TXE-315BR
Sexo	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Macho
Peso (kg)	9.8	18	185	10.8	21.35	23
Longitud total (cm)	151	157	329	140	166.5	172.5
L. rostro - cloaca (cm)	79	90	175.5	68.5	86	88.3
Largo de la cabeza (cm)	23.7	26.2	50.3	19.5	22.5	25
Longitud del cráneo (cm)	28.7	32.5	60.5	23.7	17.3	29.5
Ancho placa cefálica (cm)	6.3	6.8	14	7	8	9
Distancia interocular (cm)	4.2	4.5	10.2	3.6	2.6	4.3

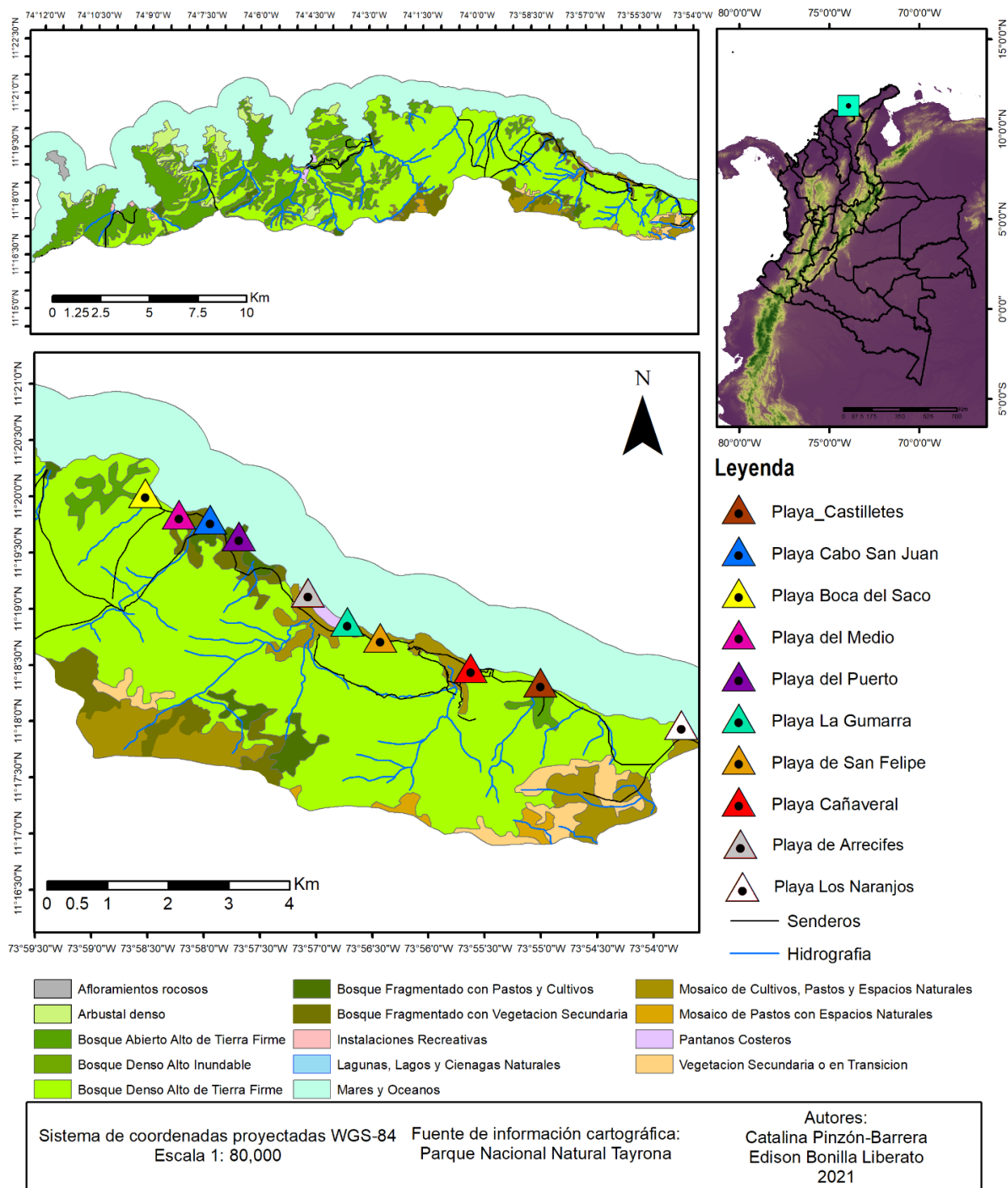


Fig 1. Mapa de coberturas del sector oriental del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT) ubicado al norte del departamento del Magdalena, Colombia. Se identifican las playas monitoreadas y senderos turísticos dentro del Área Protegida.



Fig 2. Marcaje de crocodylidos por corte de escamas caudales simples (De La Ossa, 2001). Se identifica el individuo 77 “Pepe” por su patrón único dada la ausencia de las escamas 7 y 70 en la cresta sencilla. También se observa la codificación en la cresta de escamas dobles que permiten conocer el Área Protegida donde fue marcado el individuo dentro del Sistema de Parques Nacionales Colombianos (Edición NaturalSIG).

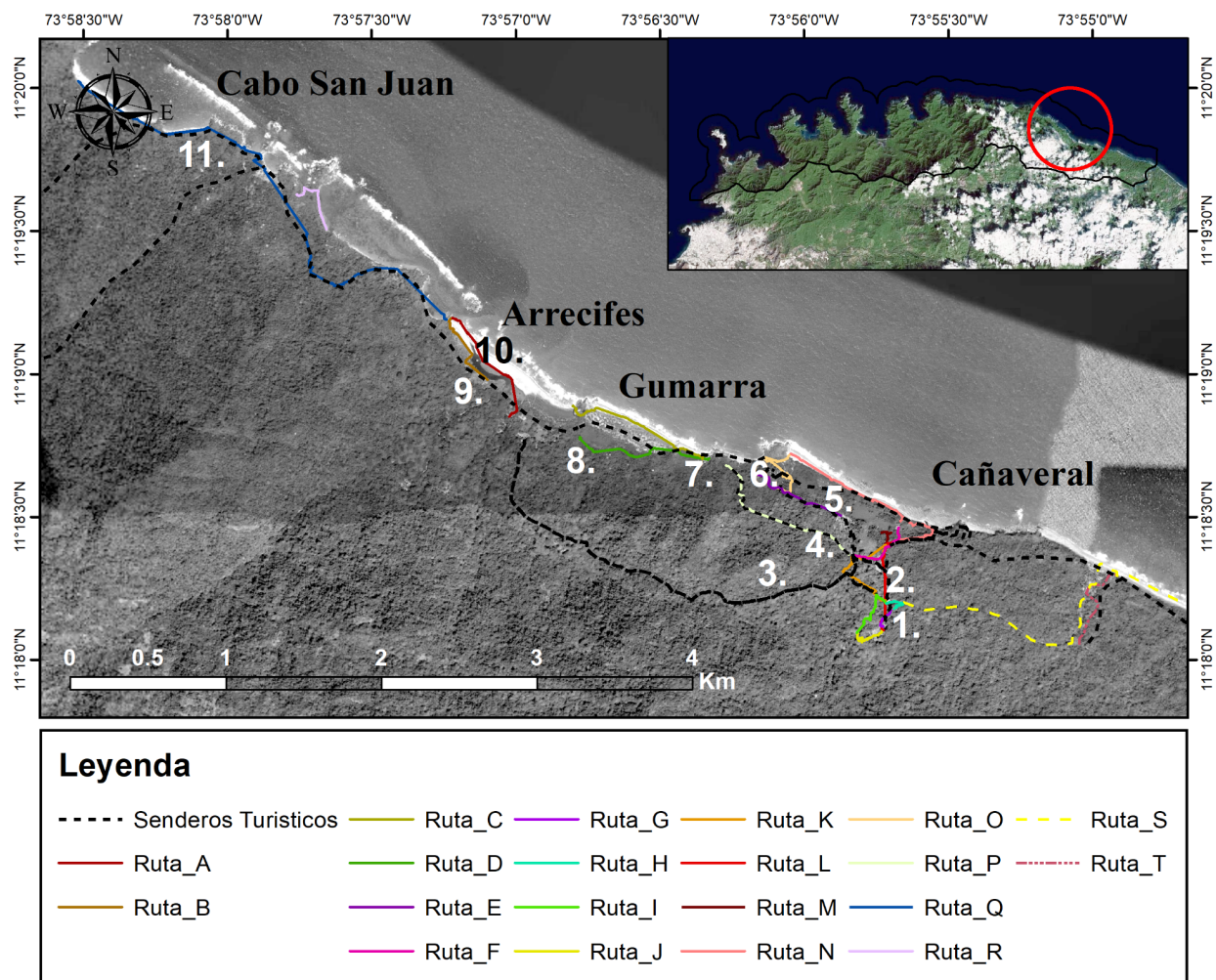


Fig 3. Rutas principales de monitoreo y búsqueda de crocodylianos durante la temporada seca en el sector oriental del Parque Nacional Natural Tayrona, Colombia en el 2021-I. Siendo los senderos turísticos: 1-Administración, 2-Parqueaderos, 3-Caballerizas, 4-Kogui, 5-Ecohabs, 6-La Piscinita, 7-Puente San Felipe, 8-Los Almendros, 9-Arrecifes cruce con Quebrada San Lucas, 10-Arrecifes camino alternativo madre vieja y 11-Cabo San Juan.

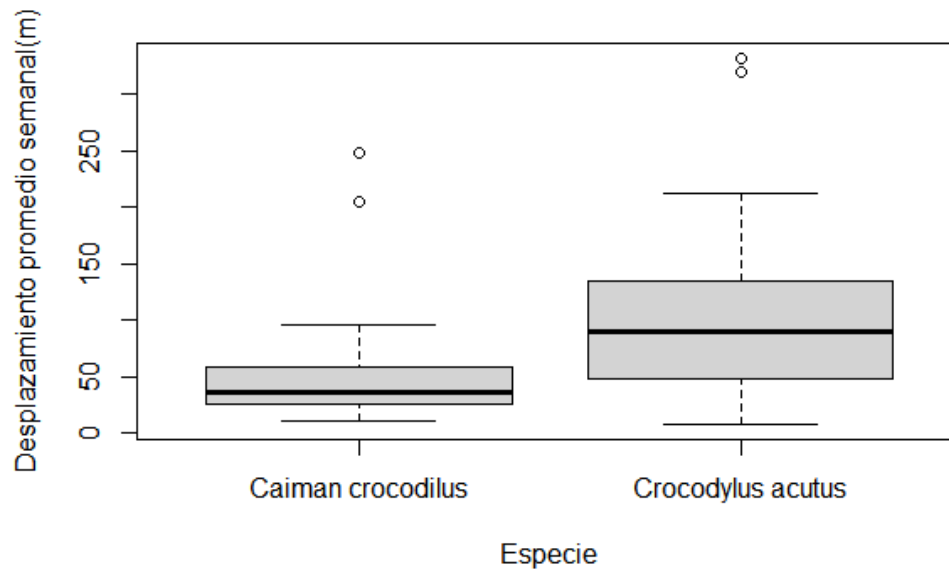


Fig 4. Variación diferencial en los desplazamientos medios semanales para las dos especies de estudio, ubicados en las localidades de Cañaveral y Arrecifes, respectivamente, durante la temporada seca en el sector oriental del Parque Nacional Natural Tayrona, Colombia durante febrero a julio del 2021.

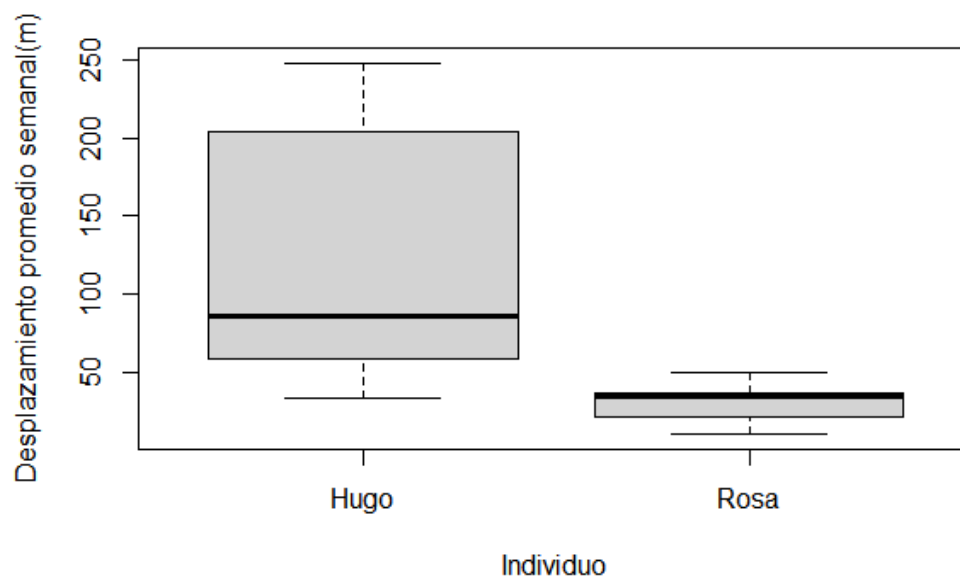


Fig 5. Variación intraespecífica en el desplazamiento medio semanal para *C. crocodilus* en la localidad de Cañaveral, durante la temporada seca en el Parque Nacional Natural Tayrona, Colombia durante febrero a julio del 2021.

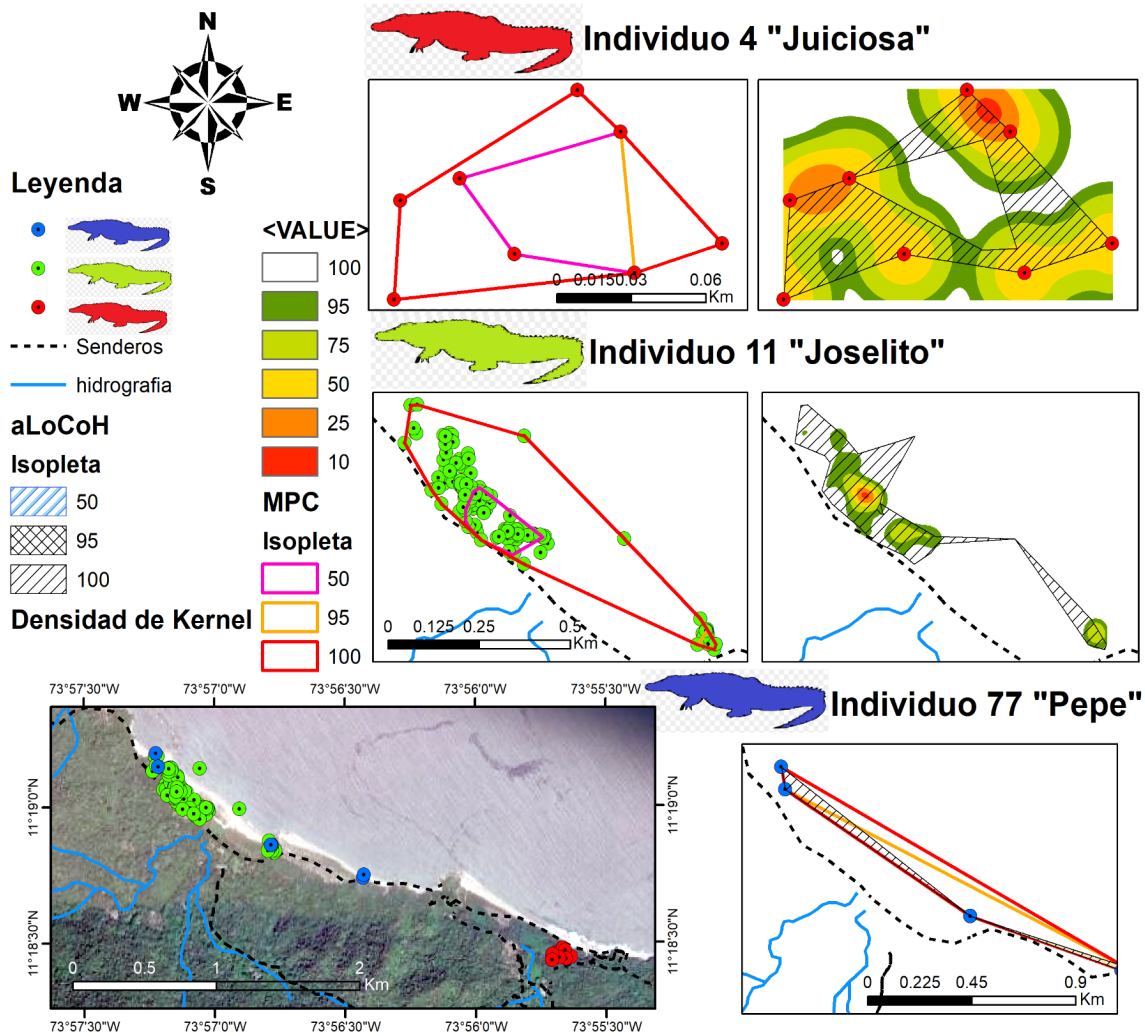
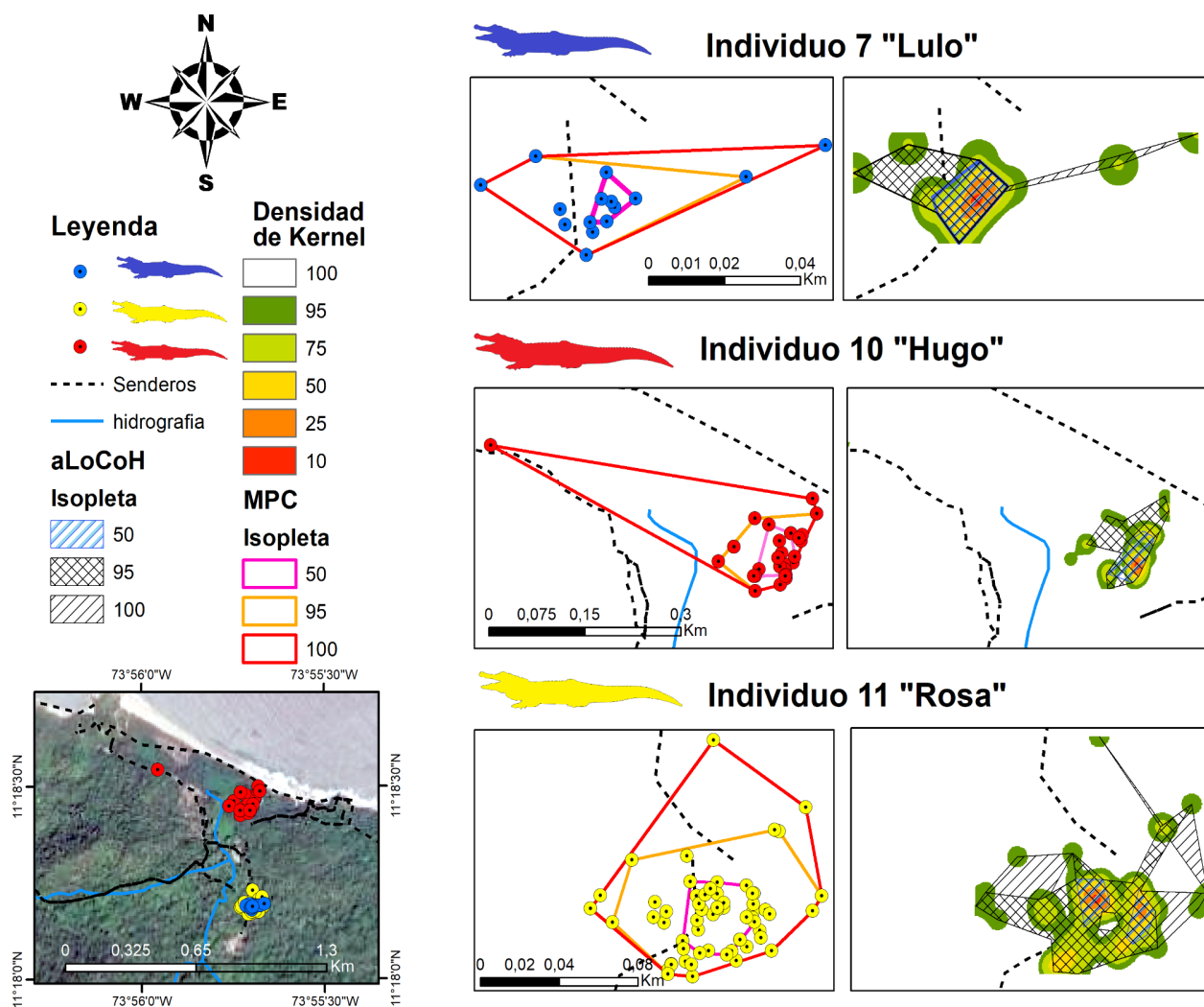


Fig 6. Rangos de hogar de *Crocodylus acutus* mediante el método de mínimo polígono convexo (MPC), estimación de densidad kernel (KDE) y cascos convexos adaptativos (aLoCoH) durante la temporada de seca en el sector oriental del Parque Nacional Natural Tayrona, Colombia durante febrero a julio del 2021.



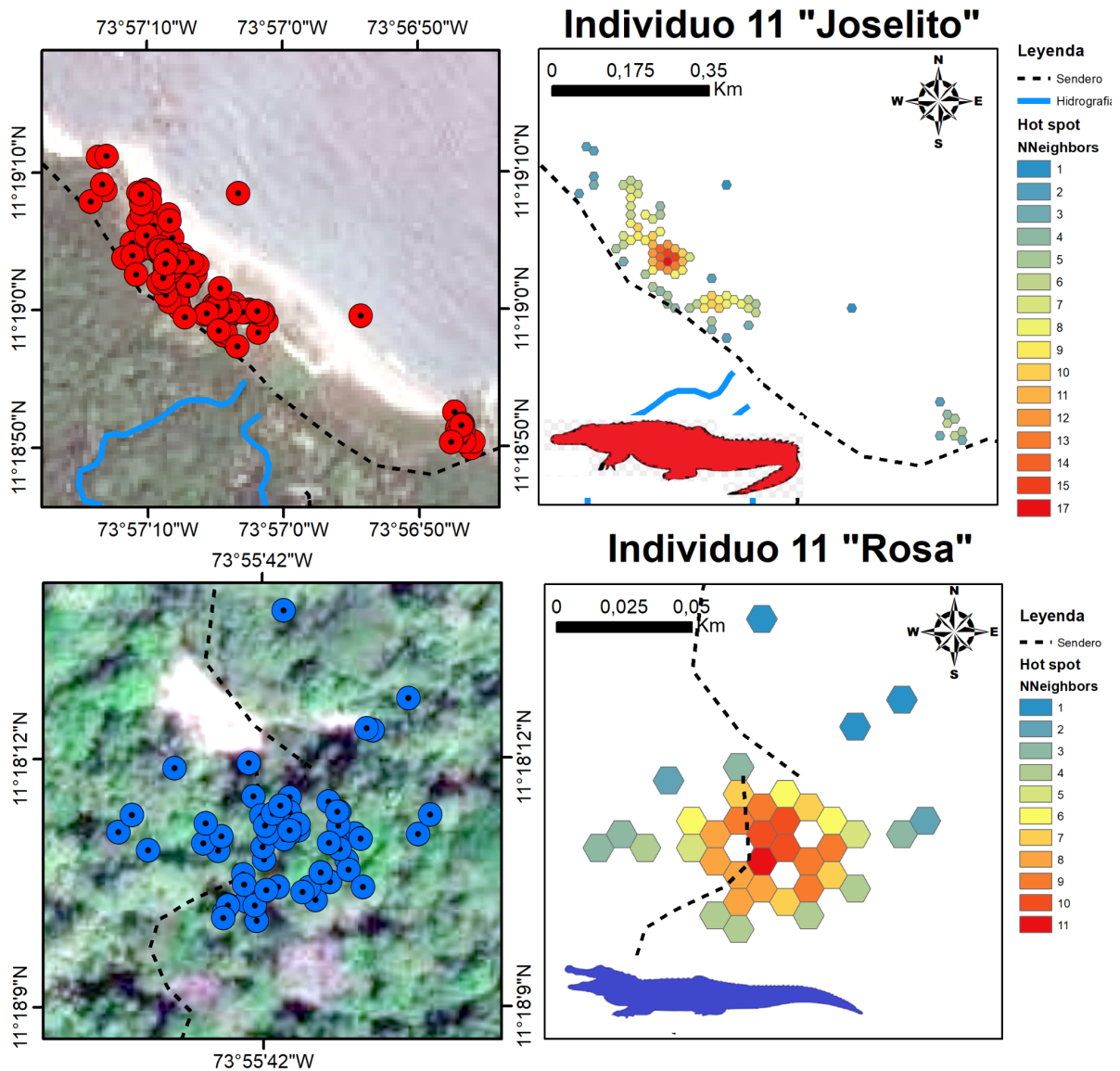


Fig 8. Análisis de puntos calientes para *Crocodylus acutus* ("Joselito") en el sector de Arrecifes y *Caiman crocodilus* ("Rosa") en Cañaveral durante la época de sequía extendida en el primer semestre del 2021. Geolocalizaciones de los individuos monitoreados (Izquierda) y análisis de puntos calientes (Derecha).

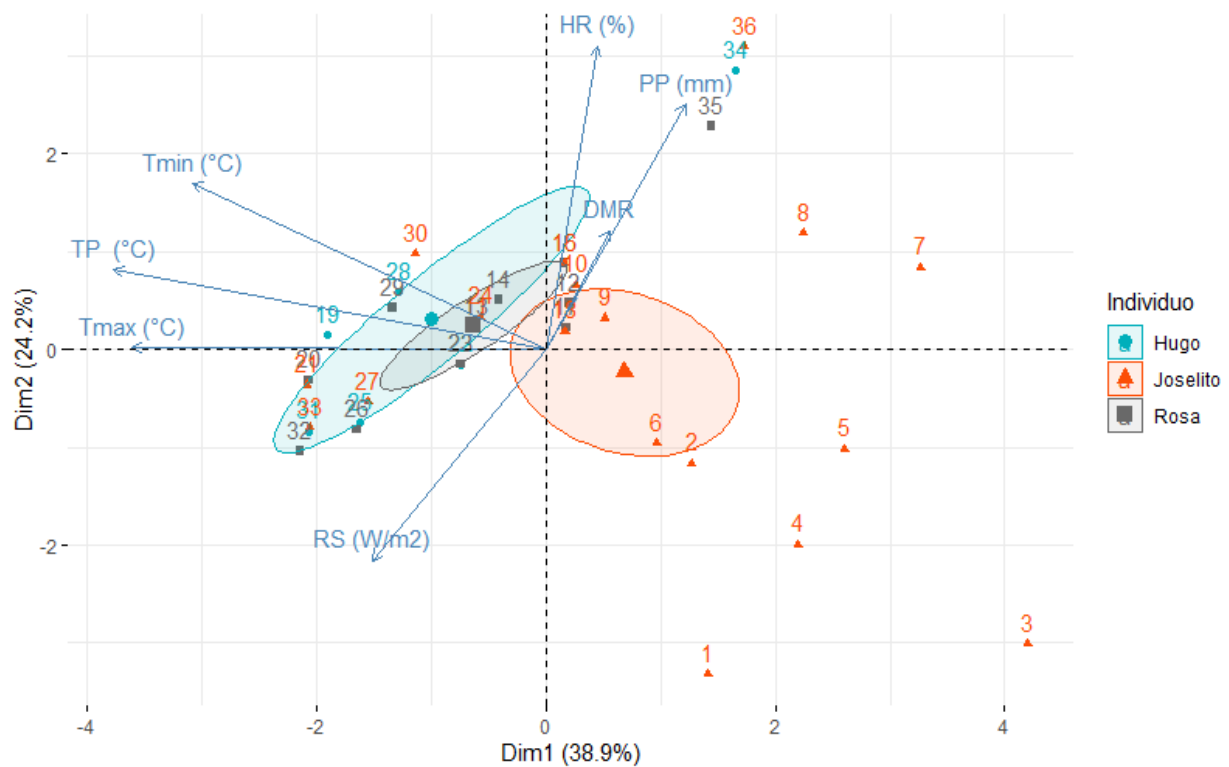


Fig 9. Análisis de componentes principales (PCA) de las co-variables ambientales y DMR en relación a las semanas monitoreadas de Joselito (*C. acutus*) en el sector de Arrecifes, y Hugo y Rosa (*C. crocodilus*) en el sector de cañaveral, durante la temporada de seca en el sector oriental del Parque Nacional Natural Tayrona, Colombia durante Feb-Jul (2021). PP (Precipitación promedio), HR (humedad relativa), RS (radiación solar), TP (temperatura promedio), Tmax (temperatura máxima), Tmin (temperatura mínima) y DMR (distancias medias recorridas).