



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS-POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**TAMAÑO POBLACIONAL, OCUPACIÓN DE HÁBITATS Y AMENAZAS DE
Podocnemis lewyana (TESTUDINES: PODOCNEMIDIDAE) EN LOCALIDADES
DEL ALTO RÍO MAGDALENA**

Requisito para optar el título de Magíster en Ciencias Biológicas

JOHANA ANDREA MUÑOZ CASTRO

**TUNJA
Abril de 2023**



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS-POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**TAMAÑO POBLACIONAL, OCUPACIÓN DE HÁBITATS Y AMENAZAS DE
Podocnemis lewyana (TESTUDINES: PODOCNEMIDIDAE) EN LOCALIDADES
DEL ALTO RÍO MAGDALENA**

Requisito para optar el título de Magíster en Ciencias Biológicas

JOHANA ANDREA MUÑOZ CASTRO

Dr. JUAN E. CARVAJAL-COGOLLO

Profesor Asociado

**Grupo de investigación Biodiversidad y Conservación
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia**

TUNJA

Abril de 2023



Uptc[®]
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS - ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS - POSGRADOS
PROGRAMA DE POSGRADO: MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



Juan E. Carvajal C.

PhD. Juan E. Carvajal-Cogollo
Director

PhD. Rodrigo Macip Ríos
Jurado 1

Bibiana Gómez-V.

PhD. Bibiana Gómez Valencia
Jurado 2



A mis padres Angélica y Pablo por su amor y apoyo incondicional

A mi hermana Tatiana por siempre motivarme a seguir adelante y a creer en mí

A Diego, mi gran amor, por ser mi cómplice y compañero de batalla día a día

A las tortugas del Magdalena por inspirarme tanto amor y felicidad



AGRADECIMIENTOS

A la beca de investigación Turtle Conservation Fund que creyó en este proyecto y me dio la oportunidad de investigar un poco más la especie que tanto amor e interés ha despertado en mí, la tortuga del Magdalena.

A la UPTC, a mis maestros, en especial al profesor Juan Carvajal por ser guía, mentor y amigo, por siempre estar dispuesto a enseñarme y por apoyarme desde el principio en este camino de la investigación y amor por las tortugas. A la profe Bibiana Gómez por guiarme en el mundo de los modelos de ocupación, por su paciencia y dedicación para enseñar.

Al grupo de investigación Biodiversidad y Conservación, por permitirme crecer personal y profesionalmente a lo largo de los años.

A Fernando Jiménez por su apoyo en el componente SIG y a Óscar Morales, Juan Sebastián García y Karol Quiroga, por sus aportes y ayuda para resolver mis crisis con el lenguaje de programación de R.

A la comunidad de Cambao, a la asociación de pescadores y especialmente a don Yamel por su acompañamiento, ayuda y guía, por acogerme en su familia desde el primer día, por estar siempre dispuesto a enseñarme y a aprender conmigo. A la señora Sol, por cuidarnos y esperarnos siempre con la sonrisa más grande y la mejor limonada después de cada jornada de muestreo.

A Daniela Martínez, Jorge Eguis y Cristian Rodríguez, por su apoyo en las jornadas de muestreo.

A mis padres y a mi hermana, por su apoyo incondicional aún en la distancia, por siempre creer en mí, por llenarme de fortaleza y nunca dejarme desfallecer, por ser ejemplo de trabajo duro, de tenacidad, de amor y de superación personal.

A mi esposo Diego, por estar en cada etapa de este proceso, por caminar a mi lado y nunca soltar mi mano. Por su amor y ternura, por siempre tener las palabras adecuadas cuando creo no poder continuar. Por ser fuente de amor, paz y felicidad en mi vida y por atreverse a construir sus sueños junto a mí.

A la familia Carvajal Morales por su apoyo y amistad.

A mis amigos Ale, Adris, Pao, George, Dela, Karol, Escamilla, Xime, Óscar, Juan y Simón, quienes hicieron más amena esta etapa de mi vida con sus ocurrencias y su compañía.



TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I	10
Tamaño poblacional, ocupación de hábitats y amenazas de <i>Podocnemis lewyana</i> (TESTUDINES: PODOCNEMIDIDAE) en localidades del alto río.....	11
Resumen general.....	11
INTRODUCCIÓN GENERAL	12
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	15
MARCO CONCEPTUAL	15
Ecología de poblaciones	15
Tamaño y densidad poblacional.....	16
Ocupación de hábitat	17
Modelos de ocupación	18
Amenazas de la biodiversidad tropical	19
ESTADO DEL ARTE	20
OBJETIVOS	23
OBJETIVO GENERAL	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
PRODUCTOS	23
IMPACTO	24
LITERATURA CITADA.....	24
CAPITULO II	33
RESUMEN	34
Palabras clave: Tortuga del Magdalena, tamaño poblacional, ocupación de hábitat, amenazas antropogénicas, conservación.....	35
ABSTRACT	35
Key words: Magdalena turtle, population size, habitat occupation, anthropogenic threats, conservation.	36
INTRODUCCIÓN	36
MATERIALES Y MÉTODOS	38
Área de estudio	38
Diseño de la investigación y muestreos	39
RESULTADOS	44
DISCUSIÓN	51
CONSIDERACIONES FINALES	56
LITERATURA CITADA.....	58
MATERIAL COMPLEMENTARIO	65



Lista de figuras

<i>Figura 1. Área de estudio. Los puntos amarillos representan los 113 sitios seleccionados entre el cauce principal del río y dos tributarios.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2. Categorías de hábitat disponibles en el área de estudio. A. Playa. B. Empalizada. C. Roca. D. Barranco.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3. Correlación de Pearson entre las covariables de estudio.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4. Acumulación de ejemplares de P. lewyana en zonas rocosas.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 5. Análisis de bondad de ajuste del modelo de ocupación seleccionado ...</i>	<i>46</i>
<i>Figura 6. Efecto de las covariables en la detección y a ocupación de la especie según el modelo seleccionado. A. Efecto de la intensidad lumínica en la detección de la especie. B. Efecto de la disponibilidad de hábitat en la ocupación. C. Efecto del porcentaje de vegetación sobre la ocupación. D. Efecto de la temperatura del periodo de menor precipitación sobre la ocupación de la especie.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 7. Amenazas identificadas en el área de estudio.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 8. Gráfica de la relación de la intensidad de las amenazas con la ocupación de hábitat y a abundancia de tortugas. A. Amenazas vs probabilidad de ocupación en temporada de sequía. B. Amenazas vs probabilidad de ocupación en temporada de lluvias. C. Amenazas vs abundancia de tortugas en temporada de sequía. D. Amenazas vs abundancia de tortugas en temporada de lluvias. La intensidad de las amenazas (Amz) se determina por la cantidad de categorías de amenazas identificadas en cada sitio.</i>	<i>49</i>



Lista de tablas

Tabla 1. Categorización de los efectos potenciales de cada categoría de amenaza identificada sobre las diferentes etapas de vida de las tortugas. 44

*Tabla 2. Modelos de detección y ocupación de *Podocnemis lewyana* en la cuenca alta del río Magdalena organizada según el criterio de información de Akaike. En rojo se indica el modelo de detección seleccionado y en amarillo el modelo de ocupación seleccionado. 45*

Tabla 3. Amenazas identificadas y su efecto en cada etapa de vida. 50



CAPITULO I.

ASPECTOS CONCEPTUALES TAMAÑO POBLACIONAL, OCUPACIÓN DE HÁBITATS Y AMENAZAS DE *Podocnemis lewyana* (TESTUDINES: PODOCNEMIDIDAE) EN LOCALIDADES DEL ALTO RÍO MAGDALENA



Tamaño poblacional, ocupación de hábitats y amenazas de *Podocnemis lewyana* (TESTUDINES: PODOCNEMIDIDAE) en localidades del alto río

Resumen general

La tortuga del Magdalena *Podocnemis lewyana* es actualmente una de las especies de tortuga más amenazadas de Colombia debido principalmente al consumo de huevos y adultos y a la pérdida de hábitats propicios para su establecimiento. Si bien, es una de las tortugas más estudiadas del país existen algunos aspectos que no han sido evaluados por todas sus poblaciones, entre estos se encuentran la cuantificación del tamaño poblacional y la ocupación de hábitats. Es por esto, que el objetivo de nuestra investigación fue determinar el tamaño poblacional, la ocupación de hábitats y las amenazas antropogénicas de *P. lewyana* en el alto río Magdalena. Para ello seleccionamos un tramo 26 km del río Magdalena a la altura del Corregimiento de Cambao, Cundinamarca, seleccionamos 113 sitios y los muestreamos en tres salidas de campo donde tomamos registros de ocupación de la especie en categorías de hábitats y medimos variables bióticas y abióticas cada uno de ellos. Calculamos el tamaño poblacional mediante la aplicación de modelos jerárquicos N-Mixtos, los cuales se basan en los datos de conteos junto con variables ambientales. Para la ocupación de hábitat desarrollamos modelos de ocupación uniespecie en los cuales relacionamos la presencia de la especie en cada sitio con una serie de variables bióticas y abióticas. Para seleccionar el mejor modelo tuvimos en cuenta el criterio de información de Akaike (AIC) y la información previamente conocida de la especie. Para las amenazas hicimos un análisis multicriterio entre la intensidad de las amenazas, la temporada climática, la abundancia y ocupación de la especie en cada sitio; para la evaluación de las amenazas por etapa de vida, asignamos un valor según el riesgo de mortalidad que representa para la especie en cada una de las etapas, esto para identificar la etapa más amenazada y las posibles consecuencias sobre el éxito reproductivo de la población. Estimamos un tamaño poblacional de más de 4000 individuos, lo que representa una de las poblaciones más abundantes de *P. lewyana* conocidas hasta ahora. En cuanto a la ocupación, la variable más relevante para el proceso observacional fue la intensidad lumínica, y las variables que tienen un mayor efecto sobre la probabilidad de detección fueron la disponibilidad de hábitats, el porcentaje de cobertura vegetal y la temperatura en la temporada de sequía. De modo que la probabilidad de ocupación aumenta en sitios con alta disponibilidad de hábitats, bajo porcentaje de cobertura vegetal y mayor temperatura ambiental. En cuanto a las amenazas, encontramos relaciones diferenciales entre la temporada climática y la ocupación y abundancia de tortugas en cada sitio, un aspecto no documentado



antes para la especie, en donde durante la temporada de lluvias se ocupan más sitios con alta intensidad de amenazas en comparación con la temporada de sequía, probablemente debido a la alta disponibilidad de sitios que hay durante la sequía cuando el nivel del río es más bajo. Observamos que las etapas de vida más amenazadas son el huevo y las hembras adultas en etapa reproductiva y contrario a lo esperado, los individuos juveniles y adultos machos no son cazados frecuentemente, lo que podría explicar el establecimiento exitoso de la población; aun con valores altos de saqueo de huevos observado. Esta investigación presenta información base mediante la aplicación de metodologías no utilizadas anteriormente en el estudio de tortugas en Colombia, presenta resultados valiosos para la comprensión de esta y otras poblaciones de *P. lewyana* en términos de tamaño poblacional, ocupación de hábitats y efectos de las amenazas antropogénica, proporcionando así herramientas para la profundización del estudio de estos aspectos en otras poblaciones, y para la formulación de estrategias de conservación participativas que sean pensadas a partir de la ecología de la especie y los efectos de cada una de las variables bióticas y abióticas que se proponen en este documento.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La ecología poblacional es una rama de la ecología que se enfoca en el estudio de las poblaciones de organismos y sus interacciones con el ambiente en el que habitan (Krebs 1994; Andrewartha 1961) y es una disciplina fundamental para entender la dinámica y la conservación de las especies en un mundo en constante cambio. Desde sus inicios, la ecología poblacional ha buscado explicar los patrones de crecimiento, distribución y abundancia de las poblaciones de organismos (Martella, et al., 2012), y ha desarrollado una serie de teorías y modelos para describir estas dinámicas. En las últimas décadas, la ecología poblacional ha ampliado su campo de estudio para abordar temas clave en la conservación y el manejo de los recursos naturales (Kass et al., 2020; Vesallo-Rodríguez, et al., 2019).

El tamaño poblacional es uno de los parámetros clave de la ecología poblacional; puede variar significativamente en función de diversos factores, como la disponibilidad de recursos, la competencia intraespecífica, la depredación, el clima y las perturbaciones ambientales (Valdés y Cano-Santana, 2005). Además, de influir en la capacidad de la población para adaptarse a cambios en el ambiente y para mantener su diversidad genética (Dodd y Helenurm, 2002).



La ocupación de hábitat es un concepto clave en ecología, ya que está estrechamente relacionado con la distribución y la abundancia de las especies en su entorno natural. La ocupación de hábitat se refiere a la presencia o ausencia de una especie en un determinado lugar o hábitat en un momento dado (MacKenzie et al., 2002). La evaluación de la ocupación de hábitat es de gran importancia para comprender la dinámica de las poblaciones, así como para desarrollar estrategias de conservación efectivas (Botero-Delgado, et al., 2012; Figueroa-Fábrega et al., 2018). En los últimos años, se han desarrollado diversas metodologías para la evaluación de la ocupación de hábitat, estas herramientas permiten obtener información detallada sobre la distribución y la abundancia de las especies en su hábitat, lo que facilita la identificación de los factores que afectan a su supervivencia y la elaboración de planes de manejo y conservación de las especies de interés. En la actualidad, una de las metodologías para evaluar la ocupación, es la formulación de modelos de ocupación de hábitat; estos modelos se basan en la probabilidad de que una especie ocupe un hábitat determinado, teniendo en cuenta la presencia o ausencia de la especie y los factores ambientales que pueden influir en su ocupación (MacKenzie et al., 2002; Andrade-Ponce et al., 2021).

Otro aspecto de gran relevancia a evaluar en una población son sus amenazas, ya que pueden influir en el establecimiento de la población y en su éxito reproductivo (Arenas et al., 2020). La fauna tropical es una de las más diversas del planeta, y a su vez, una de las más amenazadas por las actividades humanas como la expansión de la agricultura, la minería, la tala de bosques, la urbanización y la contaminación, entre otros factores (Worthington et al., 2020). La conservación de la fauna tropical se ha convertido en una prioridad global, y la evaluación y mitigación de las amenazas antropogénicas es una tarea fundamental. Para ello, es necesario realizar estudios detallados sobre las amenazas específicas que afectan a cada especie y analizar su impacto en la dinámica poblacional y en la conservación de los hábitats.

La conservación de las tortugas es un tema de gran importancia a nivel global, especialmente en países como Colombia, donde la biodiversidad es extremadamente rica y variada. Las tortugas desempeñan un papel vital en los ecosistemas marinos y terrestres, y su estado de conservación es una preocupación cada vez mayor debido a las amenazas que enfrentan. Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) las principales causas del estado de menaza de las especies de tortugas en el mundo se deben entre otras cosas a la pérdida de hábitat, la caza y el comercio ilegal son solo algunas de las amenazas que enfrentan estas especies en todo el mundo (UICN, 2021).



En Colombia, la situación de las tortugas es particularmente preocupante, ya que, de las 33 especies de tortugas (27 continentales y 6 marinas) identificadas en el país, 18 se encuentran en alguna categoría de amenaza (Andrade-C., 2011), entre las especies de mayor preocupación se encuentra la tortuga del río Magdalena *Podocnemis lewyana*, debido a que es una de las tortugas endémicas de Colombia, pero también una de las que ha presentado mayores declives poblacionales en gran parte de su distribución (Gallego-García y Castaño-Mora, 2008). *P. lewyana* es la tortuga de agua dulce más grande del norte del país, habita los ríos Magdalena, Sinú, San Jorge y Bajo Cauca (Ortíz-Yusty et al., 2014); se alimenta principalmente de las hojas, frutos y semillas que caen al cauce de los ríos en los que se distribuye (González-Zárate, 2011). Históricamente ha representado una importante fuente de alimento para comunidades aledañas a los ríos y sus huevos son consumidos comúnmente a lo largo de su distribución, aspectos que junto con la deforestación y contaminación de los ríos ha llevado a reducciones poblacionales e incluso a extinciones locales en zonas del Caribe colombiano (Hurtado 1973, Castaño-Mora y Medem, 2002).

Si bien, *P. lewyana* es una de las tortugas continentales más investigadas de Colombia, existen poblaciones poco estudiadas debido a la dificultad de acceso que hubo en algunos territorios por el conflicto armado en el país. Entre estas zonas poco accedidas hasta después del postconflicto se encuentra Cambao, un corregimiento del municipio de San Juan de Rio Seco del departamento de Cundinamarca, limitante con el Tolima. Esta zona se encuentra en un enclave de Bosque Seco Tropical, uno de los ecosistemas más amenazados del mundo (Rangel y Arellano, 2008), lo que se ha traducido en fragmentación y pérdida de las coberturas vegetales y el crecimiento de la frontera agropecuaria (González-Zárate, 2014; Páez et al., 2015), aspectos que se sumados a la contaminación del río podrían dificultar el establecimiento exitoso y la ocupación por parte de poblaciones de *P. lewyana*.

Con el fin de abordar aspectos poco conocidos en la población de *P. lewyana* presente en el corregimiento de Cambao, esta investigación tuvo como objetivos estimar el tamaño poblacional de tortugas del Magdalena en el área de estudio; identificar las variables bióticas y abióticas que inciden en la ocupación de hábitats y evaluar las amenazas antropogénicas sobre huevos y tortugas y los efectos de estas entre temporadas climáticas y entre las diferentes etapas de vida de la especie. Esto con el fin de generar información base enfocada en la creación de herramientas que permitan generar estrategias de conservación participativas formuladas a la luz de la ecología de *P. lewyana* para que sean efectivas en el



tiempo y puedan ser un punto de partida para futuras investigaciones y proyectos de conservación de la especie a lo largo de su distribución.

Esquema general de la tesis se muestra a continuación:

Título	TAMAÑO POBLACIONAL, OCUPACIÓN DE HÁBITATS Y AMENAZAS DE <i>Podocnemis lewyana</i> (TESTUDINES: PODOCNEMIDIDAE) EN LOCALIDADES DEL ALTO RÍO MAGDALENA.		
Objetivo general	Determinar el tamaño poblacional, la ocupación de hábitat y las amenazas de <i>Podocnemis lewyana</i> en un sector del alto río Magdalena, Colombia.		
Objetivos específicos	Establecer el tamaño de la población de <i>Podocnemis lewyana</i> en un sector de alto río Magdalena, Colombia.	Evaluar los factores que determinan la ocupación de hábitats de <i>Podocnemis lewyana</i> en un sector de alto río Magdalena, Colombia.	Determinar las amenazas antropogénicas directas sobre adultos y huevos de <i>P. lewyana</i> en un sector de Alto río Magdalena, Colombia.
Productos	La tortuga <i>Podocnemis lewyana</i> en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia: Tamaño poblacional, modelos de ocupación y amenazas antropogénicas		

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el tamaño poblacional de *Podocnemis lewyana* en un sector de alto río Magdalena, en el departamento de Cundinamarca? ¿Cuáles son los factores que determinan la ocupación de hábitats en la población de estudio? ¿Cuáles son las amenazas antropogénicas sobre adultos y huevos de la población de *P. lewyana* en el área de estudio?

MARCO CONCEPTUAL

Ecología de poblaciones

La ecología en una definición alternativa se entiende como el estudio de la abundancia y distribución de los organismos (Andrewartha 196; Krebs 1994). Así, la ecología de poblaciones busca identificar los factores que controlan las tasas de crecimiento, abundancia y distribución de las poblaciones biológicas. Una población biológica es un grupo de organismos que se entrecruzan y que se encuentran en la misma área al mismo tiempo (Odum, 1972). Las poblaciones son consideradas una unidad funcional ya que cada individuo que la confirman interactúa entre sí y se da entrecruzamiento entre ellos. Autores como Turchin (2003), agrega al concepto la idea de que los organismos se encuentran en un área de tamaño suficiente que permita la dispersión y migración y así mismo, en el que los cambios poblacionales estén dados por las natalidades y mortalidades (Rockwood, 2015).



La ecología de poblaciones es predictiva y propone tres conceptos fundamentales para su desarrollo Turchin (2003), el primero es que las poblaciones tienden a crecer de manera exponencial, es decir, sin la retroalimentación ambiental dependiente de la densidad, todas las poblaciones tienen un patrón de crecimiento exponencial no lineal. El segundo, es que las poblaciones presentan autolimitación, lo que indica que el crecimiento per cápita de la población, se reduce con la disminución de los recursos disponibles y el tercero es que la interacción entre depredador y presa es dinámica en el tiempo (Rockwood, 2015). Desde la ecología de poblaciones se pueden abarcar diferentes aspectos de una población como la tasa de crecimiento; el tamaño; la estructura; la densidad; el uso y ocupación de hábitats; la reproducción; la dieta; entre otras. Varios de estos aspectos se abarcan en este trabajo de investigación y se describen a continuación.

Tamaño y densidad poblacional

El tamaño poblacional, es la cantidad de organismos que compone una población, es una cuantificación de su abundancia. El tamaño poblacional es dinámico y su crecimiento está definido como el resultado de cuatro parámetros demográficos básicos: los nacimientos, las inmigraciones, las muertes y las emigraciones (Rockwood, 2015), los cuales son medidos en tasas. La tasa de natalidad, indica la cantidad de individuos que nacen por unidad de tiempo y está dada por la reproducción; la tasa de mortalidad, indica la cantidad de individuos que mueren por unidad de tiempo; la tasa de emigración corresponde a la cantidad de individuos que salen de la población; y, por último, la tasa de inmigración corresponde a los individuos que ingresan a la población (Valdés y Cano-Santana, 2005). El tamaño poblacional se relaciona directamente con el establecimiento de las poblaciones en un sitio, y como resultado con la probabilidad de extinción (Reed, 2004), ya que a menor tamaño poblacional menor será su variabilidad genética y mayor la probabilidad de endogamia y extinción (Vergeer et al., 2003), ya que los efectos de la endogamia en una población pueden llegar a ser realmente fuertes (Kruuk et al., 2002) Es este uno de los aspectos más importantes del estudio de poblaciones, principalmente cuando se aplica a especies altamente amenazadas ya que permite tener una apreciación más realista de la situación de una población y de esta manera tomar las medidas de conservación pertinentes.

La densidad, por su parte, está definida por la cantidad de individuos por unidad de área, genera información sobre qué tan cerca se encuentran los individuos de una



población y de este modo, es posible hacer apreciaciones sobre la intensidad de las interacciones entre los individuos de una población. Se asume que, a una mayor densidad poblacional, habrá una mayor intensidad en las interacciones, esta intensidad está dada, por ejemplo, por la competencia por recursos, territorio y pareja durante la temporada reproductiva (Valdés y Cano-Santana, 2005). Por otro lado, el estudio de la densidad poblacional permite identificar el efecto de diferentes presiones antropogénicas, es decir, permite definir qué tipo de actividades humanas, afectan en mayor medida a las poblaciones naturales (Martella et al., 2012). Parámetros como la densidad poblacional, en conjunto con otros como el tamaño y la estructura son esenciales en el manejo de la fauna silvestre y los ecosistemas en que se desarrollan (Begoña, 2002).

Ocupación de hábitat

La ocupación de hábitat según MacKenzie et al., (2002), es la probabilidad de que una especie esté presente en determinado sitio. Otra definición indica que la ocupación de hábitat es la probabilidad que un sitio con disponibilidad de recursos sea usado por lo menos en una ocasión durante un periodo de tiempo (Lele et al., 2013). La ocupación de hábitats se utiliza para caracterizar procesos poblacionales, demográficos o ecológicos de las especies (Lele et al., 2013).

Para la definición de los sitios se deben tener en cuenta los recursos disponibles tanto en el espacio como en el tiempo (Lele et al., 2013) que pueden ser usados por la especie como por ejemplo alimento, refugios, sitios para forrajeo, reproducción y de anidación. De modo que, independientemente de la actividad que realicen, los sitios usados por una especie se consideran ocupados (Buskirk and Millspaugh 2006). Ahora bien, el uso va estar mediado por la selección que la especie realice dentro de dicha zona de acuerdo al tipo de recursos disponibles (Lele et al., 2013). Por lo cual se puede decir que la selección se define como la elección o decisión de usar o no un determinado recurso (Manly et al., 2002). Dicha decisión estará influenciada por la oferta del recurso, la importancia que este representa para la especie u otros factores que pueda percibir como favorables (Lele et al., 2013); lo que hace que la selección sea una medida primordial para definir el uso y por ende la ocupación de hábitat.

La importancia de seleccionar un hábitat que otorgue las mejores condiciones para su desarrollo se ve reflejada directamente en el éxito reproductivo o “*fitness*” tanto de los individuos como de la especie (Darwin, 1859; Fretwell y Lucas, 1970), lo que refleja la gran importancia de este aspecto ecológico de las especies, ya que por



medio del estudio del uso y ocupación de una población o especie es posible obtener información sobre el estado de conservación y la salud de estas. Las especies altamente selectivas al momento de elegir un hábitat son conocidas como especialistas, a diferencia de estas, las especies que pueden hacer uso de una variedad más amplia de hábitats para resolver problemas o suplir necesidades ecológicas se les denomina oportunistas (Cassini, 2013).

Modelos de ocupación

Los modelos de ocupación son modelos matemáticos de tipo jerárquico utilizados actualmente para evaluar la ocupación de hábitat a nivel poblacional. Este tipo de modelos nos permiten hacer inferencias sobre los efectos que tienen las diferentes covariables bióticas o abióticas sobre la ocupación de hábitats. Entre las grandes ventajas de esta metodología, se encuentra la evaluación e inclusión de la detección en la construcción de los modelos (Kéry et al., 2013), lo que evita subestimar o sesgar las estimaciones.

Este tipo de modelos incluyen dos procesos, uno ecológico que representa el proceso biológico que para este caso será la ocupación, y uno observacional, es decir el proceso de registro de los datos y de estimación de la probabilidad de detección. En los modelos de ocupación, el proceso ecológico está representado con la letra griega psi (ψ) y se define como la probabilidad de que un sitio esté ocupado por la especie de interés, para este proceso existen dos posibilidades, que la especie de estudio ocupe un sitio con una probabilidad de ψ , o que el sitio no este ocupado por la especie con una probabilidad de $1 - \psi$. Este proceso, depende a su vez del proceso observacional denominado p , para el cual en el caso de que la especie ocupe un sitio, se tienen dos escenarios posibles. El primero es que la especie sea detectada con un valor de probabilidad p y el segundo es que la especie de interés no sea detectada en el sitio con una probabilidad $1 - p$ (MacKenzie et al., 2017).

Matemáticamente el proceso ecológico está definido como una variable aleatoria binaria z_i que define el estado de ocurrencia para cada sitio i , la probabilidad de esta variable tiene una distribución Bernoulli que mide la detección y la no detección de la especie en cada evento (MacKenzie et al., 2017) $Z_i \sim \text{Bernoulli}(\psi_i)$. El proceso observacional se define como una variable aleatoria y_{ij} para cada sitio i y cada evento de muestreo j , también tiene una distribución Bernoulli y su probabilidad de detección está definida como p_{ij} (MacKenzie et al., 2002). Así las cosas, al



relacionar el proceso ecológico con el observacional se genera el producto de las dos variables aleatorias que explican cada proceso ($z_i * p_{ij}$) de modo que las y_{ij} depende de la ocurrencia de la especie ($z_i = 1$) en cada sitio i : $y_{ij}|z_i \sim Bernoulli(z_i * p_{ij})$ (MacKenzie et al., 2017; Andrade-Ponce et al., 2021).

Para que los modelos de ocupación sean desarrollados correctamente deben cumplirse los siguientes supuestos para evitar sesgos sobre las estimaciones (Kéry y Royle 2015; Andrade-Ponce et al., 2021): 1. Supuesto de población cerrada; 2. La probabilidad de detección y de ocupación debe ser igual en todos los sitios, se lo contrario deben modelarse mediante las covariables; 3. Independencia temporal; 4. Independencia espacial y 5. Seguridad en la identificación de la especie para evitar falsas presencias.

Los modelos de ocupación están conformados por tres elementos: los sitios, los eventos de muestreo y las temporadas de muestreo. Un sitio es la unidad mínima de muestreo y es el lugar o área que la especie puede llegar a ocupar (Andrade-Ponce et al., 2021). La definición de los sitios se puede dar como un área discreta, un punto en el espacio o como un área seleccionada de manera arbitraria por el investigador según la historia de vida conocida de la especie. El tamaño de un sitio influye directamente sobre la estimación de la ocupación, ya que, a mayor tamaño, mayor será la probabilidad de ocupación y viceversa. Sin embargo, la definición del tamaño de los sitios dependerá del objetivo de la investigación. Por su parte, los eventos de muestreo son la unidad temporal en la que se detecta la especie de interés en cada sitio (Charbonnel et al., 2014), este elemento de los modelos es importante ya que afecta la probabilidad de detección (p) y por ende la precisión de la estimación de la ocupación (ψ) (Hamel et al., 2013; Rovero y Zimmermann, 2016), es indispensable que los eventos de muestreo cuenten con una independencia temporal entre sí para asegurar los supuestos de los modelos y así generar estimaciones válidas sobre la población de estudio. Finalmente, las temporadas de muestreo está definida como la duración total del mismo, debe definirse teniendo en cuenta el supuesto de población cerrada y para ello es indispensable tener en cuenta el ciclo de vida y los tiempos reproductivos de la especie e interés.

Amenazas de la biodiversidad tropical

Los ecosistemas tropicales se encuentran sometidos a una gran diversidad de presiones directas e indirectas que incluyen el constante crecimiento de la frontera agrícola que a su vez conlleva a la contaminación por agroquímicos de suelos y cuerpos de agua (Lanz et al., 2018; Reyes-Palomino y Cano-Ccoa, 2022), la



deforestación, la pérdida y fragmentación de hábitats (Ren et al., 2016), cambios en el uso de los suelos (Butchart et al., 2010), la cacería y tráfico de fauna silvestre (Kirkland et al., 2018) y el cambio climático (Sartorello et al., 2020; Reyes-Palomino y Cano-Ccoa, 2022), entre otras. Estas presiones están generando alteraciones importantes de manera acelerada en los ecosistemas, lo que dificulta la conservación de las especies tropicales.

Puntualmente para las especies de tortugas de agua dulce, existen agravantes que hacen que las amenazas anteriormente mencionadas generen alteraciones a nivel reproductivo y de sobrevivencia, lo que ha llevado a que gran parte de las especies estén actualmente dentro de alguna categoría de amenaza según la IUCN y CITES. Entre los aspectos agravantes se encuentra por ejemplo la edad reproductiva de las tortugas y la temperatura pivotal, ya que amenazas como el consumo de huevos y adultos y el calentamiento afectan el éxito reproductivo de cada especie (Castillo, 2021). Factores como las malas prácticas pesqueras, el tráfico ilegal, la explotación minera, la deforestación, el cambio en el uso de los suelos y la obstrucción de áreas de reproducción complementan las amenazas más comunes para las tortugas de agua dulce (Gallego-García y Castaño-Mora, 2008; González-Zárate et al., 2014).

ESTADO DEL ARTE

En Colombia se han desarrollado diferentes investigaciones en ecología población de tortugas continentales. Los cuales se han realizado en gran variedad de especies como *Rhinoclemmys nasuta* (Giraldo 2012; Pérez y Alegría 2009; Garcés-Restrepo et al., 2013), los cuales incluyen tamaño y estructura poblacional, dimorfismo sexual, tasas de crecimiento, rango de hábitat y aspectos reproductivos. En *Trachemmys scripta* (Fritz y Wilhelma, 1998; Bernal-M et al., 2004; Gradela et al., 2017; González, Ruiz y Puente, 2018; Works y Olson, 2018) se han adelantado estudios sobre genética poblacional, aspectos reproductivos, conductas de cortejo, aspectos dietarios, amenazas y estado de conservación.

Para *T. callisrostris* (Restrepo et al., 2006, 2007; Daza y Páez, 2007; Zapata et al., 2014; Rendón et al., 2014; De Vivero y De la Ossa, 2018) las investigaciones desarrolladas se han enfocado en hábitos dietarios, morfometría, presencia de metales pesados, selección de sitios de anidación y ecología reproductiva. Para el caso de *Chelydra acutirostris* son pocos los estudios realizados, se han desarrollado algunos acercamientos a la densidad y estructura poblacional, la estructura etaria y la morfometría (Young-Valencia et al., 2014; Arango-Lozano, 2017). Se han llevado a cabo investigaciones en *Kinosternon leucostomum* (Rodríguez-Murcia, 2014),



enfocadas en la estructura poblacional y el dimorfismo sexual. Para *K. scorpioides* se han realizado investigaciones a nivel de ecología poblacional abarcando la estructura, abundancia y conservación (Forero-Medina et al., 2007; Bedoya-Cañón et al., 2018). Y para el caso de *K. dunni*, una de las especies menos estudiadas del país, solo se registran documentos de inventarios de especies y algunos artículos enfocados a su distribución (Rentería-Moreno et al., 2012).

Se han desarrollado varias investigaciones para los podocnemídeos, entre estos, para *Podocnemis expansa*, se encuentran trabajos sobre los usos que se han dado tanto histórica como actualmente, la estructura genética, aspectos de su ecología reproductiva como la anidación, las temperaturas de incubación y alometría, así como los efectos del cambio climático en la anidación y la conservación (Ojasti, 1967; Páez y Bock, 1998; Bock et al, 2001; Ferreira y Castro, 2010; Figueroa et al., 2013; Eisemberg et al., 2016). Por otro lado, para *P. unifilis* se han adelantado varios proyectos de investigación sobre su dieta, su ecología reproductiva como las temperaturas de incubación, la anidación, uso actual e histórico, amenazas y depredación, estructura poblacional y tamaño de madurez sexual (Thorbjarnarson et al., 1993; De Souza y Vogt, 1994; Fachín-Terán y Von Mülhen, 2003; Fachín-Terán y Vogt, 2004; Salera et al., 2009; Figueroa et al., 2013). Para *P. vogli* se encuentran estudios sobre el estado de conocimiento, conservación y amenazas, depredación de nidos por parte de insectos, demografía y uso de hábitat (Ortiz-Moreno y Rodríguez-Pulido, 2017; Seguro, 2018; López-Martínez et al., 2020). Y para *P. sextuberculata*, una de las especies menos estudiadas de la familia, se han realizado algunas investigaciones sobre sus movilizaciones estacionales, su biología reproductiva (Fachín-Terán et al., 2006; Haller y Rodrigues, 2006; Fachín-Terán y Vogt, 2014). En cuanto a la ocupación, en Colombia se han adelantado investigaciones enfocadas a la distribución potencial de tortugas (Forero-Medina et al., 2014; Ortíz-Yusty et al., 2014) la selección de sitios de anidamiento en *Trachemys callirostris* (Restrepo et al., 2006) en el cual se documenta la preferencia por sitios en los primeros cinco metros de costa con cobertura vegetal. Sin embargo, en Colombia hasta el momento, no se han desarrollado modelos que expliquen la ocupación de hábitat en tortugas continentales.

Puntualmente para *Podocnemis lewyana*, el modelo de estudio de este proyecto, se han desarrollado variedad de investigaciones, sin embargo, estas han tenido lugar principalmente en las cuencas media y baja del Magdalena y en el río Sinú. Estos trabajos han abarcado aspectos como la distribución potencial, en la cual, se registra un rango geográfico potencial a lo largo del Magdalena (Restrepo et al., 2008) y es la temperatura, la variable climática que más influye en la distribución de



la especie (Ortiz-Yusty et al., 2014). Castaño-Mora (1986) hizo los primeros reportes sobre la ecología reproductiva de la especie y registra como amenaza la cacería de tortugas y extracción de huevos para consumo y comercialización. A nivel poblacional, se registran características demográficas de una población presente en el Magdalena Medio, departamento de Antioquia (Páez et al., 2015). Algunos estudios abordan la ecología y estado de conservación de una población ubicada en el río Sinú, reportan una población pequeña, así como algunas amenazas diferenciales como la inundación de las playas, el daño de los nidos por extracción de huevos y la minería; también, reportan tramos del río con ausencia de individuos probablemente por falta de las condiciones adecuadas para su establecimiento (Gallego-García y Castaño-Mora, 2008).

Se identificó la influencia de la temperatura de incubación en la determinación de los sexos y se determinaron las temperaturas pivotaes para la especie (Ceballos et al., 2014; Gómez-Saldarriaga et al., 2016). Entre los últimos estudios publicados se encuentran el de (Vallejo-Betancur et al., 2018), quienes analizaron las percepciones de las comunidades humanas que han sido partícipes de iniciativas de educación ambiental y conservación de tortugas en los departamentos de Antioquia, Sucre, Córdoba y Cesar. Ellos encontraron diferencias importantes en la frecuencia de uso de tortugas entre las comunidades que han participado en iniciativas, respecto a las que no. Adicionalmente, reportan una reducción en la frecuencia de uso entre el año 2010 y el 2016. Sin embargo, encontraron que el comercio de tortugas estaba presente y sin diferencias significativas entre las comunidades con y sin experiencias de conservación participativa.

Para el caso del Alto Magdalena, existen algunos estudios desarrollados en una población de Prado, Tolima. Las investigaciones en esta población se han enfocado principalmente en aspectos demográficos y de estructura poblacional, y es hasta ahora la población más abundante registrada. Sin embargo, cabe resaltar que esta población se encuentra bajo efectos de la represa de Hidroprado, lo que puede generar un efecto de bucle que impide la movilización de individuos a otros sectores del río (González-Zárate et al., 2011). Entre los estudios adelantados para esta población, se encuentra una caracterización del hábitat (González-Zárate et al., 2011), la estructura, abundancia y conservación de la población (González-Zárate et al., 2014), quien registró como principales amenazas la alteración de sus hábitats, la pesca y cambios en el caudal natural del río. Por otro lado, reporta una población abundante, aunque con pocos individuos juveniles, pocos adultos de gran tamaño y una diferencia en la relación de sexos, con una mayor cantidad de hebras que de machos. Se reporta una variabilidad genética extremadamente baja para la especie,



estudio en el cual incluye muestras genéticas de diferentes poblaciones a lo largo de su distribución, entre estas la de Prado, Tolima como única representante de la cuenca Alta de Magdalena en la investigación (Vargas-Ramírez et al., 2012).

Muñoz-Castro y Carvajal-Cogollo (en prensa) entre 2018 y 2019 estudiaron una población del Alto Magdalena e identificaron algunas amenazas, entre las cuales se destaca la extracción de huevos para consumo y comercio, se identificó una presunta red de tráfico que inicia en el corregimiento de estudio, aparentemente hacia el departamento de Santander, en donde este producto tiene mayor acogida. Según los pobladores y las observaciones personales, el consumo de tortugas adultas no es común, sino que, se centra únicamente en los huevos. Adicionalmente la influencia de la minería es baja y no se registran grandes inundaciones en las playas de anidación, lo que evidencia una dinámica diferente en cuanto a sus amenazas, lo que podría dar lugar al establecimiento de la población aparentemente abundante que se observó en el área de estudio.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el tamaño poblacional, la ocupación de hábitat y las amenazas antropogénicas de *Podocnemis lewyana* en un sector del alto río Magdalena, Colombia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer el tamaño de la población de *Podocnemis lewyana* en un sector de alto río Magdalena, Colombia.

Evaluar los factores que determinan la ocupación de hábitats de *Podocnemis lewyana* en un sector de alto río Magdalena, San Juan de Rioseco, Cundinamarca-Colombia.

Determinar las amenazas antropogénicas directas sobre adultos y huevos de *P. lewyana* en un sector de Alto río Magdalena, Colombia.

PRODUCTOS

Durante el desarrollo de esta maestría se realizaron los siguientes productos:



1. Ponencia oral en el III Congreso Colombiano de Herpetología, llevado a cabo en Cali, con el trabajo titulado: Amenazas de *Podocnemis lewyana* y sus implicaciones en el uso de hábitat en la cuenca alta del río Magdalena.
2. Capítulo de libro en J.E. Carvajal-Cogollo (Ed.) Fauna Silvestre en gradientes altitudinales de los Andes Nororientales de Colombia: Patrones de diversidad α y β , titulado: Reptiles en gradientes altitudinales de los Andes Nororientales de Colombia: Efecto sobre la composición y riqueza de especies. Editorial UPTC. Tunja-Boyacá. ISBN: 978-958-660-702-5.
3. Artículo de investigación en revista indexada: Carvajal-Cogollo, J.E., Quiroga-Huertas, K.A., Muñoz-Castro, J.A., Hernández-Avenidaño, P., González-Durán, G.A. y Meza-Joya, F.L. 2023. Rediscovery and phylogenetic position of the glassfrog "*Centrolene*" *acanthidiocephalum* (Ruiz-Carranza and Lynch, 1989) (Anura: Centrolenidae) with the description of its advertisement call and comments on clutches and tadpoles. Zootaxa.

IMPACTO

Esta investigación tuvo impacto a nivel social, académico y científico, ya que durante su desarrollo se realizaron actividades de concienciación ambiental, así como de educación ambiental con la comunidad de pescadores presente en el área de estudio buscando involucrar e incentivar a la comunidad en procesos participativos de conservación. A nivel académico y científico, este trabajo es pionero en la implementación de modelos estadísticos para la estimación del tamaño poblacional y la evaluación de la ocupación en tortugas, presentando así una alternativa novedosa en el estudio de este grupo taxonómico, lo que puede ayudar a reducir algunas de las dificultades que se presentan comúnmente en el trabajo de campo, como por ejemplo el recuento de individuos.

LITERATURA CITADA

- Andrade-C., M. (2011). Estado del conocimiento de la Biodiversidad en Colombia y sus Amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción Ciencia-Política. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 35 (137), 491-507.
- Andrade-Ponce, G., Cepeda-Duque, J. C., Mandujano, S., Velásquez-C, K. L., Gómez-Valencia, B., y Lizcano, D. J. (2021). Modelos de ocupación para datos de cámaras trampa. Mammalogy Notes, 7(1), 200-200.
- Andrewartha, H. G. (1961) Introduction to the study of animal populations. University of Chicago Press, Chicago.



- Arango-Lozano, J., Young-Valencia, K., Giraldo, A., y Botero-Botero, Á. (2017). Estructura etaria y morfometría poblacional de la tortuga pímpano (*Chelydra acutirostris*, Peters, 1862) (Chelydridae) en tres afluentes del río la vieja, departamento del Quindío, Colombia. Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 21(1), 122-137.
- Arenas, A., Gamarra, N. Y. C., Alarcon, J. A. P., y Mendoza, A. A. C. (2020). Éxito reproductivo del *Haematopus palliatus* "Ostrero común" en el Circuito Marvilla, Pantanos de Villa, Lima-Perú. South Sustainability, 1(2), e020-e020.
- Bedoya-Cañón, M. A., Muñoz-Ávila, J. A., y Vargas-Salinas, F. (2018). Morphology and natural history of the mud turtle *Kinosternon scorpioides scorpioides* in populations of northern Colombia. Herpetological Review, 49(2), 210-214
- Begoña, M. (2002). Inventario y seguimiento en poblaciones de especies amenazadas. Biología de la conservación de plantas amenazadas. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid, España, 27-42.
- Bernal, M., Daza, J.M., and Páez, V.P. (2004). Ecología reproductiva y cacería de la tortuga icotea *Trachemys scripta callirostris* (Testudinata: Emydidae), en el área de la Depresión Momposina, norte de Colombia. Revista de Biología Tropical 52:229–238
- Bock, B. C., Paez, V. P., y White, M. M. (2001). Genetic population structure of two threatened South American river turtle species, *Podocnemis expansa* and *Podocnemis unifilis*. Chelonian Conservation and Biology, 4(1), 47-52
- Buskirk, S. W., y Millsbaugh, J. J. (2006). Metrics for studies of resource selection. The Journal of Wildlife Management, 70(2), 358-366.
- Butchart, S. H., Walpole, M., Collen, B., Van Strien, A., Scharlemann, J. P., Almond, R. E., ... y Watson, R. (2010). Global biodiversity: indicators of recent declines. Science, 328(5982), 1164-1168.
- Cassini, M. H. (2013). Distribution ecology. From Individual Habitat Use to Species Biogeographical Range New York. Springer.
- Castaño-Mora, O. V., y Medem F. (2002). *Podocnemis lewyana*. In: Castaño-Mora OV. Libro Rojo de Reptiles de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Conservación Internacional Colombia. Bogotá, Colombia. p. 92-94
- Castaño-Mora, O. V. (1986). Contribución al conocimiento de la reproducción de *Podocnemis lewyana* Dumeril (Reptilia: Quelonia: Pelomedusidae). Caldasia, 665-667.
- Castillo, N. B. (2021). Calentamiento global y su impacto en las tortugas arrau (*Podocnemis expansa*): especie en extinción en el río Suripá: Global warming and its impact on arrau turtles (*Podocnemis expansa*): An extinction species in the suripá river. Revista Ambientellania, 4(2).



- Ceballos, C. P., Romero, I., Gómez Saldarriaga, C. y Miranda, K. (2014). Reproduction and conservation of the Magdalena River turtle (*Podocnemis lewyana*) in the Clarococorná Sur River, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 393-400.
- Charbonnel, A., D'Amico, F., Besnard, A., Blanc, F., Buisson, L., Némoz, M., Laffaille, P. (2014). Spatial replicates as an alternative to temporal replicates for occupancy modelling when surveys are based on linear features of the landscape. *Journal of Applied Ecology*. 51(5):1425–1433. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12301>
- Darwin, C. (1859) *The Origin of the Species by Means of Natural Selection*. John Murray, London, UK.
- Daza, J. M., y Páez, V. P. (2007). Morphometric variation and its effect on reproductive potential in female Colombian slider turtles (*Trachemys callirostris callirostris*). *Herpetologica*, 63(2), 125-134.
- De Souza, R. R., y Vogt, R. C. (1994). Incubation temperature influences sex and hatchling size in the neotropical turtle *Podocnemis unifilis*. *Journal of Herpetology*, 453-464.
- De Vivero, MM y De La Ossa, J. (2018). Hábitos alimentarios de *Trachemys callirostris* (Gray, 1856) (Testudines: Emydidae), San Benito Abad, Sucre, Colombia. *Revista India de Ciencia y Tecnología*
- Dodd, S. C., y Helenurm, K. (2002). Genetic diversity in *Delphinium variegatum* (Ranunculaceae): A comparison of two insular endemic subspecies and their widespread mainland relative. *American Journal of Botany*, 89(4), 613-622. <https://doi.org/10.3732/ajb.89.4.613>
- Eisemberg, C. C., Machado Balestra, R. A., Famelli, S., Pereira, F. F., Diniz Bernardes, V. C., y Carl Vogt, R. (2016). Vulnerability of Giant South American Turtle (*Podocnemis expansa*) nesting habitat to climate-change-induced alterations to fluvial cycles. *Tropical Conservation Science*, 9(4), 1940082916667139.
- Fachín-Terán, A., y Vogt, R. C. (2004). Estrutura populacional, tamanho e razão sexual de *Podocnemis unifilis* (Testudines, Podocnemididae) no rio Guaporé (RO), norte do Brasil. *Phyllomedusa*, 3(1), 29-42
- Fachín-Terán, A., y Von Mülhen, E. M. (2003). Reproducción de la taricaya *Podocnemis unifilis* Troschel 1848 (testudines: podocnemididae) en la várzea del medio solimões, Amazonas, Brasil. *Ecología Aplicada*, 2(1), 125-132.
- Fachín-Terán, y Vogt, R. C. (2014). Alimentación de *Podocnemis Sextuberculata* (Testudines: Podocnemididae) en la Reserva Mamirauá, Amazonas, Brasil. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 285-298.
- Ferreira, P. D., y Castro, P. D. T. A. (2010). Nesting ecology of *Podocnemis expansa* (Schweigger, 1812) and *Podocnemis unifilis* (Troschel, 1848)(Testudines, Podocnemididae) in the Javaés River, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 70(1), 85-94.



- Figuroa-Fábrega, L., Bravo-Samaha, J., Silva-Haun, R., y Padilla, T. (2018). Dinámica metapoblacional, ocupación espacial y migración en bivalvos de importancia comercial: el caso de la almeja *Tawera gayi* (Bivalvia: Veneridae) en el Mar Interior de Chiloé. In *Anales del Instituto de la Patagonia* (Vol. 46, No. 1, pp. 7-21). Universidad de Magallanes.
- Figuroa, I. C., Fachín-Terán, A., y Duque, S. R. (2013). Hábitat, uso y estructura poblacional de las tortugas acuáticas *Podocnemis unifilis* y *Podocnemis expansa* (Testudines: Podocnemididae) en el resguardo Curare-Los Ingleses, La Pedrera, Amazonas, Colombia. *Mundo Amazónico*, 4, 153-173
- Forero-Medina, G., Castaño-Mora, O. V., y Montenegro, O. (2007). Abundance, population structure, and conservation of *Kinosternon scorpioides albogulare* on the Caribbean Island of San Andres, Colombia. *Chelonian Conservation and Biology*, 6(2), 163-169
- Fretwell, S.D. y Lucas, H.L.J. (1970) On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds. I. Theoretical development. *Acta Biotheoretica*, 14, 16– 36.
- Fritz, U., y Wilhelma, Z. B. G. (1998). Courtship behavior and systematics in the subtribe Nectemydina. 1. The genus *Trachemys*, especially *Trachemys scripta callirostris* (Gray, 1855). *Bull. Chicago Herpetol. Soc*, 33, 225-236.
- Gallego-García N. y Castaño-Mora OV. (2008). Ecology and status of the Magdalena River turtle, *Podocnemis lewyana*, a Colombian endemic. *Chelonian Conserv Biol* 7(1):37-44.
- Garcés-Restrepo, M. F., Giraldo, A., y Carr, J. L. (2013). Population ecology and morphometric variation of the chochoan river turtle (*Rhinoclemmys nasuta*) from two localities on the Colombian Pacific coast. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 17(2), 160-171
- Giraldo, A. (2012). Tamaño y estructura poblacional de la tortuga sabaletera (*Rhinoclemmys nasuta*, Testudines: Geoemydidae) en un ambiente insular del Pacífico colombiano. *Caldasia*, 34(1).
- Gómez-Saldarriaga, C., Valenzuela, N., y Ceballos, C. P. (2016). Effects of incubation temperature on sex determination in the endangered Magdalena river turtle, *Podocnemis lewyana*. *Chelonian Conservation and Biology*, 15(1), 43-53.
- González-Zárate A. (2010). Caracterización del hábitat, uso de recursos y estado de conservación de la tortuga de río *Podocnemis lewyana*, en el río Prado, aguas abajo del embalse de Hidroprado, Tolima, Colombia. [Tesis de maestría]. Colombia. Bogotá. MSc Biología, Línea de Manejo y Conservación de Vida Silvestre. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. 129 p.
- González-Zárate, A., Montenegro, O. L., y Castaño-Mora, O. V. (2011). Habitat characterization of the river turtle *Podocnemis lewyana* in the Prado river, downstream of Hidroprado dam, Tolima, Colombia. *Caldasia*, 33(2), 471-493.



- González-Zárate, A., Montenegro, O., Castaño-Mora, O. V., y Vargas-Ramírez, M. (2014). Abundancia, estructura poblacional y conservación de *Podocnemis lewyana* (Podocnemididae) en el río Prado, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 351-361.
- González-Zárate, A., Montenegro, O., Castaño-Mora, O. V., y Vargas-Ramírez, M. (2014). Abundancia, estructura poblacional y conservación de *Podocnemis lewyana* (Podocnemididae) en el río Prado, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 351-361.
- González, N., Ruiz, J., y Puente, S. (2018). On the status of red-eared slider, *Trachemys scripta elegans* (Wied, 1838) (Testudines, Emydidae) with evidences of its reproduction in the wild, Chile. *Biodiversity Int J*, 2(3), 292-295
- Gradela, A., Santiago, T. O. C., Pires, I. C., Souza Silva, A. D. C., de Souza, L. C., de Faria, M. D., Pereira Neto, J., Milanelo, L. (2017). Sexual dimorphism in Red-Eared sliders (*Trachemys scripta elegans*) from the wild animal triage center of the Tiete ecological park, São Paulo, Brazil. *Acta Scientiae Veterinariae*, 45, 10. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.80442>
- Haller, É. C. P., y Rodrigues, M. T. (2006). Reproductive biology of the Six-tubercled Amazon River Turtle *Podocnemis sextuberculata* (Testudines: Podocnemididae), in the biological reserve of rio Trombetas, Pará, Brazil. *Chelonian Conservation and Biology*, 5(2), 280-284.
- Hamel, S., Killengreen, S. T., Henden, J. A., Eide, N. E., Roed-Eriksen, L., Ims, R. A., Yoccoz, N. G. (2013). Towards good practice guidance in using camera-traps in ecology: influence of sampling design on validity of ecological inferences. *Methods in Ecology and Evolution*. 4(2):105–113. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2012.00262.x>.
- Hurtado, N. (1973). Algunos aspectos bioecológicos de *Podocnemis lewyana* (Dumeril, 1984) (Testudinata: Pleurodira: Pelomedusidae 1830). *Biol. 1. La Dorada, Caldas, Colombia: Centro de Investigaciones Biológicas Pesqueras del río Magdalena*, 80 pp.
- Kass, N. A., Williams, J. D., y Kacoliris, F. P. (2020). Ecología espacial, dinámica poblacional y conservación de la rana manchada de Somuncurá *Atelognathus reverberii* (Ceí 1969). *Investigación Joven*, 7(2), 384-385.
- Kéry, M., y Royle, A. (2015). *Applied Hierarchical modeling in ecology: Analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS - 1st Edition*. Elsevier
- Kéry, M., Guillera-Arroita, G. y Lahoz-Monfort, J. J. (2013). Analysing and mapping species range dynamics using occupancy models. *Journal of Biogeography*, 40(8), 1463-1474.



- Krebs, C. J. (1994) Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance, 4th edn. Harper Collins College Publishers, New York
- Kruuk, L. E., Slate, J., Pemberton, J. M., Brotherstone, S., Guinness, F., y Clutton-Brock, T. (2002). Antler size in red deer: heritability and selection but no evolution. *Evolution*, 56(8), 1683-1695
- Lanz, B., Dietz, S. y Swanson, T. (2018). The Expansion of Modern Agriculture and Global Biodiversity Decline: An Integrated Assessment. *Ecological Economics*, 144, 260-277. 10.1016/J.ECOLECON.2017.07.018
- Lele, S. R., Merrill, E. H., Keim, J., y Boyce, M. S. (2013). Selection, use, choice and occupancy: clarifying concepts in resource selection studies. *Journal of Animal Ecology*, 82(6), 1183-1191.
- López-Martínez, G. A., Rondón-Zabala, J. I., Martínez-Parales, E., Moya-Arévalo, R. H., y Rodríguez, O. A. (2020). Depredación por insectos de nidos y neonatos protegidos de *Podocnemis vogli* (sabanas inundables del Casanare). *Acta Biológica Colombiana*, 25(3).
- MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Lachman, G. B., Droege, S., Andrew Royle, J., and Langtimm, C. A. (2002). Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*, 83(8), 2248-2255.
- MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Royle, J. A., Pollock, K. H., Bailey, L. L., y Hines, J. E. (2017). *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*. – Elsevier.
- Manly, B.F.J., McDonald, L.L., Thomas, D.L., McDonald, T.L. y Erickson, W.P. (2002). *Resource Selection by Animals: Statistical Design and Analysis for Field Studies* (second ed). Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, USA.
- Martella, M. B., Trumper, E., Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., y Gleiser, R. M. (2012). *Manual de Ecología. Poblaciones: Introducción a las técnicas para el estudio de las poblaciones silvestres*. *Reduca (Biología)*, 5(1).
- Muñoz-Castro J.A. y Carvajal-Cogollo J. (En preparación). Uso y caracterización de hábitats, anotaciones sobre la ecología reproductiva y amenazas de *Podocnemis lewyana* (Testunides: Podocnemididae) en el Alto Magdalena, Colombia
- Odum, E. P. (1972). Ecosystem theory in relation to man. *Ecosystem structure and function*. Oregon State University Press, Corvallis, OR, 11-24.
- Ojasti (1967). Consideraciones sobre la ecología y conservación de la tortuga *Podocnemis expansa* (Chelonia, Pelomedusidae). In *Atas Simposio Sobre Biota Amazônica* (Vol. 7, pp. 201-206).
- Ortiz-Moreno, M. L., y Rodríguez-Pulido, J. A. (2017). Estado del conocimiento y amenazas de la tortuga sabanera (*Podocnemis vogli*, Podocnemididae) en Colombia. *Orinoquia*, 21(1), 26-33.



- Ortiz-Yusty, C., Restrepo, A., y Páez, V. P. (2014). Distribución potencial de *Podocnemis lewyana* (Reptilia: Podocnemididae) y su posible fluctuación bajo escenarios de cambio climático global. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 471-481.
- Páez, V. P., Bock, B. C., Espinal-García, P. A., Rendón Valencia, B. H., Alzate Estrada, D., Cartagena Otálvaro, V. M., y Heppell, S. S. (2015). Life history and demographic characteristics of the Magdalena River turtle (*Podocnemis lewyana*): implications for management. *Copeia*, 103(4), 1058-1074.
- Páez, V. P., y Book, B. C. (1998). Temperature effect on incubation period in the yellowspotted river turtle, *Podocnemis unifilis*, in the Colombian Amazon. *Chelonian Conservation and Biology*, 3, 31-36
- Pérez, J., y Alegría, J. (2009). Evaluación morfométrica y dimorfismo sexual intrapoblacional de *Rhinoclemmys nasuta* (boulenger, 1902) en una zona insular continental del pacífico colombiano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 1(2), 143-156.
- Rangel, J. O., y Arellano, H. (2008). El clima en el área del transecto Sumapaz (cordillera Oriental). *Estudios de Ecosistemas Tropandinos: La Cordillera Oriental Colombiana Transecto Sumapaz*, 7, 143-184.
- Reed, D. H. (2004). Extinction risk in fragmented habitats. In *Animal Conservation forum* (Vol. 7, No. 2, pp. 181-191). Cambridge University Press.
- Reese, D. A., y Welsh Jr, H. H. (1998). Habitat use by western pond turtles in the Trinity River, California. *The Journal of wildlife management*, 842-853.
- Rendón-Valencia, B., Zapata, L. M., C Bock, B., Páez, V. P., y Palacio, J. A. (2014). Mercury levels in eggs, embryos, and neonates of *Trachemys callirostris* (Testudines, Emydidae). *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 499-506.
- Rentería-Moreno, L. E., Forero-Medina, G., Garcés-Restrepo, M. F., y Rueda-Almonacid, J. V. (2012). Range extension of *Kinosternon dunnii* Schmidt, 1947 (Reptilia, Testudines, Kinosternidae) in Chocó, Colombia. *Check List*, 8(6), 1310-1312.
- Restrepo, A., Páez V, López C. y Bock B. (2008). Distribution and Status of *Podocnemis lewyana* in the Magdalena River Drainage of Colombia. *Chelonian Conserv Biol* 7:45-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.2744/CCB-0668.1>
- Restrepo, A., Piñeros, V. J., y Páez, V. P. (2006). Nest site selection by Colombian slider turtles, *Trachemys callirostris callirostris* (Testudines: Emydidae), in the Mompos Depression, Colombia. *Chelonian Conservation and Biology*, 5(2), 249-254.
- Restrepo, A., Piñeros, V. J., y Páez, V. P. (2007). Características reproductivas de la tortuga *Trachemys callirostris callirostris* (Testudinata: Emydidae) en Isla León, depresión momposina, Colombia. *Caldasia*, 29(2), 283-295
- Reyes-Palomino, S. E., y Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53-64.



- Rockwood, L. L. (2015). Introduction to population ecology. John Wiley y Sons
- Rodríguez Murcia, J. D. (2014). Estructura poblacional y dimorfismo sexual de *Kinosternon leucostomum* (Testudines: Kinosternidae) en un sistema de charcas asociadas al río Purnió (Caldas, Colombia). Biodiversidad y Desarrollo 33 (2): 86-95
- Rovero F, Zimmermann F. 2016. Camera trapping for wildlife research. Pelagic Publishing Ltd.
- Salera-Junior, G., Malvasio, A., y Portelinha, T. C. G. (2009). Evaluation of predation in *Podocnemis expansa* and *Podocnemis unifilis* (Testudines, Podocnemididae) in the Javaés River, Tocantins. Acta Amazonica, 39(1), 207-213.
- Sartorello, Y., Pastorino, A., Bogliani, G., Ghidotti, S., Viterbi, R., y Cerrato, C. (2020). The impact of pastoral activities on animal biodiversity in Europe: A systematic review and meta-analysis. Journal for Nature Conservation, 56, 125863.
- Seguro, A. M. S. (2018). Acercamiento a las características demográficas y de uso del hábitat de la tortuga galápagua *Podocnemis vogli* (Testudines, Podocnemididae), en la Reserva Natural Privada Bojonawi (Vichada, Colombia) durante la estación seca. Universidad de Antioquia. Doctoral dissertation, Instituto de Biología.
- Thorbjarnarson, J. B., Perez, N., y Escalona, T. (1993). Nesting of *Podocnemis unifilis* in the Capanaparo river, Venezuela. Journal of Herpetology, 27(3), 344-347
- Turchin, P. (2003). Complex Population Dynamics: A Theoretical / Empirical Synthesis. Princeton University Press, Princeton, NJ
- Valdés, T. V., y Cano Santana, Z. (2005). Ecología y medio ambiente. Pearson Educación
- Vallejo-Betancur, M. M., Páez, V. P., y Quan-Young, L. I. (2018). Analysis of people's perceptions of turtle conservation effectiveness for the Magdalena River Turtle *Podocnemis lewyana* and the Colombian slider *Trachemys callirostris* in Northern Colombia: an ethnozoological approach. Tropical Conservation Science, 11, 1940082918779069.
- Vargas-Ramírez, M., Stuckas, H., Castaño-Mora, O. V., y Fritz, U. (2012). Extremely low genetic diversity and weak population differentiation in the endangered Colombian river turtle *Podocnemis lewyana* (Testudines: Podocnemididae). Conservation Genetics, 13(1), 65-77.
- Vergeer, P., Rengelink, R., Copal, A., y Ouborg, N. J. (2003). The interacting effects of genetic variation, habitat quality and population size on performance of *Succisa pratensis*. Journal of Ecology, 91(1), 18-26.
- Worthington, T. A., Andradi-Brown, D. A., Bhargava, R., Buelow, C., Bunting, P., Duncan, C., ... y Spalding, M. (2020). Harnessing big data to support the conservation and rehabilitation of mangrove forests globally. One Earth, 2(5), 429-443.
- Works, A. J., y Olson, D. H. (2018). Diets of two nonnative freshwater turtle species (*Trachemys scripta* and *Pelodiscus sinensis*) in Kawai Nui Marsh, Hawaii. Journal of Herpetology, 52(4), 444-452.



- Young-Valencia, K., Ortega, A. F., y Botero, Á. B. (2014). Densidad y estructura de las poblaciones de tortuga pímpano (*Chelydra acutirostris* Peters 1862) (Chelydridae) en las quebradas Cajones y Los Coclí, departamento del Quindío, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 4(2), 149-161.
- Zapata, L. M., Bock, B. C., y Palacio, J. A. (2014). Mercury concentrations in tissues of Colombian Slider turtles, *Trachemys callirostris*, from northern Colombia. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 92(5), 562-566



CAPITULO II

La tortuga *Podocnemis lewyana* en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia: Tamaño poblacional, modelos de ocupación y amenazas antropogénicas

The turtle Podocnemis lewyana in the upper Magdalena River basin, Colombia: population size, occupancy models and anthropogenic threats



**La tortuga *Podocnemis lewyana* en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia:
Tamaño poblacional, modelos de ocupación y amenazas antropogénicas**

***The turtle Podocnemis lewyana in the upper Magdalena River basin, Colombia:
population size, occupancy models and anthropogenic threats***

Johana A. Muñoz-Castro¹, Juan E. Carvajal-Cogollo¹

1. Grupo Biodiversidad y Conservación, Museo de Historia Natural Luis Gonzalo Andrade, Programa de Biología, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Avenida Central del Norte 39-115, Tunja, Colombia.

RESUMEN

La tortuga del Magdalena (*Podocnemis lewyana*) es una especie endémica de Colombia, categorizada en peligro crítico debido a las deferentes presiones directas e indirectas que han llevado al declive de sus poblaciones en gran parte de su distribución. A pesar de ser una de las especies de tortuga más estudiadas del país, aún existen aspectos que no han sido abarcados para la especie, principalmente en la región de la cuenca alta del río Magdalena. Por lo que nosotros nos planteamos las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuál es el tamaño poblacional de *Podocnemis lewyana* en un sector de alto río Magdalena, en el departamento de Cundinamarca? ¿Cuáles son los factores que determinan la ocupación de hábitats en la población de estudio? ¿Cuáles son las amenazas antropogénicas sobre adultos y huevos de la población de *P. lewyana* en el área de estudio? Nosotros realizamos tres salidas de campo en las que mediante recorridos en lancha tomamos datos de presencia y abundancia, y medimos variables de tipo ambiental, de hábitat y amenazas antropogénicas. Utilizamos modelos jerárquicos de tipo N-mixtos para estimar el tamaño poblacional, en los que relacionamos las abundancias con variables de hábitat como la disponibilidad de hábitat y el área. Para la ocupación desarrollamos modelos jerárquicos de ocupación para los que nos planteamos la siguiente hipótesis: La ocupación de sitios estará influenciada por la disponibilidad de hábitat (rocas, troncos y playas, la exposición a la luz solar que facilite su termorregulación y la distancia a asentamientos humanos. En cuanto a las amenazas, categorizamos las amenazas identificadas, realizamos análisis comparativos entre las temporadas climáticas y determinamos las amenazas directas e indirectas de cada etapa de vida de las tortugas. Encontramos que la población de estudio corresponde a una de las más abundantes del país con 4190 individuos; la ocupación está moldeada por aspectos ambientales y de hábitat como la disponibilidad de hábitat, la cobertura vegetal y la temperatura ambiental, contrario a lo esperado, las amenazas no presentan ningún efecto en la ocupación



de la especie. En cuanto a las amenazas, identificamos 11 categorías de amenaza, observamos que hay un efecto diferencial de las amenazas entre temporadas climáticas sobre la abundancia y la ocupación de tortugas, probablemente debidas a los cambios en el nivel de agua del río; encontramos que las etapas de vida con mayor densidad de amenazas son los huevos y las madres ovopositantes. Estos hallazgos, representan un importante avance en el conocimiento de las poblaciones de este sector del Magdalena, adicionalmente presenta el primer acercamiento a la estimación del tamaño poblacional y de la ocupación mediante modelos para tortugas en Colombia; las amenazas diferenciales registradas en esta investigación teniendo en cuenta la aparente abundancia y estabilidad de la población estudiada, pueden ser una línea base para la formulación de estrategias de conservación y aprovechamiento sostenible de la especie.

Palabras clave: *Tortuga del Magdalena, tamaño poblacional, ocupación de hábitat, amenazas antropogénicas, conservación.*

ABSTRACT

The Magdalena turtle (*Podocnemis lewyana*) is an endemic species of Colombia, categorized as critically endangered due to the different direct and indirect pressures that have led to the decline of its populations in most of its distribution. Despite being one of the most studied turtle species in the country, there are still aspects that have not been covered for the species, mainly in the region of the upper Magdalena River basin. Therefore, we posed the following research questions: What is the population size of *Podocnemis lewyana* in a sector of the upper Magdalena River, in the department of Cundinamarca? What are the factors that determine habitat occupation in the study population? What are the anthropogenic threats to adults and eggs of the population of *P. lewyana* in the study area? We conducted three field trips in which we collected presence and abundance data by boat and measured environmental, habitat and anthropogenic threat variables. We used hierarchical N-mixed models to estimate population size, in which we related abundances to habitat variables such as habitat availability and area. For occupancy, we developed hierarchical occupancy models for which we hypothesized the following: site occupancy will be influenced by habitat availability (rocks, logs and beaches, exposure to sunlight that facilitates thermoregulation, and distance to human settlements. In terms of threats, we categorized the identified threats, conducted comparative analyses between climatic seasons and determined the direct and indirect threats for each turtle life stage. We found that the study population corresponds to one of the most abundant in the country with 4190 individuals; occupation is shaped by environmental and habitat aspects such as habitat



availability, vegetation cover and environmental temperature; contrary to expectations, threats have no effect on the occupation of the species. In terms of threats, we identified 11 threat categories, we observed that there is a differential effect of threats between climatic seasons on the abundance and occupation of turtles, probably due to changes in the water level of the river; we found that the life stages with the highest density of threats are eggs and ovipositing mothers. These findings represent an important advance in the knowledge of the populations of this sector of the Magdalena; additionally, it presents the first approach to the estimation of population size and occupation through models for turtles in Colombia; the differential threats registered in this research, taking into account the apparent abundance and stability of the population studied, can be a baseline for the formulation of strategies for the conservation and sustainable use of the species.

Key words: *Magdalena turtle, population size, habitat occupation, anthropogenic threats, conservation.*

INTRODUCCIÓN

Los impactos antropogénicos en los ecosistemas acuáticos han resultado en tendencias decrecientes de las poblaciones de numerosas especies de fauna silvestre y representan un desafío importante para la conservación de los animales en todo el mundo (Pimm y Raven 2000; McLellan et al., 2014). A nivel mundial, los grandes vertimientos, con la consecuente contaminación por metales pesados, las obras civiles (e.g. hidroeléctricas), la pérdida de la vegetación de la zona de ronda de los ríos, representan uno de los principales impactos humanos en los sistemas acuáticos y afecta directa e indirectamente los componentes bióticos de estos ecosistemas (Sanderson et al., 2002; Sandoval-Rivera et al., 2022). Simultáneamente el crecimiento de la población humana y la necesidad de alimentación y de economías locales han llevado a múltiples especies cercanas al vórtice de extinción, como algunos peces, cocodrilos y tortugas (Lasso et al., 2017). Este último grupo de animales es especialmente vulnerable a todas las amenazas mencionadas, por sus características poblacionales, reproductivas y el arraigo cultural que favorece su sobreexplotación para alimentación y comercio (Morales-Betancourt et al., 2018).

La formulación de medidas de conservación efectivas para las poblaciones de tortugas requiere una mejor comprensión de los mecanismos que causan los cambios en la población. Las medidas de abundancia, de tamaños poblacionales y



de ocupación de especies, se utilizan a menudo para determinar cómo responden las especies a los cambios en sus hábitats (Martella et al., 2012). Las métricas poblacionales de algunas especies de tortugas, por ejemplo, *Podocnemis lewyana*, es inherentemente difícil, dadas sus características esquivas y poblaciones locales muchas veces raras. No obstante, evaluar los cambios en la ocupación podría proporcionar una alternativa para estimativos adecuados para las poblaciones (MacKenzie y Nichols 2004; MacKenzie et al., 2006). El modelado de ocupación requiere datos sobre la detección o no detección de especies; así los cambios en la ocupación del sitio a lo largo del tiempo son el resultado de la extinción o colonización local, que se puede estimar (MacKenzie et al., 2002). En combinación con covariables cuidadosamente elegidas, las hipótesis de investigación pueden probarse con respecto a las respuestas de las tortugas a los cambios en sus hábitats (MacKenzie et al., 2006).

La tortuga *Podocnemis lewyana* es endémica de Colombia, se distribuye en los ríos Sinú, San Jorge, Magdalena y bajo Cauca (González-Zárte, 2010; González-Zárte et al., 2014) y es la tortuga de río más grande del norte de Colombia, por lo que suele ser una fuente importante de alimento para las comunidades rivereñas (Dahl y Medem, 1964; Castaño, 1986). Actualmente se encuentra categorizada En Peligro Crítico (CR) (Páez et al., 2016; UICN, 2015) por presiones indirectas tales como la deforestación y la fragmentación y pérdida de su hábitat (González-Zárte, 2014) y directas como cacería para consumo de carne y huevos, la presencia de perros cazadores que afectan madres y huevos (Castaño y Medem, 2002; Gallego-García y Castaño-Mora, 2008; Restrepo et al., 2008; González-Zárte et al., 2014). En consecuencia, es necesario adelantar investigaciones que se enfoquen en la identificación y evaluación de patrones de ocupación según los aspectos ambientales y antropogénicos a los que se ve sometida la especie y que aporten herramientas e información base para su conservación.

Nosotros calculamos el tamaño de la población de *P. lewyana* con modelos *N-mixtos* y determinamos la detección y la ocupación de sitios de la especie y las covariables bióticas, abióticas y de amenazas antropogénicas que influyen dicha ocupación en una población del Alto río Magdalena, Colombia. Dadas el conocimiento de las poblaciones de la cuenca alta de río Magdalena (González-Zárte et al., 2014; Muñoz-Castro y Carvajal-Cogollo, en prensa), partimos de las premisas de que la población estudiada tendrá un tamaño significativamente más grande en comparación con las de las cuencas baja y media del río Magdalena (Restrepo et al., 2008) y la del río Sinú (Gallego-García y Castaño-Mora, 2008) y que la probabilidad de detección será influenciada por la intensidad lumínica y la



temperatura ambiental, por ser covariables que influyen directamente los procesos de termorregulación de la especie (Reese y Welsh, 1998; González-Zárate, 2010). Por su parte la ocupación de sitios estará influenciada por la disponibilidad de hábitat (rocas, troncos y playas; González-Zárate, 2011), la exposición a la luz solar que facilite su termorregulación (Reese y Welsh, 1998; González-Zárate, 2010) y la distancia a asentamientos humanos. Nosotros analizamos las amenazas, bajo la premisa que se ejerce una fuerte presión sobre la población principalmente por cacería de adultos para el consumo local y comercialización (Castaño y Medem, 2002; Gallego-García y Castaño-Mora, 2008; Restrepo et al., 2008; Páez et al., 2012); y por el saqueo de huevos, que representará la segunda categoría de amenaza con mayor efecto sobre la conservación de la especie (Castaño y Medem, 2002; Gallego-García y Castaño-Mora, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La cuenca alta del río Magdalena está circunscrita en los departamentos de Huila, Tolima y Cundinamarca. Nosotros escogimos un tramo del río para la investigación localizado entre los municipios de San Juan de Rioseco, corregimiento de Cambao (Cundinamarca) y Ambalema en el Tolima (4°54'21.1" N 74°44'21.13" W, Alt. 210 m) (Figura 1). Este sector está ubicado en el flanco occidental de la cordillera Oriental de Colombia, configurado por un paisaje montañoso fuertemente quebrado y de tierras bajas en la planicie de inundación del río Magdalena (Van der Hammen, 2008). La zona está en un área que originalmente presentaba coberturas de Bosque Seco Tropical (Rangel y Arellano 2008), pero por efectos de las intensivas y extensivas transformaciones antropogénicas, está compuesto por un mosaico de coberturas, muchas de ellas altamente transformadas (Díaz-Merlano, 2006); situación que se acentúa en los sitios aledaños al río. Los principales motores de cambio son el establecimiento de pastizales con fines de ganadería extensiva y cultivos, entre los que se destaca la producción de arroz y plátano. Otros factores tensionantes del área de estudio para la biota residente son las altas cargas de agentes contaminantes como metales pesados y sólidos disueltos en el agua (Ospina-Zúñiga et al., 2018).

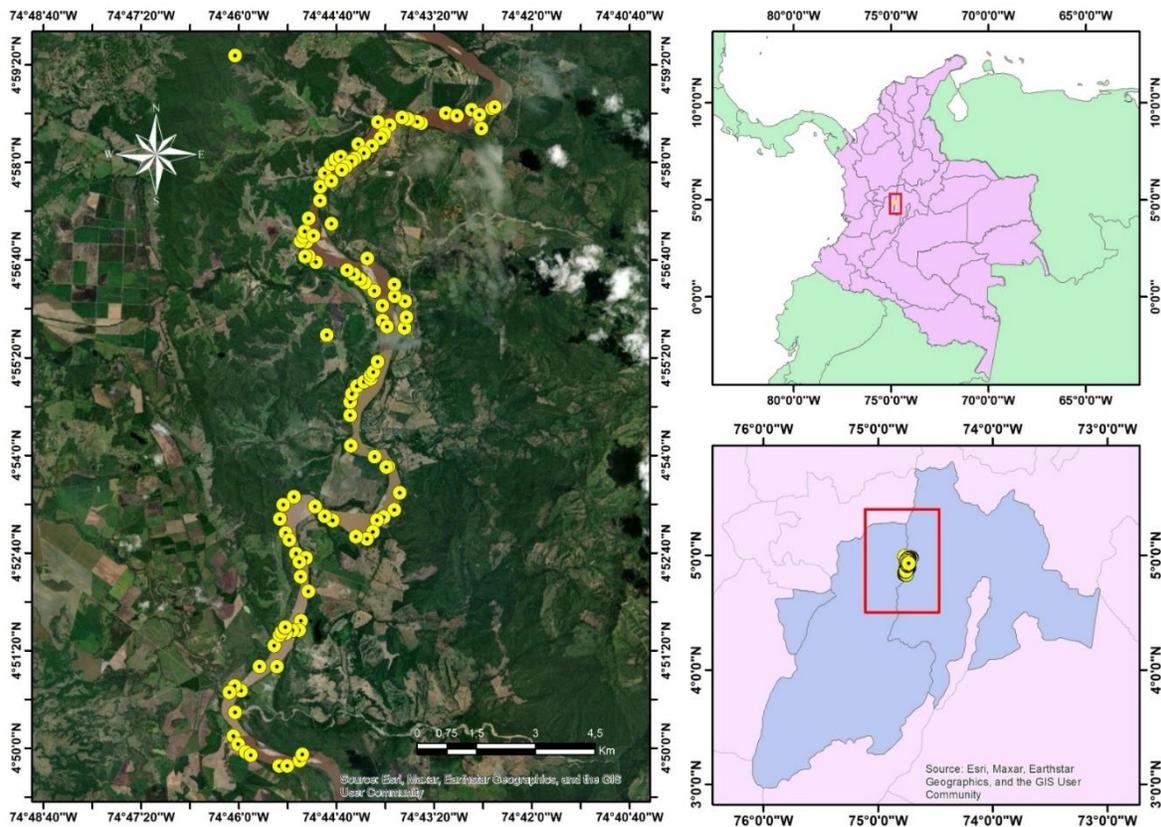


Figura 1. Área de estudio. Los puntos amarillos representan los 113 sitios seleccionados entre el cauce principal del río y dos tributarios.

Diseño de la investigación y muestreos

Para el diseño de la investigación seguimos los métodos estandarizados para la población de estudio propuestos por Muñoz-Castro y Carvajal-Cogollo, (en prensa). Para esto escogimos un tramo de 26 km, donde incluimos áreas con baja actividad antropogénica (aguas al sur de Cambao) y con alta actividad antropogénica (aguas al norte de Cambao). Adicionalmente muestreamos dos ríos tributarios que desembocaban en el tramo seleccionado. En esta área, seleccionamos 113 sitios, definidos como áreas donde existían las condiciones potenciales de ocupación por parte de la especie, como playas, empalizadas y rocas (González-Zárate, 2010), nos aseguramos de que los sitios estuvieran separados entre sí por 300 metros o por alguna barrera natural para garantizar el supuesto de independencia espacial.

Realizamos tres salidas de campo entre agosto y noviembre del 2021, después de la primera temporada reproductiva del año y antes de la segunda para cumplir el supuesto de población cerrada. Los eventos de muestreo se separaron entre sí 40



días para garantizar la independencia temporal, en cada salida realizamos recorridos de avistamiento entre las 8:00 y las 14:00 horas, periodo en el que se presenta la mayor actividad de la especie (González-Zárate, 2010). Para los conteos y registros de presencia hicimos recorridos en lancha a motor a una velocidad máxima de 10 km/h, realizamos una única observación por sitio durante cada salida para evitar el recuento de individuos y la sobreestimación de la abundancia; utilizamos binoculares y tomamos registros fotográficos con teleobjetivo para reducir el error de detección, así aseguramos el conteo correcto de individuos y evitamos falsos positivos en los registros).

Covariables de efecto

Tuvimos en cuenta tres categorías de covariables:

1. Ambientales, en las cuales medimos la temperatura ambiental y la humedad relativa, con un termohigrómetro marca Extech y la intensidad lumínica, con un luxómetro LiebeWH LX1330B.
2. Covariables de hábitat, donde medimos el porcentaje y la estratificación de la cobertura vegetal (Rangel y Velázquez 1997); el tipo de sustrato, para el cual determinamos las siguientes categorías: arena (en esta categoría incluimos sustratos conformados por granos o partículas muy pequeñas que se encuentran comúnmente en las playas y barrancos), roca y madera; y tipo de hábitat, con cuatro categorías: playa, barranco, empalizada y roca (Figura 2).
3. Amenazas antropogénicas, partimos de las categorías identificadas por Muñoz-Castro y Carvajal-Cogollo (en prensa), que incluían aquellas amenazas con efecto potencial sobre la ocupación de la especie (Kéry y Schaub, 2012; Guillera-Aroita, 2017; Andrade-Ponce et al., 2021) y sobre sus aspectos demográficos y/o reproductivos. Las amenazas se cuantificaron por cada temporada climática y para cada sitio analizado. Para los aspectos descriptivos de cada categoría de amenaza se tuvo en cuenta el conocimiento tradicional local de los pescadores de la zona y las observaciones directas en cada uno de los sitios por salida de campo.

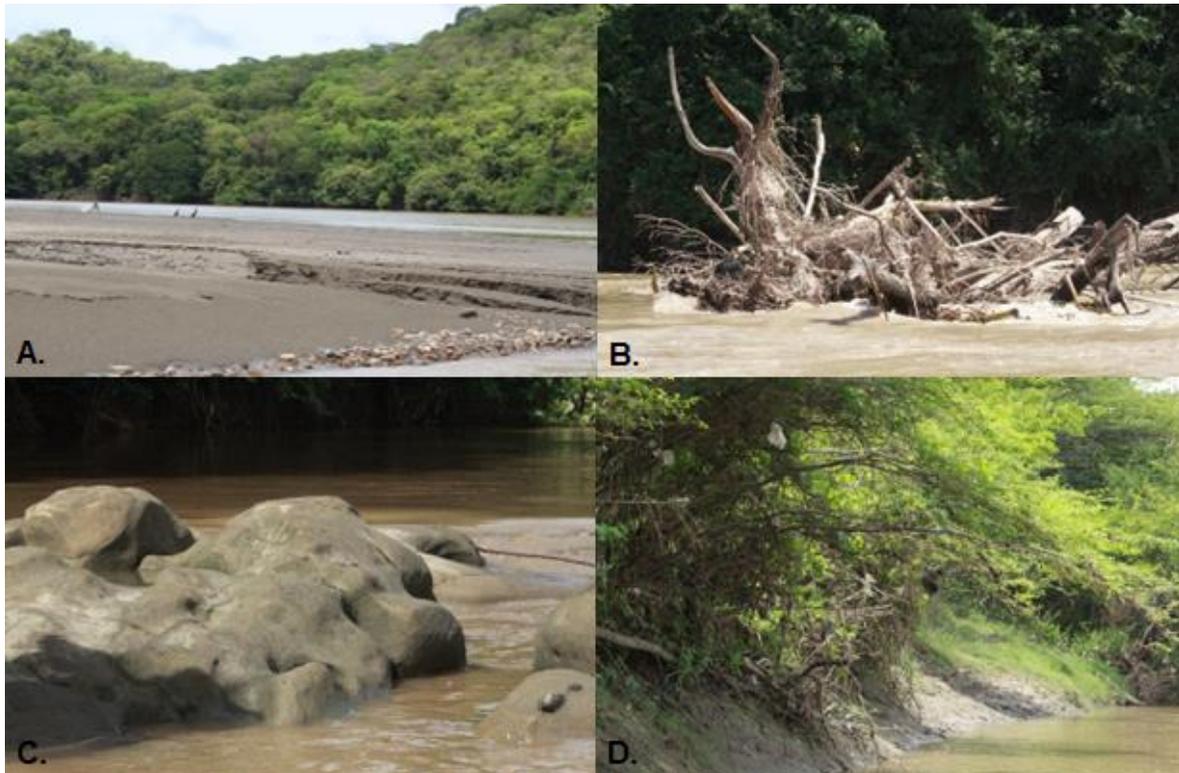


Figura 2. Categorías de hábitat disponibles en el área de estudio. A. Playa. B. Empalizada. C. Roca. D. Barranco.

ANÁLISIS DE DATOS

Tamaño poblacional- modelos N-Mixtos

Para la cuantificación del tamaño poblacional, organizamos los datos en una matriz de abundancias por cada sitio y salida de campo y una de covariables con efecto sobre la abundancia de tortugas: el área de cada sitio, la disponibilidad de hábitat y la intensidad lumínica. Desarrollamos 16 modelos N-mixtos (Royle, 2004), los cuales calculan la abundancia poblacional mediante conteos de individuos por cada sitio y evento de muestreo en función de las covariables (Royle, 2004). Para el desarrollo de estos modelos se utilizaron las paqueterías *AHMbook* y *Unmarked* versión 1.2.5 de R Studio (Fiske and Rochard, 2011). El valor del índice de integración es un valor constante en todos los modelos que se asigna para restringir el cálculo de la abundancia y evitar la sobre estimación de una población (Royle, 2004). El valor que asignamos a este índice fue de 180, este valor fue asignado de manera que no afecte las estimaciones de los parámetros, para ello tuvimos en cuenta las abundancias máximas registradas por cada sitio (Royle, 2004).



Modelo de ocupación de sitios

Para estimar las probabilidades de detección y las covariables ambientales que afectan la ocupación de la especie, nosotros utilizamos modelos de ocupación uniespecie y de temporada única (MacKenzie et al., 2002, 2006) a partir de datos de detección (1) y no detección (0), el software R Studio con la paquetería Unmarked versión 1.2.5 (Fiske and Rochard, 2011). Inicialmente, realizamos una prueba de correlación de Pearson entre las covariables para evitar la sobre explicación de los resultados (Figura 3). Así, entre un par de variables con valores de correlación $r \geq 0.7$, seleccionamos las que representan un mayor peso ecológico para la especie (Lalinde et al., 2018; Wang et al., 2019). Sin embargo, en este caso la mayor correlación encontrada fue de 0.6 entre la temperatura del mes de sequía con la temperatura del mes de lluvias y entre el porcentaje y el tipo de vegetación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), por lo que todas las variables se incluyeron en la construcción de los modelos.

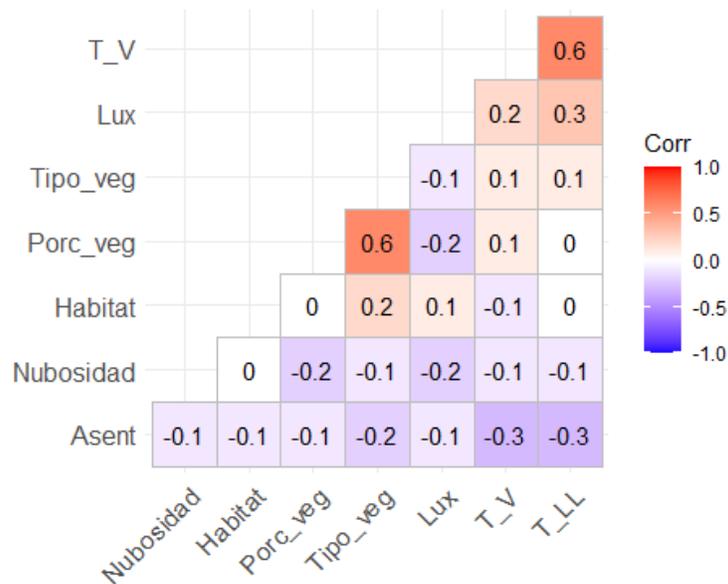


Figura 3. Correlación de Pearson entre las covariables de estudio.

Posteriormente, desarrollamos modelos de detección (proceso observacional) para identificar cuál de las variables medidas tuvo un efecto sobre la probabilidad de detección (p). Las covariables de detección que seleccionamos fueron: la temperatura ambiental, la intensidad lumínica y el tipo de cobertura vegetal, adicionalmente incluimos un modelo de detección nula. En cuanto a las variables de ocupación (procesos ecológicos, MacKenzie et al., 2002, 2006) seleccionamos a la temperatura en temporada de menor precipitación, la temperatura del periodo



de lluvias, el tipo y porcentaje de cobertura vegetal, la presencia de asentamientos humanos y la disponibilidad de hábitat.

Formulamos ocho modelos de detección y 52 de ocupación aditivos de la forma:

$$Z_i = \text{Bernoulli}(\psi_i) \quad \text{Proceso ecológico}$$
$$Y_{ij} = \text{Bernoulli}(Z_i * p_{ij}) \quad \text{Proceso observacional}$$

Los modelos los analizamos con el paquete *unmarked* del software Rstudio (Fiske and Rochard, 2011), que permite modelar la ocupación en función de las covariables. Los mejores modelos fueron seleccionados según el Criterio de Información de Akaike-AIC (Burnham and Anderson, 2004; Wang et al., 2019; McHugh et al., 2022), en el cual consideramos mejores aquellos modelos con valores de delta (ΔAIC) menores a dos, ya que tienen un mayor poder predictivo (Burnham and Anderson, 2004).

Amenazas antropogénicas

Para cada temporada climática, cuantificamos la cantidad de categorías de amenaza identificadas por sitio y la denominamos intensidad de las amenazas. Posteriormente, realizamos diagramas de burbujas para graficar la relación de esta intensidad con la ocupación de sitios y la abundancia de la tortuga. Los gráficos los realizamos con el paquete *ggplot2* de RStudio.

Dado que *Podocnemis lewyana* ocupa hábitats acuáticos (río) y terrestres (barrancos y playas), clasificamos y analizamos las amenazas según el ambiente en que se presentan (río o tierra); con lo que identificamos los ambientes que representaron las mayores presiones para la población. De igual manera, identificamos y clasificamos las amenazas según la etapa de vida que afectan, ya sea huevo, neonato, juvenil, subadulto y/o adulto. Para describir el potencial de afectación, tuvimos en cuenta las observaciones de campo y el conocimiento de la ecología de la especie (Gallego-García y Castaño-Mora, 2008; Ceballos et al., 2014; González-Zárate et al., 2014; Ortiz-Yusty, 2014; Páez et al., 2015) y las investigaciones realizadas sobre las amenazas en diferentes etapas de vida en podocnemídeos y en otras tortugas (Castaño, 1986; Fachín-Terán y Voght, 2004; Figueroa et al., 2013; Souza-Araujo et al., 2015; Vallejo-Betancur et al., 2018; Craig et al., 2020; Muñoz-Castro y Carvajal-Cogollo, en prensa).



Hicimos un análisis multicriterio en el cual, tuvimos en cuenta el ambiente (río o tierra), las etapas de vida y el efecto potencial de cada amenaza, codificado con colores, para facilitar su representación gráfica (Tabla 1, López-Mendilaharsu et al., 2020; Craig et al., 2020).

Tabla 1. Categorización de los efectos potenciales de cada categoría de amenaza identificada sobre las diferentes etapas de vida de las tortugas.

Código de color	Efecto potencial de amenaza	Descripción
	N.A.	Esta amenaza no aplica para la etapa de vida
	Sin evidencia de mortalidad	No se han registrado evidencias de que la amenaza cause la muerte de ejemplares en la etapa de vida
	Efectos indirectos en la etapa que pueden afectar el fitness	La amenaza genera efectos indirectos sobre la especie, es decir que puede que no afecte a los individuos físicamente, pero si afecta procesos indispensables para su eficacia reproductiva
	Baja mortalidad	Existen registros de casos aislados de muerte por causa de esta amenaza en la etapa de vida
	Media mortalidad	La amenaza causa muertes esporádicas de individuos en esta etapa de vida
	Alta mortalidad	La amenaza causa muertes frecuentes de individuos en esta etapa de vida
	Muy alta mortalidad	La amenaza causa muertes constantes de individuos en esta etapa de vida

RESULTADOS

Tamaño poblacional de *Podocnemis lewyana*

Estimamos un tamaño poblacional de 4190 individuos aproximadamente. Durante la temporada de sequía calculamos una densidad poblacional de 16 individuos por km, mientras que para la temporada de lluvia la densidad poblacional fue de seis individuos/km. Las mayores abundancias de tortugas se registraron en zonas



distantes de asentamientos humanos, principalmente en hábitats como rocas y playas en donde se observaron acumulaciones de hasta 39 individuos (Figura 4). En estas agrupaciones se observaron principalmente ejemplares adultos y subadultos. Por su parte los individuos más pequeños como neonatos y juveniles, fueron observados principalmente en caños pequeños y zonas de corrientes tranquilas del río.



Figura 4. Acumulación de ejemplares de *P. lewyana* en zonas rocosas.

Detección y ocupación de sitios

Detectamos a *P. lewyana* en el 89,6% de los sitios; principalmente en sitios con una alta disponibilidad de hábitats como rocas, playas y empalizadas, con coberturas vegetales que permitieran la entrada de luz solar para facilitar el proceso de termorregulación. El número individuos detectados fue en promedio de 238 por cada salida de campo. La variable que tuvo un mayor efecto en la detección de la especie fue la intensidad lumínica con un AIC = 141.73 (Tabla 2). En cuanto a los modelos de ocupación, el análisis arrojó seis modelos con valores de Δ AIC menores a 2, es decir seis modelos viables para explicar la ocupación de la especie. Por lo que el mejor modelo fue seleccionado teniendo en cuenta los aspectos ecológicos de *P. lewyana* y a bondad de ajuste del modelo (Figura 5). De modo que, el modelo seleccionado tuvo un AIC = 133.74 (Tabla 2), las variables que moldean la ocupación de la tortuga del Magdalena son la temperatura del periodo de menor precipitación, el porcentaje de cobertura vegetal y el tipo de hábitat disponible en cada sitio.

Tabla 2. Modelos de detección y ocupación de *Podocnemis lewyana* en la cuenca alta del río Magdalena organizada según el criterio de información de Akaike. En rojo se indica el modelo de detección seleccionado y en amarillo el modelo de ocupación seleccionado.

Modelo	<i>n</i> Pars	AIC	delta	AICwt	cumltvWt
--------	---------------	-----	-------	-------	----------



Detección					
$p(Lux), \psi(.)$	3	141.73	0.00	0.197	0.20
$p(.), \psi(.)$	2	142.22	0.50	0.154	0.35
$p(Tipo_veg+Lux), \psi(.)$	4	142.65	0.92	0.124	0.48
$p(Tipo_veg_S2), \psi(.)$	3	142.79	1.06	0.116	0.59
$p(T_LL), \psi(.)$	3	142.94	1.21	0.107	0.70
$p(T_LL+Lux), \psi(.)$	4	143.25	1.52	0.092	0.79
$p(T_V+Lux), \psi(.)$	4	143.41	1.68	0.085	0.88
$p(T_V), \psi(.)$	3	143.43	1.70	0.084	0.96
$p(T_V+T_LL), \psi(.)$	4	144.89	3.17	0.040	1.00
Ocupación					
$p(Lux) \psi(T_LL+Porc_veg+Habitat)$	6	132.29	0.000	0.14991	0.15
$p(Lux) \psi(T_LL+Porc_veg+Tipo_veg+Habitat)$	7	132.32	0.023	0.14820	0.30
$p(Lux) \psi(T_LL+Porc_veg)$	5	133.31	1.017	0.09017	0.39
$p(Lux) \psi(T_V+T_LL+Porc_veg)$	6	133.58	1.287	0.07879	0.47
$p(Lux) \psi(T_V+Porc_veg+Habitat)$	6	133.74	1.447	0.07272	0.54
$p(Lux) \psi(T_LL+Asent+Porc_veg+Habitat)$	7	134.05	1.758	0.06225	0.60
$p(Lux) \psi(T_V+Porc_veg)$	5	134.93	2.635	0.04014	0.64
$p(Lux) \psi(T_V+Porc_veg+Tipo_veg+Habitat)$	7	135.24	2.948	0.03433	0.68
$p(Lux) \psi(T_LL+Asent+Porc_veg)$	6	135.25	2.961	0.03411	0.71
$p(Lux) \psi(T_LL+Porc_veg+Tipo_veg)$	6	135.30	3.010	0.03328	0.74

Parametric Bootstrapped Samples

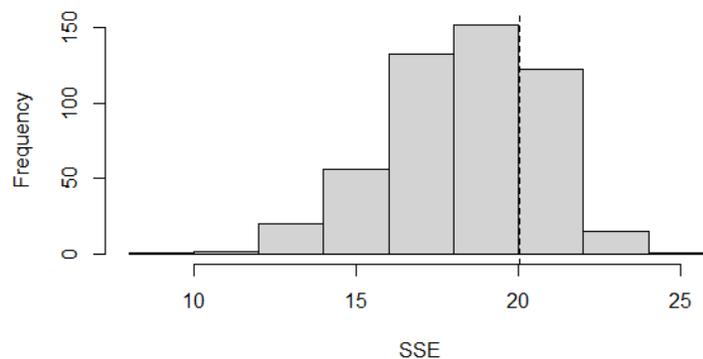


Figura 5. Análisis de bondad de ajuste del modelo de ocupación seleccionado

Las curvas del modelo seleccionado para explicar la ocupación de *P. lewyana* en el área de estudio (Figura 6), presentan de manera visual el efecto de la variable predictora y las variables explicativas. En donde, la detección de las tortugas aumenta en condiciones donde la intensidad lumínica es mayor (Figura 6A). Por otro lado, la probabilidad de ocupación aumenta en sitios con mayor disponibilidad



de hábitats (Figura 6B), menor porcentaje de cobertura vegetal (Figura 6C) y a temperaturas más altas (Figura 6D).

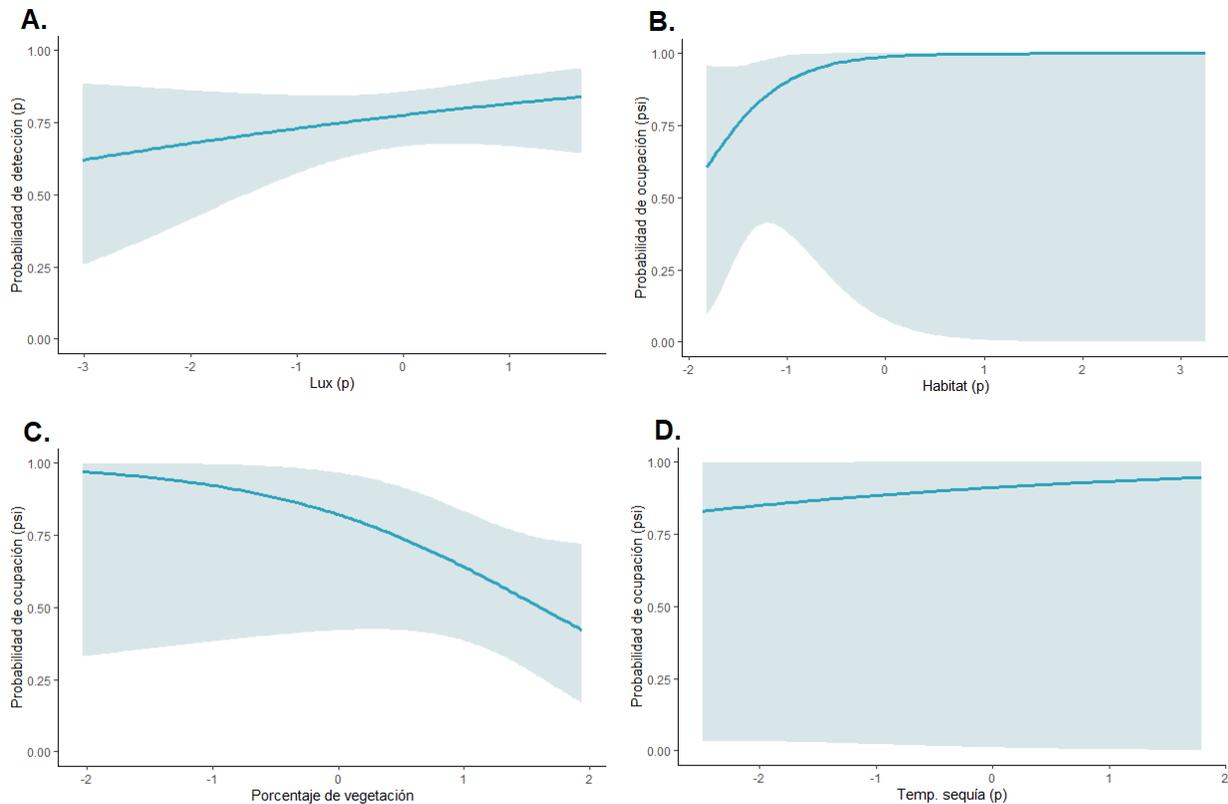


Figura 6. Efecto de las covariables en la detección y a ocupación de la especie según el modelo seleccionado. A. Efecto de la intensidad lumínica en la detección de la especie. B. Efecto de la disponibilidad de hábitat en la ocupación. C. Efecto del porcentaje de vegetación sobre la ocupación. D. Efecto de la temperatura del periodo de menor precipitación sobre la ocupación de la especie.

AMENAZAS ANTROPOGÉNICAS

Identificamos once categorías de amenaza para *Podocnemis lewyana* en el área de estudio: Saqueo de huevos, perros cazadores, cacería de tortugas, contaminación de playas, compactación de arena, asentamientos humanos, extracción de arena, redes de pesca, deforestación, sistemas agropecuarios y contaminación del agua (Figura 7). En cuanto a la intensidad, la mayor cantidad de amenazas presentes en un sitio de manera simultánea fue de cinco, en donde las categorías con mayor presencia fueron: la contaminación del agua, los sistemas agropecuarios, la deforestación, las redes de pesca y asentamientos humanos. El 69% de los sitios muestreados presentaron al menos una categoría de amenaza y en el 8% de los sitios se identificaron cuatro o más categorías de amenaza simultáneamente.



Figura 7. Amenazas identificadas en el área de estudio. A. Rastros de depredación de huevos. B. Contaminación de las playas C. Compactación de la arena por paso de vehículos pesados. D. Nido saqueado. E. Maquinaria para extracción ilegal de arena. F. Caparazón de tortuga adulta consumida por pescadores. G. Habitante de la zona buscando nidos para saqueo. H. Asentamiento de campamento de pescadores en la orilla del río. I. Sistemas agropecuarios.

Encontramos que las amenazas antropogénicas tuvieron un efecto diferencial sobre la ocupación entre la temporada de lluvia y sequía muestreada. Observamos que durante la temporada de lluvias hubo una mayor ocupación de sitios con mayor intensidad de amenazas en comparación con la temporada de sequía, en donde hubo una clara preferencia por los sitios con menor intensidad de amenazas (Figura 8 A-B). De igual manera, observamos un comportamiento diferencial entre temporadas en términos de abundancia respecto a la intensidad de las amenazas. Durante la temporada de lluvias registramos sitios que presentaron una abundancia de tortugas considerable teniendo en cuenta la intensidad de amenazas que se detectó. Contrario a lo que registramos durante la sequía en donde la abundancia de tortugas se centró únicamente en sitios con intensidades de amenazas menores a tres (Figura 8 C-D).

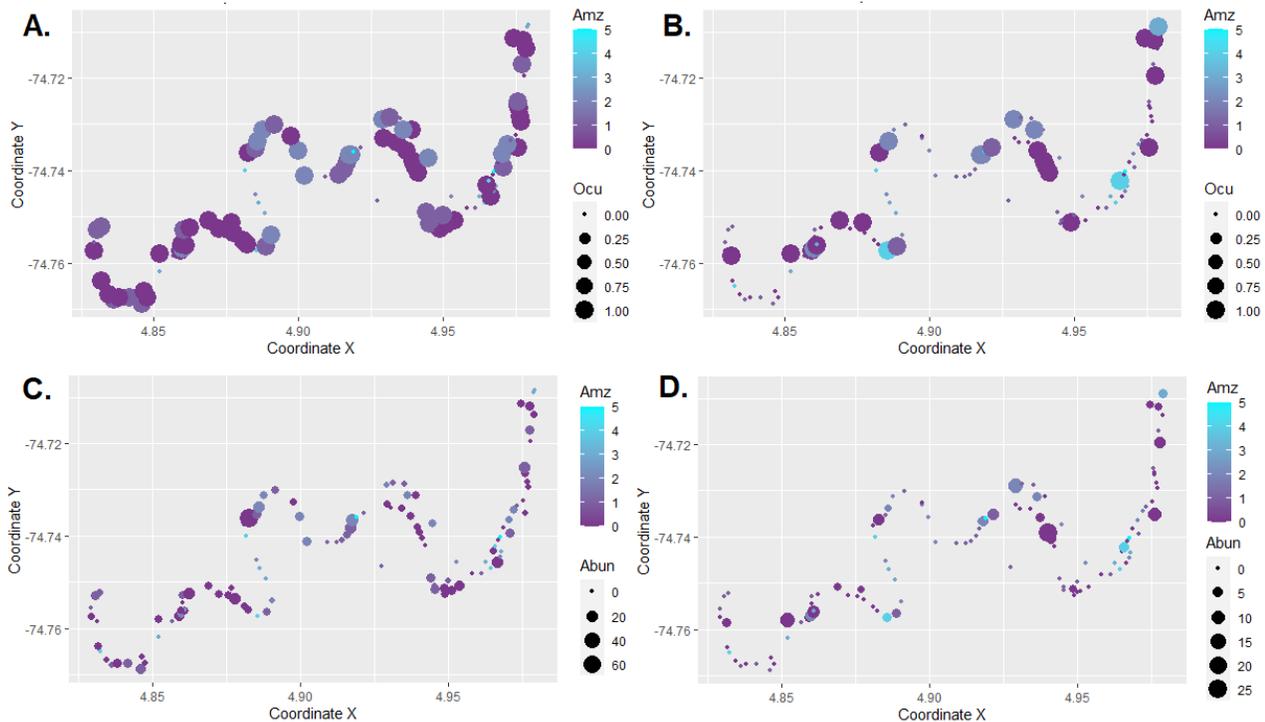


Figura 8. Gráfica de la relación de la intensidad de las amenazas con la ocupación de hábitat y a abundancia de tortugas. A. Amenazas vs probabilidad de ocupación en temporada de sequía. B. Amenazas vs probabilidad de ocupación en temporada de lluvias. C. Amenazas vs abundancia de tortugas en temporada de sequía. D. Amenazas vs abundancia de tortugas en temporada de lluvias. La intensidad de las amenazas (Amz) se determina por la cantidad de categorías de amenazas identificadas en cada sitio.

Los ambientes que representa mayores presiones antropogénicas para *P. lewyana* en el área de estudio fueron los terrestres como barrancos y playas, en donde no solo se observaron más categorías de amenazas, sino que los efectos potenciales sobre el éxito reproductivo son mayores, como por ejemplo el saqueo de huevos, los perros cazadores y la compactación de la arena, categorías que afectan directamente procesos como la postura de huevos, la eclosión, y por ende el reclutamiento de neonatos. En cuanto al río, la categoría con efectos potenciales mayores es la presencia de redes de pesca, ya que al ser una región que depende económicamente de la pesca, hay una alta cantidad de anzuelos y redes que, si bien no son instaladas con el objetivo de atrapar tortugas, si pueden causar muertes ocasionales de estos organismos.



Para los huevos las mayores amenazas las representaron los saqueos para consumo local y comercialización (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y la presencia de perros quienes sacan todas las posturas de las playas a las que tienen acceso. Para los neonatos las amenazas se centran en la contaminación de las playas, la compactación de la arena que puede dificultar el proceso de eclosión y salida a la superficie y la presencia de perros cazadores. En cuanto a los juveniles, subadultos y adultos las principales amenazas observadas fueron los asentamientos humanos y las redes de pesca, así como los perros cazadores que sacrifican a las madres durante las jornadas de ovoposición. Si bien no hay evidencias de mortalidad por amenazas como la presencia de asentamientos humanos, la deforestación, los sistemas agropecuarios y la contaminación del agua y las playas, si generan efectos indirectos sobre el éxito reproductivo de la especie en cada etapa de vida por aspectos como reducción en la disponibilidad de playas de reproducción, alimento y refugios, así como la contaminación de los individuos por metales pesados, debido a inciden de la disponibilidad de playas para reproducción, alimentación y refugios (Tabla 3); adicionalmente, aspectos como la contaminación del agua incide en la concentración de metales pesados en huevos y tortugas de todas las edades.

Tabla 3. Amenazas identificadas y su efecto en cada etapa de vida.

Etapa de vida	Ambiente	AMENAZAS										
		Saqueo de huevos	Perros Cazadores	Cacería de tortugas	Compactación de arena	Contaminación de las playas	Asentamientos humanos	Extracción de arena	Redes de pesca	Deforestación	Sistemas agropecuarios	Contaminación del agua
Huevo	Tierra	■	■		■	■	■	■		■	■	■
Neonatos	Tierra		■	■	■	■	■	■		■	■	■
Neonatos	Río			■			■	■	■			■
Juveniles	Tierra		■				■	■				■
Juveniles	Río			■			■	■	■			■
Sub adultos	Tierra		■				■	■				■
Sub adultos	Río			■			■	■	■			■



Etapa de vida	Ambiente	AMENAZAS										
		Saqueo de huevos	Perros Cazadores	Cacería de tortugas	Compactación de arena	Contaminación de las playas	Asentamientos humanos	Extracción de arena	Redes de pesca	Deforestación	Sistemas agropecuarios	Contaminación del agua
Adultos	Tierra		■			■	■	■		■	■	
Adultos	Río			■			■	■	■	■	■	■
Hembras ovopositantes	Tierra		■	■	■	■	■			■	■	
Hembras ovopositantes	Río			■			■	■	■	■	■	■
		N.A.										
		Sin evidencia de mortalidad										
		Efectos indirectos en la etapa que pueden afectar el fitness										
		Baja mortalidad										
		Media mortalidad										
		Alta mortalidad										
		Muy alta mortalidad										

DISCUSIÓN

Tamaño y densidad poblacional

La población de *Podocnemis lewyana* modelo de estudio de esta investigación, es en efecto una de las más abundantes y de mayor densidad del país, correspondiendo a lo postulado en nuestra primera hipótesis, ya que se registraron avistamientos con una mayor cantidad de individuos en comparación a los documentados en poblaciones presentes al norte del país en la cuenca baja y media del río Magdalena (Restrepo et al., 2008; Páez et al., 2015), y en la cuenca el río Sinú (Gallego-García y Castaño-Mora, 2008) en donde los conteos no superaron los cinco individuos por km². Esta característica demográfica de la población puede responder a las diferencias que se observan en el área de estudio respecto a las principales amenazas para la especie, ya que como lo documentan González-Zárate y colaboradores (2014), la cuenca alta del Magdalena no presenta cacería constante para consumo y comercialización, sino que la ingesta de tortugas se da de manera esporádica por los pobladores de la región.



Si bien el consumo de tortugas no se da de manera frecuente en esta población, el saqueo de huevos para venta y consumo de subsistencia, así como el ataque por cuenta de perros cazadores a madres ovopositoras y huevos si ha sido una problemática común en cada temporada reproductiva durante mucho tiempo. Sin embargo, aparentemente la población ha logrado mantenerse estable, probablemente gracias a la alta disponibilidad de playas de postura de la zona, ya que en comparación con la población de Prado Tolima (González-Zárate et al., 2014), nuestra área de estudio cuenta con 14 playas de postura identificadas, lo que aumenta la probabilidad de éxito de eclosión, ya que las madres tienen una mayor disponibilidad de sitios apropiados para el desove. Así mismo, dado que la población de estudio mantiene una tasa de sobrevivencia alta en los adultos, la estabilidad de la población en términos de abundancia es mayor, lo que confirma lo propuesto por Páez et al., (2015) quienes postulan que, para que las estrategias de conservación sean más efectivas deben centrarse más en el aumento de la tasa de sobrevivencia de adultos que en los huevos o neonatos.

Otro aspecto que podría aportar a establecimiento de una población abundante como la registrada en esta investigación, es la alta idoneidad de hábitats para a especie (Ortíz-Yuzyty, Restrepo y Páez 2014), ya que a lo largo de los 26 km muestreados se identificaron zonas de playa, empalizadas, rocas, moyas y barrancos, así como la presencia de especies de importancia alimentaria para *P. lewyana* como es el caso de silocaino (*Leucaena leucocephala*), sáman (*Samanea saman*), dinde (*Maclura tinctoria*) y payandé (*Pithecellobium dulce*), así como zonas de cultivo de plátano cachaco (*Musa x paradisiaca*) cercanas a la orilla del río (Muñoz-Castro y Carvajal-Cogollo, en prensa).

Ocupación de hábitat

Observamos que las variables ambientales como la intensidad lumínica y la temperatura ambiental; así como las variables de hábitat como la disponibilidad de hábitats y la cobertura vegetal son las que tienen un mayor efecto en la ocupación de *Podocnemis lewyana* a diferencia de las amenazas, resultado que difiere un poco respecto a lo esperado, ya que esperábamos que la presencia de asentamiento humanos influyera de manera negativa en la ocupación dada la evasión reportada en otras poblaciones de tortugas a lugares ocupados por humanos. Sin embargo, si bien las amenazas no jugaron un papel importante en la detección o la ocupación, tienen un efecto importante en otros aspectos de la población como el tamaño poblacional y la conservación.



La hipótesis planteada para la ocupación de hábitat fue acertada respecto a la variable de detección seleccionada, puesto que se relacionan con aspectos ambientales que llevan a una mayor exposición de las tortugas para realizar su proceso de termorregulación (Reese y Welsh, 1998; Pérez-Pérez, 2022). En cuanto a las variables de ocupación, se cumplió la predicción respecto a la importancia de la disponibilidad de hábitats y la temperatura, dado que se observa que hay una mayor probabilidad de ocupación en sitios con mayor variedad de hábitats disponibles (González-Zárate, 2010; Muñoz-Castro y Carvajal-Cogollo, en prensa) y con coberturas vegetales con estratificaciones más simples que permitan una mayor entrada de luz solar y por ende una mayor temperatura en el sitio, aspecto favorable para su termorregulación (González-Zárate, 2010).

Sin embargo, la respuesta a la presencia de asentamientos no fue como se esperaba, ya que, según los mejores modelos generados, la presencia de asentamientos no es un aspecto primordial en la determinación de la ocupación de los sitios disponibles, este comportamiento podría asociarse a que las tortugas no se ven en constante peligro de cacería por lo que no tienen un comportamiento tan esquivo frente a la presencia de personas, a diferencia de las poblaciones del norte del país, en donde las tortugas son consumidas durante todo el año y de manera desmedida llevando a declives poblacionales alarmantes (Gallego-García y Castaño-Mora, 2008) y a conductas de huida en donde es evidente la evasión de sitios cercanos a zonas donde se desarrollen actividades humanas de manera frecuente (Gallego- García, 2004).

La combinación de los procesos observacionales y ecológicos que desarrollamos mediante la construcción de estos modelos de ocupación nos permite, no solo tener una mayor claridad sobre los aspectos bióticos y abióticos que tienen un efecto sobre la ocupación de esta población. Sino que, son un punto de partida para evaluar estos aspectos en otras poblaciones del país, en donde las dinámicas poblacionales son diferenciales. Esto debido a que, esta investigación representa el primer acercamiento a la evaluación de la ocupación mediante modelos jerárquicos en tortugas para Colombia.

Amenazas antropogénicas

Las amenazas identificadas en nuestro trabajo como las de mayor influencia sobre la ocupación de la especie no corresponden en su totalidad a las propuestas en nuestra tercera hipótesis, ya que el consumo de adultos no es la amenaza que ejerce mayor presión en la población y aparentemente el saqueo de huevos no tiene



un efecto sobre la ocupación o la abundancia. Esto podría indicar que a pesar del saqueo la población tiene una tasa de eclosión y reclutamiento favorable debido a que los adultos no son consumidos masivamente como pasa en las poblaciones del norte del país, cuya principal amenaza radica en la cacería para consumo y comercialización de tortugas de todas las edades (Arroyave-Bermúdez, 2014; Páez et al., 2015).

Dado que dentro del tiempo de estudio obtuvimos datos tanto en temporada seca como en temporada de lluvias, realizamos un análisis comparativo. Observamos que durante la temporada de sequía la ocupación y la abundancia fue mayor en sitios con una densidad de amenazas máxima de tres. Las amenazas que registramos en los sitios ocupados durante la temporada de sequía fueron la contaminación de aguas, la presencia de redes de pesca, los perros cazadores, la deforestación y la presencia de sistemas agropecuarios probablemente debido a que son amenazas que actúan de manera pasiva sobre las tortugas. Mientras que los sitios con maquinaria para extracción de arena y con asentamientos humanos fueron evitados en mayor medida durante esta temporada, probablemente a que son más invasivos de modo que el ahuyentamiento es mayor.

En la temporada de lluvias observamos una dinámica diferente, en donde se registró la ocupación de sitios con mayor intensidad de amenazas, incluso hasta con cinco categorías identificadas. Sin embargo, en esta temporada, tampoco detectamos la ocupación en sitios con presencia de maquinaria para extracción de arena a pesar de tener disponibilidad de zonas de playa, barranco y empalizada. Esto debido a que la extracción de sustratos de río es un proceso altamente invasivo, que genera ruido, movimiento y además propicia la presencia constante de personas y perros guardianes de las instalaciones. Estos cambios en el uso de sitios por temporada climática posiblemente responden a la diferencia en cuanto a disponibilidad de hábitats, ya que durante la temporada de lluvias el nivel del río aumenta cubriendo parte de los sitios y hábitats disponibles, forzando hasta cierto punto el uso de sitios con mayor intensidad de amenazas.

Los ambientes terrestres como playas y barrancos representaron los lugares con mayores presiones antropogénicas directas que, si bien actualmente generan impactos sobre la eficacia reproductiva de la especie, son aspectos que se pueden mejorar de manera efectiva si se trabaja de manera conjunta y consciente con las comunidades locales (Pardo-Zarache, 2019). En cuanto a las amenazas de cada etapa de vida, documentamos que las etapas más amenazadas son los huevos, los neonatos y las madres durante el proceso de ovoposición, debido a que carecen de



medios de defensa. Sin embargo, aunque estas edades son más susceptibles a las amenazas, teniendo en cuenta la abundancia y ocupación observada durante esta investigación, es posible sugerir que el saqueo y consumo de huevos y tortugas se está dando de manera tal que el reclutamiento y la reproducción siguen siendo procesos efectivos, lo que ha permitido el establecimiento de la población en el tiempo. Adicionalmente, la cacería de jóvenes y adultos no es un factor común en esta población, lo que confirma lo sugerido por Páez y colaboradores (2015), quienes postulan que los declives poblacionales en tortugas responden más a la depredación insostenible de adultos más que al saqueo de los huevos, razón por la cual los procesos de conservación centrados en el apadrinamiento de nidadas y neonatos no han sido suficientes para otras poblaciones de la especie (Páez et al., 2015).

Implicaciones para la conservación

Los resultados obtenidos en esta investigación son hasta cierto punto, un indicativo positivo del estado de conservación de la especie, dado que presenta información pionera sobre el estado y algunos aspectos ecológicos de una población de *Podocnemis lewyana* poco estudiada. Entre estos, el tamaño poblacional y la densidad confirman que al ser una de las poblaciones más numerosas estudiadas hasta ahora (González-Zárate, 2014; Ortiz-Yuzti, 2014), tiene un gran potencial al nivel investigativo y de conservación. Los resultados del análisis de la ocupación de hábitats permiten identificar los aspectos más importantes y apropiados para que se dé la ocupación de la especie de manera exitosa, información que servirá como base para el desarrollo de planes de manejo sostenible y de conservación participativa que incluyan aspectos bióticos y abióticos que faciliten la obtención de resultados positivos en otras regiones de distribución de la especie.

Un aspecto importante para profundizar son los comportamientos diferenciales ante las amenazas según la temporada climática, ya que es un aspecto que no se ha evaluado hasta ahora en la especie. Finalmente, toda esta información se complementa con los análisis de las amenazas ya que se presenta de manera más detallada las principales amenazas por etapa de vida y se resaltan aquellas que están generando un mayor impacto en el éxito reproductivo de la especie. Es indispensable resaltar la importancia del desarrollo de estrategias participativas con las comunidades locales y asociaciones de pescadores, ya que, con su apoyo, se pueden lograr avances valiosos en la recuperación de las poblaciones del *P. lewyana* a lo largo de su distribución. Entre las estrategias que recomendamos poner a consideración, es el aprovechamiento sostenible de los huevos (Castellón-



Antezana, 2013), ya que pueden representar una fuente importante de alimento para algunas comunidades locales asentadas en las zonas de distribución de *P. lewyana*. Esto en combinación con otras estrategias como el apadrinamiento de nidos y madres ovopositantes, puede representar un método viable para la restauración y conservación de las poblaciones de la tortuga del Magdalena a lo largo de su distribución (Pardo-Zarache, 2019).

CONSIDERACIONES FINALES

Objetivo específico 1: Establecer el tamaño de la población de Podocnemis lewyana en un sector de alto río Magdalena, Colombia.

Nosotros encontramos que la población de estudio es una de las más abundantes registrada hasta ahora en su área de distribución, superada únicamente por la población de Prado – Tolima, distribuida también en la cuenca alta del Magdalena. El tamaño poblacional registrado es un indicativo de la salud de la población y su capacidad para amoldarse a diferentes disturbios antropogénicos que se dan en los tramos de alto Magdalena analizados. Nuestros resultados forman un insumo para nuevas preguntas de investigación dirigidas a aspectos demográficos como las tasas de natalidad, mortalidad y la elasticidad poblacional.

Objetivo específico 2. Evaluar los factores que determinan la ocupación de hábitats de P. lewyana en un sector de alto río Magdalena, San Juan de Rioseco, Cundinamarca-Colombia.

En nuestro trabajo abarcamos por primera vez en Colombia, la ocupación de hábitat de tortugas a partir del desarrollo de modelos jerárquicos de ocupación, lo que abre nuevas alternativas y preguntas de investigación tanto con esta como con otras poblaciones de la especie. Adicionalmente, aportamos información base para el desarrollo de planes de conservación de hábitat puntuales para la población, ya que presentamos las condiciones bióticas y abióticas en términos ambientales, de hábitat y de amenazas, que aumentan la probabilidad de ocupación de la tortuga del Magdalena; entre nuestros hallazgos más importantes está, que la ocupación está ligada principalmente a aspectos ambientales y de hábitat como el porcentaje de cobertura vegetal, a temperatura ambiental del periodo de menor precipitación y el tipo de hábitat disponible.



*Objetivo específico 3. Determinar las amenazas antropogénicas directas sobre adultos y huevos de *P. lewyana* en un sector de Alto río Magdalena, Colombia.*

Algunas categorías de amenaza que identificamos son compartidas con otras poblaciones de la especie en su área de distribución, como el saqueo de huevos, la deforestación, las malas prácticas pesqueras y el crecimiento de la frontera agropecuaria. Sin embargo, es nuestra población de estudio, amenazas como la cacería para consumo y comercialización de carne no tuvieron una representación importante. Lo que, en conjunto con la alta disponibilidad de sitios de postura, ha permitido el establecimiento de una población más abundante en comparación con las del norte de país. La intensidad de las amenazas, si tiene un efecto claro sobre la ocupación y la abundancia de tortugas, que se comporta de manera diferencial entre temporadas climáticas. En donde durante la temporada de menor precipitación, cuando el nivel del caudal es menor y la disponibilidad de sitios es mayor, observamos una preferencia por los sitios con intensidades de amenaza bajas (0 - 2); mientras que, en la temporada de mayor precipitación, cuando la disponibilidad de hábitats se reduce por el nivel del agua, aumenta la ocupación de sitios con intensidades mayores (3 - 4). El ambiente que representa las mayores presiones para la especie es el terrestre, en donde se desarrollan las amenazas directas sobre la especie como el saqueo de huevos y la presencia de perros cazadores. En cuanto al ambiente acuático la amenaza directa identificada fue la presencia de redes de pesca a lo largo del caudal, lo que genera muertes ocasionales principalmente en subadultos y adultos.

Encontramos que los huevos, neonatos y madres ovopositantes, son las etapas de vida con mayor exposición a amenazas con potencial de mortalidad alta y muy alta, por lo que los esfuerzos de conservación deben centrarse principalmente en estas edades, dando prioridad a estrategias que vinculen a las comunidades locales, dado que las problemáticas identificadas son solucionables a largo plazo mediante la concienciación y educación ambiental, enfocada a la reducción del saqueo de huevos para consumo y/o comercialización y al control sobre la presencia y tenencia de perros cazadores en la zona. Así mismo, identificamos las amenazas que pueden generar un efecto indirecto sobre la eficacia reproductiva, por lo que recomendamos ahondar en los diferentes efectos de estas amenazas y en las posibles alternativas para reducirlos.

Finalmente, consideramos que los resultados obtenidos en esta investigación dan lugar a la formulación de nuevas preguntas y proyectos de investigación que propicien no solo el conocimiento a nivel biológico y ecológico de la especie, sino



que, también se enfoquen en la conservación mediante el uso sostenible de la carne y los huevos, ya que estos representan una fuente importante de alimento para algunas comunidades locales y pescadoras, en condiciones de pobreza y/o víctimas del conflicto armado en Colombia.

LITERATURA CITADA

Arroyave-Bermúdez, J.F., Romero-Goyeneche, O.Y., Bonilla-Gómez, M.A., y Hurtado-Heredia, R.G. (2014). Tráfico ilegal de tortugas continentales (Testudinata) en Colombia: una aproximación desde el análisis de redes. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 381-391. <https://doi.org/10.15446/abc.v19n3.41590>

Andrade-Ponce, G., Cepeda-Duque, J. C., Mandujano, S., Velásquez-C, K. L., Gómez-Valencia, B., y Lizcano, D. J. (2021). Modelos de ocupación para datos de cámaras trampa. *Mammalogy Notes*, 7(1), 200-200. <https://doi.org/10.47603/mano.v7n1.200>

Burnham, K. P., and Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological methods and research*, 33(2), 261-304. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>

Castaño-Mora OV. (1986). Contribución al conocimiento de la reproducción de *Podocnemis lewyana* Duméril (Reptilia: Quelonia: Pelomedusidae). *Caldasia* (XV):665-667.

Castaño-Mora, O. V., y Medem, F. (2002). *Podocnemis lewyana*. Libro Rojo de Reptiles de Colombia. Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia, 92-94.

Castrillón-Antezana, C., Valdivia-Aguilar, F. E., y Rey-Ortiz, G. (2013). Abundancia, nidificación y aprovechamiento de *Podocnemis unifilis* (peta) y *P. expansa* (tataruga) en el río Blanco (cuenca del río Iténez, Amazonía boliviana). <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.18696>

Ceballos, C. P., Romero, I., Gómez-Saldarriaga, C., y Miranda, K. (2014). Reproducción y conservación de la tortuga del Rio Magdalena (*Podocnemis lewyana*) en el Rio Claro Cocorna Sur, Colombia. *Revista Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 393-401. <https://doi.org/10.15446/abc.v19n3.41366>



Stanford, C., Iverson, J., Rhodin, G.J., van Dijk, P., Mittermeier, R., Kuchling, G., Berry, K., Bertolero, A., Bjorndal, K., Blanck, T.E.G., Buhlmann, K.A., Burke, R.L., Congdon, J.D., Diagne, T., Edwards, T., Eisemberg, C., Ennen, J., Forero-Medina, G., Frankel, M., Fritz, U., Gallego-García, N., Georges, A., Gibbons, W., Gong, S., Goode, E.V., Shi, H.T., Hoang, H., Hofmeyr, M.D., Horne, B.D., Hudson, R., Juvik, J.O., Kiester, R.A., Koval, P., Le, M., Lindeman, P.V., Lovich, J.E., Luiselli, L., McCormack, T.E.M., Meyer, G.A., Páez, V., Platt, K., Platt, S., Pritchard, P.C.H., Quinn, H.R., Roosenburg, W.M., Seminoff, J.A., Shaffer, B., Spencer, R., Van Dyke, J., Vogt, R.C., Walde, A.D. (2020) Turtles and Tortoises Are in Trouble, *Current Biology*, Volume 30, Issue 12. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.04.088>.

Dahl, G. y Medem, F. (1964). Informe sobre la fauna acuática del río Sinú. Parte II: Los Reptiles Acuáticos de la Hoya del Sinú. Corporación Autónoma Regional de los valles del Magdalena y Sinú (CMV). Departamento de investigaciones ictiológicas y faunísticas. p. 110-151.

Díaz-Merlano, J. M. (2006). Bosque seco tropical Colombia. Cali: Banco de Occidente Credencial.

Fachín-Terán, A., y Vogt, R. C. (2004). Estrutura populacional, tamanho e razão sexual de *Podocnemis unifilis* (Testudines, Podocnemididae) no rio Guaporé (RO), norte do Brasil. *Phyllomedusa*, 3(1), 29-42 <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v3i1p29-42>

Figuroa, I. C. (2010). Saber local, uso y manejo de las tortugas charapa *podocnemis expansa* y taricaya *podocnemis unifilis* (testudines: podocnemididae) en el resguardo curare-los ingleses. La Pedrera: Amazonas: Colombia. Sede Amazonía.

Figuroa, I. C., Fachín-Terán, A., y Duque, S. R. (2013). Hábitat, uso y estructura poblacional de las tortugas acuáticas *Podocnemis unifilis* y *Podocnemis expansa* (Testudines: Podocnemididae) en el resguardo Curare-Los Ingleses, La Pedrera, Amazonas, Colombia. *Mundo Amazónico*, 4, 153-173 <https://doi.org/10.24188/recia.v4.n2.2012.223>

Fiske, I., y Rochard, C. (2011). Unmarked: An R package for fitting hierarchical models of wildlife occurrence and abundance. *Journal of Statistical Software*, 43, 5049– 23. <https://doi.org/10.18637/jss.v043.i10>



Gallego-García, N. (2004). Anotaciones sobre la historia natural de la tortuga de río *Podocnemis lewyana* (Testudinata: Podocnemididae) en el río Sinú, Córdoba, Colombia. Bogotá, Colombia. pp.

Gallego-García, N., y Castaño-Mora, O. V. (2008). Ecology and status of the Magdalena River turtle, *Podocnemis lewyana*, a Colombian endemic. *Chelonian Conservation and Biology*, 7(1), 37-44. <https://doi.org/10.2744/CCB-0643.1>

González-Zárate, A. (2010). Caracterización del hábitat, uso de recursos y estado de conservación de la tortuga de río *Podocnemis lewyana*, aguas abajo del embalse de Hidroprado, Tolima, Colombia (Doctoral dissertation).

González-Zárate, A., Montenegro, O., Castaño-Mora, O. V., y Vargas-Ramírez, M. (2014). Abundancia, estructura poblacional y conservación de *Podocnemis lewyana* (Podocnemididae) en el río Prado, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 351-361. <https://doi.org/10.15446/abc.v19n3.41565>

Guillera-Arroita G. (2017). Modelling of species distributions, range dynamics and communities under imperfect detection: advances, challenges and opportunities. *Ecography*. 40(2):281–295. <https://doi.org/10.1111/ecog.02445>

Kéry M, Schaub M. (2012). Estimation of occupancy and species distributions from detection/nondetection data in metapopulation designs using site-occupancy models. En: Kéry M, Schaub M, editores. *Bayesian population analysis using WinBUGS*. Boston: Academic Press. p. 413–461 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387020-9.00013-4>

Lalinde, J. D. H., Castro, F. E., Rodríguez, J. E., Rangel, J. G. C., Sierra, C. A. T., Torrado, M. K. A., and Pirela, V. J. B. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(5), 587-595.

Lasso, C. A., D. Córdoba y M. A. Morales-Betancourt (Eds.). (2017). XVI. Áreas clave para la conservación de la biodiversidad dulceacuícola amenazada en Colombia: moluscos, cangrejos, peces, tortugas, crocodílidos, aves y mamíferos. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 353 pp.



López-Mendilaharsu, M., Giffoni, B., Monteiro, D., Prosdocimi, L., Vélez-Rubio, G. M., Fallabrino, Estrades, A., Santana dos Santos, A., Lara, P., Pires T., Tiwari, M., Bolten, A. y Marcovaldi, M. Â. (2020). Multiple-threats analysis for loggerhead sea turtles in the southwest Atlantic Ocean. *Endangered Species Research*, 41, 183-196. DOI: <https://doi.org/10.3354/esr01025>

MacKenzie, D. I., y Nichols, J. D. (2004). Occupancy as a surrogate for abundance estimation. *Animal biodiversity and conservation*, 27(1), 461-467.

MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Lachman, G. B., Droege, S., Andrew Royle, J., and Langtimm, C. A. (2002). Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*, 83(8), 2248-2255. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2248:ESORWD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2248:ESORWD]2.0.CO;2)

MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Royle, J.A., Pollock, K.H., Hines, J.E. and Bailey, L.L. (2006) *Occupancy Estimation and Modeling: Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence*. Elsevier, San Diego, California.

Martella, M. B., Trumper, E., Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., y Gleiser, R. M. (2012). *Manual de Ecología. Poblaciones: Introducción a las técnicas para el estudio de las poblaciones silvestres*. *Reduca (Biología)*, 5(1).

McHugh, D., Goldingay, R. L., and Letnic, M. (2022). Occupancy and co-occurrence patterns of endemic mammals and introduced predators across a broad geographical gradient in eastern Australia. *Biodiversity and Conservation*, 1-33. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02374-0>

McLellan, R., Iyengar, L., Jeffries, B., y Oerlemans, N. (2014). *Living Planet Report 2014: Species and spaces, people and places*. WWF International. http://awsassets.panda.org/downloads/lpr_living_planet_report_2014.pdf

Morales-Betancourt, M. A., Lasso, C. A., Mesa S., L. M., Granados-Martínez, C., Núñez-Avellaneda, M., Perdomo, F., DoNascimento, C., Albornoz-Garzón, J. G., Méndez-López, A., García-Melo, J. E., Sabaj, M. H., Acosta-Galvis, A. R., Rayo, D., Lomelín, J. C., Lomelín, A., Cuervo, A. M., de la Cruz Amado, J., Rodríguez Álvarez, S. G., Donato-Rondón, J. Ch., ... Stevenson, P. R. (2018). Biodiversidad de la sierra de La Macarena, Meta, Colombia. Parte I. Ríos Guayabero medio, bajo Losada y bajo Duda. In *Biodiversidad de la sierra de La Macarena, Meta, Colombia. Parte I*.



Ríos pg. 55. Guayabero medio, bajo Losada y bajo Duda. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
<https://doi.org/10.21068/a2018n02>

Muñoz-Castro J.A. y Carvajal-Cogollo J. (En preparación). Uso y caracterización de hábitats, anotaciones sobre la ecología reproductiva y amenazas de *Podocnemis lewyana* (Testunides: Podocnemididae) en el Alto Magdalena, Colombia

Ortiz-Yusty, C., Restrepo, A., y Páez, V. P. (2014). Distribución potencial de *Podocnemis lewyana* (Reptilia: Podocnemididae) y su posible fluctuación bajo escenarios de cambio climático global. Acta Biológica Colombiana, 19(3), 471-481.
<https://doi.org/10.15446/abc.v19n3.40909>

Ospina Zúñiga, O. E., Murillo Vargas, F. J., y Toro, M. K. (2018). Incidencia del río Bogotá en la calidad microbiológica del agua del río Magdalena, municipio de Flandes (Tolima). Luna Azul, (47), 114-128. <https://doi.org/10.17151/luaz.2018.47.7>

Páez, V. P., A. Restrepo Isaza, M. Vargas Ramírez, B.C. Bock, y N. Gallego Garcia. (2012). *Podocnemis lewyana* (Duméril 1852). Pp. 375-281. En: Páez V. P., M. A. Morales-Betancourt, C. A. Lasso, O. V. Castaño-Mora y B. C. Bock. (Editores). V. Biología y Conservación de las Tortugas Continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, Colombia.

Páez, V. P., Bock, B. C., Espinal-García, P. A., Rendón-Valencia, B. H., Alzate-Estrada, D., Cartagena-Otálvaro, V. M., y Heppell, S. S. (2015). Life history and demographic characteristics of the Magdalena River turtle (*Podocnemis lewyana*): implications for management. Copeia, 103(4), 1058-1074.
<https://doi.org/10.1643/CE-14-191>

Páez, V., Gallego-Garcia, N., y Restrepo, A. (2016). *Podocnemis lewyana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e. T17823A1528580.

Páez, Vivian P.; Bock, Brian C.; Espinal-García, Paula A.; Rendón-Valencia, Beatriz H.; Alzate-Estrada, Diego; Cartagena-Otálvaro, Viviana M.; Heppell, Selina S. (2015). Life History and Demographic Characteristics of the Magdalena River Turtle (*Podocnemis lewyana*): Implications for Management. Copeia, 103(4), 1058–1074.
<https://doi.org/10.1643/CE-14-191>



Pardo Zarache, C. A. (2019). Análisis de impactos sociales del programa de manejo y conservación de la Tortuga de río (*Podocnemis lewyana*), en la cuenca baja del río Nechí. Tesis de Maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente. Universidad de Manizales.

Pereira, Manuel. (1954). A Tartaruga Verdadeira do Amazonas. Resumem Informativo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Divisão de Caça e Pesca.

Pérez-Pérez, A. (2022). Ecología térmica y uso de hábitat de *Kinosternon integrum*. Tesis doctoral: Doctora en Ciencias. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/136910>

Pimm SL, Raven P (2000) Biodiversity: extinction by numbers. Nature 403:843–845

Rangel, J. O., y Arellano, H. (2008). El clima en el área del transecto Sumapaz (cordillera Oriental). Estudios de Ecosistemas Tropandinos: La Cordillera Oriental Colombiana-Transecto Sumapaz, 7, 143-184.

Rangel-Ch, J. O., y Velázquez, A. (1997). Métodos de estudio de la vegetación. Colombia diversidad biótica II. Tipos de vegetación en Colombia, 59-82.

Reese, D. A., y Welsh Jr, H. H. (1998). Habitat use by western pond turtles in the Trinity River, California. The Journal of wildlife management, 842-853.

Restrepo, Adriana; Páez, Vivian P.; López, Catalina; Bock, Brian C. (2008). Distribution and Status of *Podocnemis lewyana* in the Magdalena River Drainage of Colombia. Chelonian Conservation and Biology, 7(1), 45–51. <https://doi.org/10.2744/CCB-0668.1>

Royle, J. A. (2004). N-mixture models for estimating population size from spatially replicated counts. Biometrics, 60(1), 108-115. <https://doi.org/10.1111/j.0006-341X.2004.00142.x>

Sanderson EW, Jaiteh M, Levy MA, Redford KH, Wannebo AV, Woolmer G (2002) The human footprint and the last of the wild. BioScience 52: 891-904. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0891:THFATL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0891:THFATL]2.0.CO;2)



Sandoval-Rivera, J. P., Sáenz-Arroyo, A., Alcérreca-Huerta, J. C., y Rodiles-Hernández, R. (2022). Impacto histórico de la deforestación y la modificación de los ríos en la morfología de la costa del sur del Golfo de México. *Revista de historia (Concepción)*, 29(1), 150-181. <https://doi.org/10.29393/RH29-6IHJR40006>

Sandoval-Rivera, J. P., Sáenz-Arroyo, A., Alcérreca-Huerta, J. C., y Rodiles-Hernández, R. (2022). Impacto histórico de la deforestación y la modificación de los ríos en la morfología de la costa del sur del Golfo de México. *Revista de historia (Concepción)*, 29(1), 150-181. <https://doi.org/10.29393/RH29-6IHJR40006>

Souza-Araujo, J., Giarrizzo, T. y Lima, M.O. (2015). Mercury concentration in different tissues of *Podocnemis unifilis* (Troschel, 1848) (Podocnemididae: Testudines) from the lower Xingu River - Amazonian, Brazil. *Brazilian Journal of Biology (Brasil)*. 75(3 Supl.1):106-111. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.01514BM>

Vallejo-Betancur, M. M., Páez, V. P., y Quan-Young, L. I. (2018). Analysis of people's perceptions of turtle conservation effectiveness for the Magdalena River Turtle *Podocnemis lewyana* and the Colombian slider *Trachemys callirostris* in Northern Colombia: an ethnozoological approach. *Tropical Conservation Science*, 11, 1940082918779069. <https://doi.org/10.1177/1940082918779069>

Van der Hammen, T. (2008). La Cordillera Oriental Colombiana Transecto Sumapaz.

Wang, B., Rocha, D. G., Abrahams, M. I., Antunes, A. P., Costa, H. C., Gonçalves, A. L. S. and Tan, C. K. W. (2019). Hábitat use of the ocelot (*Leopardus pardalis*) in Brazilian Amazon. *Ecology and Evolution*, 9(9), 5049-5062. <https://doi.org/10.1002/ece3.5005>



MATERIAL COMPLEMENTARIO

Material complementario 1. Modelos de ocupación desarrollados.

- $m1 = occu(\sim Lux \sim T_V, umf)$
- $m2 = occu(\sim Lux \sim T_LL, umf)$
- $m3 = occu(\sim Lux \sim Asent, umf)$
- $m4 = occu(\sim Lux \sim Porc_veg, umf)$
- $m5 = occu(\sim Lux \sim Tipo_veg, umf)$
- $m6 = occu(\sim Lux \sim Habitat, umf)$
- $m7 = occu(\sim Lux \sim T_V + T_LL, umf)$
- $m8 = occu(\sim Lux \sim T_V + Asent, umf)$
- $m9 = occu(\sim Lux \sim T_V + Porc_veg, umf)$
- $m10 = occu(\sim Lux \sim T_V + Tipo_veg, umf)$
- $m11 = occu(\sim Lux \sim T_V + Habitat, umf)$
- $m12 = occu(\sim Lux \sim T_LL + Asent, umf)$
- $m13 = occu(\sim Lux \sim T_LL + Porc_veg, umf)$
- $m14 = occu(\sim Lux \sim T_LL + Tipo_veg, umf)$
- $m15 = occu(\sim Lux \sim T_LL + Habitat, umf)$
- $m16 = occu(\sim Lux \sim Asent + Porc_veg, umf)$
- $m17 = occu(\sim Lux \sim Asent + Tipo_veg, umf)$
- $m18 = occu(\sim Lux \sim Asent + Habitat, umf)$
- $m19 = occu(\sim Lux \sim Porc_veg + Tipo_veg, umf)$
- $m20 = occu(\sim Lux \sim Porc_veg + Habitat, umf)$
- $m21 = occu(\sim Lux \sim Tipo_veg + Habitat, umf)$
- $m22 = occu(\sim Lux \sim T_V + T_LL + Asent, umf)$
- $m23 = occu(\sim Lux \sim T_V + T_LL + Porc_veg, umf)$
- $m24 = occu(\sim Lux \sim T_V + T_LL + Tipo_veg, umf)$
- $m25 = occu(\sim Lux \sim T_V + T_LL + Habitat, umf)$
- $m26 = occu(\sim Lux \sim T_V + Asent + Porc_veg, umf)$
- $m27 = occu(\sim Lux \sim T_V + Asent + Tipo_veg, umf)$
- $m28 = occu(\sim Lux \sim T_V + Asent + Habitat, umf)$
- $m29 = occu(\sim Lux \sim T_V + Porc_veg + Tipo_veg, umf)$
- $m30 = occu(\sim Lux \sim T_V + Porc_veg + Habitat, umf)$
- $m31 = occu(\sim Lux \sim T_V + Tipo_veg + Habitat, umf)$
- $m32 = occu(\sim Lux \sim T_LL + Asent + Porc_veg, umf)$
- $m33 = occu(\sim Lux \sim T_LL + Asent + Tipo_veg, umf)$
- $m34 = occu(\sim Lux \sim T_LL + Asent + Habitat, umf)$
- $m35 = occu(\sim Lux \sim T_LL + Porc_veg + Tipo_veg, umf)$
- $m36 = occu(\sim Lux \sim T_LL + Porc_veg + Habitat, umf)$



m37=occu(~Lux~T_LL+Tipo_veg+Habitat,umf)
m38=occu(~Lux~Asent+Porc_veg+Tipo_veg,umf)
m39=occu(~Lux~Asent+Porc_veg+Habitat,umf)
m40=occu(~Lux~Asent+Tipo_veg+Habitat,umf)
m41=occu(~Lux~Porc_veg+Tipo_veg+Habitat,umf)
m42=occu(~Lux~T_V+T_LL+Asent+Porc_veg,umf)
m43=occu(~Lux~T_V+T_LL+Asent+Tipo_veg,umf)
m44=occu(~Lux~T_V+T_LL+Asent+Habitat,umf)
m45=occu(~Lux~T_V+Asent+Porc_veg+Tipo_veg,umf)
m46=occu(~Lux~T_V+Asent+Porc_veg+Habitat,umf)
m47=occu(~Lux~T_V+Porc_veg+Tipo_veg+Habitat,umf)
m48=occu(~Lux~T_LL+Asent+Porc_veg+Tipo_veg,umf)
m49=occu(~Lux~T_LL+Asent+Porc_veg+Habitat,umf)
m50=occu(~Lux~T_LL+Porc_veg+Tipo_veg+Habitat,umf)
m51=occu(~Lux~Asent+Porc_veg+Tipo_veg+Habitat,umf)
m52=occu(~Lux~T_V+T_LL+Asent+Porc_veg+Tipo_veg+Habitat, umf)