

Evaluación de la densidad poblacional y el uso de microhábitat de *Atractus orcesi* en el Valle de Sibundoy, Alto Putumayo, y su potencial distribución geográfica en Colombia.

Freisy Delgado Quintero

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE INGENIERÍA, DISEÑO Y CIENCIAS APLICADAS

Biología con concentraciones en Conservación y Biología Molecular/Biotecnología

Santiago de Cali

2024

Evaluación de la densidad poblacional y el uso de microhábitat de *Atractus orcesi* en el Valle de Sibundoy, Alto Putumayo, y su potencial distribución geográfica en Colombia.

Freisy Delgado Quintero

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE BIÓLOGA

María Del Rosario Castañeda Prada

Ph. D

Jonh Jairo Mueses-Cisneros

MSc.

Santiago de Cali

2024

AVAL PARA LA ENTREGA DE PDG II

Firma del Tutor:

X *Rosario Castañeda*

María Del Rosario Castañeda Prada

Firma de Co-Tutor:

X *Jonh Jairo Mueses Cisneros*

Jonh Jairo Mueses Cisneros

Firma del estudiante:

X *Freisy Delgado Quintero*

Freisy Delgado Quintero

Resumen

Este estudio investiga la densidad poblacional y el uso del hábitat de *Atractus orcesi* en el Valle de Sibundoy, y su potencial distribución geográfica en Colombia con el fin de llenar los vacíos de información que tiene la especie debido a la falta de investigación. Esta es una especie poco conocida que habita en distintas regiones naturales de Ecuador y Colombia, a distintos gradientes de temperatura. Se realizó un muestreo en diferentes zonas del Valle de Sibundoy utilizando métodos de búsqueda activa específicos para el hábito secretivo de la especie. Se encontró una mayor densidad poblacional en la región de "Garganta de Balsayaco", con una preferencia por microhábitats bajo rocas y troncos en áreas como potreros ganaderos y alrededor de cultivos. También se encontró una diferencia de coloración entre juveniles y adultos, que no había sido reportada en la literatura, lo que apoya la hipótesis de que se trata de una especie politípica, con las poblaciones de Ecuador y Colombia representando dos especies distintas. La tasa de encuentro de *A. orcesi* fue mayor de lo esperado según la literatura, sugiriendo una posible abundancia relativa mayor en el Valle de Sibundoy. El modelo MaxEnt, utilizado para estimar la potencial distribución geográfica, reveló una distribución potencial más amplia para la especie, incluyendo regiones no documentadas anteriormente en la literatura. Este estudio proporciona información relevante para ampliar el conocimiento de *Atractus orcesi* y destaca la importancia de considerar factores ambientales y antropogénicos en la gestión de especies que se encuentran descritas como amenazadas.

Palabras clave: *Atractus orcesi*; densidad poblacional; distribución geográfica; modelo MaxEnt; uso de microhábitat.

Introducción

La falta de información necesaria para estimar el estado de conservación actual de las especies tiende a ser un patrón común en especies de vertebrados pequeños, como lo son los reptiles. Estos no han recibido el mismo grado de atención pública como otra fauna más carismática¹. Los estudios de población son claves para estimar el estado de las poblaciones y sus amenazas. Desafortunadamente, los estudios poblacionales son particularmente

desafiantes en especies secretivas². Dentro de las características que se utilizan para describir un grupo (es términos de medidas estadísticas) está la densidad³. La densidad absoluta de una población es el número de individuos por unidad de área o por unidad de volumen. Dentro de sus áreas de distribución, las especies se pueden encontrar en diferentes densidades. La estimación de la densidad poblacional es un componente fundamental para la conservación, proporcionando información crucial para comprender la dinámica y la salud de las poblaciones de especies dentro de su área de distribución.

La comprensión de la distribución de las especies es clave para plantear acciones de gestión y conservación⁴. La generación de modelos de distribución de especies individuales son útiles para llenar vacíos de muestreo, evaluar el tamaño de las poblaciones y describir las relación entre la especie y el medio ambiente⁵. Los modelos de distribución de especies (SDM, por sus siglas en inglés) se han convertido en una herramienta popular en la ecología espacial y se centralizan en torno a la teoría del nicho. La teoría del nicho establece que el nicho de una especie comprende todas las condiciones ambientales y recursos necesarios para su supervivencia, crecimiento y reproducción, así como su interacción con otras especies. La función de los SDM es capturar la relación de las especies con el ambiente, lo que a su vez representa la dimensión espacial del nicho de una especie⁴. Para generar los modelos de distribución, primero se necesitan los datos resultantes de esquemas de monitoreo y datos de avistamiento de las especies con coordenadas espaciales⁵. La prevalencia de las especies y las tendencias temporales de su población son factores que pueden llegar a influir en el rendimiento del modelo, por lo que especies raras pueden llegar a ser difíciles de modelar debido a observaciones insuficientes⁵. Los algoritmos de aprendizaje automático, como MaxEnt, se han utilizado recurrentemente en los SDM para solucionar esos vacíos de información. La popularidad de MaxEnt se debe a la estimación de áreas adecuadas basadas en pocos registros de presencia⁶. Los SDM con MaxEnt estiman el nicho potencial de una especie, es decir, el área geográfica en la que podría prosperar óptimamente su población, considerando su capacidad de dispersión o el "nicho realizado", que es el espacio geográfico que realmente ocupa debido a factores como la disponibilidad de recursos y la competencia⁴.

El hábitat se puede dividir en dos niveles: macrohábitat, que es un entorno a gran escala y un hábitat más extenso que incluye características ambientales generales como la temperatura,

la humedad y la precipitación; y microhábitat, que es un hábitat más pequeño y especializado, que comprende características más específicas como la cobertura vegetal, los sitios de percha y sustratos disponibles⁷. El uso de microhábitat es un comportamiento asociado a la distribución y la historia natural de una especie. Generalmente las especies pueden hacer uso de subdivisiones de su hábitat para llevar a cabo distintos procesos ecológicos o funciones biológicas. Estas subdivisiones del hábitat también son llamadas “microhábitats”, los cuales pueden llegar a incluir recursos bastante diversos con condiciones bióticas y abióticas diferentes dentro de un mismo espacio natural⁸. Especies de ectotermos como lagartijas y serpientes, pueden utilizar elementos bióticos y abióticos del microhábitat para llevar a cabo sus funciones vitales como lo es la termorregulación, la reproducción, la anidación, el forrajeo, la dormancia, el refugio y la evasión de depredadores⁸. Sin embargo hay una gran problemática, ya que hay muchas especies de reptiles sobre las cuales se desconoce información básica acerca del uso de microhábitat, principalmente aquellas con hábitos secretivos, dificultando su registro en campo⁸.

La culebra tierrera de Orcés, *Atractus orcesi*, es un reptil de tamaño pequeño y de hábito secretivo (fosorial, semifosorial o criptozoica), perteneciente al Orden Squamata y Familia Colubridae, Subfamilia Dipsadinae⁹. Se encuentra distribuida en la vertiente amazónica de los Andes en Colombia y Ecuador; en Colombia está en los departamentos del Cauca, Huila y Putumayo. El Putumayo es uno de los departamentos menos estudiados en cuando a herpetofauna en Colombia, lo cual sorprende debido a sus características geográficas, ya que presenta una gran variedad de ambientes que van desde selvas amazónicas hasta páramos, lo que lo convierte en uno de los lugares con mayor riqueza biológica en el país¹⁰. *Atractus orcesi* está presente en zonas abiertas con pastizales y orillas de ríos, debajo de piedras y troncos. Es bastante común en el Valle de Sibundoy, alto Putumayo, donde se han descrito dos poblaciones importantes en la región de “Garganta de Balsayaco”, en las veredas Balsayaco, perteneciente al municipio de Santiago y Alto Balsayaco, en el municipio de San Francisco¹¹. El Valle de Sibundoy cuenta con un área cercana a 48.100 ha, de las cuales 8500 ha son principalmente un territorio plano con alturas sobre los 2000 m. Este es el lugar con menor elevación en la Cordillera Oriental de los Andes de Colombia, que resulta ser el paso más angosto entre las selvas húmedas amazónicas y el Chocó biogeográfico¹². Aquí se

pueden encontrar ecosistemas algunas veces conectados y otros fragmentados de humedales, bosques y matorrales altoandinos, subpáramos y páramos¹².

En Ecuador esta especie se encuentra bajo Preocupación Menor (LC)¹³ según los criterios de la UICN, donde se ha reportado en las provincias de Morona Santiago, Napo, Orellana y Sucumbios, en bosques de la Amazonía y bosques andinos entre los 300-3000 m (Passos et al., 2009). Por el contrario, en Colombia está categorizada como Vulnerable VU B1ab(i,iii) principalmente por tener una extensión de presencia bastante restringida (~20.000 km²) y la inminente disminución de su hábitat, así como el tamaño poblacional¹¹. La única fuente publicada de información sobre la especie en Colombia es el Libro Rojo de Reptiles de Colombia, el cual cuenta con poca información acerca de la ecología y densidad poblacional de la especie, por lo que propone como medidas de investigación realizar nuevas prospecciones en estudios demográficos y ecológicos para *A. orcesi*. En este contexto y con el fin de llenar estos vacíos de información de la especie en Colombia, surge la pregunta de investigación: ¿Cuál es la densidad poblacional de *Atractus orcesi* en el Valle de Sibundoy, cómo utiliza los microhábitats esta especie y cuál es su potencial distribución geográfica en Colombia?

Para responder a esta pregunta se plantearon tres objetivos principales: 1) Estimar la densidad poblacional de *Atractus orcesi* en el Valle de Sibundoy, 2) Describir el uso del microhábitat de *Atractus orcesi* en el Valle de Sibundoy, evaluando sus preferencias de hábitat y relaciones con variables ambientales, y 3) Modelar la distribución geográfica potencial de *Atractus orcesi* utilizando la herramienta de modelado espacial MaxEnt y tomando en consideración todas las variables ambientales pertinentes que podrían proporcionar más áreas en donde se pueda encontrar la especie en Colombia.

Metodología

Sitio de estudio

El estudio se realizó en el Valle de Sibundoy, Departamento del Putumayo, donde se encuentran las dos poblaciones descritas para Colombia. Específicamente, en la región conocida como “Garganta del Balsayaco”, en los Municipios de Santiago, Colón, Sibundoy

y San Francisco¹²³. Se identificaron trece lugares de muestreo (Fig. 1) teniendo en cuenta la topografía e idoneidad del sitio de estudio en cuanto a la disponibilidad de microhábitats medida de manera visual, con el fin de garantizar una mayor probabilidad de encuentros.

A continuación, se realiza una descripción de las características y locaciones de cada transecto, con el fin de proporcionar información contextual y detallada sobre los sitios donde se recolectaron los datos.

Densidad poblacional.

Para estimar la densidad poblacional se estableció un transecto de 1 Km en doce de los sitios seleccionados (Fig. 1), mientras que en un sitio se designó un transecto de 3 Km (T10; Fig. 1), debido a que había un área grande con disponibilidad de microhábitats adecuados, además por que un habitante de la zona reportó haber encontrado un individuo muerto por atropellamiento en la vía de esa zona. La distancia recorrida en cada transecto fue medida por medio de la aplicación "MapMyRun" para garantizar precisión en las mediciones. Para cada transecto se tomó un registro fotográfico, como evidencia visual para respaldar las descripciones de cada uno. Se determinaron los sitios de muestreos teniendo en cuenta la topología del sitio, que fuera de fácil acceso para realizar los muestreos.

Adicionalmente, se realizó una actividad con las comunidades locales donde se les preguntó a los habitantes de cada sitio de muestreo si conocían o ha tenido algún acercamiento con la especie, y cuáles han sido sus interacciones con ellas.

T1: corresponde al municipio de San Francisco (Fig.3). Transecto medido a lo largo de una carretera secundaria poco transitada por medios de transporte convencionales (carro y moto). Ubicado en una zona montañosa. El uso del suelo a cada lado de la carretera corresponde a potreros de ganado y algunas fincas (Fig. 3a).

T2: corresponde al municipio de Santiago. Transecto medido a la orilla del río Quinchoa, al otro lado del transecto principalmente se observaron cultivos de Lulo. Zona con abundante disponibilidad de microhábitat en cuanto a rocas en el suelo (Fig. 12 complementaria). Adicionalmente se reporta el encuentro de dos individuos de *Caecilia orientalis* (Fig. 12b complementaria).

T3: Corresponde al municipio de San Francisco. Transecto dentro de la finca “La Virginia”, propiedad de la familia Bernal Moreno, es una sociedad de hermanos que anteriormente ha estado en proyecto de reserva. La primera parte del transecto corresponde a construcciones artificiales incluyendo la casa y cultivos alrededor (Fig. 13a complementaria), la parte final corresponde a un bosque en proceso de recuperación (Fig 13b complementaria). Se encuentra más cercano a la región de Balsayaco.

T4: Corresponde al municipio de San Francisco. Transecto a lo largo de un camino de uso peatonal y de ganado (no hay movilización de medios de transporte convencionales). A cada lado del transecto hay poteros utilizados para el ganado. Más cercano a la región de Balsayaco (Fig. 14 complementaria).

T5: Corresponde al municipio de San Francisco. En la vereda San Miguel, zona montañosa con mayor influencia amazónica. Parte del transecto fue por una vía secundaria transitada por medios de transporte convencionales (Fig. 15a complementaria), donde a cada lado se presentaron cultivos de lulo y frijol (Fig. 15b complementaria), la siguiente parte fue por un camino de uso peatonal y de ganado, donde había potreros a cada lado del transecto (Fig. 15c complementaria).

T6: Corresponde al municipio de San Francisco. Transecto dentro de la “Microcuenca del Municipio de San Francisco”, con presencia de canales de agua artificiales (Fig. 16a complementaria), pastizales altos, con bastante vegetación (Fig. 16b complementaria). No se presenta uso de suelo para ganadería o cultivo. Es un sitio de muestreo un poco difícil por la abundante vegetación en el suelo.

T7: Corresponde al municipio de Santiago, específicamente en el sector “Garganta de Balsayaco”. Zona de menor altura en comparación a los demás transectos. El transecto se midió a lo largo de carretera por donde transitan vehículos convencionales. Una parte del transecto fue por un camino por donde solo transitan personas, camino que va hasta el cauce del río Putumayo (Fig. 17a complementaria). Presenta abundante cantidad de microhábitats, principalmente rocas. A lado y lado del transecto se encontraban con mayor frecuencia poteros con ganado y en menor frecuencia cultivos, principalmente de lulo (Fig. 17b complementaria).

T8. Municipio de Santiago, específicamente en la vereda “la Y”, por el sector de “Garganta de Balsayaco”. Transecto por vía secundaria poco transcurrida por vehículos convencionales, con cultivos principalmente lulo y poteros de ganado a ambos lados (Fig. 18 complementaria).

T9: Municipio de Santiago. Al lado oeste del río Putumayo (Fig. 7a), en la misma dirección del Transecto 7. Transecto medido por camino de uso exclusivamente peatonal, dentro de un potero de ganado. Presentaba abundante disponibilidad de microhábitats, tanto de troncos y raíces como de rocas, pero principalmente rocas por un posible deslizamiento de la montaña adyacente.

T10: Municipio de Colón, en el “Cerro de San Sebastián” (Fig. 21a complementaria). Este fue el único transecto que midió 3 Km, por vía transitada por vehículos convencionales. Abundante disponibilidad de microhábitats, entre rocas, troncos y hojarasca en el suelo. Se estaban realizando labores de mejoramiento de la carretera con maquinaria pesada en una parte de transecto, lo que pudo ser un factor importante para el muestreo, ya que, aunque se reportó el avistamiento de un individuo de *A. orcesi* atropellado en la zona, en todo el transecto no se muestreó ningún individuo de *A. orcesi*, pero sí se encontró un individuo de *Caecilia orientalis* (Fig. 21b complementaria).

T11: Municipio de Sibundoy. Transecto por carretera en la zona alta/montañosa (Fig. 22 complementaria), carretera medianamente concurrida por vehículos con presencia principalmente de cultivos de frijol y afluentes de agua como quebradas. Habitantes reportan que no es común ver a la especie, pero que sí se encuentran algunas por la zona.

T12: Vereda Tamabioy perteneciente al municipio de Sibundoy. Transecto medido en la zona plana del municipio de Sibundoy (Fig. 23 complementaria). Abundantes cultivos de frijol y poteros de ganado. No se encontró ningún individuo durante el muestreo, además, los habitantes de la zona reportaron no haber visto ningún individuo de *A. orcesi*.

T13: Vereda San Antonio de Porotoyaco en el municipio de San Francisco (Fig. 24 complementaria), pertenece a la zona plana del Valle de Sibundoy. El uso del suelo se da principalmente para ganado con algunos cultivos de lulo. Los habitantes de la zona afirman

no haber visto la especie *A. orcesi* en el lugar. Igualmente, durante el muestreo no se encontró ningún individuo.

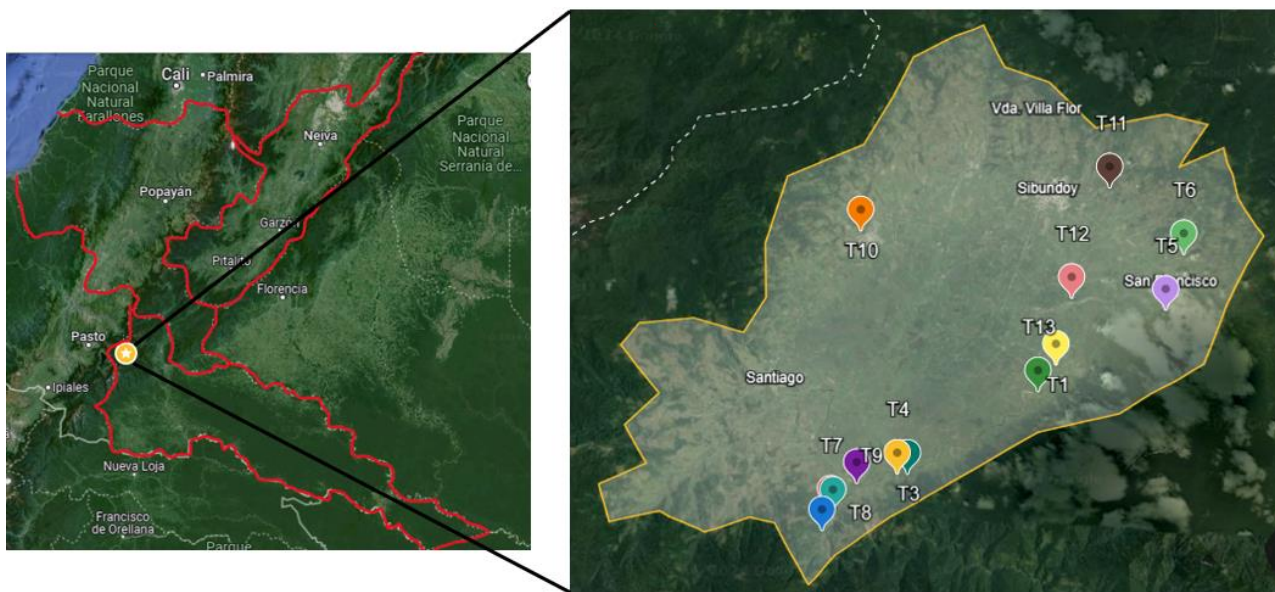


Figura 1. Mapa de Colombia con los departamentos en donde se distribuye la especie en Colombia (a la izquierda) y el área de estudio (a la derecha) que muestra los sitios de muestreo caracterizados por colores en todo el Valle de Sibundoy. Generado con QGIS y Google Earth en enero del 2024.

El muestreo de individuos se realizó siguiendo la metodología descrita por Pollard & Yate (1993)¹⁴. Para facilitar el encuentro y captura de individuos, se tuvo en cuenta que *A. orcesi* es una especie secretiva (fosorial, semifosorial o criptozoica), por lo que se utilizó una metodología de levantamiento de piedras, troncos y material orgánico presente en el suelo, acompañada por la técnica de Remoción con Rastrillo y Azadón (RRA)¹⁵. Las observaciones de individuos se llevaron a cabo durante jornadas de 3 horas por transecto, se realizaron dos transectos por día entre las 8:00a.m. y las 3:00p.m. . Se realizaron dos recorridos por cada transecto en días diferentes no consecutivos y a la misma hora. El muestreo se llevó a cabo durante un periodo de 15 días, comprendido entre el 06 de enero y el 20 de enero del 2024. Para cada transecto, se registraron las coordenadas iniciales y finales del recorrido, así como las coordenadas exactas de cada individuo capturado. La aplicación "Google Maps" desde un celular móvil fue utilizada para obtener coordenadas exactas. También, se registraron la

hora de inicio y finalización de cada muestreo por transecto para tener en cuenta las variaciones temporales en la actividad. Adicionalmente, se cuantificó la intensidad del esfuerzo de muestreo, incluyendo la cantidad de personas involucradas en el muestreo simultáneo, el tiempo de recorrido, y la cantidad de rocas y troncos levantados por cada persona, para evaluar el posible impacto en el éxito de captura de individuos. Por último, se tomó registro fotográfico de todos los individuos y del sitio de captura de cada uno. Todos los animales fueron liberados en el sitio de captura y ninguna serpiente murió ni sufrió lesiones por la manipulación o las mediciones.

Con los datos obtenidos, se calculó la densidad ecológica, que es el número de individuos dividido por el área disponible o muestreada¹⁶ y posteriormente este valor se extrapoló a toda el área de estudio que corresponde al Valle de Sibundoy.

Adicionalmente, se calcularon las tasas de encuentro teniendo en cuenta los datos de esfuerzo de muestreo y el número de individuos, y se compararon con lo que podría esperar basándose en estudios previos de densidad y abundancia de serpientes en Colombia¹⁷ para evaluar si se encontraron más individuos de lo esperado en el Valle de Sibundoy.

Análisis de densidad espacial

Para el análisis de densidad espacial de los puntos de muestreo, se descargaron los datos espaciales de las fronteras administrativas de nivel 1 de Colombia de GADM (Database of Global Administrative Areas (version 4.1, 2024. Available from: <https://gadm.org/>). Esta base de datos se utilizó para definir el contexto geográfico y administrativo en el cual se llevó a cabo el análisis.

Se utilizaron datos tabulares que corresponden a las coordenadas de los puntos de muestreo. Los datos tabulares son los conjuntos de datos organizados en formato de tabla, en este caso cada fila representa un punto de muestreo y cada columna las coordenadas geográficas; permitiendo la identificación precisa de la ubicación geográfica de cada punto de muestreo. Además, se cargaron datos vectoriales de los municipios de Colombia desde un archivo GeoPackage (.gpkg), que contiene información actualizada hasta agosto de 2023. La utilización de estos datos vectoriales fue crucial para definir las áreas administrativas específicas dentro de las cuales se localizaron los puntos de muestreo. Para asegurar la

compatibilidad con otros conjuntos de datos y facilitar su uso en análisis geoespaciales, estos datos vectoriales de los municipios se re proyectaron al sistema de coordenadas WGS 1984 (EPSG:4326).

Se intersecaron los puntos de muestreo con los límites municipales, con el fin de identificar los municipios específicos donde se localizaron los puntos de interés, posteriormente se filtraron los municipios resultantes para incluir solo los pertenecientes al departamento de Putumayo. Se utilizaron datos de elevación del SRTM para utilizar los rangos altitudinales para el área de interés específica que sería el Valle de Sibundoy ¹⁸.

La densidad de los puntos de muestreo se calculó utilizando el paquete “spatstat” en Rstudio¹⁹. Este cálculo se ajustó a la resolución del raster de elevación y se recortó y enmascaró según el área de interés definida previamente. Los resultados de densidad se guardaron en archivos raster para su posterior visualización. Para asegurar la consistencia espacial, los datos vectoriales se proyectaron nuevamente al sistema de coordenadas WGS 1984. Además, los valores del raster se normalizaron a un rango de 0 a 1 para facilitar la comparación y visualización de los resultados.

Finalmente, se generó un mapa de densidad para la especie en el Valle de Sibundoy utilizando la librería “ggplot2” en R. Este mapa representa visualmente la distribución espacial de la densidad de los puntos de muestreo en relación con las características geográficas de la región de estudio.

Uso de microhábitat

Se determinaron cinco categorías de microhábitat: 1) Zonas abiertas con pastizales; 2) Orillas de ríos y debajo de piedras en el transecto terrestre; 3) Debajo de troncos y raíces de árboles; 4) Bajo hojarasca y montones de tierra; y 5) Parches de cultivos. Durante el muestreo a medida que se iban localizando los individuos se les asignó alguna de las categorías antes descritas para posteriormente describir todas las características del microhábitat incluyendo la presencia de individuos de otras especies de reptiles que se encontraran en el mismo microhábitat y las características de los alrededores de este como la presencia de potreros, cultivos o carreteras. Para la descripción de cada transecto, se utilizó el registro en campo y las fotografías tomadas. Para determinar el sexo de los individuos, se midió la longitud

hocico-cloaca (SVL) y la longitud de la cola (CL). El sexo se determinó mediante las relaciones CL a SVL, utilizando la Fórmula 1¹³. La relación CL/SVL en machos es de 11.2-17.1% y en hembras 7-9.4%¹³.

$$\% SVL = \left(\frac{\text{longitud de la cola (CL)}}{\text{Longitud del cuerpo (SVL)}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Distribución geográfica

Con el fin de generar un modelo de distribución para *A. orcesi* en Colombia, se utilizaron las coordenadas específicas de cada individuo observado en este estudio junto con los datos registrados en la literatura, y la información de presencia de la especie disponibles en “Sistema Global de Información sobre Biodiversidad” (GBIF, por sus siglas en inglés²⁰)

Para modelar la potencial distribución geográfica de *A. orcesi* se utilizó el algoritmo de máxima entropía sometido a variables ambientales (MaxEnt)⁶. Se eligió este algoritmo ya que es el más general y robusto en comparación con otros métodos de modelado de especies, en lo que respecta a su capacidad para estimar con precisión las áreas idóneas para la distribución de una especie con pocos registros de presencia⁶. Para el análisis climático, se procesaron datos vectoriales que incluyen las fronteras del área de estudio, que en este caso sería para Colombia y Ecuador. Además, se realizó un análisis climático donde se utilizaron datos climáticos mensuales promedio entre los años 1970-2000. Estos datos fueron descargados de la página web de WorldClim (<http://worldclim.org>) y fueron compilados por Steve Fick y Robert Hijmans²¹. Los datos incluyen 19 variables bioclimáticas, que abarcan aspectos como la temperatura media anual, la precipitación anual, y la estacionalidad de la temperatura y la precipitación. Con el fin de reducir la redundancia en las variables predictoras y mejorar la precisión del modelo se combinaron los puntos de muestreo con los datos bioclimáticos y se realizó un análisis de factores de inflación de la varianza (VIF) para identificar y excluir variables altamente colineales.

Se cargó una capa climática en formato raster y se inició una matriz de capa con valores de 1. Para entrenar el modelo, se identificaron las celdas dentro de la capa climática que contienen puntos de presencia y se marcaron como NA en la matriz de la capa. Posteriormente, se

generaron puntos aleatorios de pseudo-ausencia dentro de la capa climática utilizando la función "randomPoints" en R. Las pseudoausencias son los puntos donde no se ha reportado la presencia de la especie y son importantes para que el modelo compare las condiciones climáticas de los puntos en donde se ha reportado la presencia de la especie y aquellos donde no, mejorando de esta manera la precisión su predicción durante la predicción del nicho climático. Se combinaron las tablas de presencia y pseudo-ausencia en una única tabla y se asignaron etiquetas para distinguir entre los puntos de presencia y pseudo-ausencia. Finalmente se creó un mapa para visualizar las ubicaciones de los puntos de presencia y pseudo-ausencia (Fig. 8).

Para generar el modelo de la distribución de *A. orcesi* utilizando el algoritmo MaxEnt se utilizaron los datos de presencia y pseudo-ausencia, sumado a los datos climáticos en formato raster y las variables predictoras, que fueron las variables seleccionadas de los datos climáticos que más podrían influir en la distribución de la especie, es específico se seleccionaron las variables bioc 13, bioc 15 y bioc 18 de WorldClim y como tal son el resultado del análisis de factores de inflación de la varianza (VIF).

Para el entrenamiento del modelo MaxEnt se realizaron dos rutinas de entrenamiento y prueba para los datos de ocurrencia y pseudo-ausencias respectivamente. Se utilizaron estas rutinas en lugar de una validación cruzada debido a los pocos datos de presencia utilizados. En primer lugar, se realizó la extracción de los valores de las variables bioclimáticas en los puntos de ocurrencia y pseudo-ausencia. Este paso implica superponer los puntos geográficos de presencia y pseudo-ausencia sobre los datos raster de variables bioclimáticas y registrar los valores climáticos correspondientes a cada punto. Esto se realizó con el fin de construir una matriz de datos donde cada fila represente un punto de presencia o pseudo-ausencia y cada columna represente una variable bioclimática. Esta matriz es esencial para entrenar el modelo MaxEnt, ya que proporciona la información necesaria sobre las condiciones ambientales asociadas con la presencia y ausencia de la especie.

Posteriormente, se dividió cada grupo en dos rutinas utilizando la función "kfold" del paquete "dismo". Esta función generó dos conjuntos de índices de entrenamiento y prueba para cada grupo, permitiendo evaluar el desempeño del modelo en datos no utilizados durante el entrenamiento. Este procedimiento es fundamental para la validación del modelo, ya que

asegura que se pueda medir la capacidad del modelo para generalizar a datos nuevos y no vistos. La elección de dos rutinas de k-fold en lugar de una validación cruzada estándar se debió a la limitada cantidad de datos de presencia disponibles, optimizando así la robustez del modelo.

Se ajustó un modelo MaxEnt para cada rutina generada, utilizando los conjuntos de datos de entrenamiento y prueba. Los modelos se evaluaron utilizando métricas como el área bajo la curva (AUC) y el umbral de sensibilidad-especificidad (TSS). Los resultados de los modelos, incluyendo las predicciones de idoneidad del hábitat, se guardaron en archivos específicos para su posterior análisis.

Finalmente y para la generación del mapa de nicho climático se cargaron los datos de ocurrencia, bioclimáticos y variables explicativas para crear un mapa que representa la idoneidad del nicho climático para la especie utilizando funciones del paquete “ggplot2”, que permitieron construir el gráfico a partir de capas geométricas y estéticas que se pueden combinar y modificar fácilmente para representar los datos de manera efectiva, incluyendo funciones de mapeo de datos para generar la visualización espacial del mapa. Este mapa visualiza las áreas potencialmente adecuadas para la especie en base a los datos climáticos y las predicciones del modelo MaxEnt. La visualización es clave para interpretar y comunicar los resultados del modelo, destacando las áreas con mayor idoneidad para la especie *A. orcesi*.

Resultados y discusión

Densidad poblacional

Para este estudio fueron evaluadas 0,09 Km², distribuidos en doce transectos de 1km y uno de 3 km, todos de 6m de ancho. En total se capturaron 14 individuos de *Atractus orcesi* (Tabla 1), producto de un esfuerzo de muestreo de 45 horas en 15 días, y 5.913 rocas y troncos levantados. En cinco de los transectos fueron encontrados individuos, mientras en siete de ellos no se encontró ninguno. Con estos datos, se estimó una densidad poblacional de 155,56 individuos/Km². Posteriormente este valor se extrapola a toda el área del Valle de Sibundoy de 481 Km² donde la densidad poblacional estimada fue 74.844 individuos/Km².

Con el fin de determinar cómo se encuentran las poblaciones de *A. orcesi* en el Valle de Sibundoy según lo que se podría esperar teniendo en cuenta las tasas de encuentro calculadas para otras especies de serpientes en Colombia. Se calculó la tasa de encuentro de *A. orcesi* en el Valle de Sibundoy teniendo en cuenta el esfuerzo de muestreo y el número de individuos encontrados (Tabla 1). Se determinó una tasa de encuentro por hora de 0,073 individuos/persona-hora, lo que es significativamente mayor a tasas que se han registrado en investigaciones previas^{22,23,24} (Tabla 2). Esto indica una mayor densidad de *A. orcesi* en el Valle de Sibundoy que lo que se esperaría encontrar en comparación con estudios previos en Colombia. Hay que tener en cuenta que este tipo de estimaciones dependen del sitio de estudio (condiciones climáticas, altitudinales y diferentes grados de disturbio) y la experiencia del investigador en muestreo en campo; por lo que este hallazgo podría sugerir una variabilidad regional en la abundancia de esta especie, o una efectividad distinta en los métodos de muestreo empleados. Sin embargo, debido a la disponibilidad limitada de investigaciones que realizan estimaciones de este tipo en Colombia, se puede restringir las opciones de comparación directa, lo que resalta la importancia de aprovechar cualquier información posible para contextualizar de manera generar y comprender mejor los patrones de distribución y abundancia. Brindando de este modo una perspectiva general de cómo se encuentran las poblaciones de *A. orcesi* en el Valle de Sibundoy con respecto a que tan abundantes son las serpientes en Colombia teniendo en cuenta estimaciones de tasas de encuentro.

Además, también hay que tener en cuenta que las densidades de individuos de una especie dependen de muchos factores, entre los que se encuentran: (1) especies de tamaños pequeños, pueden tener poblaciones más grandes que especies de mayor tamaño. (2) Especies de consumidores primarios (presas herbívoras) pueden tener más individuos que otras especies que consuman presas carnívoras²⁴. Por lo que *A. orcesi* en comparación con otras especies de serpientes podría tener una mayor densidad poblacional, ya que presenta un tamaño corporal pequeño, con hembras que alcanzan los 274 mm y machos los 239 mm¹³.

Tabla 1. Número de individuos encontrados, sexo y esfuerzo de muestreo para cada individuo en horas, levantamientos (rocas/troncos) y número de personas.

No. Individuo	Sexo	Esfuerzo de muestreo (Horas)	Esfuerzo de muestreo (levantamientos)	Esfuerzo de muestreo (No. Personas)
1	Hembra	2	202	4
2	Hembra	3	110	4
3	Hembra	3	110	4
4	Macho	3	107	5
5	Macho	3	107	5
6	Hembra	3	107	5
7	Macho	3	107	5
8	Macho	3	107	5
9	Macho	3	132	5
10	Macho	3	132	5
11	Macho	2	150	5
12	Hembra	3	543	5
13	Hembra	3	543	5
14	Macho	3	543	5
Total		40	3000	--

Tabla 2. Comparación de la tasa de encuentro de *A. orcesi* en el Valle de Sibundoy con otras tasas de encuentro de serpientes en Colombia.

Autor	Especie	Lugar	Tasa de encuentro ind/pers-h
Moreno-R & Quintero-S (2015)	<i>Spilotes pullatus</i>	Valle seco del río Magdalena (Huila)	0.011
Vera-L & Zúñiga-J (2014)	<i>Atractus obesus</i>	PNN Munchique (Cauca)	0.001

Vera-L & Zúñiga-J (2014)	<i>Erythrolamprus epinephelus</i>	PNN Munchique (Cauca)	0.003
Urbina-C & Londoño-M (2003)	<i>Micrurus mipartitus</i>	I. Gorgona (Cauca)	0.031
Delgado-F (2024)	<i>Atractus orcesi</i>	Valle de Sibundoy (Putumayo)	0.073

El cálculo de la densidad espacial de los puntos de muestreo y la visualización cartográfica de este resultado arrojó el mapa mostrado en la Figura 2 en donde se puede ver para la región del Valle de Sibundoy el puntaje de densidad que presenta cada zona. En este caso, la imagen esta codificada por colores, donde los tonos rojos y anaranjados representan las zonas de mayor densidad poblacional, mientras que los tonos azules y verdes indican áreas de menor densidad. Se observaron claros patrones espaciales en la densidad poblacional de *A. orcesi*, se puede identificar que la zona con mayor densidad se encuentra en la región denominada Garganta de Balsayaco, que se encuentra en el extremo oriental del Valle de Sibundoy. Este resultado concuerda con los avistamientos de *A. orcesi* reportados en la literatura. Analizando la topología de la zona “Garganta de Balsayaco”, es una cuenca por donde pasa el río Putumayo, su salida por este cause dirige el río hacia la capital del departamento. Es una zona montañosa y con menor altura con respecto a todo el Valle de Sibundoy, además de poseer ecosistemas de Piedemonte amazónico. La altura en la zona plana no parece ser un problema para la distribución de los individuos de la especie, pues se encuentra entre los 2012 y 2908 m.s.n.m, por lo que se encuentra dentro del gradiente altitudinal de la especie que es entre 500 y los 3000 m.s.n.m.

Hay que tener en cuenta que históricamente la actividad geológica asociada a los volcanes circundantes (Patascayo, Bordoncillo, Sibundoy y Cascabel), favoreció el taponamiento de la Garganta de Balsayaco lo que inició la formación de una gran laguna, denominada por los indígenas Quindicocha y con su consiguiente sedimentación dieron origen a la geomorfología plana de este campo territorial²⁵. Este territorio habitado milenariamente por los pueblos Kamëntsá e Inga era una zona de humedales, el cual tuvo una gran transformación en el uso del suelo con la introducción de la ganadería por parte de los colonos y más adelante

con la construcción por parte del INCODER el Distrito de Drenaje del Valle de Sibundoy, desecando los humedales, el cauce del río Putumayo para desviarlo y creando diversos canales que atraviesan el Valle, estas acciones buscando como tal convertir a esta región en una gran despensa agrícola²⁶.

Este proyecto ha ocasionado constantes y graves inundaciones en la zona plana del Valle de Sibundoy, afectando a las comunidades de la zona, debido a que gran cantidad de la zona plana del valle en temporada de lluvias termina inundándose. Precisamente es esta zona la que se tapona y consecuentemente genera inundaciones en la planicie²⁶. Hoy en día, existen humedales inundables de alto valor ecológico en la zona plana del Valle de Sibundoy. Como se puede observar en el mapa de la Fig. 2, la zona plana (se encuentra de color amarillo, verde y azul) es la que presenta menor puntaje de densidad. Esto concuerda con la actividad etnoherpetológica, en donde los habitantes de esta zona afirmaron nunca haber visto la especie y otros, que se ve muy poco, en comparación con la zona de Garganta de Balsayaco, donde la comunidad informó ver con mayor recurrencia a la especie. Teniendo en cuenta que *A. orcesi* se encuentra en regiones naturales como: Bosque Montano Oriental, Bosque Piemontano Oriental, Bosque Húmedo Tropical Amazónico²⁷, se puede inferir que esta especie no es típica de ecosistemas de humedales. Sin embargo, el que los habitantes la hallan visto con menor frecuencia indica un posible movimiento de esta especie hacia la zona plana en temporadas secas. Esto puede deberse a que esta también es la zona con mayor presión antropogénica. Precisamente los habitantes afirmaron que con la ampliación de áreas para la agricultura la especie tiende a subir a zonas más montañosas.

Durante las actividades etnoherpetológicas, los habitantes de la zona “Garganta de Balsayaco”, demostraron tener mayor consciencia ambiental. Por ejemplo, el señor Jonás Josa afirmó que “no mata esas culebritas porque ayudan a acabar con las plagas”. En la finca “La Cristalina”, en la misma zona, el señor Eliecer Jaramillo comentó “que esas culebritas aparecen cuando hay cultivo de fríjol, mientras que cuando se cultiva lulo, debido a que necesitan más químicos, las culebras se van”, él comenta que quiere cambiar el uso del suelo y convertir su finca en una ecológica para que los animales vuelvan y para que lleguen más turistas. La disminución de uso de agroquímicos puede ser una acción importante para

preservar y recuperar el hábitat de *A. orcesi*, y podría ser una explicación en las diferencias de densidad poblacional encontradas entre las diferentes regiones.

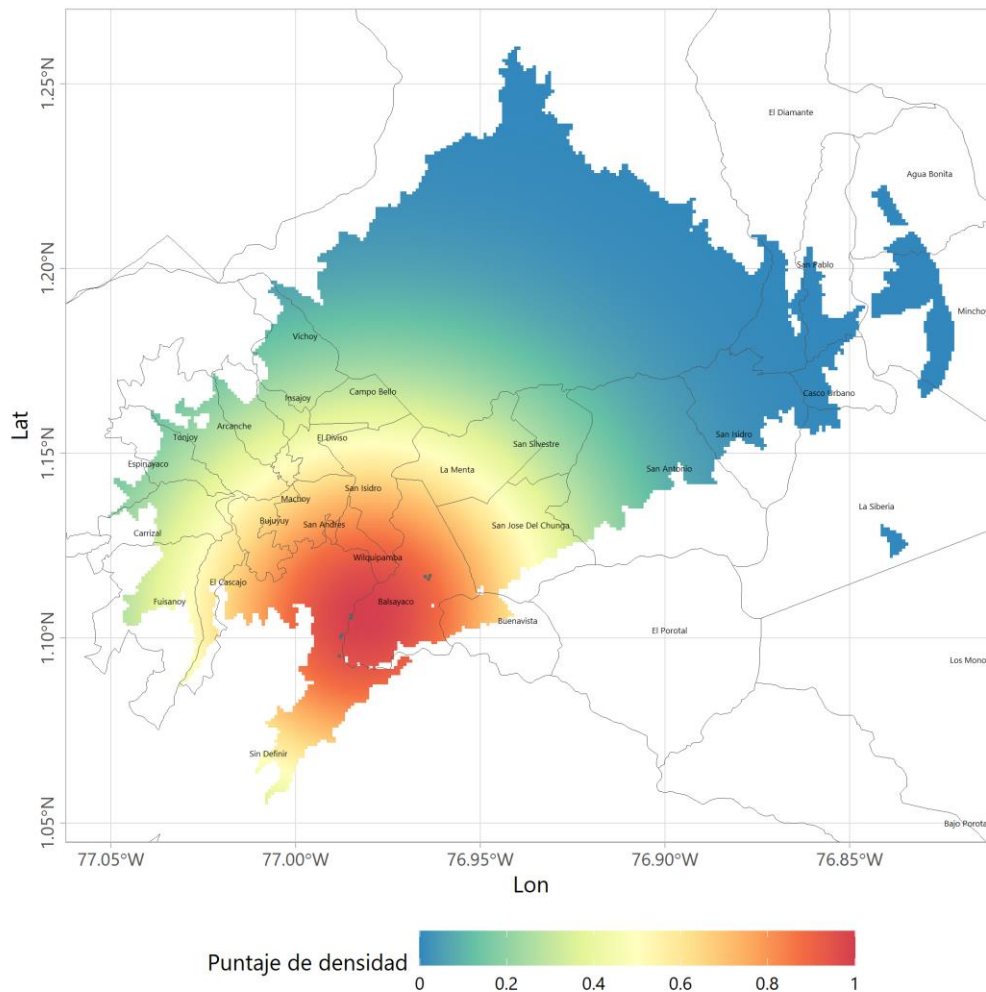


Figura 2. Cartografía del análisis de densidad poblacional en el Valle de Sibundoy. En la parte inferior se presenta la barra del gradiente de densidad diferenciado por colores, siendo el rojo mayor densidad poblacional y el azul menor densidad poblacional.

Uso de microhábitat

A continuación, se presentan las fotografías de los individuos encontrados en cada transecto y del lugar de encuentro, con el fin de generar una mejor descripción para el uso de microhábitat de la especie:

En el transecto uno (T1) se encontró un individuo de *A. orcesi* (Fig. 3b) debajo de un montón de troncos (Fig. 3c).



Figura 3. a) Transecto uno (T1). b) individuo 1. C) lugar donde se encontró.

En el transecto tres (T3) Se encontraron dos individuos de *A. orcesi* uno enterrado debajo de un cúmulo de abono orgánico en el vivero de la propiedad (Fig. 12c complementaria), cabe aclarar que este individuo se encontraba en el proceso de muda debido a la opacidad de sus escamas. Y el otro se encontraba dentro de la casa de la propiedad (Fig. 12 complementaria)

En el transecto siete (T7), se encontraron siete individuos. cinco en la primera repetición, donde cuatro se encontraron en el mismo lugar (Fig. 5b). Tres debajo de la roca levantada y uno más en un agujero en la tierra debajo de la misma roca (Fig. 5a). Los cuatro primeros individuos se encuentran entrelazados en la Figura 5. El individuo restante (Fig. 6a) se encontró debajo de un tronco en un potrero con pasto y árboles (Fig. 6b).

Finalmente, en el mismo transecto, pero en la segunda repetición, se encontraron otros dos individuos en zonas diferentes a los anteriores, uno debajo de una roca en un potrero a la orilla del río el cual tenía abundante disponibilidad de este tipo de microhábitat (Fig. 23 complementaria), además este individuo presentaba una cicatriz bastante grande parecida a

un corte generado por un objeto cortopunzante. El otro individuo también fue encontrado debajo de una roca.



Figura 4. Fotografías de los individuos: a=1, b=2, c=3 y d=4 hallados en la primera repetición del transecto siete (T7).



Figura 5. a) corresponde al lugar en donde se encontraron los cuatro individuos y b) como se encontraron del transecto siete.



Figura 6. a) fotografía del individuo cinco del transecto siete y b) lugar donde se encontró el individuo

En el transecto ocho (T8) se encontró un juvenil de *A. orcesi* (Fig. 17b complementaria), debajo de un tronco (Fig. 17c) al lado de un cultivo de lulo (Fig. 17d).

En el transecto nueve (T9) se encontraron tres individuos, todos juveniles de *A. orcesi* debido a su tamaño notablemente menor a los demás individuos muestreados, uno de ellos se puede observar en la Figura 7b, hallado debajo de una roca en un potrero al lado del río Putumayo

(Fig. 7a). El segundo individuo se encontró debajo de una roca (Fig. 19 complementaria) y el tercero se halló junto con una cecilia en el mismo lugar, debajo de la raíz de un árbol caído (Fig. 20 complementaria). Además, estos tres individuos junto con el individuo encontrado en el transecto ocho (T8) que también parecía ser un juvenil presentan una coloración más distinguible de color amarillo crema de la banda occipital a diferencia de los individuos adultos a los cuales no se les distingue la diferencia de color en esta región.



Figura 7. a) corresponde a fotografía del Río Putumayo, por el borde de este río se midió el transecto nueve (T9). b) corresponde a uno de los individuos muestreados y c) el lugar en donde se encontró.

Teniendo en cuenta la información de los transectos muestreados y en aquellos en los que se encontraron los individuos de *A. orcesi*, se puede deducir que todos los individuos se encontraron en la zona llamada “Garganta de Balsayaco” y sus alrededores, que comprenden los transectos 1 (Fig.4), 3 (Fig. 5 y 6), 7 (Fig. 7,8,9 y 10), 8 (Fig. 11) y 9 (Fig. 12, 13 y 14). Esto se observa claramente en el mapa de la densidad poblacional de la especie (Fig. 2). Este resultado resalta la gran importancia biológica que tiene la zona de Garganta de Balsayaco, que es un sitio de conectividad con el Piedemonte amazónico, lo que propicia una mayor

cantidad y variedad de microhábitats esenciales para una serpiente secretiva como *A. orcesi*¹¹ o el contrario, la zona plana del Valle de Sibundoy no cuenta con los ecosistemas óptimos para la especie, lo cual se refleja en la ausencia de capturas en esa área (transectos 2, 5, 12, 13). Ninguno de los individuos se encontró en la superficie del suelo entre los cultivos o pastizales, ni debajo de rocas al lado del río.

Teniendo en cuenta las fotografías de los individuos y la descripción realizada en campo acerca de la coloración de la especie, se destacan diferencias en la coloración entre juveniles y adultos. Se observó que los juveniles exhibían una banda occipital más prominente, de tono amarillo crema como se puede observar en la figura 8a, mientras que en los adultos esta característica tendía a ser prácticamente imperceptible visualmente (Fig. 8b). Asimismo, se encontró que las franjas vertebrales y dorsolaterales eran más notorias en los juveniles en comparación con los adultos. Otro hallazgo relevante fue la distinción en la coloración del vientre, siendo los juveniles de un tono amarillo crema (Fig. 9a), mientras que los adultos presentaban un color amarillo más brillante (Fig. 9b). Esta descripción de la coloración de los individuos en Colombia es importante, ya que las descripciones que se han hecho anteriormente no han reportado esta diferencia entre juveniles y adultos, siendo la única descripción de un holotipo en Ecuador, por lo que podría representar una especie politípica, con las poblaciones de Colombia y Ecuador representando dos especies distintas¹³.



Figura 8. Fotografías de la coloración de la banda occipital de a) un juvenil y b) un adulto de *A. orcesi*.



Figura 9. Fotografías de la coloración ventral de a) un adulto y b) un juvenil b de *A. orcesi*

Distribución geográfica

Se generaron dos mapas claves como resultados del modelo MaxEnt. El primer mapa muestra las presencias y pseudo-ausencias para la distribución de *A. orcesi* (Fig.10). Los diamantes dorados indican las ubicaciones conocidas de presencia, mientras que los diamantes morados representan las pseudo-ausencias utilizadas en el modelo, estas son ubicaciones seleccionadas al azar en áreas donde no se ha observado la especie. Estos puntos ayudan a mejorar la discriminación del modelo entre áreas adecuadas e inadecuadas para la especie según las variables medioambientales de cada punto, mejorando de esta manera la precisión de la predicción.

Presencias y pseudo-ausencias

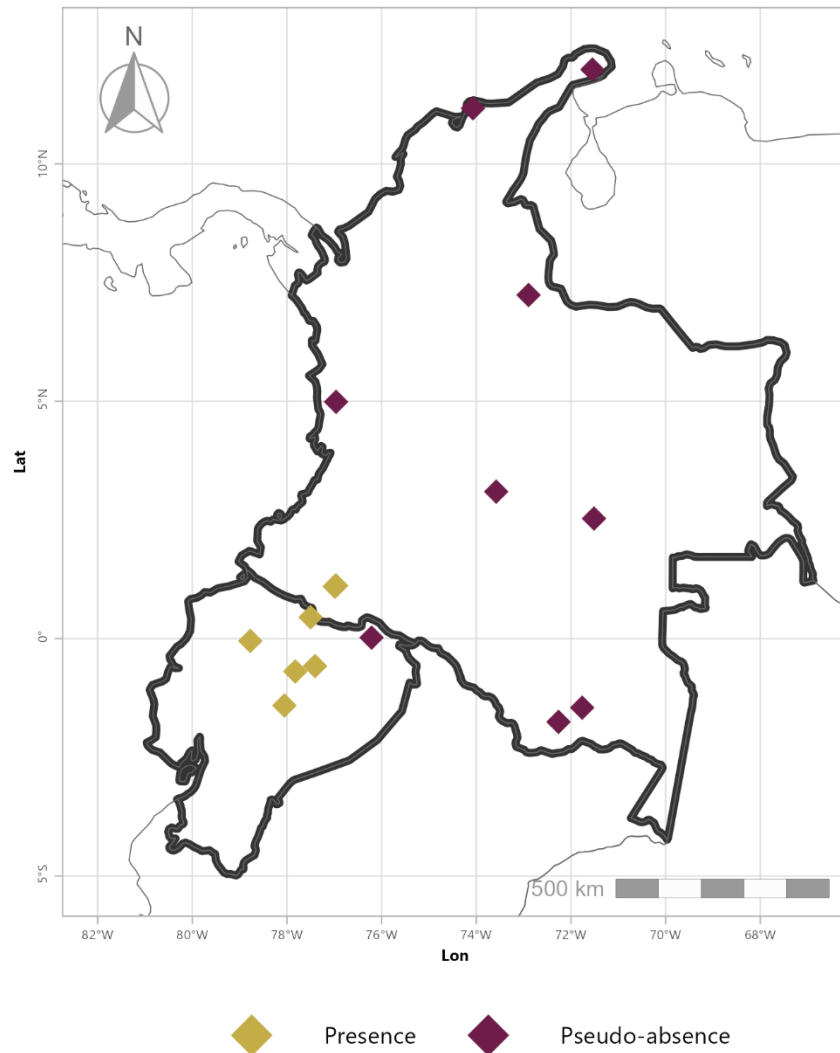


Figura 10. Mapa de presencias y pseudo-ausencias, los símbolos dorados indican las ubicaciones donde se ha registrado la especie (presencia), los símbolos morados son ubicaciones seleccionadas al azar en áreas donde no se ha observado la especie (pseudo-ausencia). Los contornos negros presentan las delimitaciones de los países Colombia y Ecuador. Mapa generado utilizando herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG) en QGIS y R.

El segundo mapa muestra el nicho climático para la especie teniendo en cuenta el análisis anterior. Esta muestra la idoneidad climática para *A. orcesi* en Colombia y Ecuador (Fig. 11). Utilizando un gradiente de colores, se muestran las áreas con diferentes niveles de

probabilidad de presencia, desde rojo, que indica una baja idoneidad hasta verde oscuro/negro, que muestra una alta idoneidad. Para Colombia, en primer lugar, se puede observar una coloración de verde oscuro en las zonas de las cordilleras oriental y central de los Andes, donde se encuentran los departamentos de Huila, Tolima, Caldas, Quindío, Risaralda, Antioquia y las zonas andinas del departamento del Cauca con una alta idoneidad para la presencia de *A. orcesi*, en estas zonas predomina la región natural de Bosque Montano Oriental, hábitat descrito para la presencia de esta especie²⁸. Los bosques montanos son ecosistemas frágiles que poseen una gran diversidad biológica caracterizada por su alto grado de singularidad y rareza²⁹. Estos bosques tienen una gran variabilidad altitudinal que va desde los 300 hasta los 3200 m.s.n.m. Por lo que estas zonas en el mapa son idóneas para la distribución de *A. orcesi*, ya que se ha documentado que se encuentra a altitudes desde los 500 hasta los 3000 m.s.n.m.

También podemos observar una alta idoneidad en la región amazónica, por una parte, está el Piedemonte Andino Amazónico que incluye los departamentos del Huila, Nariño, Caquetá y Putumayo. Estos son lugares de transición entre las montañas y las planicies que las rodean, presentando una riqueza biológica inigualable³⁰, ya que en este caso corresponde a la zona de transición entre los Andes y la Amazonia. Por lo que esta observación en el mapa concuerda con lo registrado en la literatura, ya que para Ecuador, la especie se encuentra distribuida en el bosque Piemontano Oriental, el cual comparte muchas características con el Piedemonte Andino Amazónico en Colombia; además, el lugar en el que se realizó el muestreo en campo fue en El Valle de Sibundoy que corresponde una zona de transición entre los Andes y la Amazonía y donde se encontró una densidad poblacional bastante alta para la especie con una tasa de encuentro bastante alta también con respecto al esfuerzo de muestreo. Para la región Amazónica también se puede observar una alta idoneidad, con la presencia del Bosque Húmedo tropical amazónico, región natural descrita para la presencia de *A. orcesi* en Ecuador. En Colombia como podemos ver en la Fig. 11 se puede observar una alta idoneidad principalmente en los departamentos de Putumayo y Vaupés con coloración verde oscuro; también, pero con menor grado de idoneidad se puede distinguir el departamento de Caquetá en las zonas donde cuenta con estos ecosistemas de Bosque Húmedo tropical Amazónico. Estos son bosques con precipitaciones de más de 2.500 mm. Siendo la Amazonía la región que contiene el mayor exponente de este tipo de bosques en el mundo. Poseen una baja

altitud, ubicados por debajo de los 1.000 m.s.n.m.³¹, lo que también concuerda con el gradiente altitudinal de la especie.

Por otra parte, y contrario a lo mencionado en la literatura para la distribución de *A. orcesi*, se puede observar en la Fig. 11 que el Chocó biogeográfico también es una de las zonas de mayor idoneidad para su distribución, sombreada con un color verde en la mayor parte de su extensión con un puntaje de idoneidad de aproximadamente 0.9, esto posiblemente debido a condiciones climáticas y ecológicas similares a las regiones conocidas. Ya que en esta región se encuentra el Piedemonte del Pacífico, localizado en los Andes del suroeste colombiano. Posee además una alta pluviosidad de más de 3.000 mm/año³², haciéndolo un ambiente bastante húmedo.

Por lo tanto, la modelación de la potencial distribución geográfica de *A. orcesi* por medio del algoritmo MaxEnt sugiere una posible distribución más amplia de *A. orcesi* en Colombia basada en la idoneidad climática, incluyendo regiones no mencionadas tradicionalmente en la literatura. Para confirmar estas predicciones, sería recomendable realizar estudios de campo en las áreas de alta idoneidad no documentadas en la literatura, especialmente en la Amazonía y el chocó biogeográfico, para verificar la presencia de *Atractus orcesi*.

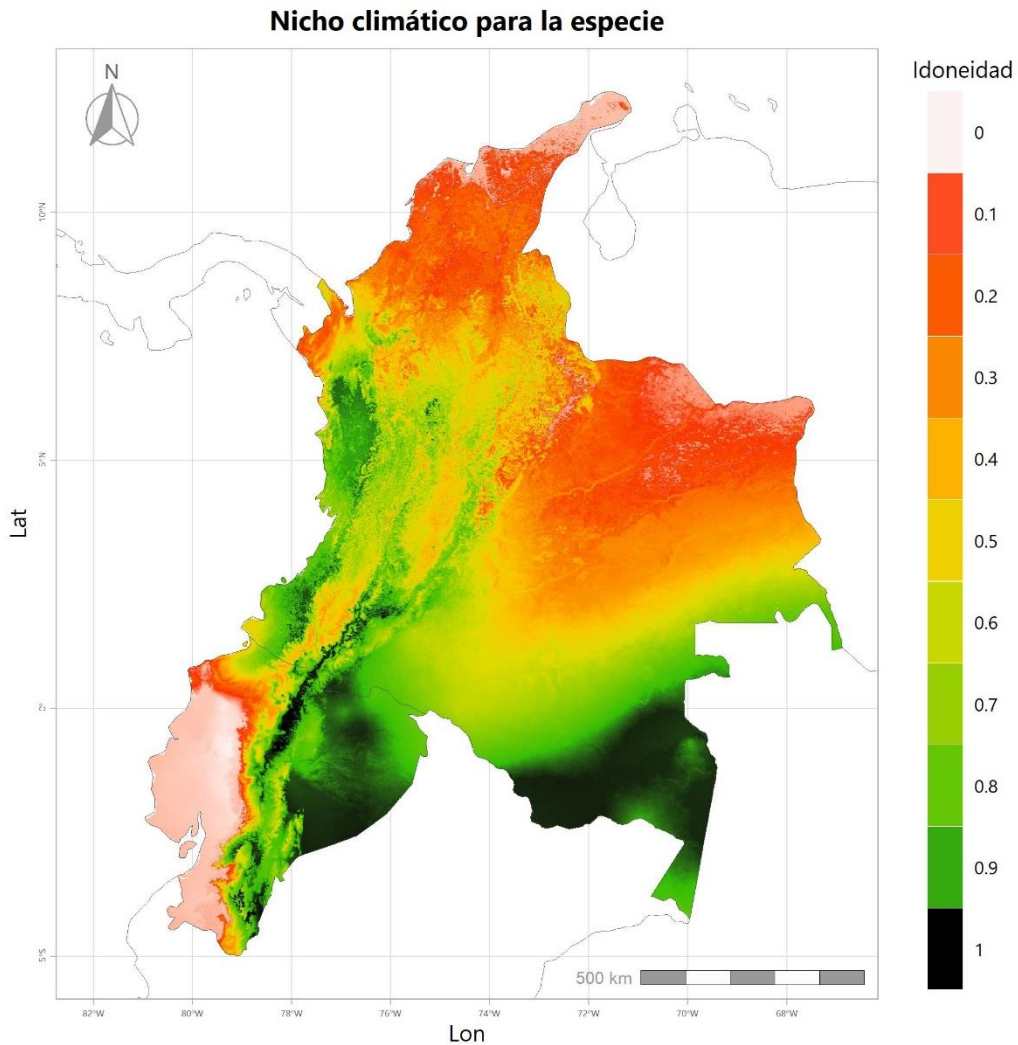


Figura 11. Mapa de nicho climático para *A. orcesi*. La barra de colores a la derecha del mapa representa la idoneidad del hábitat, con valores que van de 0 (baja idoneidad) a 1 (alta idoneidad). La realización cartográfica se hizo para Colombia y Ecuador utilizando herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG) en QGIS y R.

Conclusiones:

Se halló una densidad poblacional que se concentró principalmente en la región denominada “Garganta de Balsayaco”, debido a que presenta ecosistemas pertenecientes al Piedemonte Andino Amazónico, región natural descrita para la presencia de *Atractus orcesi*, en

comparación con la zona plana inundable. Adicionalmente, se determinó una tasa de encuentro mayor (0,073 individuos/hora) a lo que se esperaba según estudios previos (0,041 y 0,028 individuos/hora) para serpientes en Colombia, lo que podría indicar una mayor abundancia relativa en el Valle de Sibundoy a comparación de lo que se tiene documentado. Se recomienda realizar más estudios poblacionales para determinar el estado actual de otras poblaciones de *A. orcesi* y así poder generar estrategias para su conservación.

En cuanto al uso de microhábitat, se describió la presencia de individuos principalmente debajo de rocas y troncos, por lo que no se encontró otros usos de microhábitat documentados para la especie como zonas abiertas con pastizales y orillas de ríos¹¹. Estos microhábitats se encontraron principalmente en poteros ganaderos, alrededor de cultivos y a los costados de carreteras secundarias. También, se evidenció una buena relación entre los habitantes de la zona y la especie, sin embargo, se reportaron algunas muertes a causa del cuidado de los cultivos con guadaña, lo que se evidenció con el hallazgo de un individuo con una gran cicatriz posiblemente causada por un objeto cortopunzante. Se documentaron algunas interacciones intraespecíficas con *A. orcesi* compartiendo en mismo microhábitat con individuos de *Caecilia orientalis*, sin embargo, se necesita hacer más estudios para determinar qué clase de relación podrían tener estas dos especies. La disponibilidad de abundantes microhábitats es fundamental para la presencia y permanencia de la especie. Por otra parte, también se encontraron diferencias en la coloración entre juveniles y adultos, teniendo los juveniles las franjas occipitales, vertebrales y dorsolaterales más visibles. Además de que la banda occipital y el color ventral en juveniles fue de color amarillo crema, mientras que en adultos o era casi imperceptible o de color amarillo brillante, diferencias no descritas en la literatura para el holotipo de Ecuador con el que se realizó la descripción de la coloración de la especie.

El mapa MaxEnt sugiere una posible distribución más amplia para *A. orcesi* basada en la idoneidad climática, incluyendo regiones no mencionadas tradicionalmente en la literatura. Esto puede deberse a la adaptabilidad de la especie, la variabilidad en los datos de entrenamiento, y condiciones climáticas similares en otras regiones. Para confirmar estas predicciones, sería recomendable realizar estudios de campo en las áreas de alta idoneidad no documentadas en la literatura, especialmente en la región de la Amazonía y la región del

Chocó biogeográfico, para verificar la presencia de *A. orcesi* y poder generar estrategias de conservación en estas áreas.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que colaboraron en la realización de mi proyecto de grado. En primer lugar, agradezco a María del Rosario Castañeda, tutora de este trabajo, por sus revisiones y observaciones que enriquecieron este proyecto; Jonh Jairo Mueses-Cisneros, cotutor de este trabajo, por su invaluable ayuda con sus comentarios y apoyo durante la proyección y el trabajo de campo; a mis padres, Orlando Delgado y Blanca Quintero, por su apoyo moral y económico, así como por su colaboración durante la fase de campo; y finalmente, a Devin Delgado y Gabriel Méndez, su participación fue fundamental durante la fase de campo en el Valle de Sibundoy. También agradezco a los habitantes del Valle de Sibundoy por su colaboración durante los muestreos y encuestas.

Material complementario

Transecto 1 (T1):



Figura 12. a) Transecto 2 (T2). b) dos individuos de la especie *Cecilia* ssp. c) lugar donde se encontraron

Transecto 3 (T3):



Figura 13. a y b corresponden al transecto 3. c) el individuo encontrado debajo del cumulo de abono y d) lugar en el que se encontró.

Transecto 4 (T4):



Figura 14. Transecto 4 (T4) donde se pueden observar potreros de ganado.

Transecto 5 (T5):



Figura 15. a), b) y c) corresponden a diferentes lugares del transecto 5

Transecto 6 (T6):



Figura 16. a) y b) corresponden a fotografías del transecto 6 (T6).

Transecto 7 (T7)



Figura 17. a) y b) corresponden a figuras del transecto siete (T7).

Transecto 8 (T8):



Figura 18. a) corresponde al transecto ocho (T8), b) individuo de *A. orcesi* encontrado en este transecto y c) el lugar en donde se encontró

Transecto 9 (T9):



Figura 19. b) corresponde al segundo individuo encontrado en el transecto nueve (T9) y a) es el lugar donde se encontró.



Figura 20. a) corresponde al lugar en donde encontró un individuo de *A. orcesi* que se observa en b) y un individuo de *Caecilia orientalis* como se ve en c).

Transecto 10 (T10):



Figura 21. a) corresponde al transecto diez (T10) y b) individuo de *Caecilia orientalis*.

Transecto 11 (T11):



Figura 22. Parte del transecto once (T11) en zona alta del municipio de Sibundoy.

Transecto 12 (T12)



Figura 23. Fotografía de parte del transecto doce (T12).

Transecto 13 (T13):



Figura 24. Fotografía de parte del transecto trece (T13).

Bibliografía

1. Sutton, W. B., Wang, Y., Schweitzer, C. J. & McClure, C. J. W. Spatial ecology and multi-scale habitat selection of the Copperhead (*Agkistrodon contortrix*) in a managed forest landscape. *For. Ecol. Manage.* **391**, 469-481 (2017).
2. Dick, D. C. D. & Mebert, K. Between housing and deep forest: Long-term population biology and dispersal of suburban Smooth snakes (*Coronella austriaca*). *Zool. Anz.* **270**, 98-106 (2017).
3. Price, P. W. *Ecology Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance* Charles J. Krebs. *BioScience* vol. 23 (1973).
4. dos Santos Rodrigues, L. *et al.* Species distribution modelling in the Southwestern Atlantic Ocean: A systematic review and trends. *Ecol. Modell.* **486**, 110514 (2023).
5. Seoane, J., Estrada, A., Jones, M. M. & Ovaskainen, O. A case study on joint species distribution modelling with bird atlas data: Revealing limits to species' niches. *Ecol. Inform.* **77**, 102202 (2023).
6. Reina-Rodríguez, G. A., Rubiano, J. E., Castro Llanos, F. A. & Otero, J. T. Spatial distribution of dry forest orchids in the Cauca River Valley and Dagua Canyon: Towards a conservation strategy to climate change. *J. Nat. Conserv.* **30**, 32-43 (2016).
7. Román-Palacios, C. *et al.* USO DE MICROHÁBITAT POR ANUROS EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE SECO INTERVENIDO DEL MAGDALENA MEDIO, GUARINOCITO, CALDAS. *Boletín Científico. Cent. Museos. Mus. Hist. Nat.* **20**, 181-196 (2016).
8. Raya-García, E. Underground Microhabitat By the Earthsnake *Conopsis Biserialis* (Squamata: Colubridae). *Rev. Latinoam. Herpetol.* **7**, 4-7 (2024).
9. Bioweb. Galería Colubridae: Dipsadinae. <https://bioweb.bio/galeria/ListaEspeciesPorFamilia/4/18364>.
10. Mueses Cisneros, J. J. Fauna Anfibia Del Valle De Sibundoy , Putumayo-Colombia. *Caldasia* **27**, 229-242 (2005).

11. Morales-Betancour, M. A., Lasso, C. A., Páez, V. P. & C, B. *Libro rojo de reptiles de Colombia (2015)*. *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar* vol. 6 (2016).
12. Acevedo-Charry, O. A. Aves de quindicocha - valle de sibundoy, putumayo - colombia: Potencial área de conservación. *Univ. Sci.* **19**, 29-41 (2014).
13. Passos, P., Chiesse, A., Torres-Carvajal, O. & Savage, J. M. Testing species boundaries within the *Atractus occipitoalbus* complex (Serpentes: Dipsadidae). *Herpetologica* **65**, 384-403 (2009).
14. Obregón Romero, R. & Quesada Galiano, B. Las mariposas diurnas (Insecta : Lepidoptera) en los paisajes de Sierra Mágina. *Sumuntan, Anu. Estud. sobre Sierra Mágina.* **43**. (2018).
15. Participantes, I., Grupo, C. & Randi, R. *Ecuador : Cabeceras Cofanes-Chingual*.
16. Gómez-Posada, C., Álvarez, Z. & Giraldo-Chavarriaga, P. Gómez-Posada et al Artículo original Facultad de Ciencias. **14**, 8-15 (2009).
17. Vera-Pérez, L. E. & Zúñiga-Baos, J. A. *Diversidad De Serpientes Y Conservación En El Parque Nacional Natural Munchique , Departamento.* (2014).
18. Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., Guevara, E. *Hole-filled seamless SRTM data V4.* <http://srtm.csi.cgiar.org/> (2008).
19. RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. (2023).
20. GBIF.Org User. Occurrence Download. (2024) doi:10.15468/DL.JSWYWN.
21. Fick, S.; Hijmans, R. WorldClim 2.1. <http://worldclim.org> (2020).
22. Urbina-C., J. N. & Londoño-M., M. C. Distribución De La Comunidad De Herpetofauna Asociada a Cuatro Áreas Con Diferente Grado De Perturbación En La Isla Gorgona, Pacífico Colombiano. *Rev. la Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.* **27**, 105-114 (2023).
23. Moreno-Arias, R. & Quintero-Corzo, S. REPTILES DEL VALLE SECO DEL RÍO MAGDALENA (HUILA, COLOMBIA). *Caldasia* **37**, 1 (2015).

24. Moreno-Arias, R. & Quintero-Corzo, S. Reptiles Del Valle Seco Del Rio Magdalena (Huila, Colombia). *Caldasia* **37**, 183 (2015).
25. Corpoamazonia & Fundación Cultural del Putmayo. Plan de manejo ambiental de los humedales de la parte plana del Valle de Sibundoy. 225 (2006).
26. Felipe, J. *et al.* Inundaciones constantes Distrito de drenaje Valle de Sibundoy. (2022).
27. Torres Carvajar, O., Pazmiño Otamendi, G. & Salazar Valenzuela, D. Reptiles of Ecuador: a resource-rich online portal, with dynamic checklists and photographic guides. *Amphib. Reptile Conserv.* **13**, (2019).
28. Rodríguez-Guerra, A. *Atractus orcesi*. [https://bioweb.bio/faunaweb/reptiliaweb/FichaEspecie/Atractus orcesi](https://bioweb.bio/faunaweb/reptiliaweb/FichaEspecie/Atractus_orsesi) (2019).
29. Cuesta, F., Peralvo, M. & Valarezo, N. *Los Bosques Montanos de los Andes Tropicales*. (2009).
30. Glosario ambiental: piedemonte, un ecosistema con un enorme valor ambiental | WWF. <https://www.wwf.org.co/?327791/Piedemonte-un-ecosistema-con-un-enorme-valor-ambiental>.
31. ¿Qué son los bosques tropicales? | WWF. <https://www.wwf.org.co/?329990/Glosario-ambiental-Que-son-los-bosques-tropicales>.
32. Padilla-Gil, D. N. Veliidae (Hemiptera: Gerromorpha) in the Andean-Pacific piedmont in South-West Colombia. *Rev. la Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Fis. y Nat.* **46**, 372-379 (2022).