

**MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LAS SERPIENTES
VENENOSAS *Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* Y *Bothriechis schlegelii*
CON APORTES AL CONOCIMIENTO DEL ACCIDENTE OFÍDICO EN EL
DEPARTAMENTO CALDAS, COLOMBIA**

**SANDRA MILENA DÍAZ GÓMEZ
KELLY JOHANA MOLINA BETANCOURTH**



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES®**

 **Acreditación Institucional
de Alta Calidad**
Resolución 4792 del 15 de mayo de 2019

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2020**

**MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LAS SERPIENTES
VENENOSAS *Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* Y *Bothriechis schlegelii*
CON APORTES AL CONOCIMIENTO DEL ACCIDENTE OFÍDICO EN EL
DEPARTAMENTO CALDAS, COLOMBIA**

**SANDRA MILENA DÍAZ GÓMEZ
KELLY JOHANA MOLINA BETANCOURTH**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de
Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2020**

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por su apoyo incondicional durante este periodo de aprendizaje. A nuestros compañeros y amigos por sus valiosos aportes en la elaboración de este trabajo. De igual manera, a los investigadores del proyecto “10 años de historia del accidente ofídico en Caldas” de la Universidad Católica de Manizales, por facilitarnos las bases de datos con la información referente a los accidentes ofídicos registrados para el departamento de Caldas. Expresamos nuestra gratitud a María Fernanda Batista por su apoyo y colaboración en el desarrollo de este proyecto y a la Universidad de Manizales y a su planta docente por la calidad humana y excelencia académica.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. JUSTIFICACIÓN	18
4. MARCO TEÓRICO	20
4.1 ÁREA DE ESTUDIO	20
4.2 ASPECTOS BIOLÓGICOS	23
4.2.1 Herpetofauna en el departamento de Caldas	24
4.2.2 Especies de estudio.	24
<i>Bothrops asper</i> (Garman, 1884)	25
<i>Bothrops punctatus</i> (García 1896)	26
<i>Bothriechis schlegelii</i> (Berthold 1846)	27
4.3 OFIDISMO Y SALUD PÚBLICA	29
4.4 ASPECTOS TECNOLÓGICOS	29
4.4.1 Sistema de información geográfica	29
4.4.2 Modelos de distribución	30
4.4.3 Modelamiento MaxEnt	31
4.5 ANTECEDENTES	32
5. METODOLOGÍA	34
5.1 TIPO DE TRABAJO	34

5.2 PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	34
5.2.1 Registros Biológicos	34
5.2.2 Determinación variables ambientales y estructurales	34
5.2.3. Modelos predictivos de distribuciones potenciales para <i>Bothrops asper</i> , <i>Bothrops punctatus</i> y <i>Bothriechis schlegelii</i> en el departamento de Caldas.	36
5.2.4 Estimación y distribución de accidentes ofídicos en el departamento de Caldas	39
6. RESULTADOS	41
6.1 MODELOS PREDICTIVOS DE DISTRIBUCIONES POTENCIALES PARA <i>Bothrops asper</i> , <i>Bothrops punctatus</i> Y <i>Bothriechis schlegelii</i> EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS	41
6.1.1 Modelo de distribución potencial de <i>Bothrops asper</i>	43
6.1.2 Modelo de distribución potencial de <i>Bothrops punctatus</i>	49
6.1.3 Modelo de distribución potencial de <i>Bothriechis schlegelii</i>	54
6.3. FRECUENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE ACCIDENTES OFÍDICOS EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS	58
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	68

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Ubicación del departamento de Caldas en Colombia y sus coberturas vegetales	21
Figura 2: <i>Bothrops asper</i>	26
Figura 3: <i>Bothrops punctatus</i>	27
Figura 4: <i>Bothriechis schlegelii</i>	28
Figura 5: Interfaz, MaxEnt 3.3.3	38
Figura 6: Interfaz, MaxEnt 3.3.3 Parámetros para el análisis.	39
Figura 7: Salidas gráficas del software MaxEnt 3.3.3. y Reclasificación de los modelos de distribución potencial con el software ArcGIS 10.5	42
Figura 8: Vipéridos registrados en las colecciones biológicas para el Departamento de Caldas en los portales SIB y GBIF	43
Figura 9: Gráfico de área bajo la curva (AUC: Area Under the Curve) para <i>B. asper</i>	44
Figura 10: Prueba de Jackknife para ganancia estadística <i>Bothrops asper</i>	45
Figura 11: Modelo de distribución potencial de <i>Bothrops asper</i> para el departamento de caldas.	47
Figura 12: Porcentaje de la idoneidad de hábitat modelada para <i>Bothrops asper</i> en el departamento de Caldas	48
Figura 13: Coberturas de la tierra con condiciones de hábitat idóneas en un rango: (0.7- 1) para <i>Bothrops asper</i> en el departamento de Caldas	49
Figura 14: Gráfico de área bajo la curva (AUC: Area Under the Curve) para <i>Bothrops punctatus</i>	50
Figura 15: Prueba de Jackknife para ganancia estadística <i>Bothrops punctatus</i> .	51
Figura 16: Modelo de distribución potencial de <i>Bothrops punctatus</i> para el departamento de Caldas.	52
Figura 17: Porcentaje de la idoneidad de hábitat modelada para <i>Bothrops punctatus</i> en el departamento de Caldas	53

Figura 18: Coberturas de la tierra con condiciones de hábitat idóneas en un rango de (0.7- 1) para <i>Bothrops punctatus</i> en el departamento de Caldas	53
Figura 19: Gráfico de área bajo la curva (AUC: Area Under the Curve) para <i>Bothriechis schlegelii</i> .	54
Figura 20: Prueba de Jackknife para ganancia estadística <i>Bothriechis schlegelii</i>	55
Figura 21: Modelo de distribución potencial de <i>Bothriechis schlegelii</i> para el departamento de Caldas.	56
Figura 22: Porcentaje de la idoneidad de hábitat modelada para <i>Bothriechis schlegelii</i> en el departamento de Caldas	56
Figura 23: Coberturas de la tierra con condiciones de hábitat idóneas (Rango: 0.7- 1) para <i>Bothriechis schlegelii</i> en el departamento de Caldas.	57
Figura 24: Frecuencia del accidente ofídico en el departamento de Caldas entre el 2009– 2019.	62
Figura 25: Accidentes ofídicos relacionados con Vipéridos en el 2009 - 2019 para el departamento de Caldas	63
Figura 26: Idoneidad de hábitat y prevalencia de accidentes ofídicos relacionados con Viperidae durante el 2009-2019 para el departamento de caldas.	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Divisiones geográficas del departamento de Caldas	20
Tabla 2. Coberturas vegetales presentes en el departamento de Caldas	21
Tabla 3. Descripción de las 19 variables bioclimáticas de Worldclim.	36
Tabla 4. Accidentes ofídicos registrados al Instituto Nacional de Salud durante el 2009- 2019 para el departamento de Caldas	58
Tabla 5. Número de accidentes ofídicos en los municipios del departamento de Caldas durante el 2009 - 2019 relacionados con Vipéridos	60

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Mapa de Coberturas de la tierra departamento de Caldas, Colombia.	75
ANEXO B. Matriz de correlación de las variables Worldclim. (*) Variables seleccionadas para los modelos potenciales de distribución	76
ANEXO C. Base de datos colecciones biológicas para <i>Bothrops asper</i> , <i>Bothrops punctatus</i> y <i>Bothriechis schlegelii</i> , portal SiB Colombia y GBIF	77
ANEXO D. Mapa de Vipéridos registrados en las colecciones biológicas para el Departamento de Caldas en los portales SIB y GBIF.	79
ANEXO E. Mapa de distribución potencial de <i>Bothrops asper</i> para el departamento de caldas.	80
ANEXO F. Modelo de distribución potencial de <i>Bothrops punctatus</i> para el departamento de caldas.	81
ANEXO G. Modelo de distribución potencial de <i>Bothriechis schlegelii</i>	82
ANEXO H. Mapa de idoneidad de hábitat y prevalencia de accidentes ofídicos relacionados con Vipéridos durante el 2009-2019 en el departamento de Caldas	85

GLOSARIO

Accidente ofídico: Lesión resultante de la mordedura de una serpiente, en el caso de ofidios venenosos se puede producir inoculación de veneno constituyéndose además en ofidiotoxicosis, causando lesiones en los tejidos, alteraciones fisiopatológicas locales o sistémicas.

ArcGIS: Conjunto de herramientas que permiten la visualización y manejo de información geográfica; esta plataforma cuenta con una arquitectura extensible mediante la cual puede complementarse con nuevas funcionalidades (Olaya, 2011), como ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox (Puerta *et al.* 2011), con los cuales es posible realizar geoprocesamientos, análisis de superficies y manejo de geodatabases por medio de extensiones tales como Spatial Analyst (análisis ráster), 3D Analyst (análisis 3D y de relieve) o Geostatistical Analyst (geoestadística) (Pucha-Cofrep *et al.* 2017).

ArcMap: Aplicación central de ArcGIS que permite visualizar, ejecutar, transformar, realizar análisis avanzados de geoprocesamiento, y diseñar salidas gráficas digitales o impresas a partir de capas o datos espaciales (Pucha-Cofrep *et al.* 2017).

Arctoolbox: Aplicación integrada al ArcMap que ofrece herramientas para acceder a las diferentes funcionalidades de una manera sencilla y de rápido acceso; como por ejemplo realizar operaciones de geoprocesamiento, conversión de datos espaciales, transformación espacial de mapas, y otros (Llopis, J. P. 2010).

Cobertura de la tierra: Es la cubierta biofísica que se observa sobre la superficie de la tierra, que describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, y adicionalmente incluye otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua (Di Gregorio, 2005).

Colección biológica: Repositorios de información de historia natural, en donde se almacenan conjuntos de especímenes, bibliotecas de ADN, registros fotográficos, y otros, preservados y sistematizados adecuadamente, con el fin de ser utilizados como material de referencia (Paéz, V. P. 2004).

Distribución geográfica: Fracción del espacio geográfico donde una especie puede ser localizada y en donde se involucran procesos y/o patrones a lo largo del tiempo; la presencia o ausencia de las especies se definen por factores históricos, ecológicos y fisiológicos que varían a lo largo de la distribución, sometiendo a las especies a diferentes condiciones bióticas y abióticas (Maciel-Mata *et al.* 2015).

GBIF: Global Biodiversity Information Facility es una infraestructura científica de datos abiertos (open-data) financiada por los gobiernos del mundo, y destinada a

proporcionar a cualquier persona desde cualquier lugar del mundo, acceso a información sobre los seres vivos que habitan la tierra (GBIF.org, 2020)

Hábitat: Porción del ecosistema que provee las condiciones necesarias para que organismo y/o población biológica cumpla sus funciones fisiológicas y ecológicas.

Herpetología: Rama de la biología, específicamente de la zoología que estudia el grupo de animales comprendidos por los anfibios y reptiles.

MaxEnt: Método de máxima entropía (MaxEnt) utilizado para relacionar los datos de sólo presencia con las variables ambientales, estimar el nicho de una especie y su distribución geográfica potencial (Phillips *et al.* 2006), este método utiliza una formulación matemática simple y precisa produciendo resultados sólidos con datos escasos y muestreados de manera irregular (Elith *et al.* 2006).

Modelo digital del terreno (MDT): Representación cuantitativa y continua de la distribución espacial de las alturas del terreno. Contiene información acerca de la posición horizontal y la altura de los elementos de la superficie terrestre, la denominación MDT (modelos digitales de terreno) es la genérica para todos los modelos digitales, incluyendo los DEM (modelos digitales de elevación) en los cuales la altura se refiere siempre a la elevación sobre el nivel medio del mar. (Resolución N° 0132, 2014)

SIB: Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB Colombia) es una red nacional de datos abiertos sobre biodiversidad biológica, encargada de facilitar herramientas para la integración, publicación y consulta de la información sobre biodiversidad (datos, metadatos, conjuntos de referencia y fichas de especies), para hacerla más fácilmente disponible a los usuarios (SiB Colombia, 2020)

Sistema de Información Geográfica: Herramienta empleada para crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar información geográfica georreferenciada. (Resolución N° 0132, 2014)

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) es una red medioambiental creada en 1948 la cual estimula y apoya a las sociedades de todo el planeta, con objeto de mantener la integridad de la naturaleza y asegurar el uso equitativo y ecológicamente sostenible de los recursos naturales (UICN, 2020).

Viperidae: Familia de serpientes venenosas que se caracterizan por tener un par de fosetas termorreceptoras, las cuales sirven para detectar a su presa (foseta loreal), poseen dentición solenoglifas (colmillos retráctiles), son de importancia médica y son responsables del 90-95% de los envenenamientos ofídicos a nivel nacional (Castrillón-Estrada, 2007).

RESUMEN

Se estima la distribución geográfica potencial de *Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* y *Bothriechis schlegelii* para el departamento de Caldas. La idoneidad del hábitat se modeló por medio del software MaxEnt 3.3.3®, (máxima entropía), combinando datos de presencia obtenidos en registros de las colecciones biológicas disponibles en el portal SiB Colombia y GBIF, con ocho variables ambientales (Temperatura promedio anual, Precipitación del mes más húmedo, Precipitación del mes más seco, Precipitación estacional, Rango diurno promedio, Isothermalidad, Temperatura estacional y Rango de temperatura anual), coberturas vegetales y un modelo digital de elevación de la tierra. Los modelos obtenidos arrojan que el departamento tiene condiciones de alta idoneidad de hábitat para estos Vipéridos, a excepción de sectores en el Alto Oriente y Centro Sur en dónde se apreció que el hábitat era menos favorable para la distribución del grupo de estudio. En términos generales, las variables más significativas en el análisis fueron Temperatura estacional, Isothermalidad y Precipitación estacional. Sin embargo, es relevante conocer las características de historia de vida de cada una de las especies y las presiones a las cuales están siendo sometidas puesto que éstas afectan la estructura de las comunidades ecológicas locales causando cambios en su distribución.

Adicionalmente, se evaluó la frecuencia, distribución y relación entre los modelos de distribución y los accidentes ofídicos notificados en el Sistema de Vigilancia Epidemiológica (SIVIGILA) para el departamento de Caldas en un periodo de 10 años. Los resultados obtenidos en este trabajo son de gran utilidad en la medida que permiten diseñar programas de planificación y conservación de los ecosistemas y de las especies que lo componen, al igual que aumentar el conocimiento relacionado con las serpientes venenosas como parte fundamental para la prevención y control de accidentes ofídicos en el departamento.

PALABRAS CLAVES: Caldas, Idoneidad del hábitat, MaxEnt, Ofidiotoxicosis, Sistemas de Información Geográfica, Variables ambientales, Viperidae

ABSTRACT

Potential geographic distribution of *Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* and *Bothriechis schlegelii* were estimated in the department of Caldas. Habitat suitability was modeled using MaxEnt 3.3.3 software (maximum entropy), combining presence data from biological collections records available on SiB Colombia and GBIF platform and eight environmental variables (annual mean temperature, precipitation of wettest month, precipitation of driest month, precipitation seasonality, mean diurnal range, isothermality, temperature seasonality and temperature annual range). Vegetation land cover and a digital elevation model were also used as explanatory variables. The models showed that the department has high habitat suitability conditions for these vipers, excluding the Upper East and Central South regions where the habitat was less favorable for the distribution of the study group. In general, temperature seasonality, isothermality and precipitation seasonality, were the most significant variables in the analysis. However, knowing the life history and the pressures on each of the species is essential since these aspects might have a great impact over the local ecological communities and the subsequent changes in their distribution.

Additionally, we evaluated the frequency, distribution and the relation between the distribution models and the ophidian accidents reported in the Epidemiological Surveillance System (SIVIGILA) for the department of Caldas over a period of 10 years. The results obtained in this work are very important in order to design conservation programs for the species of vipers inhabiting a variety of ecosystems. Also, it would help to increase the knowledge about poisonous snakes as a fundamental part of prevention and control of ophidian accidents in the region.

KEYWORDS: Caldas, Habitat suitability, Environmental variables, Geographic Information Systems, MaxEnt, Ophidiotoxicosis, Viperidae

INTRODUCCIÓN

Las serpientes tienen un rol fundamental en la dinámica normal de las comunidades biológicas regulando la densidad poblacional de sus presas, se distribuyen en todos los continentes y son animales con una gran capacidad de adaptación, los cuales habitan diversos nichos, pisos térmicos y ecosistemas que abarcan desde los cero hasta los 3.500 msnm (Sevilla-Sánchez 2011), debido a que las modificaciones evolutivas en su piel impermeable les ha permitido explorar nuevos sitios para anidar, alimentarse y establecerse. (Lynch *et al.* 2014).

Esta amplia diversidad también se ve reflejada en los museos de Historia Natural y en las colecciones biológicas del país; actualmente Colombia cuenta con un registro aproximado de 234 colecciones biológicas registradas, con más de 4 millones de ejemplares catalogados en 27 departamentos albergando diversos órdenes taxonómicos (SiB Colombia 2020), gracias a la iniciativa que nació con el Decreto 1603 de 1994 como parte del proceso de creación del Sistema Nacional Ambiental (Sina), establecido en la Ley 99 de 1993 (SiB Colombia 2020).

En el departamento de Caldas, existe una amplia diversidad de ofidios (serpientes) debido a sus particulares características climáticas, ecológicas y geográficas como relieve, variación climática y zonas de vida. Sin embargo y aun cuando existen estudios relevantes sobre la herpetofauna (Ruiz-Carranza y Lynch 1997, Rueda-Almonacid 2000 y Acosta-Galvis *et al.* 2006), sólo se han reportado para el territorio 72 especies, distribuidas en 47 géneros y 15 familias (Diagnóstico del Plan de Acción 2013-2015 CORPOCALDAS) de las 627 especies reportadas para el país hasta la fecha (Uetz *et al.* 2020).

Aun cuando existe esta amplia diversidad, es fundamental conocer que estos organismos también están expuestos constantemente a diversas amenazas, y aunque algunos de estos reptiles son tolerantes a la transformación de las coberturas boscosas naturales, la pérdida y degradación de hábitat originados en su gran mayoría por la intensificación y expansión agrícola, son actualmente las presiones más comunes sobre estas especies (Vié *et al.* 2009); al igual que el tráfico ilegal y el temor de la población hacia estos animales, lo cual genera una mortandad indiscriminada (Lynch 2012). Estas presiones afectan a la estructura de las comunidades ecológicas locales y pueden conducir a cambios en la distribución, abundancia e interacciones entre especies (Rivera 2017).

En este sentido, es de suma importancia generar modelos predictivos de la distribución geográfica de estos Vipéridos y analizar su relación con accidentes ofídicos registrados en el departamento de Caldas, con el fin de suministrar información que permita la formulación de estrategias y programas de planificación y conservación de los ecosistemas y de las especies que lo componen, al igual que aumentar el conocimiento relacionado con la idoneidad del hábitat de serpientes

venenosas como parte fundamental para la prevención y control de accidentes ofídicos en el departamento.

Dado lo anterior, este trabajo busca identificar las áreas de distribución potencial de las tres especies de serpientes venenosas (Viperidae) reportadas para el departamento de Caldas en las colecciones biológicas, utilizando software de modelos predictivos y Sistemas de Información Geográfica a partir de variables ambientales y estructurales del ecosistema; y que aporten al conocimiento de los factores sociodemográficos y epidemiológicos del accidente ofídico en Caldas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, en el departamento de Caldas habita una amplia diversidad de ofidios (serpientes) en su territorio gracias a las particulares características climáticas, ecológicas y geográficas como relieve, variación climática y zonas de vida; sin embargo, no se conoce una distribución precisa a lo largo del departamento, debido a la escasez de investigaciones, los niveles de dificultad para hallar estas especies con las metodologías de búsqueda convencionales y el desconocimiento de la diversidad local por parte de las comunidades. Parte de esta alta riqueza de herpetofauna, está inmersa en las diferentes colecciones biológicas, dentro de éstas se encuentran las colecciones de Reptiles de diferentes entidades las cuales cuentan con un amplio registro de ejemplares almacenados sistemáticamente.

Estos vertebrados son parte fundamental de la estabilidad, equilibrio y autorregulación de los ecosistemas. No obstante, su distribución se ve afectada por diferentes presiones ambientales a las que están siendo sometidos, fundamentalmente a las transformaciones producidas por perturbaciones antropogénicas, las cuales tienen un efecto directo en la dinámica de estas especies, aumentando así, la probabilidad de extinción de muchas de ellas. Adicionalmente, es indispensable resaltar la importancia de las serpientes en las comunidades que habitan, siendo estos animales cruciales para el buen funcionamiento del ecosistema, y además son de importancia biomédica ya que dentro de la familia Viperidae, los géneros *Bothrops*, *Porthidium*, *Bothriopsis* y *Bothriechis* son los responsables del 90-95 % de los accidentes ofídicos por serpientes venenosas (Walteros, D., y Paredes, A. 2014). No obstante, a lo largo del tiempo han presentado un declive poblacional y han sufrido el desplazamiento de sus ambientes naturales, principalmente por el desconocimiento de su historia natural, ya que en algunos espacios aún no consideran la posibilidad de que las serpientes tengan algún valor ecológico o en la salud pública, por el contrario, son considerados como una amenaza para las comunidades.

Por tal motivo, es de suma importancia generar modelos predictivos para estimar la distribución geográfica de estos Vipéridos, empleando registros de colecciones biológicas depositados en bases de datos de libre acceso y variables ambientales que afectan la biología y comportamiento de los ofidios, haciendo uso de herramientas de los Sistemas de Información Geográfica-SIG; de modo que permitan inferir las regiones en donde hay presencia de las diferentes especies y las situaciones actuales y futuras a las cuales se encuentran expuestas, al igual que aumentar el conocimiento relacionado con el rango de distribución y el hábitat idóneo de serpientes venenosas como parte fundamental para la prevención y control de accidentes ofídicos en el país.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar la distribución geográfica potencial de *Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* y *Bothriechis schlegelii* (Serpentes:Viperidae) para el departamento de Caldas, en función de las variables ambientales y estructurales del ecosistema utilizando modelos predictivos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las variables ambientales y estructurales biogeográficas del departamento de Caldas para el modelamiento de distribución empleando herramientas SIG.
- Analizar la relación de las variables ambientales y estructurales con la idoneidad de hábitat de los modelos obtenidos para las especies evaluadas.
- Establecer la frecuencia y distribución de los accidentes ofídicos ocasionados por especies de la familia Viperidae en el departamento entre los años 2009 y 2019.
- Relacionar los modelos de distribución potencial obtenidos con los accidentes ofídicos notificados en el Sistema de Vigilancia Epidemiológica (SIVIGILA) para el departamento de Caldas.

3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, las serpientes son uno de los animales que presentan la mayor cantidad de amenazas debido a la aversión generalizada entre la población, especialmente en la porción productiva y poblada de Colombia; estas amenazas tienen el efecto de reducir la población de serpientes de manera permanente sea por matar o remover ejemplares de los ecosistemas naturales (Lynch 2012).

Este grupo biológico compone una estructura fundamental en la regulación de la cadena trófica, ya que sus presas (lombrices, caracoles, insectos, peces, anfibios, aves, mamíferos, etc.); sin las serpientes, pueden convertirse en plagas, cambiando la comunidad biológica y la dinámica de los ecosistemas; y al mismo tiempo forman parte del recurso alimenticio de otros depredadores mayores, contribuyendo así con la regulación en el ciclo de energía en los sistemas ecológicos.

Una forma de contribuir al estudio de estas especies, es el análisis de las colecciones biológicas las cuales contribuyen sustancialmente al conocimiento de las serpientes colombianas, estos espacios, son repositorios importantes de información para los estudios de biodiversidad en Colombia y promueven el conocimiento de la información histórica de las especies. Así mismo, es a través de los innumerables registros biológicos en una colección que se puede identificar aspectos importantes como la distribución geográfica de las especies y así determinar si éstas son restringidas a áreas y/o ecosistemas particulares (endémicas), lo cual es información básica para iniciar un proceso de seguimiento y conservación de una especie o área determinada, al igual que una valiosa contribución al conocimiento y divulgación de investigaciones.

Actualmente existen aproximadamente 234 colecciones biológicas registradas en el país, con más de 4 millones de ejemplares catalogados en 27 departamentos albergando diversos órdenes taxonómicos (SiB Colombia, 2020), el acceso a esta información es posible gracias a la iniciativa que nació por medio del Decreto 1603 de 1994 como parte del proceso de creación del Sistema Nacional Ambiental (Sina), que establece por medio de la Ley 99 de 1993, al Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB Colombia) como una red nacional de datos abiertos sobre biodiversidad, la cual es actualmente, nodo oficial del país en la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF), otro reservorio científico de datos abiertos (open-data) financiado por los gobiernos del mundo (SiB Colombia, 2020).

Tanto el SiB como el GBIF, albergan bases de datos de todas las colecciones herpetológicas del país, producto de investigaciones, proyectos realizados, registros de observaciones, o incluso especímenes atropellados o reportados por la comunidad. Algunas de las instituciones que nutren estas colecciones son: Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Antioquia, Pontificia Universidad

Javeriana, Universidad de Caldas, Universidad Industrial de Santander, Universidad de La Salle, Universidad del Valle, Universidad del Magdalena, Universidad Tecnológica del Chocó, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Universidad del Tolima, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Parques Nacionales Naturales de Colombia, adicionalmente corporaciones como, Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge, Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare-Conare, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia-Corantioquia, Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT, entre otros.

Por consiguiente, es indispensable la realización de diferentes estudios en donde se pueda potencializar el uso de los Sistemas de Información Geográfica, en conjunto con las bases de datos disponibles, como alternativa en investigaciones con especies que son de baja frecuencia de observación como las serpientes, que a su vez implican altos costos para la recolección de datos directamente en campo. La implementación de las herramientas SIG, permite conocer las características de vida de los organismos, los cuales requiere un seguimiento en su propio ambiente; por ello, es necesario desarrollar diferentes modelos y aproximaciones que permitan obtener estimaciones confiables y que contribuyan a realizar e interpretar extrapolaciones de estas detecciones relacionadas con el hábitat de estos organismos (Rodríguez-Bustamante 2009).

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ÁREA DE ESTUDIO

El departamento de Caldas está ubicado en la cordillera Central colombiana, entre los 05°46'50" y los 04°4'19" de latitud norte, y los 74°37'53" y 75°57'26" de longitud oeste; enmarcado por los valles interandinos del río Magdalena al oriente y del río Cauca y el río Risaralda al occidente, cubriendo una superficie aproximada de 743.634 Hectáreas (Rojas-Morales *et al.* 2014; Diagnóstico del Plan de Acción 2013-2015 CORPOCALDAS).

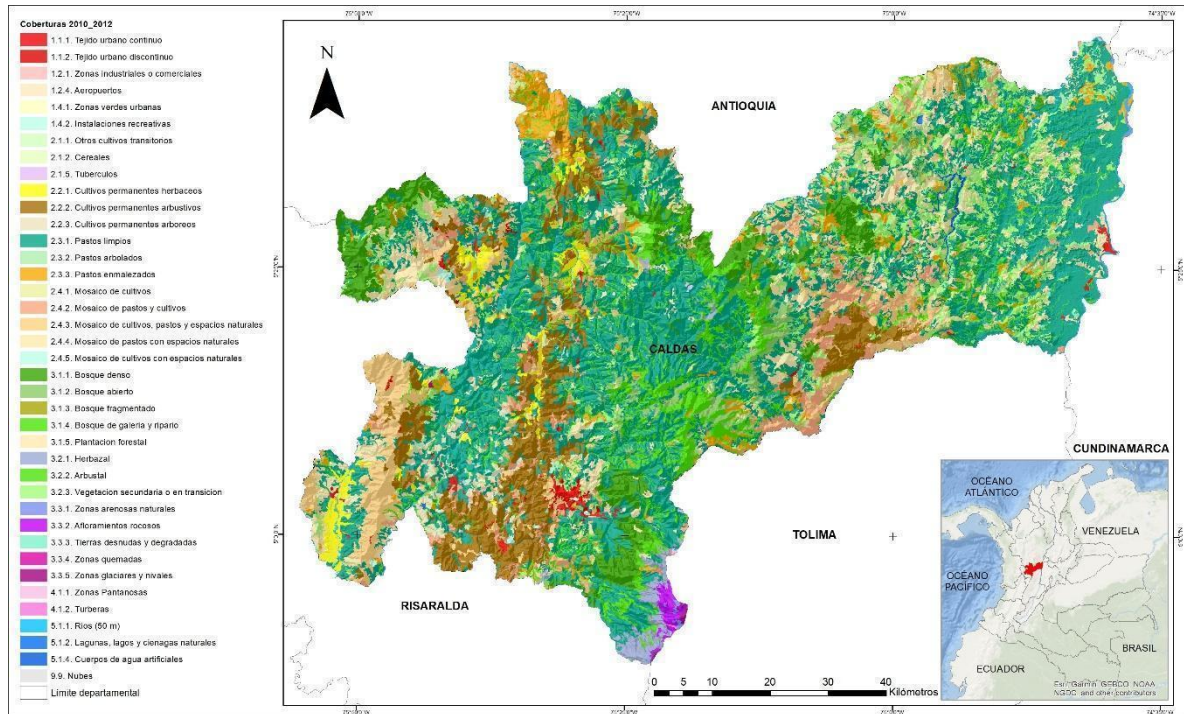
Está conformado por 27 municipios divididos geográficamente en seis subregiones que corresponden al Alto Occidente, Alto Oriente, Bajo Occidente, Centro Sur, Magdalena Caldense y Norte (Tabla 1); los cuales prestan servicios ambientales indispensables para el mantenimiento de la biodiversidad y de las actividades productivas.

Tabla 1. Divisiones geográficas del departamento de Caldas

Alto Occidente	Alto Oriente	Bajo Occidente	Centro Sur	Magdalena Caldense	Norte
Marmato	Marulanda	Anserma	Neira	Victoria	Aguadas
La Merced	Manzanares	Risaralda	Villamaría	Samaná	Pácora
Filadelfia	Pensilvania	San José	Chinchiná	Norcasia	Salamina
Supía	Marquetalia	Belalcázar	Palestina	La Dorada	Aránzazu
Riosucio		Viterbo	Manizales		

La mayor parte de la región está cubierta por territorios agrícolas, con aproximadamente el 69.95% del área (Fig.1), seguido por los bosques y áreas seminaturales representadas en un 28.36%, superficies de agua con un 0.87% (Anexo A), la extensión en hectáreas de cada una de las categorías de coberturas en la región caldense se presenta en la (Tabla 2).

Figura 1: Ubicación del departamento de Caldas en Colombia y sus coberturas vegetales



Fuente: Autoría propia; software ArcGIS10.5

Tabla 2. Coberturas vegetales presentes en el departamento de Caldas

Coberturas Vegetales departamento de Caldas	Área (Ha)	Porcentaje (%)
1.1.1. Tejido urbano continuo	3940.523	0.53091
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	1635.781	0.22039
Territorios Artificializados		
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	44.548	0.00600
1.2.4. Aeropuertos	44.853	0.00604
1.4.1. Zonas verdes urbanas	38.095	0.00513
1.4.2. Instalaciones recreativas	168.970	0.02277
Total	0.79124	
2.1.1. Otros cultivos transitorios	161.278	0.02173

Territorios Agrícolas	2.1.2. Cereales	272.493	0.03671
	2.1.5. Tubérculos	299.081	0.04030
	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	14639.211	1.97235
	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	64465.340	8.68547
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	6473.617	0.87220
	2.3.1. Pastos limpios	274097.218	36.92933
	2.3.2. Pastos arbolados	1809.895	0.24385
	2.3.3. Pastos enmalezados	26219.298	3.53255
	2.4.1. Mosaico de cultivos	475.694	0.06409
	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	28626.408	3.85686
	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	47632.381	6.41755
	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	52115.078	7.02151
	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	1928.296	0.25980
	Total	69.95429	
Bosques Áreas Seminaturales	3.1.1. Bosque denso	42601.041	5.73967
	3.1.2. Bosque abierto	17089.748	2.30252
	3.1.3. Bosque fragmentado	3781.474	0.50948
	3.1.4. Bosque de galería y Ripario	46165.866	6.21996
	3.1.5. Plantación forestal	11528.540	1.55325
	3.2.1. Herbazal	6626.674	0.89282
	3.2.2. Arbustal	25734.068	3.46717
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	53053.222	7.14790
	3.3.1. Zonas arenosas naturales	884.000	0.11910
	3.3.2. Afloramientos rocosos	2287.549	0.30820

	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	336.347	0.04532
	3.3.4. Zonas quemadas	94.188	0.01269
	3.3.5. Zonas glaciares y nivales	369.847	0.04983
	Total		28.36791
Áreas Húmedas	4.1.1. Zonas Pantanosas	39.675	0.00535
	4.1.2. Turberas	70.744	0.00953
	total		0.01488
Superficies de Agua	5.1.1. Ríos (50 m)	5086.601	0.68532
	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	187.908	0.02532
	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	1187.287	0.15996
	total		0.87060
Nubes	9.9. Nubes	7.999	0.00108
	TOTAL	742220.8354	100.00000

4.2 ASPECTOS BIOLÓGICOS

Las serpientes pertenecen al suborden Serpentes, clase Reptilia, son animales ectotermos o de sangre fría, lo cual indica que su temperatura corporal varía en relación con la temperatura ambiente; debido a esto, biológicamente tienen un metabolismo bajo, impidiendo sostener de forma autónoma actividades que requieran una alta demanda energética. No obstante, estos organismos ocupan casi todos los hábitats disponibles, exceptuando las tierras frías y las aguas marinas del Caribe. Las modificaciones evolutivas en su piel impermeable les ha posibilitado ocupar numerosos hábitats, y ha permitido explorar nuevos sitios para anidar, alimentarse y establecerse (Lynch *et al.* 2014).

Algunas especies poseen un órgano que tiene la capacidad de detectar un objeto por medio del calor de sus cuerpos, como las serpientes venenosas del género Viperidae, este receptor térmico está localizado en la cara, y permite estimar la dirección y distancia del objeto. A pesar de que las serpientes son sordas pueden detectar vibraciones de la tierra, estas mueven con frecuencia su lengua bífida (catalogado como una extensión de su sistema olfativo, en este caso móvil) cuando sienten estas vibraciones, y como medio de captación de las moléculas del ambiente (Lynch 2012). En el territorio colombiano, la mayoría de las especies

conocidas ponen huevos en sitios terrestres, otras dan a luz a sus crías y algunas de ellas tienen la conducta de cuidar y alimentar por un tiempo determinado a los recién nacidos, conocido como cuidado parental (Lynch *et al.* 2014).

Por otro lado, estos organismos están expuestos constantemente a diversas amenazas y aunque algunos de estos reptiles son tolerantes a la transformación de las coberturas boscosas naturales, la pérdida y degradación de hábitat, originados en su gran mayoría por la intensificación y expansión agrícola, son actualmente las presiones más comunes sobre la biodiversidad (Vié *et al.* 2009), al igual que el tráfico ilegal y el temor de la población hacia estos animales, lo cual genera una mortandad indiscriminada (Lynch 2012).

4.2.1 Herpetofauna en el departamento de Caldas

Actualmente los reptiles son un grupo poco conocido en el departamento de Caldas, ya que a pesar de que existen estudios relevantes sobre la herpetofauna (Ruiz-Carranza y Lynch 1997, Rueda-Almonacid 2000 y Acosta-Galvis *et al.* 2006), sólo se han reportado para el territorio 72 especies, distribuidas en 47 géneros y 15 familias (Diagnóstico del Plan de Acción 2013-2015 CORPOCALDAS); de las 627 especies reportadas para el país hasta la fecha (Uetz *et al.* 2020). Estos estudios han sido enfocados especialmente hacia la región del Magdalena medio Caldense, dejando grandes vacíos o en algunos casos una carencia total de información para el resto del territorio caldense (Rojas-Morales *et al.* 2014).

En caldas, las colecciones biológicas registran tres especies de serpientes de la familia Viperidae (*Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* y *Bothriechis schlegelii*), de las 18 especies conocidas para el país; ésta familia de serpientes venenosas se diferencian principalmente por la presencia de fosetas loreales (estructuras especializadas capaces de percibir calor), forma «triangular» de la cabeza y la apariencia áspera de las escamas; se distribuyen sobre todas las ecorregiones del territorio por debajo de los 2.600 m de altitud y son las más importantes desde el punto de vista médico (Instituto Clodomiro Picado, 2020), ya que algunas como *B. asper* y *B. schlegelii* las cuales son objeto de investigación del presente trabajo, son las responsables de más del 90% de los accidentes ofídicos anuales del país (Lynch *et al.* 2014), considerados hasta la fecha como un evento de salud pública, dada su alta prevalencia (INS, 2014; Yañez-Arenas *et al.* 2016).

4.2.2 Especies de estudio.

Las especies estudiadas se encuentran clasificadas en dos géneros: *Bothrops*, taxón que incluye a *Bothrops asper* y *Bothrops punctatus* y el género

Bothriechis, representado hasta el momento en el país por su única especie: *Bothriechis schlegelii*.

***Bothrops asper* (Garman, 1884)**

Conocida comúnmente como Cuatro narices, Equis, Mapaná, Víbora de terciopelo (Fig.2), esta víbora una especie que se distribuye en Colombia, México, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá (Campbell y Lamar 2004). En el territorio colombiano presenta un amplio rango de distribución, encontrándose en los bosques andinos, bosques secos de la región Caribe, selva tropical de la región del Pacífico y, en los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena, en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Chocó, Córdoba, Magdalena, Santander y Valle del Cauca, por debajo de los 1300 hasta los 1975 metros de altitud. (Díaz-Ricaurte *et al.* 2018).

Es una serpiente de hábitos terrestres, que utiliza diferentes tipos de microhábitat y gran variedad de sustratos, se han reportado juveniles en arbustos o en las ramas de los árboles en alturas de hasta 2 metros (Mole y Ulrich 1894, Greene 1997, Sasa *et al.* 2009), al igual que pueden permanecer en troncos caídos o entre sus raíces (Díaz-Ricaurte *et al.* 2018); e incluso se ha reportado que *B. asper* tiene capacidad de flotabilidad en el agua, lo cual le permite atravesar barreras importantes como grandes ríos y ampliar sus rangos de distribución (Sasa *et al.* 2009).

Por su coloración conspicua, *B. asper* es una especie difícil de detectar por parte del hombre, especialmente cuando se encuentra en la hojarasca del bosque; presenta un tamaño moderado a grande, puede exceder los 2 m (INC 2017); y es considerada como una serpiente mortal y peligrosa, debido a que es responsable de la mayoría de los accidentes ofídicos por serpientes venenosas, por ello su importancia ecológica y médica.

Si bien el libro rojo de Reptiles de Morales-Betancourt y colaboradores (2015), exponen el estado de conservación para la especie como preocupación menor (LC), la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) aún no evalúa el grado de amenaza en la especie. Sin embargo, las constantes amenazas a las cuales se encuentra expuesta como, variaciones drásticas de temperaturas térmicas, afectaciones a los ecosistemas y hábitat que utiliza la especie (Medina-Barrios *et al.* 2019), la caza indiscriminada por parte del hombre por ser uno de los principales Vipéridos relacionados en accidentes ofídicos, entre otras, ejercen una presión constante sobre sus poblaciones, lo cual pueden alterar su desempeño y, por tanto, su supervivencia.

Figura 2: *Bothrops asper*



(A) Juvenil. Localidad: Norcasia, Caldas. Fotografía: Mateo Marín Marín. (B) Adulto. Fotografía: Leonardo Mendieta. (C) Adulto. Localidad: Porce, Antioquia. Fotografía: Sergio Daniel Cubides-Cubillos

***Bothrops punctatus* (García 1896)**

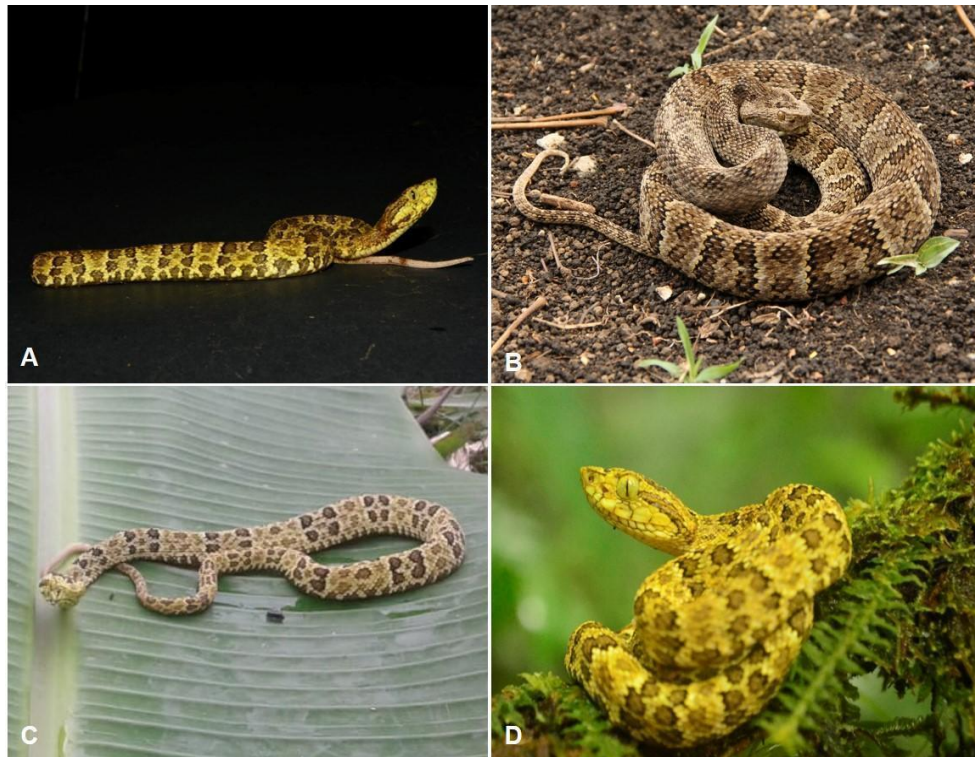
Conocida en Colombia como la 'rabo de chucha', *Bothrops punctatus* es una víbora semiarbórea de gran tamaño, que puede alcanzar una longitud de 1,0 y 1,5 m. (Campbell y Lamar 2004) describieron la distribución desde esta especie resaltando las estribaciones del Pacífico y la llanura costera del este de Panamá a través del oeste de Colombia hasta el noroeste de Ecuador. Esta especie se ha registrado desde el nivel del mar hasta los 2300 metros de altitud (Campbell y Lamar 2004 y Fernández 2014).

A nivel nacional se registra en localidades del Chocó Biogeográfico, la Cordillera Occidental, las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena en el departamento de

Antioquia y en los municipios de Calima, Dagua y Buenaventura en el departamento del Valle del Cauca (Castaño-M. *et al.* 2004; Campbell y Lamar 2004; Daza *et al.* 2005; Fenwick *et al.* 2009, Fernández 2014). *B. punctatus* (Fig. 3), es una especie con actividad crepuscular/ nocturna, se ha registrado tanto en pastizales como en borde e interior de bosque, ya sea lejos o contiguo a cuerpos de agua (Campbell y Lamar 2004; Arteaga *et al.* 2013).

Pese a que las especies del género *Bothrops* son importantes por su predominancia en la epidemiología de los accidentes ofídicos, los reportes notificados causados por *B. punctatus* parecen ser escasos (López *et al.* 2008). Actualmente esta especie no ha sido registrada en el libro rojo de reptiles de Colombia (Castaño-Mora 2002), al igual que en la lista roja de la UICN.

Figura 3: *Bothrops punctatus*



(A, D) Localidad: Risaralda Fotografía: Iván Mauricio Pareja Márquez (B) Localidad: Frontino. Fotografía: Sergio Daniel Cubides-Cubillos. (C): Localidad: Parque Nacional Natural Selva de Florencia. Fotografía: Juan Camilo Gallego Ramírez

***Bothriechis schlegelii* (Berthold 1846)**

En Colombia el género *Bothriechis* está representado por su única especie *Bothriechis schlegelii*, conocida comúnmente como Víbora de pestañas, Lora o

Cabeza de candado (Fig. 4). Esta es una especie que se distribuye desde el sur de México, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, hasta Panamá. En América del Sur se distribuye en países del noroeste, Colombia, Ecuador y Perú (Flores-Villela 1993, Campbell y Lamar 2004). En el territorio nacional se distribuye en tierras bajas del Chocó biogeográfico sobre la vertiente occidental de la cordillera Occidental, la cordillera Central, y la vertiente occidental de la cordillera Oriental, en elevaciones que superan los 1.500 m (John D. Lynch 2014).

Figura 4: *Bothriechis schlegelii*



(A, C) Localidad: Ecoparque Los Alcázares, Manizales, Caldas. Fotografía: Rendón Manuel. (B) Localidad: Herpetario Zoológico de Santa Fe. Fotografía: Blandón Marín Giovanni.

B. schlegelii es una serpiente de hábitos arborícolas, común en zonas montañosas y cafeteras, que presenta una amplia variación en su patrón de coloración, los cuales pueden variar amarillo, naranja, verde oliva, café, rosado, plateado, gris oscuro o negro carbón y con variaciones en sus intensidades, diseños y pigmentación (Gómez y Buitrago-González 2017). Los individuos son de tamaño pequeño a moderado (Solórzano 2004). Las hembras adultas son robustas y de mayor longitud total que los machos adultos.

Actualmente, esta especie no ha sido evaluada por la IUCN, y tampoco tiene alguna categoría de amenaza en el Libro Rojo de Reptiles de Colombia

(Castaño-Mora 2002). Sin embargo, MECN en el 2009 considera a esta especie como Preocupación Menor (LC).

4.3 OFIDISMO Y SALUD PÚBLICA

El accidente ofídico es una lesión producida por la mordedura de una serpiente, en el caso de ofidios venenosos, se puede producir una inoculación de veneno conllevando a una ofidiotoxicosis (INS 2014). Actualmente este evento ha incrementado su importancia en la salud pública, ya que las condiciones idóneas de hábitat, características geográficas, climáticas, socioculturales y demográficas del país, aumentan la susceptibilidad de sufrir una agresión (Heredia y Paredes 2009). Pese a esta gravedad y ocurrencia de eventos, no fue sino hasta el 2004 donde los accidentes ofídicos fueron considerados como un evento de notificación obligatoria; mediante la circular 092 del mismo año; no obstante, las notificaciones de casos consistentes se obtuvieron desde el año 2007 (INS 2014).

Rivera Prieto en su estudio del 2017, reporta que desde el año 2007 hasta el 2015 se han notificado 34800 accidentes ofídicos clínicamente confirmados, para un promedio de 3867 incidentes por año; en la actualidad este evento, ya considerado como una emergencia médica, debe recibir un tratamiento adecuado y oportuno basado en el suministro de suero antiofídico, con el fin de evitar o reducir las complicaciones del envenenamiento o incluso la muerte del paciente (Chippaux 2008; INS 2011). Estos registros son notificados por cada una de las entidades de salud donde ingresan pacientes víctimas de mordeduras de serpientes, por medio del Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA), evento accidente ofídico, código 100 (INS 2017).

4.4 ASPECTOS TECNOLÓGICOS

4.4.1 Sistema de información geográfica

Los sistemas de información geográfica (SIG), considerados como una nueva disciplina científica, son un conjunto de herramientas con las cuales se logran procesos de obtención, almacenamiento y análisis de datos que permiten generar información adecuada para la investigación y el trabajo profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales.

Actualmente las diferentes aplicabilidades de los SIG han permitido incursionar en otros campos, desde la geografía tradicional hasta enfoques espaciales, como modelamiento y realización de potenciales escenarios futuros (Buzai 2019). En este contexto y líneas de investigación, una de las aplicabilidades de las herramientas SIG, es generar asociaciones entre las variables climáticas,

ecológicas y topográficas con puntos de presencia de las especies, para predecir su distribución en el contexto del análisis de biodiversidad (Moreno *et al.* 2011); ya que el constante desarrollo y evolución de estas técnicas, han permitido realizar análisis sobre los patrones espaciales de presencia de los organismos, con el fin de generar modelos de distribución de especies, que permitan inferir zonas potencialmente idóneas en función de sus características (Mateo *et al.* 2011).

Pese a que se han desarrollado estudios aplicados al conocimiento de las especies utilizando las herramientas SIG, en grupos taxonómicos como las serpientes, es relativamente poco lo que se conoce en aspectos como requerimientos de hábitat y sus distribuciones, ya que las distintas limitaciones logísticas y económicas han imposibilitado el desarrollo de investigaciones detalladas, no obstante, el constante incremento de la aplicabilidad y sofisticación de los Sistemas de Información Geográfica, han ofrecido una gran oportunidad para la generación hipótesis en estudios relacionados con los factores ambientales más importantes que limitan la distribución de estas especies (Rivera 2017).

4.4.2 Modelos de distribución

La distribución geográfica de una especie es una expresión compleja de su ecología e historia evolutiva (Brown *et al.* 1996) y está determinada por diversos factores que operan con diferentes intensidades a diferentes escalas (Pearson y Dawson 2003). Dichos factores incluyen la relación de los organismos con su ambiente (e.g. condiciones climáticas y de hábitat) y las interacciones interespecíficas como la competencia, depredación y parasitismo (Chesson 2000; Chave *et al.* 2002). Debido a esto, el conocimiento detallado de la distribución geográfica de las especies es fundamental para la investigación en ecología, biogeografía y biología de la conservación (Brown *et al.* 1996; Graham y Hijmans 2006).

Los tradicionales mapas de puntos (localidades de presencia de las especies documentadas en una región) representan las distribuciones de forma limitada, mientras que los mapas delineados por expertos en muchos casos sobreestiman o subestiman las distribuciones dependiendo del conocimiento que se tenga del grupo de estudio (Anderson *et al.* 2002; Graham y Hijmans, 2006).

Con el fin de maximizar el conocimiento del rango geográfico de las especies, el uso de modelos de distribución de especies (Species Distribution Models - SDM's) se ha incrementado en los últimos años (Soberón y Peterson 2005; Elith *et al.* 2006; Merow *et al.* 2013). Predecir las distribuciones de especies se ha convertido en un componente importante de la planificación y conservación de

los ecosistemas y de las especies que lo componen, y para este propósito, se ha desarrollado una amplia variedad de técnicas de modelamiento (Guisan y Thuiller 2005).

Estos modelos, son una herramienta útil para la clasificación de los factores claves o amenazas para las especies en peligro de extinción o vulnerables y utilizan dos tipos de información para predecir la distribución potencial de la especie; los datos primarios y secundarios. Los datos primarios corresponden a sitios de colecta u observación de las especies de interés, los cuales pueden ser obtenidos de las bases de datos de colecciones científicas o publicaciones. Los datos secundarios son la información de clima, topografía o medio ambiente obtenidos de sensores remotos, tales como NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) del área donde se quiere predecir la distribución de la especie de interés (Naoki *et al.* 2006), usos de tierra y cobertura vegetal (Peterson y Robins 2003; Parra *et al.* 2004).

4.4.3 Modelamiento MaxEnt

MaxEnt es un software libre utilizado para la realización de modelos de distribución de especies por medio de registros de presencia y través de la distribución de probabilidad de máxima entropía (cercana a la uniforme), (Phillips 2017).

Diversos estudios han demostrado que este software es un método robusto para conjuntos de datos de presencia (Elith *et al.* 2006) y un conjunto de variables climáticas, el cual rápidamente se ha estado convirtiendo en uno de los métodos de modelamiento de nicho ecológico más ampliamente utilizado (Raxworthy *et al.* 2007).

Entre las ventajas que ofrece MaxEnt con relación a los diversos métodos de modelado de nicho ecológico, es que puede utilizar datos tanto categóricos como continuos, puede incorporar interacciones entre diferentes variables, y además el algoritmo que se utiliza es de tipo determinístico, lo cual garantiza la convergencia hacia la óptima probabilidad de distribución (Phillips *et al.* 2006). Como producto de los análisis predictivos de MaxEnt, se obtienen resultados gráficos y analíticos, en diferentes formatos compatibles con herramientas como ArcGIS, lo cual permite continuar explorando la información, generando datos y cartografía secundaria (Geoinnova 2019).

4.5 ANTECEDENTES

Debido a que MaxEnt es utilizado para modelar la distribución de especies, es importante reconocer que los píxeles del área de estudio se convierten en ese espacio en el que se delimita la distribución de probabilidad, así como también información perteneciente al clima, los suelos, coberturas, topografía, entre otras. Recientemente el modelado de nicho ecológico se ha convertido en una herramienta fundamental en la creación de modelos de distribución de especies, por medio de algoritmos que permiten la identificación de estas distribuciones potenciales, ya que se han convertido en una herramienta, rápida y útil en el campo de la biogeografía (Phillips *et al.* 2006; Phillips y Dudik 2008).

Dentro de los estudios realizados con estas tecnologías se encuentra el de Rodda *et al.* (2008), quienes generaron un modelo de distribución basado en variables ambientales como el clima, para describir los posibles hábitats en los Estados Unidos de la serpiente exótica *Python molurus*, conocida comúnmente como pitón de la India y un modelo climático futuro, basado en escenarios de cambio climático global para el año 2100. Por otra parte, Pyron *et al.* 2008, hace una comparación y analiza los resultados del estudio mencionado anteriormente; en su investigación utiliza el método estadístico de modelamiento de nicho ecológico como la máxima entropía implementada en el programa MaxEnt (Phillips *et al.* 2006), e incorpora variables bioclimáticas que no solo comprende las mediciones de temperatura media y precipitación, sino también los extremos de esas variables y la variabilidad estacional, (información que toma del conjunto de datos Bioclim) para generar modelos del rango actual y potencial de la *Python molurus*.

Con este complemento de datos, identifica de manera más completa el espacio climático adecuado para la especie y proporciona modelos más precisos para predecir áreas de expansión potencial. Adicionalmente, utiliza datos reales de presencia de la especie, georreferenciados a partir de especímenes de museo, casos reportados en la literatura, organizaciones de vida silvestre y datos determinantes para el modelo que no fueron tomados en cuenta por Rodda *et al.* 2008.

La investigación de Pyron *et al.* 2008, determinó que los modelos generados basados estadísticamente con los registros de presencia para la especie y los extensos conjuntos de datos climáticos, predicen la distribución actual de las serpientes con un mayor grado de precisión a diferencia del modelo utilizado por Rodda y colaboradores en el 2008, el cual sólo utilizó dos variables climáticas y carecía de registros de presencia, lo que generó en el modelo inferencias extremadamente amplias al momento de generar las predicciones.

Estos análisis también han sido empleados con gran éxito para la modelación de *Lontra longicaudis* (Nutria neotropical) en diferentes estudios (Santiago-Plata 2013;

Gómez *et al.* 2014; Rheingantz *et al.* 2014; Coitiño 2015), utilizando datos de presencia y tamaños de muestra pequeños, logrando simular la distribución de la idoneidad del hábitat de esta especie y una alta confiabilidad de sus resultados.

Naoki *et al.* 2006, realiza una comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de la vida silvestre en Bolivia, y plantea que es posible generar otro tipo de datos a escala más fina, como datos topográficos (altitud, pendiente, exposición, distancia a los cuerpos de agua) utilizando los modelos digitales de elevación (DEM), índices de vegetación y uso de la tierra por medio de las imágenes satelitales, determinando que la incorporación de estos datos puede producir una predicción de distribución más realista, a mayor escala y una mejora resolución de la distribución.

Posteriormente, Pearson (2007) ingresa en un algoritmo que identifica las condiciones ambientales asociadas con la ocurrencia de especies, los registros de ocurrencia y las variables ambientales buscando con esto integrar más de dos variables, teniendo en cuenta que las especies en realidad pueden responder a múltiples factores.

La aplicación de este tipo de modelos correlativos como se mencionó anteriormente, tiene como objetivo estimar las condiciones ambientales que son adecuadas para una especie, al asociar los registros de ocurrencia conocidos y previamente reportados, con conjuntos de variables ambientales las cuales pueden afectar o no la fisiología de la especie y la probabilidad de persistencia en el sitio de estudio. Por ende, el enfoque de estos modelos es que la distribución observada proporciona información útil sobre los requisitos ambientales de esa especie. Sin embargo, pueden existir varias razones por las cuales realmente no estén ocupando todos los sitios adecuados, algunas de ellas son las barreras geográficas, las cuales limitan su dispersión, la competencia (Pearson 2007), la depredación y el mutualismo (Naoki *et al.* 2006).

Finalmente, en lo concerniente con accidentes ofídicos relacionados con la familia Viperidae. Rivera (2017), en su trabajo de investigación: Efecto del cambio en el uso del suelo sobre la incidencia del accidente ofídico provocado por *Bothrops asper* y *Porthidium lansbergii* (Serpentes: Viperidae) en el departamento de Antioquia, Colombia; destaca la capacidad de los Modelos de Nicho Ecológico para proporcionar información detallada sobre las distribuciones potenciales, actuales y futuras de serpientes venenosas siendo esto útil para estimar y mapear los riesgos de mordedura de serpiente. Adicionalmente, resalta la importancia de los Sistemas de Información Geográfica en la toma de decisiones y en el diseño de acciones preventivas y terapéuticas enfocadas a prevenir y reducir el impacto de las mordeduras de serpiente.

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

El presente trabajo se realiza empleando la Investigación Aplicada, utilizando para esto herramientas de sistemas de información geográfica, las investigaciones a las ciencias biológicas y problemáticas de salud pública; posibilitando la identificación de los factores de riesgo de accidente ofídico y fundamentalmente permitiendo ampliar el conocimiento de especies de baja frecuencia de observación en el territorio Caldense.

5.2 PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

5.2.1 Registros Biológicos

Para obtener los registros de ocurrencia de las especies de estudio, se procedió a realizar la consulta en las colecciones biológicas del país certificadas por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en el portal de datos SiB y GBIF.

Actividad 1. Colecciones Biológicas

Las bases de datos con los registros descargados del SiB Colombia y GBIF fueron sistematizadas en hojas de cálculo de Microsoft Excel con el fin de filtrar y depurar la información de acuerdo con los siguientes criterios:

- Seleccionar los registros específicamente para el territorio Nacional.
- Eliminar los registros de especies diferentes a las del estudio.
- Excluir registros con errores y vacíos en la información de georreferenciación.
- Estandarizar la información para consolidar una base de datos por cada especie con el mismo sistema de coordenadas (UTM o Lat/Log).
- Descartar datos duplicados y registros con problemas de clasificación taxonómica.

5.2.2 Determinación variables ambientales y estructurales

Para el desarrollo de los modelos de las especies de interés de este estudio, se utilizaron datos específicos de características del hábitat, como altitud, vegetación; ya que se han desarrollado metodologías que permiten determinar la distribución potencial geográfica en base a nichos abióticos, las cuales permiten considerar datos obtenidos a través de localidades de ocurrencia y variables ambientales, lo cual ha sido ampliamente utilizado en los análisis biogeográficos (Pearson *et al.* 2007).

Actividad 1. Variables climáticas

Para la realización de los modelos se contó con los datos climáticos obtenidos de Worldclim (<http://www.worldclim.org>), estas variables bioclimáticas se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación para generar variables significativas desde el punto de vista biológico. Esta base de datos está formada por 19 mapas ráster con una resolución espacial de 1 km² (Tabla 3.) Para su ejecución, se adecuo la escala y resolución de las variables con el fin de ajustarlas al área de estudio.

Tabla 3. Descripción de las 19 variables bioclimáticas de Worldclim.

Variables	Descripción
BIO1	Temperatura promedio anual
BIO2	Rango diurno promedio
BIO3	Isotermalidad (P2/P7) (* 100)
BIO4	Temperatura estacional (desviación estándar *100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango de temperatura anual (P5-P6)
BIO8	Temperatura promedio del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura promedio del trimestre más seco
BIO10	Temperatura promedio del trimestre más caliente
BIO11	Temperatura promedio del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Precipitación estacional (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación en el trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación en el trimestre más seco
BIO18	Precipitación en el trimestre más caliente
BIO19	Precipitación en el trimestre más frío

Para la identificación de las variables ambientales a utilizar en se realizó una correlación para identificar la relación entre las variables, utilizando Estadísticas de conjunto de bandas “Band Collection Statistics” en el software ArcGis versión 10.5 a través de ArcToolbox, con el conjunto de herramientas de Multivariante desde la caja de herramientas de Spatial Analyst.

Actividad 2. Coberturas de la tierra

Como una de las variables en los modelos, se incluyó la capa de Coberturas de la Tierra con metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000 Periodo (2010-2012); publicada en el 2014 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, tomada del portal del sistema de Información Ambiental de Colombia-SIAC.

Dado que esta información es de tipo vectorial, se transformó a ráster asignando un tamaño de píxel de 500 metros y utilizando como datos de entrada los códigos de interpretación de Coberturas de la leyenda Corine Land Cover. Esta conversión se realizó utilizando herramientas de conversión de ráster en ArcGIS 10.5.

Actividad 3. Modelo de elevación de la tierra

Como última variable para generar los modelos, se utilizó un modelo digital de elevación (MDE) para Colombia de 30 Metros en formato raster, obtenido del servidor Earthdata de la National Aeronautics and Space Administration- NASA y al igual que las demás variables, se estandarizó en tamaño de píxel de 500 metros. Estos modelos digitales de elevación son productos geomáticos esenciales en el estudio, manejo y administración del territorio y su empleo permite diversos y variados análisis cuyos resultados permiten cualificar y cuantificar las características propias del terreno (Mena Frau *et al.* 2011).

5.2.3. Modelos predictivos de distribuciones potenciales para *Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* y *Bothriechis schlegelii* en el departamento de Caldas.

Para estimar la distribución geográfica potencial de *B. asper*, *B. punctatus* y *B. schlegelii*, se empleó el método predictivo de distribución de MaxEnt, en cual estima la distribución más uniforme (*maximum entropy*) de puntos de ocurrencia en un área determinada mediante la selección de un conjunto de variables.

Actividad 1. Preparación de datos y variables de entrada

Se realizó la construcción de bases de datos depuradas y estandarizadas con todos los registros de las especies de estudio, posteriormente se generó un archivo simplificado en formato *.csv con tres únicas columnas: Especies, Longitud y Latitud.

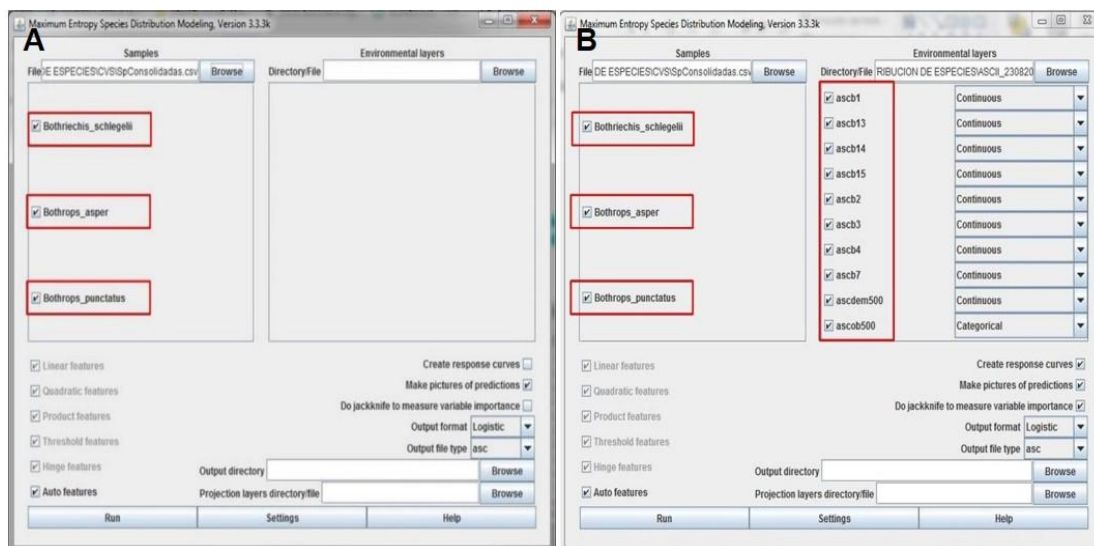
Para delimitar el área de estudio se tomó como referencia la capa rasterizada de coberturas de la tierra, se ajustaron todas las capas ráster con el fin de garantizar la misma proyección geográfica, mismo tamaño de celda y una forma idéntica en cada una de las capas modeladas; en ArcGIS 10.5 a través del ArcToolbox, con el conjunto de herramientas de Data Management Tools y Spatial Analyst, en los subconjuntos de projections and transformations y extract by mask respectivamente. Los ráster de todas las variables fueron exportadas en formato ASCII a través del ArcToolbox en el conjunto de herramientas de Conversion tools en el submenú From raster.

Finalmente, los mapas de idoneidad de hábitat obtenidos de MaxENT en formato ASCII se importaron al programa ArcGIS versión 10.5, para su posterior reclasificación y delimitación del departamento de Caldas.

Actividad 2 Configuración de MaxEnt

Para la ejecución del modelo de máxima entropía, inicialmente se indica al programa el archivo que contiene los registros o puntos de ocurrencia de Vipéridos registrados. Entre las ventajas que ofrece MaxEnt con relación a los diversos métodos de modelado de nicho ecológico, es que puede ejecutar datos tanto categóricos como continuos, incorporar interacciones entre diferentes variables, y además el algoritmo que se utiliza es de tipo determinístico, lo cual garantiza la convergencia hacia la óptima probabilidad de distribución (Phillips *et al.* 2006). En este estudio se utilizaron variables continuas (variables ambientales y modelo de elevación digital de la tierra) y una categórica (capa rasterizada de las Coberturas de la Tierra). (Fig.5)

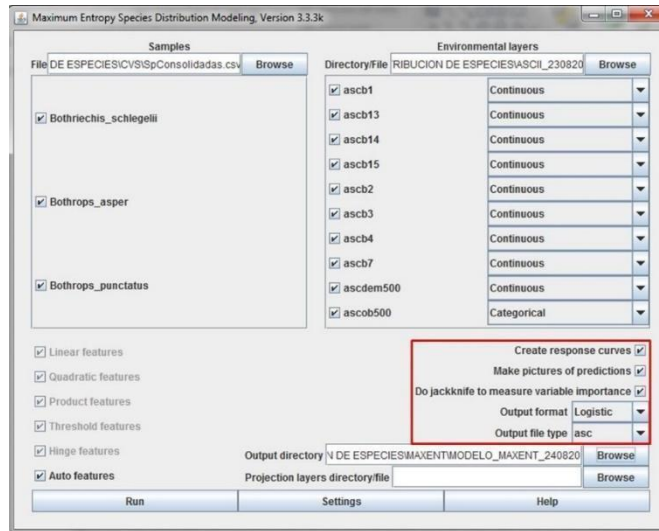
Figura 5: Interfaz, MaxEnt 3.3.3 (A) puntos de ocurrencia. (B) Variables Ambientales.



Actividad 3 Contribución de las variables

Para el análisis de idoneidad de hábitat y la influencia de las variables en la distribución geográfica de las especies, fue necesario activar en el software MaxEnt la generación de curvas de respuesta (Create response curves), realizar imágenes de las predicciones (Make pictures of predictions) y prueba de las variables ambientales empleadas (Do Jackknife to measure variable importance), esta técnica de Jackknife permite calcular la contribución relativa de cada variable al modelo. (Phillips 2017). Adicionalmente el proceso de validación del modelo se realizó con el 25% del total de datos. (Fig. 6).

Figura 6: Interfaz, MaxEnt 3.3.3 parámetros para el análisis.



Para estimar la capacidad de predicción de los modelos para cada especie, se analizó el área bajo la curva (AUC: Area Under the Curve), la cual es una salida gráfica que muestra la capacidad de discriminación de una presencia (sensibilidad) frente a la capacidad de discriminación de una ausencia (especificidad) (Phillips y Dudik 2008). Los valores de AUC varían de 0 a 1; lo que significa que entre más cercano esté a 1 el modelo presenta un buen desempeño, entre tanto los valores cercanos o por debajo de 0,5, indican que el modelo no es más informativo que lo obtenido por azar (Ortíz-Yusty *et al.* 2014). Por consiguiente, se categorizó a los modelos según la siguiente clasificación: $AUC < 0.8$: pobre; $0.8 < AUC < 0.9$ medio; $0.9 < AUC < 0.95$: bueno; $0.95 < AUC < 1$: muy bueno (Thuiller *et al.* 2005).

5.2.4 Estimación y distribución de accidentes ofídicos en el departamento de Caldas

La información referente a los accidentes ofídicos registrados para el departamento fue suministrada por el proyecto “10 años de historia del accidente ofídico en Caldas” aprobado en el consejo académico de la Universidad Católica de Manizales bajo el acuerdo 024. Dicha información proporcionada no contaba con datos básicos y confidenciales de los pacientes.

Actividad 1. Estimación y distribución

Con el fin de establecer la frecuencia y distribución de los accidentes ofídicos en un periodo de tiempo de diez años, se utilizó estadística descriptiva para la revisión de cada año a las fichas de notificación número 100 del Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA), para el departamento de

Caldas; posteriormente estos registros fueron depurados con base a los siguientes parámetros.

- Información filtrada y sistematizada de acuerdo a los siguientes criterios de inclusión (Agente agresor, identificación de género: *Bothrops*; Agente agresor, nombre común: Mapaná, Equis, Cuatro narices, Cabeza de candado, Rabo de chucha, Víbora de pestañas y Veinticuatro); y criterios de exclusión (Agente agresor, identificación de género: *Crotalus*, *Micrurus*, *Lachesis*, *Pelamis*, *Colubrido*, Sin identificar y Otro; Agente agresor, nombre común: Verrugosa o rieca, Rabo de ají, Jergón, Jararacá, Cascabel, Coral, Boa dorada, Patoco/Patoquilla, Desconocido y Otro).
- Construcción de matriz de datos para cada uno de los periodos evaluados.
- Identificación de las áreas de ocurrencia y localización de los accidentes ofídicos.

Dado que la información suministrada no presentaba coordenadas geográficas de los eventos, se realizó la espacialización en el software ArcGIS 10.5, tomando como referencia la capa de límites municipales suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC, versión 1 de 2015 escala 1:1, 1:25000 Y 1:100.000. Adicionalmente, se utilizaron los códigos municipales DANE registrados en las fichas de notificación.

Para definir la relación entre los modelos de distribución potencial de Vipéridos obtenidos y los accidentes ofídicos notificados, inicialmente se generó un mapa de calor con los modelos de las especies estudio, por medio de la herramienta Calculadora ráster, la cual permite crear y ejecutar una expresión de Álgebra de mapas que generó como salida un ráster. posteriormente, se definió la relación entre las tablas de atributos de la capa de límites de municipios oficial IGAC 2015, con los accidentes ofídicos registrados, en función del campo común "Cod_Mpio", por medio de la herramienta Spatial join. Finalmente se realizó un geoprocésamiento para calcular la intersección geométrica entre las entidades, mapa de calor y capa de municipios (con accidentes ofídicos registrados); y así determinar la distribución de los eventos relacionados con la familia Viperidae en el territorio caldense.

6. RESULTADOS

6.1 MODELOS PREDICTIVOS DE DISTRIBUCIONES POTENCIALES PARA *Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* Y *Bothriechis schlegelii* EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS

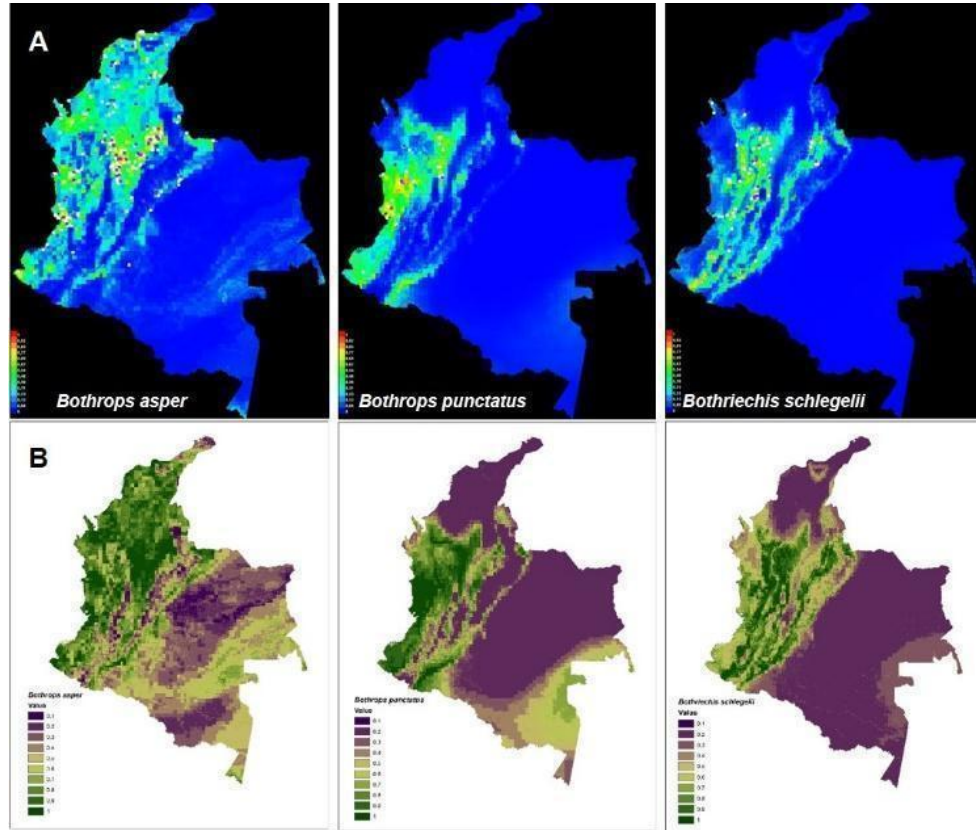
En total, se obtuvieron 872 registros de *B. asper*, *B. punctatus* y *B. schlegelii* a lo largo del territorio colombiano. Una vez realizada la depuración de la información, se consolidaron 582 registros para las tres especies, contribuidos por 37 entidades a las colecciones biológicas del país; entre estas las tres más importantes de serpientes (ICN, IAvH y MLS), en número y diversidad de especies en Colombia (Lynch *et al.* 2014). Es fundamental resaltar que, aunque los datos son obtenidos de portales de libre acceso, aún se encuentran vacíos de información en los registros publicados, lo cual genera dificultades en la realización de trabajos enfocados a la elaboración de listados, mapas de distribución y estudio de las especies por medio de las colecciones zoológicas nacionales (INS 2017)

La correlación realizada determinó las variables que estaban relacionadas entre sí (coeficiente de correlación $|r| < 0.7$) y con el fin de no replicar la información y elegir las más representativas fueron seleccionadas ocho variables para la elaboración de los modelos predictivos (Anexo B). Este resultado es acorde con estudios realizados por Young en el 2007, en donde se reconoce una reducción de la eficacia del modelo, si se utilizan todas o gran cantidad de variables correlacionadas, esta colinealidad puede tener efectos adversos en el desempeño del modelo.

Inicialmente, los primeros modelos predictivos obtenidos de MaxEnt corresponden a la idoneidad de hábitat para las tres especies a nivel nacional (Fig. 7), generados a partir de nueve variables continuas (variables ambientales y modelo de elevación digital de la tierra) y una categórica (capa rasterizada de las coberturas de la tierra).

B. asper evidencia una amplia distribución principalmente hacia la región Caribe, Andina y Pacífica. *B. punctatus* muestra una distribución hacia la cordillera Occidental, las cuencas de los ríos Cauca, Magdalena y región Pacífica. Finalmente, *B. schlegelii* se observó en tres grandes regiones biogeográficas colombianas, Región del Caribe, Litoral del Pacífico y la Región Andina incluyendo las tres cordilleras. Estos amplios rangos de distribución hacen que la familia Viperidae en algunos sectores sea considerada como una amenaza ya que son las principales causantes de accidentes ofídicos notificados, a diferencia de otras especies en la que su distribución pertenece a áreas restringidas y/o de difícil acceso, siendo en estos casos, poco conocidas en su biología (INS 2017).

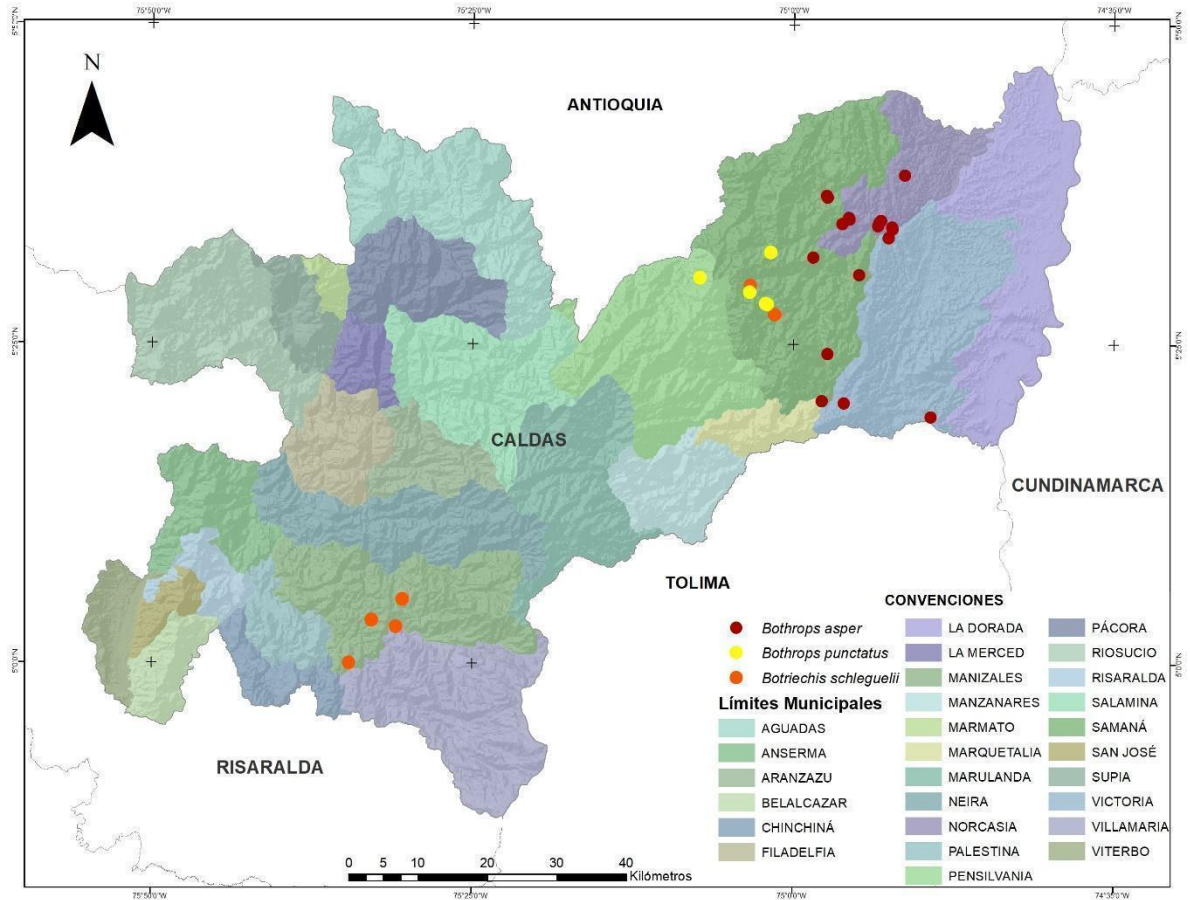
Figura 7: (A) Salidas gráficas del software MaxEnt 3.3.3. para los modelos de distribución potencial de *Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* y *Bothriechis schlegelii* para Colombia. (B) Reclasificación de los modelos de distribución potencial con el software ArcGIS 10.5. para cada una de las especies.



Fuente: Autoría propia; software ArcGIS, MaxEnt 3.3.3

Del total de datos usados para construir los modelos, el departamento de Caldas reportó 37 registros de la familia Viperidae (Anexo C, D). *B. asper* es la especie que más aporta datos dentro de las colecciones con un total de 23 registros, seguido de *B. schlegelii* con 9 reportes y finalmente *B. punctatus* (Fig. 8), la cual es la especie menos representada con un total de 5 registros para el departamento. Esta ubicación geográfica del Departamento comprendida en la región Norandina colombiana ha permitido el establecimiento y adaptabilidad de las especies, dado a las características como la variedad de climas, microclimas y su heterogeneidad ambiental (Myers *et al.* 2000).

Figura 8: Vipéridos registrados en las colecciones biológicas para el Departamento de Caldas en los portales SiB y GBIF

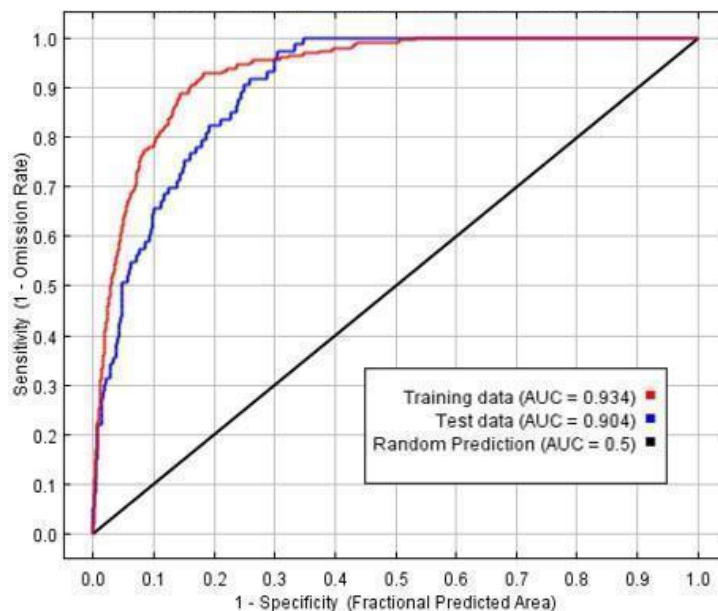


Fuente: Autoría propia, software ArcGIS10.5

6.1.1 Modelo de distribución potencial de *Bothrops asper*

El modelo calculó un área bajo la curva (AUC) de 0.904 para los datos de prueba (Fig. 9), este resultado según la literatura se clasifica como un alto rendimiento para indicar la distribución potencial de la especie, y es uno de los índices más frecuentemente utilizado para medir la calidad de modelos (Moreno *et al.* 2011).

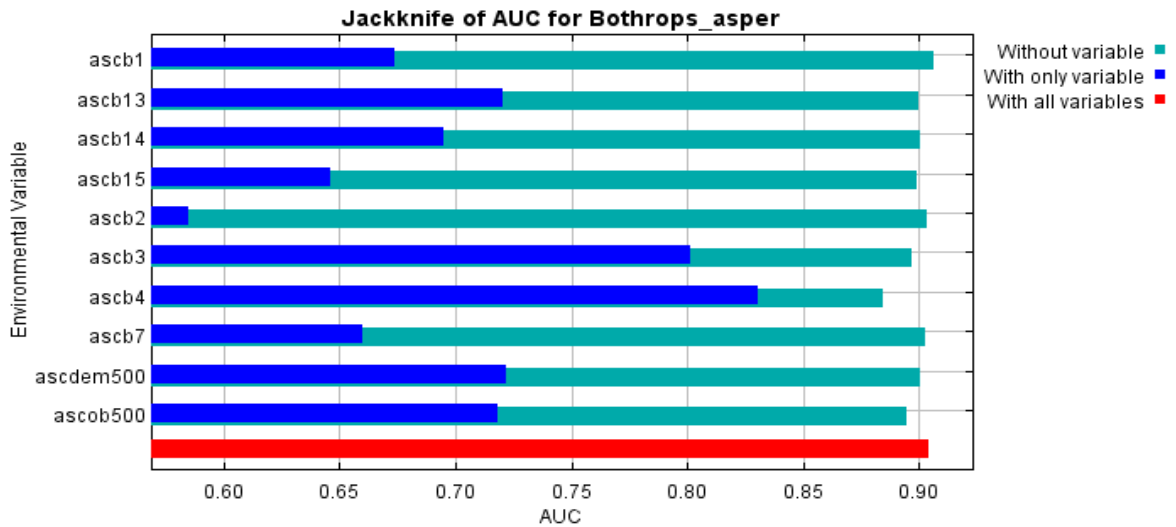
Figura 9: Gráfico de área bajo la curva (AUC: Area Under the Curve) para *B. asper*



Fuente: Autoría propia, software MaxEnt 3.3.3

El test de Jackknife (Fig. 10) muestra la contribución de las variables, de acuerdo con el AUC la Temperatura estacional (ascb4) es la variable de mayor significancia (AUC: 0.83), lo que indica que tiene información más útil por sí sola que las otras variables. La segunda variable con mayor significancia es la Isotermalidad (ascb3), con un valor de AUC:0.80, mostrándose muy cerca a la significancia que muestra la primera variable. Estos resultados concuerdan con estudios de Medina-Barrios y colaboradores (2019) para *B. asper*; donde establecen que la temperatura es uno de los componentes determinantes en para el buen funcionamiento de la especie, siendo clave en la respiración, captura de presas y respuesta de defensa.

Figura 10: Prueba de Jackknife para ganancia estadística en las variables utilizadas.



ascb1 (Temperatura promedio anual), ascb13 (Precipitación del mes más húmedo), ascb14 (Precipitación del mes más seco), ascb15 (Precipitación estacional), ascb2 (Rango diurno promedio), ascb3 (Isotermalidad), ascb4 (Temperatura estacional), ascb7 (Rango de temperatura anual), ascdem500 (DEM), ascob500 (Cobertura vegetal).

Fuente: Autoría propia, software MaxEnt 3.3.3

La probabilidad de ocurrencia de *B. asper* de acuerdo con las variables utilizadas en el modelo, indican la idoneidad de hábitat para la especie en el departamento de Caldas (Fig. 11). El territorio presenta una elevada idoneidad de hábitat con una probabilidad de presencia entre el 0.9 y 1, localizados predominantemente en la zona nororiental del departamento en los municipios de Samaná, Norcasia y Victoria; esta idoneidad está representando aproximadamente el 54.77 % (742220.83 Ha) del departamento de estudio (Anexo E). Esta distribución está directamente relacionada con el aporte de las colecciones biológicas a este grupo, ya que los 23 registros de la especie se han obtenido en esta área del departamento, debido a que muchos de los estudios de herpetofauna están enfocados hacia la vertiente oriental de Caldas, en el valle medio del río Magdalena (Rojas-Morales *et al.* 2014); en donde se encuentran grandes relictos de bosque o parches de gran tamaño en buen estado de conservación, lo cual favorece la presencia de esta especie, en la medida en que puede proveer los recursos necesarios para el establecimiento de sus poblaciones, como alimento, hábitat, y microhábitats, humedad y temperaturas adecuadas.

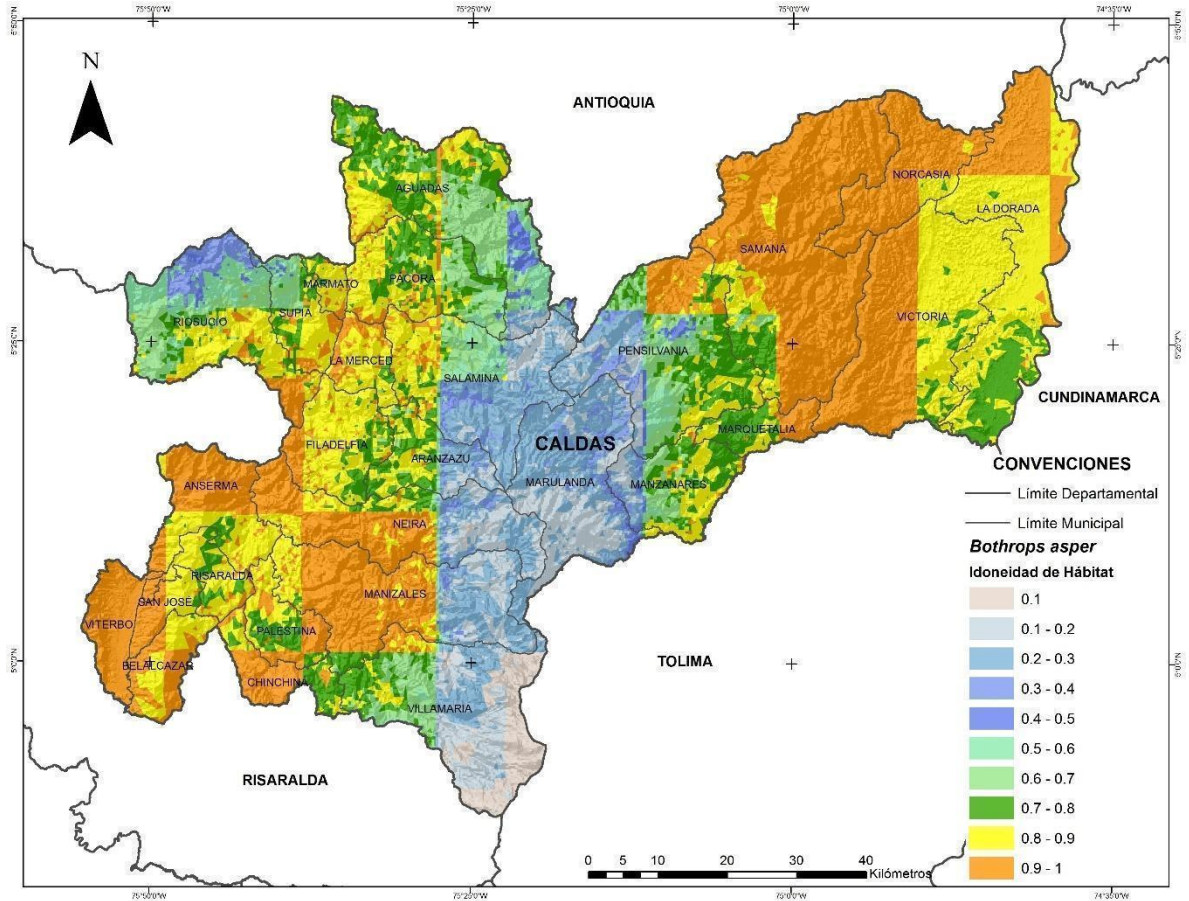
En cuanto la zona sur occidental del departamento se puede observar en los municipios de Anserma, Viterbo, Belalcázar Manizales y Neira una probabilidad del 0.8 de idoneidad del hábitat en un área de 104635.02 Ha que corresponden a

14,11% de la extensión del departamento, aun cuando para esta zona no se registran puntos de colecta para la especie (Fig. 12); lo que podría estar indicando bajos esfuerzos de muestreo para esta especie en estas áreas del departamento o adicionalmente la existencia de barreras geográficas o ecológicas que no están siendo tenidas en cuenta en la modelación realizada (Ortiz-Yusty *et al.* 2014) y que pueden estar influyendo en los patrones de distribución de la especie.

Contrario a estas localidades en donde las condiciones del hábitat son probablemente idóneas para la distribución de esta especie, se observa una muy baja probabilidad en la zona nororiental del municipio de Villamaría y en áreas cercanas al Parque Nacional Natural Los Nevados, en aproximadamente 12873.10 Ha que corresponden a un 1,74 % del departamento. Este comportamiento del modelo reafirma que esta es una especie encontrada por debajo de los 1975 m s. n. m. (Díaz-Ricaurte *et al.* 2018), o incluso según lo planteado por el reciente estudio de Medina-Barrios y colaboradores (2019), es probable que individuos de esta especie no podrían extender su rango de distribución geográfica por encima de los 2000 m de altitud.

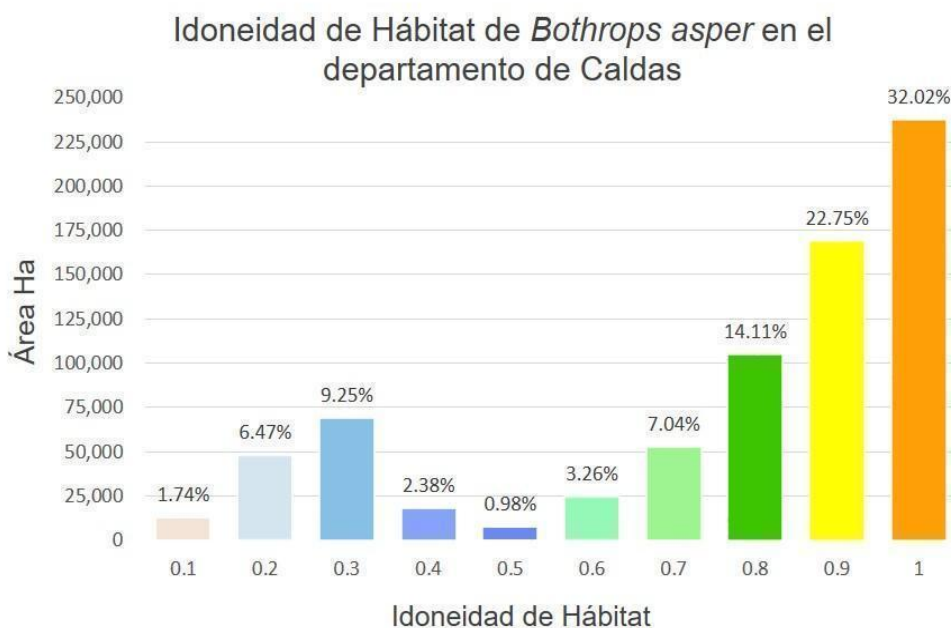
De igual manera, en la región alto oriente en los municipios de Marulanda y Salamina se estima una baja idoneidad de hábitat (0.2 y el 0.3), abarcando el 15.72% del área departamental. Asimismo, estos resultados los apoya el análisis de Jackknife en donde las variables estructurales (coberturas vegetales y DEM) tienen una mayor importancia (AUC: > 0.72) para la distribución potencial de la especie, comparadas con variables ambientales como, ascb2 (Rango diurno promedio).

Figura 11: Modelo de distribución potencial de *Bothrops asper* (mapaná) para el departamento de Caldas. Probabilidad muy baja (0-0.19), Idoneidad de hábitat con probabilidad baja (0.2-0.39), Probabilidad media (0.4-0.69), Probabilidad alta (0.7-0.89), Probabilidad muy alta (0.9-1).



Fuente: Autoría Propia, software ArcGIS 10.5 - MaxEnt 3.3.3

Figura 12: Porcentaje de la idoneidad de hábitat modelada para *Bothrops asper* en el departamento de Caldas



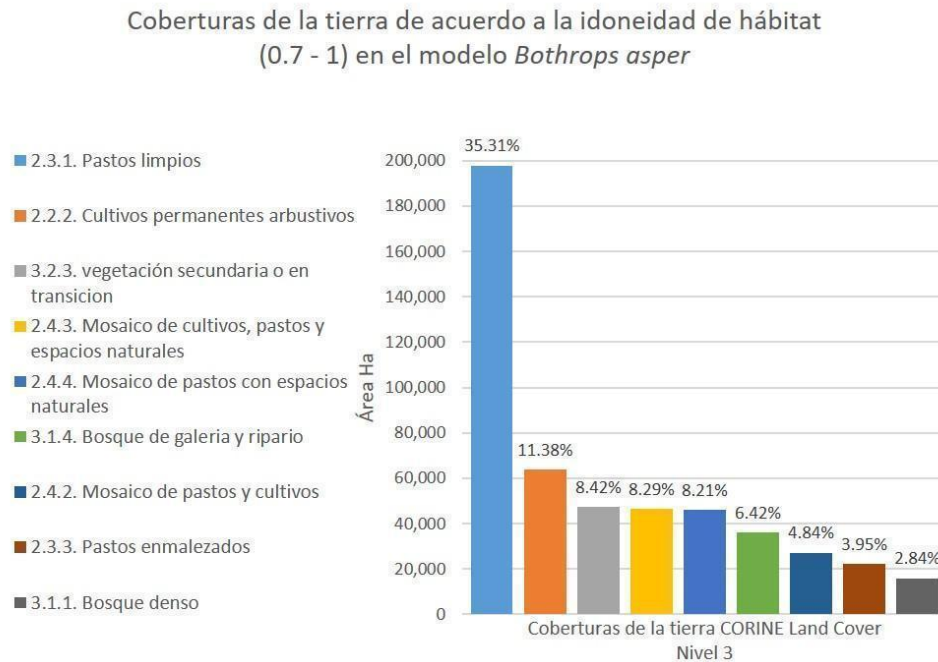
La superposición entre el modelo de distribución obtenido de *B. asper* y la capa de coberturas de la tierra, permitió determinar la extensión de las coberturas en las localidades en donde las condiciones del hábitat son idóneas para la distribución de esta especie, tomando como referencia los valores más representativos (0.7 – 1).

Aproximadamente 563119.119 Ha que tiene el departamento con una alta probabilidad de presencia de *B. asper*, un total de 197859.7878 Ha corresponden a pastos limpios de acuerdo a la capa de coberturas utilizada, representando un 35.31% de la extensión para esta idoneidad de hábitat (Fig. 13); seguido por los cultivos permanentes arbustivos y en menor proporción la vegetación secundaria, mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales.

Si bien esta especie puede encontrarse en una gran variedad de ambientes y altitudes a lo largo del territorio, es poco abundante en zonas de selvas húmedas submontanas (Cuesta-Terrón 1930; Solórzano 2004). *B. asper* tiene preferencias por ambientes húmedos, ocupando principalmente bosques primarios y secundarios (Sasa *et al.* 2009) y adicionalmente, es importante reconocer que frecuentemente se encuentra en áreas inmediatamente deforestadas (Díaz-Ricaurte *et al.* 2018). Investigaciones para esta especie como las de Sasa *et al.* (2009) sugieren puede verse afectada en áreas con poca cobertura de dosel. Por lo tanto, la pérdida de

hábitat debido al establecimiento de sistemas agropecuarios como plantaciones y pastizales para ganadería pueden afectar las poblaciones de la especie.

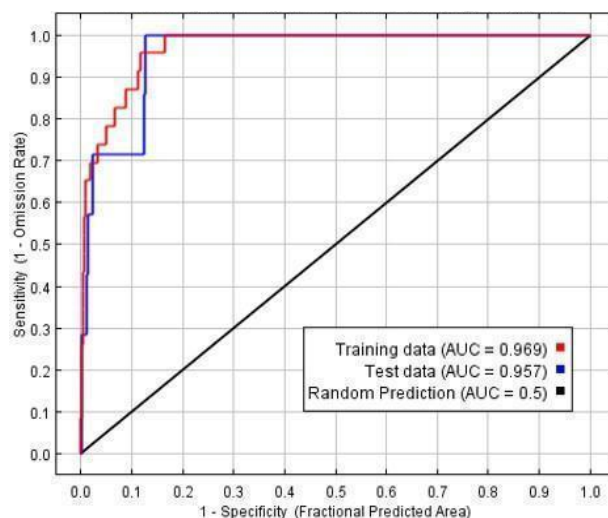
Figura 13: Coberturas de la tierra con condiciones de hábitat idóneas en un rango: (0.7-1) para *Bothrops asper* en el departamento de Caldas



6.1.2 Modelo de distribución potencial de *Bothrops punctatus*

La validación del modelo según el área bajo la curva (AUC); muestra que los mapas de distribución potencial de *B. punctatus* tienen una alta precisión (0.957) en los datos de prueba (Fig. 14).

Figura 14: Gráfico de área bajo la curva (AUC: Area Under the Curve) para *B. punctatus*

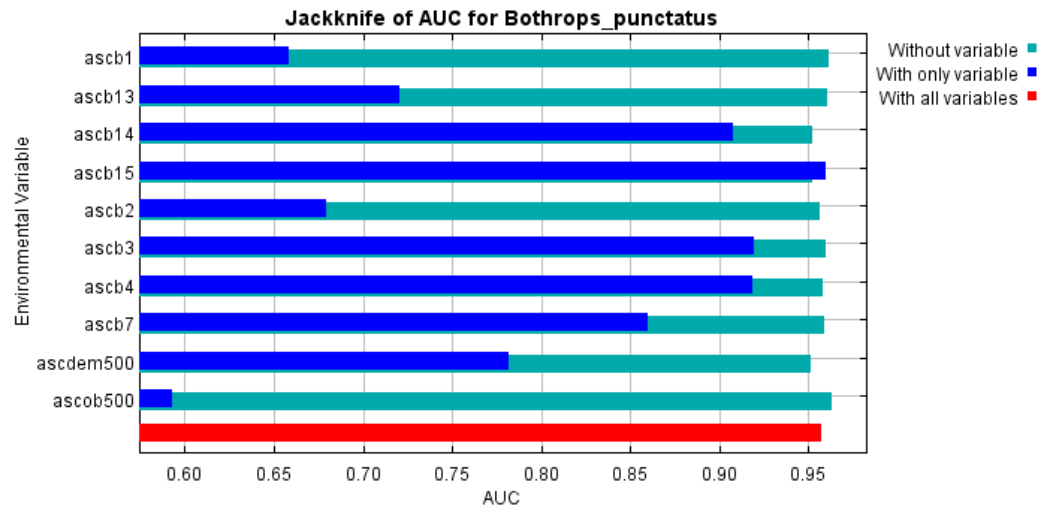


Fuente: Autoría propia, Software MaxEnt 3.3.3

La contribución de las variables arrojada por el test de Jackknife de acuerdo con el AUC (Fig. 15), indican que la Precipitación estacional (ascb15), es la variable de mayor significancia (AUC: 0.95) que por lo tanto contiene mayor información útil por sí sola. Cercano a la significancia que muestra la primera variable ambiental, la Isotermalidad y la Temperatura estacional (ascb3 y ascb4 respectivamente), muestran valores cercanos a 0.92. Estos resultados concuerdan con la historia natural de la especie y sus requerimientos ya que *B. punctatus* habita en bosques húmedos tropicales y subtropicales, así como en bosques montanos húmedos (Campbell y Lamar 2004), al igual suele habitar lugares con cuerpos de agua como humedales, laderas de los ríos y potreros con alta humedad.

La probabilidad de ocurrencia de acuerdo con las variables utilizadas en el modelo, indica los valores de idoneidad de hábitat para *B. punctatus* (Fig. 16.) El mapa de distribución potencial muestra que gran parte del departamento de Caldas presenta altos valores de idoneidad (0.8), en un área aproximada de 276403.5728 Ha que corresponde al 37,28% de la extensión total del departamento, esta distribución potencial la podemos observar en mayor medida y de manera continua hacia las regiones Centro Sur, bajo Occidente y Alto Occidente del departamento. A pesar de que para estas áreas del departamento no se tienen registros en colecciones biológicas, esta especie se ha registrado desde el nivel del mar hasta los 2300 m.s.n.m. (Campbell y Lamar 2004, Fernández 2014).

Figura 15: Prueba de Jackknife. Ganancia estadística en las variables utilizadas.



ascb1 (Temperatura promedio anual), ascb13 (Precipitación del mes más húmedo), ascb14 (Precipitación del mes más seco), ascb15 (Precipitación estacional), ascb2 (Rango diario promedio), ascb3 (Isotermalidad), ascb4 (Temperatura estacional), ascb7 (Rango de temperatura anual), ascDEM500 (DEM), ascOB500 (Cobertura vegetal).

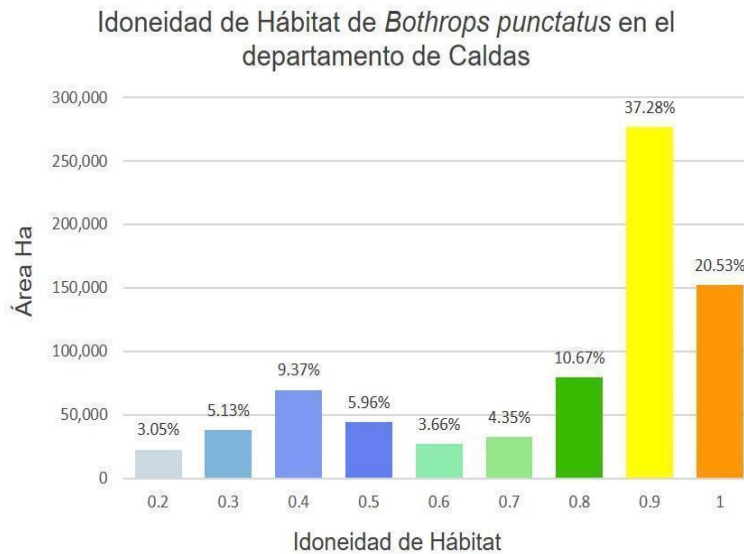
Fuente: Autoría propia, software MaxEnt 3.3.3

La zona del Magdalena Caldense en los municipios de Samaná, Pensilvania, Marquetalia, presenta una distribución potencial con valores de probabilidad muy alta (0.9 –1) en un 20,53% (Fig. 17). Este modelo de distribución potencial obtenido se considera como un aporte fundamental para el conocimiento de la distribución de esta especie (Anexo F); debido a que los registros de presencia para el departamento se reducen a cinco, tres de ellos son observaciones por Parques Nacionales Naturales de Colombia en el Parque Nacional Natural Selva De Florencia, Samaná; y uno parte de la Universidad de Caldas (MHN-UCa) en el mismo Parque Nacional. Este es el único registro en una colección biológica para el departamento (actualmente se lleva a cabo la primera ampliación de rango de distribución de la especie por Santana *et al.* - datos aún no publicados).

Contrario a este resultado, esta especie al igual que para *B. asper*, la región Centro Sur, en la zona nororiental del Parque Nacional natural Los Nevados, no son áreas potenciales de distribución, siendo representadas por los valores bajos de idoneidad (0.2- 0.39).

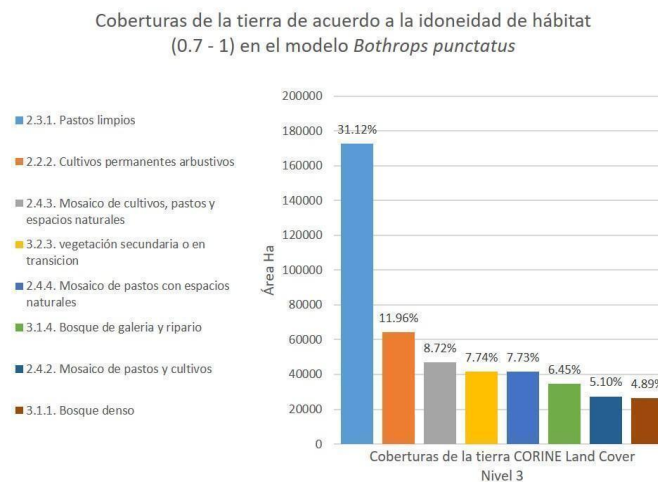
Adicionalmente otra limitante a considerar en el desarrollo de modelos de nicho ecológico es que para especies raras, endémicas o conspicuas a menudo se dispone únicamente de un pequeño número de registros (Graham *et al.* 2004; Soberón y Peterson 2005). Raxworthy *et al.* (2003) y Pearson *et al.* (2007) señalan

Figura 17: Porcentaje de la idoneidad de hábitat modelada para *Bothrops punctatus* en el departamento de Caldas



De acuerdo a la superposición de las coberturas de la tierra con la distribución potencial de idoneidad de hábitat, (tomando los valores $> 0.7 - 1$), se observa que la cobertura con mayor extensión son los pastos limpios con un 31.12% de idoneidad alto para esta especie (Fig. 18), seguido por los cultivos permanentes que abarcan un área de aproximada de 64286.59157 Ha que corresponden al 11.96 %. De igual manera se observan como un hábitat idóneo para la distribución de *B. punctatus* las áreas agrícolas heterogéneas, los bosques y las Áreas con Vegetación Herbácea y Arbustiva.

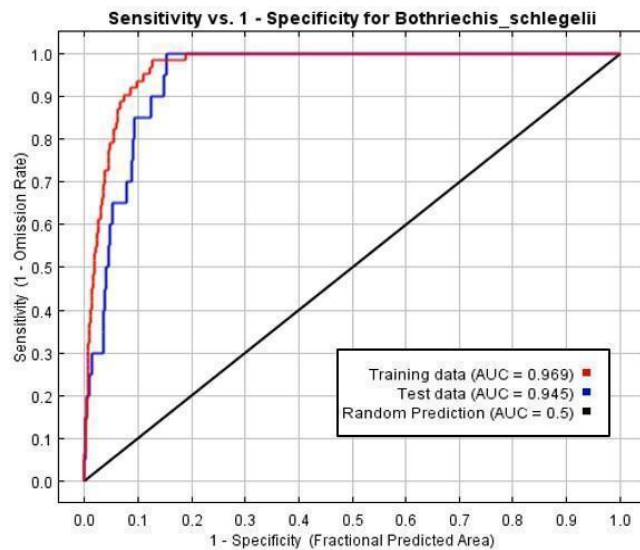
Figura 18: Coberturas de la tierra con condiciones de hábitat idóneas en un rango de (0.7- 1) para *Bothrops punctatus* en el departamento de Caldas



6.1.3 Modelo de distribución potencial de *Bothriechis schlegelii*

El área bajo la curva (AUC) para el modelo potencial de distribución de *B. schlegelii* arrojó un alto rendimiento (AUC: 0.945) para los valores de prueba evaluados (Fig. 19).

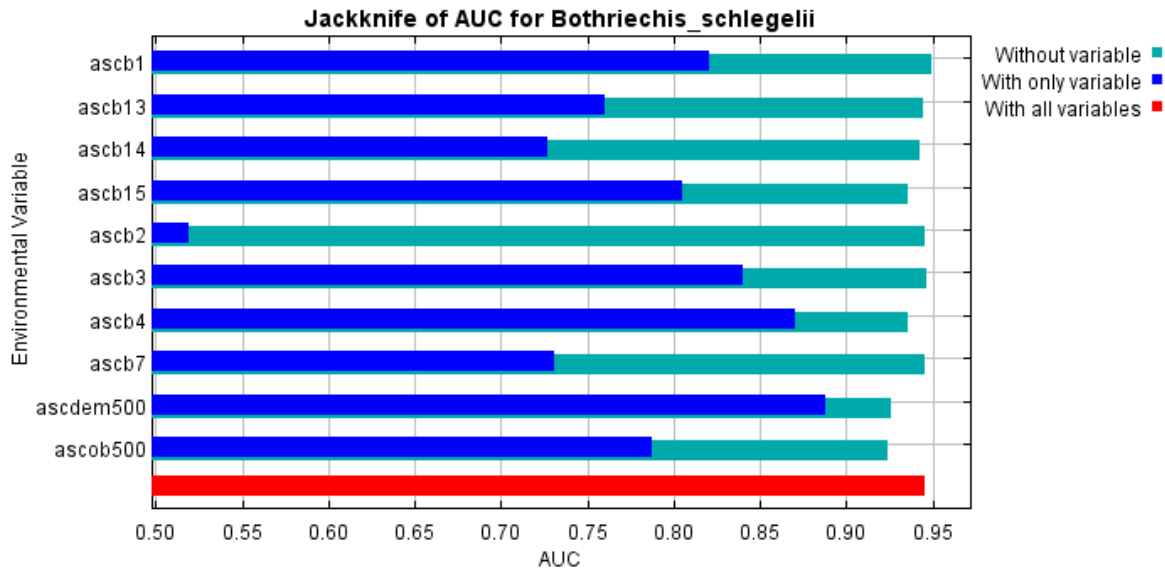
Figura 19: Gráfico de área bajo la curva (AUC: Area Under the Curve) arrojado por el software MaxEnt 3.3.3 para *Bothriechis schlegelii*.



De acuerdo con la estimación de contribución relativa de cada una de las variables ambientales para la construcción del modelo, en *B. schlegelii* la mayoría de estas contribuyen con altos valores de significancia según la prueba de Jackknife (Fig. 20). ascb1 (Temperatura promedio anual), ascb13 (Precipitación del mes más húmedo), ascb15 (Precipitación estacional), ascb3 (Isotermalidad), ascb4 (Temperatura estacional), ascdem500 (DEM), ascob500 (Cobertura vegetal) presentan valores superiores de ACU:0.73; a diferencia de ascb2 (Rango diurno promedio) con valores menores a ACU: 0.52.

Estos resultados evidencian la variedad de microhábitat y áreas que habita esta especie como, bosque húmedo y muy húmedo tropical, bosque subtropical húmedo (selva nublada) y bosque muy húmedo montano; desde tierras bajas y zonas montañosas, con altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 2640 m.s.n.m (Campbell y Lamar 2004); en algunas áreas protegidas como: Parque Nacional Natural (PNN) Sierra, Nevada de Santa Marta, PNN. Paramillo, PNN. Farallones de Cali, PNN. Cueva de los Guácharos (Gómez y Buitrago-González 2017).

Figura 20: Test de Jackknife de ganancia estadística para las variables ambientales y estructurales modeladas. ascb1 (Temperatura promedio anual), ascb13 (Precipitación del mes más húmedo), ascb14 (Precipitación del mes más seco), ascb15 (Precipitación estacional), ascb2 (Rango diario promedio), ascb3 (Isotermalidad), ascb4 (Temperatura estacional), ascb7 (Rango de temperatura anual), ascdem500 (DEM), ascob500 (Cobertura vegetal)



En el modelo de distribución potencial para *B. schlegelii* (Fig. 21), se puede observar una muy alta idoneidad de hábitat (>0.9 - 1) en la región Centro Sur y Norte del departamento, en aproximadamente 362394.176 Ha, que representa un 48.8 % de la extensión total del área de estudio (Fig. 22). Adicionalmente, el modelo predice una distribución continua a lo largo del departamento entre la región Alto Occidente y Bajo Occidente, presentando una alta probabilidad (0.7 y el 0.8), en una extensión de 176863.07 Ha que corresponde a un 23,84 % del departamento (Anexo G).

Contrario a estas regiones con alta probabilidad de idoneidad de hábitat, se observa que en los municipios de la Dorada, Victoria y Norcasia el modelo indica valores de idoneidad menores a 0.5; este valor también representa la probabilidad de ocurrencia al interior del PNN los Nevados en el municipio de Villamaría.

Figura 21: Modelo de distribución potencial de *Bothriechis schlegelii* para el departamento de caldas. Idoneidad de hábitat con probabilidad muy baja (0-0.19), Probabilidad baja (0.2-0.39), Probabilidad media (0.4-0.69), Probabilidad alta (0.7-0.89), Probabilidad muy alta (0.9-1)

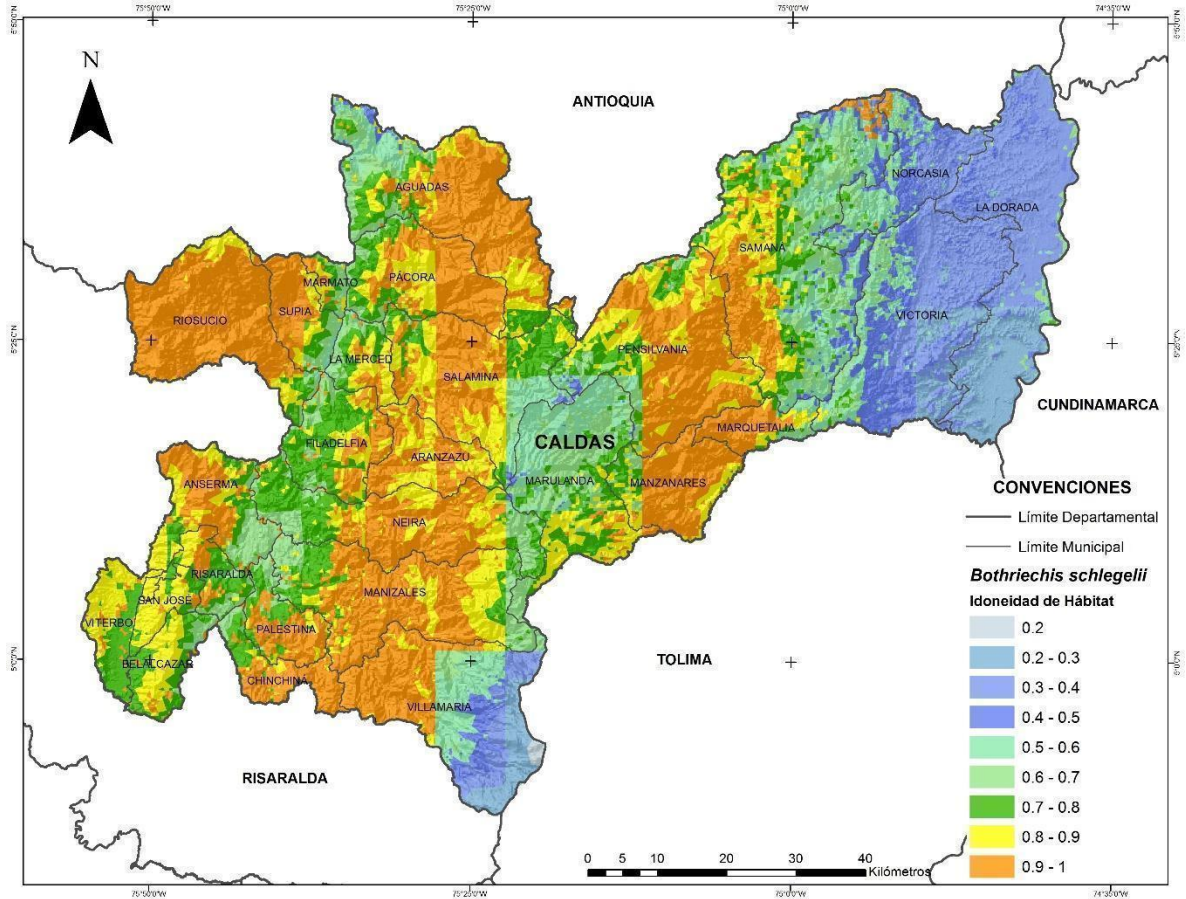
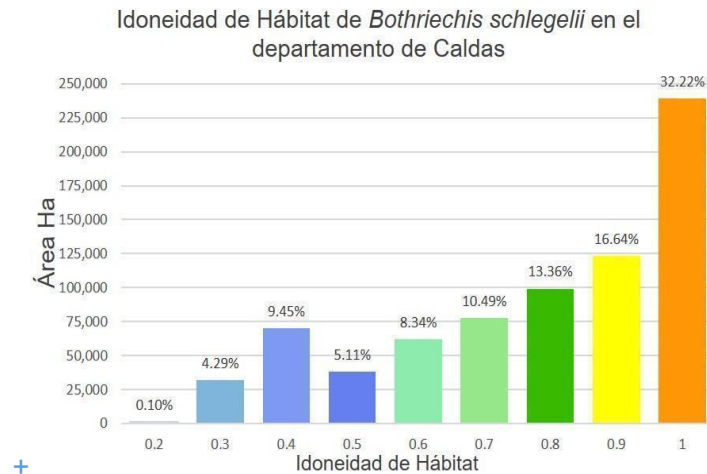


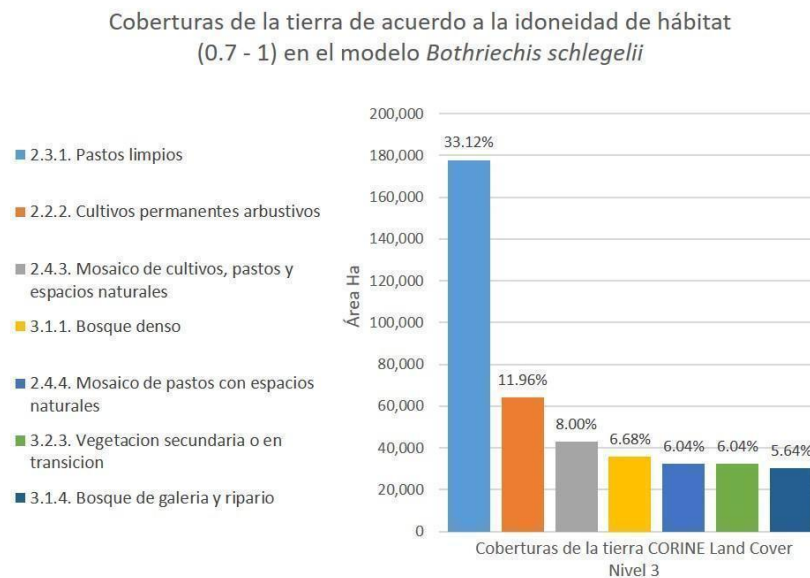
Figura 22: Porcentaje de la idoneidad de hábitat modelada para *Bothriechis schlegelii* en el departamento de Caldas



La superposición entre el modelo de distribución obtenido de *B. schlegelii* y la capa de coberturas de la tierra, permitió determinar las coberturas con mayor representatividad con valores de idoneidad entre 0.7- 1, indicando una condición de hábitat idónea para la distribución de la especie (Fig. 23). Se observa una predominancia de los pastos limpios con un 33.12%, con aproximadamente 177804.3019 Ha. Adicionalmente, se obtuvieron proporciones semejantes para coberturas como; áreas agrícolas heterogéneas, bosques y las Áreas con Vegetación Herbácea y Arbustiva representando aproximadamente un 32,4 %, 351679.2107 Ha del área con alta idoneidad del hábitat.

Sin embargo, Campbell y Lamar (2004) y Arteaga *et al.* 2013) plantean que poblaciones reducidas de esta serpiente pueden llegar a sobrevivir en pequeños fragmentos de bosque, aunque esto simplemente no garantiza que sus poblaciones puedan persistir a mediano y largo plazo. Adicionalmente algunas serpientes, entre estas *B. schlegelii* son tolerantes a la transformación de las coberturas boscosas naturales por áreas agrícolas (entre estas cultivos de café, arroz, frijol, maíz, frutales y potreros), y esto se debe a la plasticidad adaptativa de las serpientes hacia estos ecosistemas, al igual que la tolerancia de sus presas a los cambios ecológicos; ya que, aunque esta especie prefiere áreas con poco grado de alteración tales como bosques primarios y secundarios (Meza-Ramos et al. 2010), puede encontrarse en áreas urbanas, rurales y forestales (Rojas-Morales 2012). En municipios como Manizales, Villamaría, Chinchiná, en los parches de bosques urbanos.

Figura 23: Coberturas de la tierra con condiciones de hábitat idóneas (Rango: 0.7- 1) para *Bothriechis schlegelii* en el departamento de Caldas.



6.3. FRECUENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE ACCIDENTES OFÍDICOS EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS

Durante el periodo de tiempo 2009- 2019 fueron reportados al Instituto Nacional de Salud 680 mordeduras de serpientes para el departamento de Caldas. Estos accidentes ofídicos son eventos de gran interés en salud pública y actualmente presentan amplia ocurrencia en nuestro país, debido a que existe una extensa distribución de serpientes en el territorio la cual está favorecida por las condiciones ecológicas y sociodemográficas presentes en el territorio nacional (INS, 2017). El número de casos reportados para el departamento de Caldas fluctuaron a lo largo de los años evaluados (Tabla 4), estas variaciones se deben a que se ha implementado de una manera más rigurosa la ficha única de notificación N°100, donde la información se reporta y pública a través del Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA) (Bravo, 2015).

Tabla 4. Accidentes ofídicos registrados al Instituto Nacional de Salud durante el 2009- 2019 para el departamento de Caldas.

Accidentes ofídicos registrados en el SIVIGILA	
Año	Reportes
2009	67
2010	64
2011	61
2012	60
2013	67
2014	58
2015	59
2016	72
2017	61
2018	79
2019	32
Total	680

La depuración de la información por medio de los criterios de inclusión y exclusión arrojó un total de 338 reportes, esta cifra pertenece a eventos relacionados únicamente con serpientes de la familia Viperidae, de los 680 accidentes ofídicos registrados para el departamento. Es indispensable conocer que, aunque el país supera las 270 especies de serpientes, solamente el 18% de las especies son

venenosas, y pocas de ellas representan un peligro para las personas (Lynch *et al.* 2014).

Algunos informes de la Dirección Territorial de Salud de Caldas sobre el comportamiento del accidente ofídico en el departamento, reportan que el género *Bothrops*, es el causante de seis de cada diez accidentes ofídicos en Caldas (Dirección Territorial de Salud de Caldas 2016). Sin embargo, las bases de datos de accidentes ofídicos, aunque poseen numerosos campos de información contienen en ocasiones datos replicados, registros dudosos, vacíos de información, casos reportados sobre agentes biológicos desconocidos o errores de digitalización por el personal médico, lo cual ha impedido una apropiada identificación y espacialización del agente agresor.

Se ha considerado que existe una relación inversa entre el asentamiento de las poblaciones humanas con la incidencia de mordeduras de serpiente (Chippaux 2011; Chippaux y Diallo 2002), lo cual puede explicar las significativas reducciones de las poblaciones de serpientes en zonas que están altamente pobladas (Stock *et al.* 2007). Para el departamento de Caldas, 21 de sus 27 municipios notificaron al sistema de vigilancia epidemiológica SIVIGILA al menos un evento ofídico durante el periodo evaluado (Tabla. 5). Sin embargo, estos datos presentados son una aproximación al comportamiento del accidente ofídico en el departamento de Caldas, ya que muchas de las víctimas no buscan tratamiento hospitalario y prefieren curanderos o remedios tradicionales (Gutiérrez *et al.* 2006), esta falencia de la notificación del accidente, impide el realizar una clasificación inicial del caso, hospitalización y evaluación de la condición final del paciente. Por lo tanto, la mayoría de los datos disponibles sobre mordedura de serpiente podrían considerarse como subestimaciones (Kasturiratne *et al.* 2008).

Tabla 5. Número de accidentes ofídicos en los municipios del departamento de Caldas durante el 2009 - 2019 relacionados con víboras (Vipéridos).

Municipios de Caldas	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
ANSERMA	1	0	0	0	1	1	0	1	2	0	0	6
ARANZAZU	0	0	2	0	1	0	1	2	1	4	0	11
BELALCAZAR	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
CHINCHINÁ	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3
LA DORADA	3	3	0	3	0	3	0	3	1	5	2	23
LA MERCED	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	4
MANIZALES	4	4	1	1	0	0	0	0	1	2	0	13
MANZANARES	0	1	1	1	1	3	3	6	4	0	2	22
MARMATO	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
MARQUETALIA	1	3	0	0	2	0	1	1	2	0	0	10
MARULANDA	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
NEIRA	3	0	1	2	0	0	3	0	0	1	0	10
NORCASIA	5	6	2	2	4	3	2	2	4	2	0	32
PACORA	4	1	1	0	1	2	1	1	0	1	1	13
PENSILVANIA	2	0	0	2	3	1	1	3	2	7	3	24
RIOSUCIO	1	2	0	0	1	2	0	1	0	1	0	8
SALAMINA	2	0	1	0	1	1	0	2	3	0	0	10
SAMANÁ	5	11	8	10	7	8	6	13	9	10	6	93
SUPIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
VICTORIA	4	4	6	0	4	2	3	5	3	4	2	37
VILLAMARIA	4	2	0	3	1	1	0	0	2	1	0	14
Total	40	38	23	25	30	27	22	42	35	39	17	338

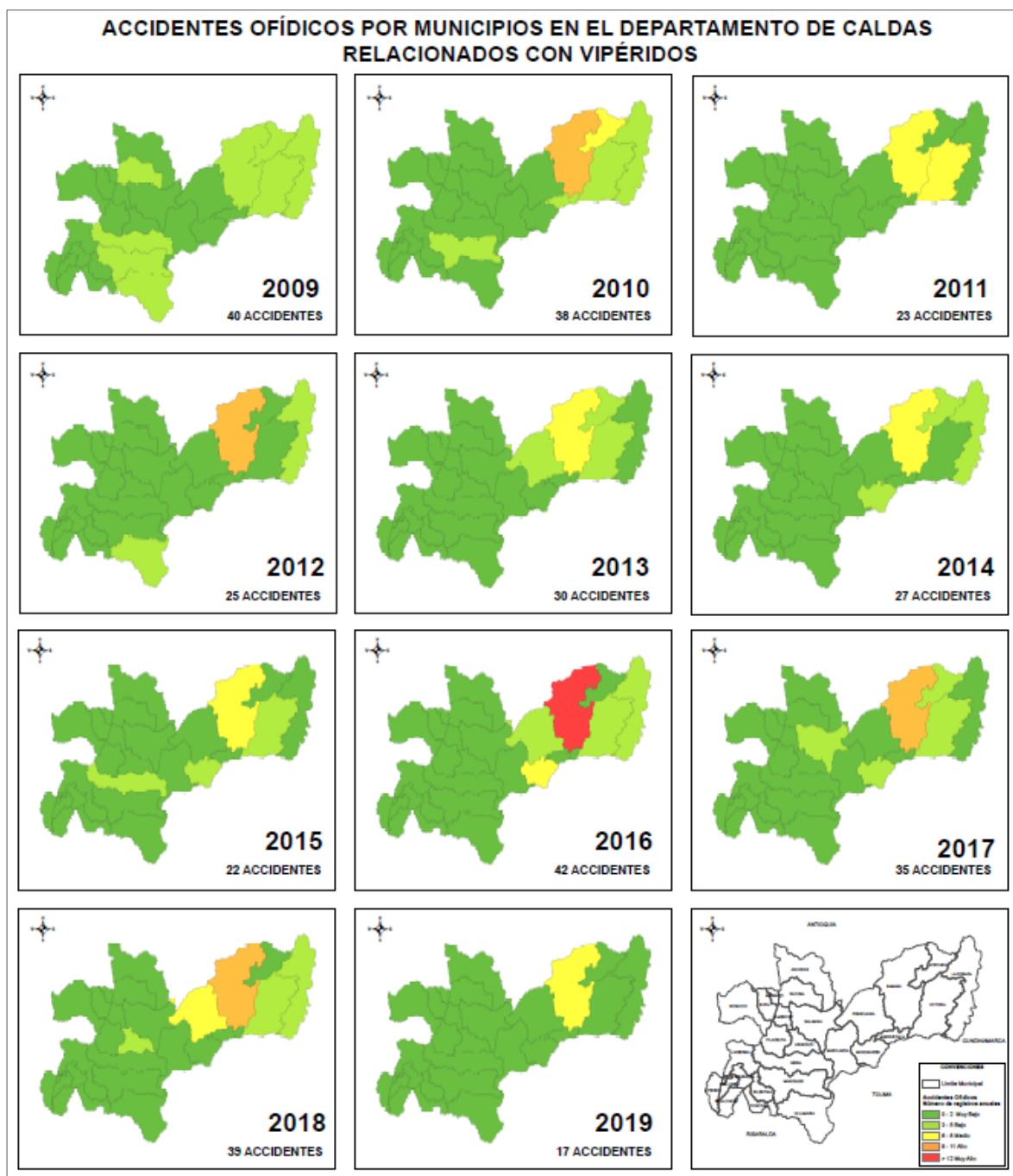
La frecuencia del accidente ofídico en el departamento de Caldas, estimada como el número de casos acumulados por años, muestra al periodo de 2016 como el año con mayor número de accidentes, con un total de 42 casos, seguido por el 2009 con 40 y el 2018 y 2007 con 39 y 38 casos respectivamente. El año en el que se registró el menor número de accidentes fue el 2019, aunque este comprende solo las notificaciones de enero– agosto. Por otro lado, los años con menor número de reportes fueron el 2015 con 22 notificaciones y el 2011 con 23 casos.

El análisis de los accidentes ofídicos registrados en las fichas de notificación número 100 del Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA), permitió la espacialización de los registros de accidentes ofídicos por municipios entre el periodo de estudio (Fig. 24), bajo el criterio cartográfico de agrupación, familia Viperidae, ya que la información sobre la identificación de agente biológico agresor a nivel de especie es dudosa, debido al desconocimiento general de los caracteres diagnósticos para la identificación de las especies por parte de los profesionales de la salud que reportan los eventos (Lynch *et al.* 2014),

Los accidentes ofídicos pueden variar estacional y geográficamente entre países o dentro de un mismo país (Kasturiratne *et al.* 2005). Para el departamento de Caldas, la región Magdalena Caldense fue la que reportó más accidentes en la década evaluada, el municipio de Samaná con una categoría de “Muy alto” registró 93 casos, seguido por Victoria, Norcasia y La dorada con categoría “Alto” reportaron 37, 32 y 23 casos respectivamente.

Por su parte la región Alto Occidente, en los municipios de Manzanares y Pensilvania con categoría “Alto” presentaron 22 y 24 accidentes ofídicos. Una gran parte de la región Norte (Aranzazu, Pácora y Salamina) y Centro Sur del departamento (Manizales, Neira y Villamaría) fue clasificada en la categoría “Medio”; con reportes entre 10 y 14 accidentes. Al analizar la correspondencia entre coberturas vegetales y los resultados obtenidos de frecuencia de accidentes e idoneidad de hábitat, observamos las diversas coberturas de la tierra en las cuales puede habitar algunas de las especies, esto se debe en gran medida a la plasticidad adaptativa de las serpientes; especies como *B. schlegelii*, presentan una alta tolerancia a la transformación de las coberturas boscosas naturales por diferentes cultivo; al igual que en áreas urbanas, rurales y forestales (Rojas-Morales 2012), en este sentido, la alta ocurrencia de accidentes ofídicos por esta especie en esta área del departamento, puede estar relacionada con asentamientos rurales y actividades productivas asociadas a estos.

Figura 24: Frecuencia del accidente ofídico en el departamento de Caldas entre el 2009– 2019.



En concordancia con el área de ocurrencia de estos accidentes ofídicos reportados, se conoció que el 77.2% de de estos eventos reportados para Caldas pertenecen a zonas de “rural disperso”, ello convierte al agricultor y trabajadores del sector ganadero, como una población de alto riesgo para los accidentes ofídicos (Dirección Territorial de Salud de Caldas 2016). Adicionalmente cerca del 22% de estos eventos son ocasionados en las cabeceras municipales debido muy posiblemente a la deforestación de la zona rural, que hace migrar a las serpientes de su hábitat natural.

El análisis de superposición entre los accidentes ofídicos notificados por los municipios durante el 2009-2019 y el Hotspot de distribución potencial, permitió observar una correlación positiva entre la incidencia de accidentes ofídicos y la idoneidad del hábitat para la distribución de Vipéridos en el departamento (Fig. 26). Samaná, el único municipio de la región del Magdalena Caldense, en donde se modeló una muy alta idoneidad de hábitat (0.9-1) para las especies de estudio, registró igualmente la categoría más alta de accidentes ofídicos notificados (38-93). En todos los periodos evaluados este municipio tiene la tasa más alta de accidentes ofídicos reportados, muchos de ellos sin ubicación precisa en las fichas de notificación, lo cual genera falencias a la hora de establecer planes de manejo enfocados a la prevención y capacitación del personal de salud que permita mejorar la capacidad de reacción ante este tipo de accidentes.

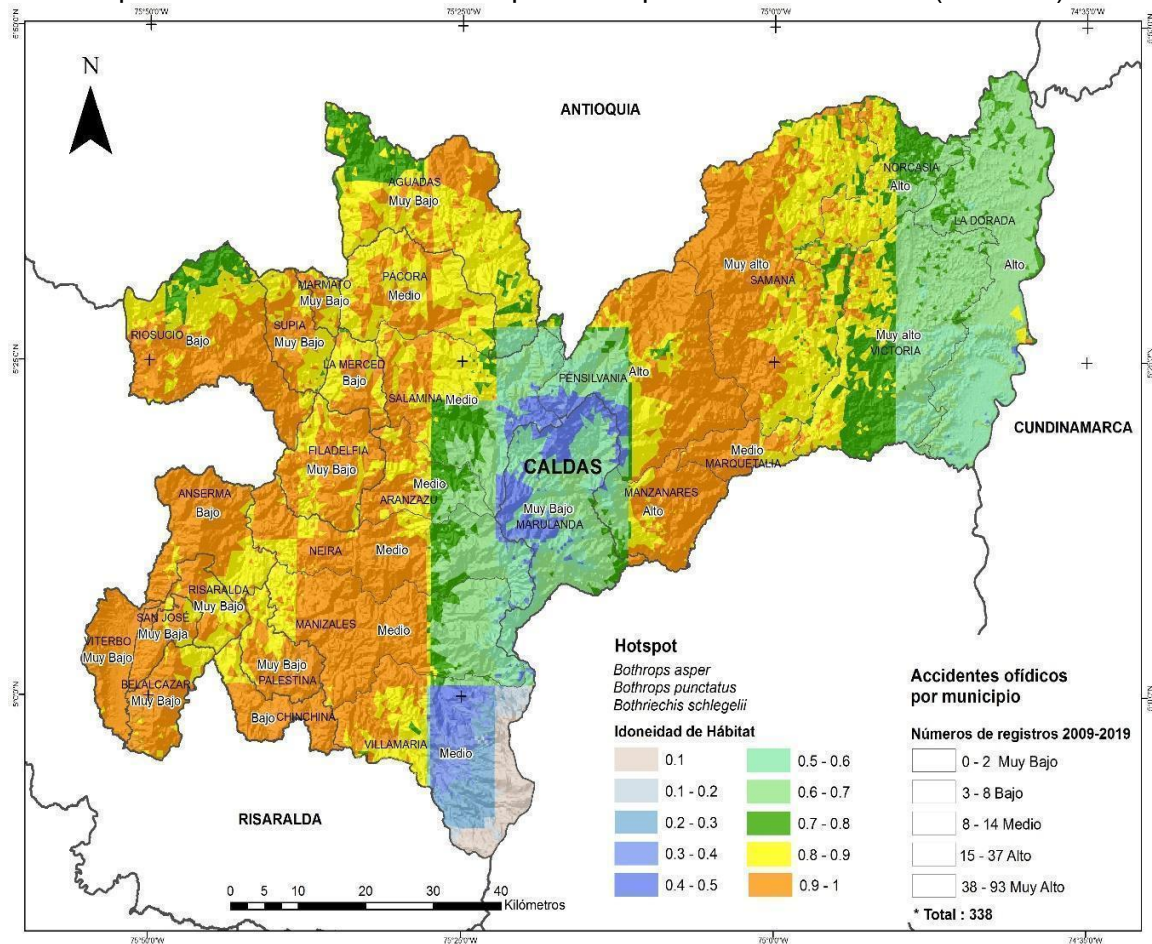
Otros municipios pertenecientes a esta región como Norcasia, Victoria, La dorada, presentaron una idoneidad de hábitat mucho menor con variaciones de 0.6 - 0.89 pero con categorías de accidente ofídico Alto y Muy alto de acuerdo a la clasificación categoría asignada por número de accidentes ofídicos registrados.

Dentro de la región Alto Oriente del departamento, el municipio de Manzanares y la zona Nororiental del municipio de Pensilvania en límites con Samaná, presentaron una muy alta idoneidad de hábitat (0.8-1) para los Vipéridos evaluados, conservando una relación directa con los números de accidentes reportados para el municipio. Marquetalia, aunque presenta igualmente altos valores para la distribución potencial de estas especies, presentó tan solo 10 accidentes ofídicos, posicionándose en la categoría “Medio” de accidentalidad. Finalmente, el municipio de Marulanda presentó una probabilidad media para la distribución de estas especies (0.4-0.69) semejante a sus accidentes ofídicos reportados (2) clasificándose a su vez en la categoría “Muy bajo” de accidente ofídicos notificados.

De los municipios pertenecientes a la región Centro Sur, entre estos Neira, Villamaría y la capital del departamento Manizales, presentaron altos valores de idoneidad de hábitat para los modelos de distribución potencial obtenidos (0.8-1), significando una relación con el número de registros de accidentes ofídicos reportados los cuales varían entre 10 y 14 casos. Contrario a los municipios de Palestina y Chinchiná, aunque la probabilidad de hábitat es muy alta (0.8 - 1), los accidentes por mordedura de serpientes reportados son muy bajos.

Aun cuando se registran muy bajos casos de accidentes ofídicos relacionados con Vipéridos en municipios pertenecientes, a la región del Bajo Occidente y Norte del departamento (reportes entre 0 y 8), la idoneidad de hábitat presenta valores altos y muy altos (0.8-1); exceptuando los municipios de Aránzazu, Pácora y Salamina en los cuales se han notificado más de 9 accidentes ofídicos durante el 2009 y 2019.

Figura 26: Idoneidad de hábitat y prevalencia de accidentes ofídicos relacionados con Viperidae durante el 2009-2019 para el departamento de caldas (Anexo H).



Fuente: autoría propia, software ArcGIS

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los modelos obtenidos para *Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* y *Bothriechis schlegelii* estiman que el departamento de caldas tiene condiciones de alta idoneidad de hábitat para estos Vipéridos, esto se debe al amplio rango de características con las que cuenta el departamento y en cuanto a variedad de climas, microclimas y la heterogeneidad como también a la adaptabilidad de las especies. Sin embargo, también se observan algunos sectores en el Alto Oriente y Centro Sur en donde el hábitat es menos favorable para la distribución del grupo de estudio. Con este trabajo se amplía el conocimiento que se tiene en el departamento sobre la distribución del grupo de (Serpentes: Viperidae) ya que hasta el momento los estudios realizados han estado enfocados en la región del Magdalena medio Caldense dejando grandes vacíos de información que limitan la planificación del territorio y las investigaciones enfocados a la conservación de las especies.
- El presente trabajo permite conocer la relación existente entre la frecuencia y distribución de los accidentes ofídicos notificados en el Sistema de Vigilancia Epidemiológica (SIVIGILA) para el departamento de Caldas en un periodo de tiempo de 10 años con los modelos de distribución generados para *Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* y *Bothriechis schlegelii*. siendo de gran utilidad para la dirección territorial de salud del departamento, en el diseño de estrategias enfocadas a la prevención y control de accidentes ofídicos, además de apoyar la toma de decisiones oportunas para el abastecimiento efectivo de los centros de salud en los municipios con mayor cantidad de accidentes notificados y con alta probabilidad de riesgo estimado.
- Debido a que la información suministrada por el Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA) no presentaba coordenadas geográficas de los eventos, no fue posible determinar a nivel veredal la ocurrencia de los accidentes. La identificación de áreas con alto riesgo e incidencia de accidentes ofídicos es fundamental para diseñar programas de prevención y control de accidentes. Se requiere para esto, datos geográficos precisos para determinar distancias a centros poblados, cercanía a centros de salud, tiempos de atención, y de esta manera, proponer con carácter

prioritario que centros de salud deben estar abastecidos con sueros antiofídicos para atender oportunamente un accidente de este tipo.

- Es de vital importancia que las colecciones biológicas como fuente de conocimiento en investigaciones científicas, sumen esfuerzos en los procesos de estructuración y fortalecimiento de la información recopilada, dando mayor importancia a los requerimientos mínimos técnicos que permiten una correcta georreferenciación de los registros biológicos ya que estos son esenciales en la construcción de listados y mapas de distribución de las especies.
- En el desarrollo de próximos estudios enfocados a estimar modelos de distribución potencial, se debería considerar la posibilidad de incluir en los análisis, el índice de vegetación de diferencia normalizada – NDVI, con el fin de conocer la posible relación entre la calidad y el desarrollo de la vegetación con la presencia de las especies teniendo en cuenta además su historia natural.
- Se sugiere al Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública, desarrollar fichas de notificación que permitan un diligenciamiento más práctico para evitar los vacíos de información además de incluir un apartado que especifique el lugar del accidente ofídico a nivel veredal o idealmente una coordenada geográfica.
- Se debe tener en cuenta que, para aumentar la calidad de modelos de distribución potencial, es importante considerar la escala de análisis, el uso de capas cartográficas con mayor nivel de detalle y variables ambientales generadas con información obtenida a partir de estaciones meteorológicas locales.
- Es necesario crear programas de planificación para la conservación de los ecosistemas de estos Vipéridos, en función de la importancia a nivel ecosistémico y biomédico de estas, por medio de monitoreo de sus poblaciones y campañas de educación.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Galvis, A. R., C. Huertas-Salgado y M. Rada. (2006). Aproximación al conocimiento de los anfibios en una localidad del Magdalena medio (departamento de Caldas, Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 30: 291-303.
- Alarcón, J., Ángel, L. M., y Rojas, C. A. (2012). *Accidente ofídico en pediatría. Gastrohnp*, 14(2), S14-S14.
- Anderson, RP, Peterson, AT y Gómez - Laverde, M. (2002). Uso de modelos GIS basados en nichos para probar predicciones geográficas de exclusión competitiva y liberación competitiva en ratones de bolsillo de América del Sur. *Oikos*, 98 (1), 3-16.
- Arteaga, A., L. Bustamante y J. M. Guayasamin. (2013). The amphibians and reptiles of Mindo. Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito. 251 pp.
- Asociación Geoinnova – Consultoría y Formación Geoespacial y Ambiental. (s.f.). PREDICCIÓN Y CONECTIVIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES. <https://geoinnova.org/blog-territorio/prediccion-y-conectividad-en-la-distribucion-de-las-especies>
- Bravo Vega, C. A. (2016). *Modelo matemático epidemiológico para estimar el sub-reporte de envenenamientos por serpientes en Colombia* (Master's thesis, Uniandes).
- Brown, J. H., Stevens, G. C., y Kaufman, D. M. (1996). The geographic range: size, shape, boundaries, and internal structure. *Annual review of ecology and systematics*, 27(1), 597-623.
- Buzai, G. D., Humacata, L., y Principi, N. (2019). Análisis espacial con sistemas de información geográfica. *Bernal: Universidad Nacional de Quilmes*.
- Coitiño Banquero, H. I. (2015). Distribución potencial de cuatro especies de mamíferos terrestres en la provincia biogeográfica de la Pampa.
- Campbell, J. A., Lamar, W. W., y Brodie, E. D. (2004). *The venomous reptiles of the western hemisphere* (Vol. 1, No. 2). Ithaca [NY]: Comstock Pub. Associates.
- Castrillón-Estrada, D. F., Vélez, J. G. A., Hernández-Ruiz, E. A., y Palacio, L. M. A. (2007). Envenenamiento ofídico. *Salud Uninorte*, 23(1), 96-111.

- Castaño-Mora, O. V. (2002). *Libro rojo de reptiles de Colombia* (No. 597.9 C2755I Ej. 1 021334). UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA,
- Castaño-M, O.V., G. Cárdenas-A., E. Hernández-R. y F. Castro-H. (2004). Reptiles en el Chocó Biogeográfico. Pp. 599-631.
- Cuesta-Terrón, C. (1930). Los crotalinos mexicanos: su clasificación, ecología y distribución geográfica. *Anal. Inst. Biol*, 1, 187-199.
- Chave, J., & Leigh Jr, E. G. (2002). A spatially explicit neutral model of β -diversity in tropical forests. *Theoretical population biology*, 62(2), 153-168.
- Chesson, P. (2000). Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual review of Ecology and Systematics*, 31(1), 343-366.
- Chippaux, J. P. (2008). Estimating the global burden of snakebite can help to improve management. *PLoS Med*, 5(11), e221.
- Chippaux, J.P., (2011). Estimate of the burden of snakebites in sub-Saharan Africa: a metaanalytic approach. *Toxicon*, 57(4):586–599.
- Chippaux, J.P., Diallo, A., (2002). Evaluation of the incidence of snakebites in a rural sahelian zone of Senegal, the case of Niakhar. *Bull Soc Pathol Exot*, 95 (3):151–153.
- Daza, J.M., J. R. Quintana y R. Otero. (2005). Geographic distribution: Serpentes: *Bothrops punctatus*. *Herpetological Review*. 36: 338.
- DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE CALDAS PLAN DE ACCIÓN (2013 – 2015). Informe técnico. Corporación Autónoma Regional de Caldas. DIRECTOR GENERAL RAUL JÍMENEZ GARCÍA.
- Díaz-Ricaurte, J.C., Cubides-Cubillos, S.D y Ferreto, B. (2018): *Bothrops asper* (Garman, 1884). *Catálogo de anfibios y reptiles de Colombia* 4: 8–22
- Di Gregorio, A. (2005). Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra (LCCS), versión 2: Conceptos de clasificación y manual del usuario. *Roma, IT*. 208 p
- Dirección Territorial de Salud de Caldas. (2016) Informe comportamiento de accidente ofídico en el departamento de Caldas. Obtenido de <http://www.observatorio.saluddecaldas.gov.co/>
- Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., y Li, J. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151.

- Fenwick, A. M., R. L. Gutberlet, J. A. Evans y C. L. Parkinson. (2009). Morphological and molecular evidence for phylogeny and classification of South American pitvipers, genera *Bothrops*, *Bothriopsis*, and *Bothrocophias* (Serpentes: Viperidae). *Zoological Journal of the Linnean Society* 156: 617-640.
- Fernández, M., J. A. Pereáñez, V. Núñez y B. Lomonte. (2014). Snake venomomics of *Bothrops punctatus*, a semi-arboreal pitviper species from Antioquia, Colombia. *PeerJ* 2: e246.
- Flores Villela, O. (1993). *Herpetofauna mexicana: lista anotada de las especies de anfibios y reptiles de México, cambios taxonómicos recientes, y nuevas especies= Annotated list of the species of amphibians and reptiles of Mexico, recent taxonomic changes, and new species*. Pittsburgh: Carnegie Museum of Natural History.
- GBIF.org. (2020), Página de Inicio de GBIF. Disponible en: <https://www.gbif.org> [15 de agosto de 2020].
- Graham, C. H., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C., y Peterson, A. T. (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in ecology and evolution*, 19(9), 497-503.
- Greene, H. W. (1997). *Snakes: The Evolution of Mystery in Nature*. University of California Press, Berkeley, CA, 351 pp.
- Gómez, J. J., Túnez, J. I., Fracassi, N., y Cassini, M. H. (2014). Habitat suitability and anthropogenic correlates of Neotropical river otter (*Lontra longicaudis*) distribution. *Journal of Mammalogy*, 95(4), 824-833.
- Gómez, C., y Buitrago-González, W. (2017). *Bothriechis schlegelii*. *Anfibios y Reptiles*, 1.
- Guisan, A., and W. Thuiller. (2005). Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.
- Guisan, A., y Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135(2-3), 147-186.
- Gutiérrez, J. M., Theakston, R. D. G., y Warrell, D. A. (2006). Confronting the neglected problem of snake bite envenoming: the need for a global partnership. *PLoS Med*, 3(6), e150.
- Heredia D, Paredes A. (2009). Primer perfil epidemiológico nacional de Accidente Ofídico en Colombia 2007 y 2008: Generalidades (tesis especialización). *Universidad El Bosque*.

- Instituto Clodomiro Picado. (2020). Recuperado el 12 de 02 de 2020, de <http://www.icp.ucr.ac.cr/index.php/es/informacion-y-materiales/serpientes-venenosas-de-costa-rica>
- Instituto Nacional de Salud, Colombia (INS). (2017). Protocolo de vigilancia en Salud Pública, accidente ofídico. Código 100.PRO-R02.40000-59V02.
- Instituto Nacional de Salud (INS). 2017. Informe de Evento Accidente Ofídico, Colombia. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/SitePages/BusquedaEventos.aspx>
- Kasturiratne, A., Pathmeswaran, A., Fonseka, M. M. D., Laloo, D. G., Brooker, S., y De Silva, H. J. (2005). Estimates of disease burden due to land-snake bite in Sri Lankan hospitals. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 36(3), 733.
- Kasturiratne, A., Wickremasinghe, A. R., de Silva, N., Gunawardena, N. K., Pathmeswaran, A., Premaratna, R., y de Silva, H. J. (2008). The global burden of snakebite: a literature analysis and modelling based on regional estimates of envenoming and deaths. *PLoS Med*, 5(11), e218.
- Lynch, J. D. (2012). El contexto de las serpientes de Colombia con un análisis de las amenazas en contra de su conservación. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36(140), 435-449.
- Llopis, J. P. (2010). *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio*. Editorial Club Universitario.
- López, N., C. Lopera y A. Ramírez. (2008). Características de los pacientes con accidente ofídico y complicaciones infecciosas atendidos en el hospital Pablo Tobón Uribe entre los años 2000 y 2006. *Acta Médica Colombiana* 33: 127-130
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., y Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta universitaria*, 25(2), 03-19
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84(2), 217-240.
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander Jr, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058-1069

- Medina-Barrios, O. D., Hernández-Cuadrado, É. E., y Hernández Vélez, D. (2019). Termobiología de *Bothrops asper* (Garman, 1883) en Colombia: ensayos ecofisiológicos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(1), 61-73.
- Mena Frau, C., Molina Pino, L., Ormazábal Rojas, Y., y Morales Hernández, Y. (2011). Generalización de modelo digital de elevación condicionada por puntos críticos de terreno. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 17(3), 439-457.
- Mole, R. R. y F. W. Ulrich. (1894). *Biological notes upon some of the Ophidia of Trinidad, B.W.I., with a preliminary list of the species recorded from the island*. Proceedings of the Zoological Society of London 499–518.
- Moreno, R., Zamora, R., Molina, J. R., Vasquez, A., & Herrera, M. Á. (2011). Predictive modeling of microhabitats for endemic birds in South Chilean temperate forests using Maximum entropy (Maxent). *Ecological Informatics*, 6(6), 364-370.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., y Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.
- Naoki, K., Gómez, M. I., López, R. P., Meneses, R. I., y Vargas, J. (2006). Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 41(1), 65-78.
- Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica*.
- 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.
- Paéz, V. P. (2004). El valor de las colecciones biológicas. *Actualidades Biológicas*, 26(81).
- Parra, J. L., C. C. Graham y J. F. Freile. (2004). Evaluating alternative data sets for ecological niche models of birds in the Andes. *Ecography* 27: 350-360.
- Pearson, RG y Dawson, TP (2003). Predecir los impactos del cambio climático en la distribución de especies: ¿son útiles los modelos de envoltura bioclimática? *Ecología y biogeografía global*, 12 (5), 361-371.
- Peterson, A. T. y C. R. Robins. (2003). Using ecological-niche modeling to predict Barred Owl invasions with implications for Spotted Owl conservation. *Conservation Biology* 17: 1161-1165.
- Pearson, R. G. (2007). Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. Synthesis. *American Museum of Natural History*, 50, 54-89.

- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., y Townsend Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of biogeography*, 34(1), 102-117.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887-893.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259.
- Phillips, S.J., Dudik, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31:161–175.
- John D. Lynch; Teddy Angarita Sierra; Francisco J. Ruiz. (2014). *Programa nacional para la conservación de las serpientes presentes en Colombia*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014. 128 p.
- Pyron, R. A., Burbrink, F. T., y Guiher, T. J. (2008). Claims of potential expansion throughout the US by invasive python species are contradicted by ecological niche models. *PloS one*, 3(8), e2931.
- Pucha-Cofrep, F., Fries, A., Cánovas-García, F., Oñate-Valdivieso, F., González-Jaramillo, V., y Pucha-Cofrep, D. (2017). *Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS*. Franz Pucha Cofrep.
- Puerta, R., Rengifo, J., y Bravo, N. (2011). ArcGIS básico 10. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*, 148.
- Raxworthy, C. J., Ingram, C. M., Rabibisoa, N., y Pearson, R. G. (2007). Applications of ecological niche modeling for species delimitation: a review and empirical evaluation using day geckos (Phelsuma) from Madagascar. *Systematic biology*, 56(6), 907-923.
- Raxworthy, C. J., Martinez-Meyer, E., Horning, N., Nussbaum, R. A., Schneider, G. E., Ortega-Huerta, M. A., y Peterson, A. T. (2003). Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature*, 426(6968), 837.
- Rheingantz, M. L., Saraiva de Menezes, J. F., y de Thoisy, B. (2014). Defining Neotropical otter Lontra longicaudis distribution, conservation priorities and ecological frontiers. *Tropical Conservation Science*, 7(2), 214-229.
- Rivera Prieto, D. A. (2017). *Efecto del cambio en el uso del suelo sobre la incidencia del accidente ofídico provocado por Bothrops asper y Porthidium lansbergii (Serpentes: Viperidae) en el departamento de Antioquia, Colombia* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín).

- Resolución N° 0132. Dirección general del Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”, IGAC, Bogotá, 28 de junio de 2014.
- Rodda GH, Jarnevich CS, Reed RN (2008). What parts of the US mainland are climatically suitable for invasive alien pythons spreading from Everglades National Park? *Biological Invasions*, 11(2), 241-252
- Rodríguez-Bustamante, E., Arreguín-Espinosa, R., López-González, C. A., y Lara-Díaz, N. E. (2019) Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la conservación de fauna silvestre Application of Geographic Information Systems (GIS) in the Conservation of Wildlife.
- Rojas-Morales, J. A., Arias-Monsalve, H. F., y González-Durán, G. A. (2014). *Anfibios y reptiles de la región centro-sur del departamento de Caldas*, Colombia. *Biota Colombiana*, 15(1).
- Rueda-Almonacid, J. V. (2000). La herpetofauna de los “Bosques de Florencia” Caldas: una visión integrada sobre su composición, diversidad y relaciones ecológicas. Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas). Santafé de Bogotá, Colombia. 212 pp.
- Ruiz-Carranza, P. M y J. D. Lynch. (1997). Ranas Centrolenidae de Colombia X: los centrolénidos de un perfil del flanco oriental de la cordillera Central en el Departamento de Caldas. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 21: 541-553.
- Santiago Plata, V. M. (2013). *Ocupación y distribución potencial de la nutria neotropical (Lontra longicaudis) asociada a variables ambientales en la cuenca del río San Juan, Costa Rica* (No. Thesis S235o). CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- Sasa, M., Wasko, D.K., Lamar, W.W. (2009): Natural history of the Terciopelo *Bothrops asper* (Serpentes: Viperidae) in Costa Rica. *Toxicon* 54: 904–922.
- Soberón, J. y Peterson, A.T. (2005) Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1-10.
- Solórzano, A. (2004). *Serpientes de Costa Rica: Distribución, Taxonomía e Historia Natural/Snakes of Costa Rica: Distribution, Taxonomy, and Natural History*. Editorial INBio, Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. 791 pp.
- Sevilla-Sánchez, M. J., Mora-Obando, D., Calderón, J. J., Guerrero-Vargas, J. A., y Ayerbe-González, S. (2019). Accidente ofídico en el departamento de Nariño, Colombia: análisis retrospectivo, 2008-2017. *Biomédica*, 39(4), 715-736.

- Sistema de información sobre Biodiversidad de Colombia. (2020). Recuperado el 10 de 08 de 2020, de INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT: <https://sibcolombia.net/el-sib-colombia/>
- Thuiller, W., Richardson, D. M., Pyšek, P., Midgley, G. F., Hughes, G. O., y Rouget, M. (2005). Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale. *Global change biology*, 11(12), 2234-2250.
- UICN. Acerca de la UICN. La unión internacional para la conservación de la Naturaleza. Restaurado de: <https://www.iucn.org/es/acerca-de-la-uicn>
- Uetz, P., Freed, P. y Hošek, J. (eds.) (2020) The Reptile Database, <http://www.reptile-database.org>. Último acceso 22 de agosto 2020
- Vié, J.C., Hilton-Taylor, C., Stuart, S.N. (2009). *Wild life in a changing world: an analysis of the 2008 Red List of Threatened Species*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Walteros, D., y Paredes, A. (2014). Vigilancia y Análisis del Riesgo en Salud Pública Protocolo de Vigilancia en Salud Pública ACCIDENTE OFIDICO.
- Yáñez-Arenas C, Peterson AT, Rodríguez-Medina K, Barve N. (2016). Mapeando el riesgo actual y futuro de mordedura de serpiente en el nuevo mundo. *Clim Chang* 134: 697-711. doi: 10.1007 / s10584-015-1544-
- Young, B. E. (2007). Distribución de las especies endémicas en la vertiente oriental de los Andes en Perú y Bolivia. *NatureServe, Arlington, Virginia, EE UU*, 90.
- WORLDCLIM 2020. Worldclim climatic data 19 measures. último acceso 1 de marzo 2020. www.worldclim.org

ANEXO B. Matriz de correlación de las variables Worldclim. (*) Variables seleccionadas para los modelos potenciales de distribución

Worldclim	BIO1*	BIO2*	BIO3*	BIO4*	BIO5	BIO6	BIO7*	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12	BIO13*	BIO14*	BIO15*	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19
BIO1	1	0.1733	-0.317	0.45655	0.9781	0.98992	0.31973	0.99355	0.99342	0.99481	0.99528	0.32035	0.43461	0.01183	0.24263	0.45085	0.03408	-0.1218	0.41402
BIO2	0.17329	1	-0.1598	0.17023	0.2938	0.07472	0.77731	0.14611	0.18156	0.18062	0.1669	-0.2911	-0.104	-0.3745	0.37523	-0.1349	-0.377	-0.4065	-0.0508
BIO3	-0.317	-0.16	1	-0.9075	-0.45	-0.2622	-0.7391	-0.2656	-0.3576	-0.3808	-0.2614	0.2376	-0.0812	0.59818	-0.6801	-0.0843	0.57152	0.6954	-0.1567
BIO4	0.45655	0.1702	-0.9075	1	0.5767	0.41837	0.69415	0.402	0.50252	0.52082	0.3971	-0.0815	0.21999	-0.4748	0.59045	0.23179	-0.4446	-0.6284	0.31556
BIO5	0.97813	0.2938	-0.4502	0.57665	1	0.9586	0.49047	0.96301	0.98622	0.98939	0.96963	0.24644	0.43113	-0.1179	0.3721	0.44047	-0.0922	-0.2588	0.43379
BIO6	0.98992	0.0747	-0.2622	0.41837	0.9586	1	0.222	0.9895	0.98782	0.98674	0.99253	0.38542	0.48189	0.07366	0.18866	0.49975	0.09757	-0.0585	0.45847
BIO7	0.31973	0.7773	-0.7391	0.69415	0.4905	0.222	1	0.26923	0.35385	0.36801	0.28264	-0.3357	0.00147	-0.6291	0.69674	-0.0212	-0.6142	-0.7072	0.08229
BIO8	0.99355	0.1461	-0.2656	0.402	0.963	0.9895	0.26923	1	0.98624	0.98813	0.99728	0.32473	0.40682	0.05334	0.19345	0.42531	0.07242	-0.0746	0.37186
BIO9	0.99342	0.1816	-0.3576	0.50252	0.9862	0.98782	0.35385	0.98624	1	0.99715	0.98993	0.33049	0.45895	-0.0107	0.25791	0.47855	0.01546	-0.1568	0.46025
BIO10	0.99481	0.1806	-0.3808	0.52082	0.9894	0.98674	0.36801	0.98813	0.99715	1	0.99022	0.30239	0.44081	-0.0328	0.28943	0.45666	-0.0082	-0.1715	0.42876
BIO11	0.99528	0.1669	-0.2614	0.3971	0.9696	0.99253	0.28264	0.99728	0.98993	0.99022	1	0.33535	0.43453	0.04252	0.21431	0.44949	0.06338	-0.0818	0.40502
BIO12	0.32035	-0.291	0.2376	-0.0815	0.2464	0.38542	-0.3357	0.32473	0.33049	0.30239	0.33535	1	0.86125	0.75456	-0.4516	0.89447	0.80128	0.68501	0.79747

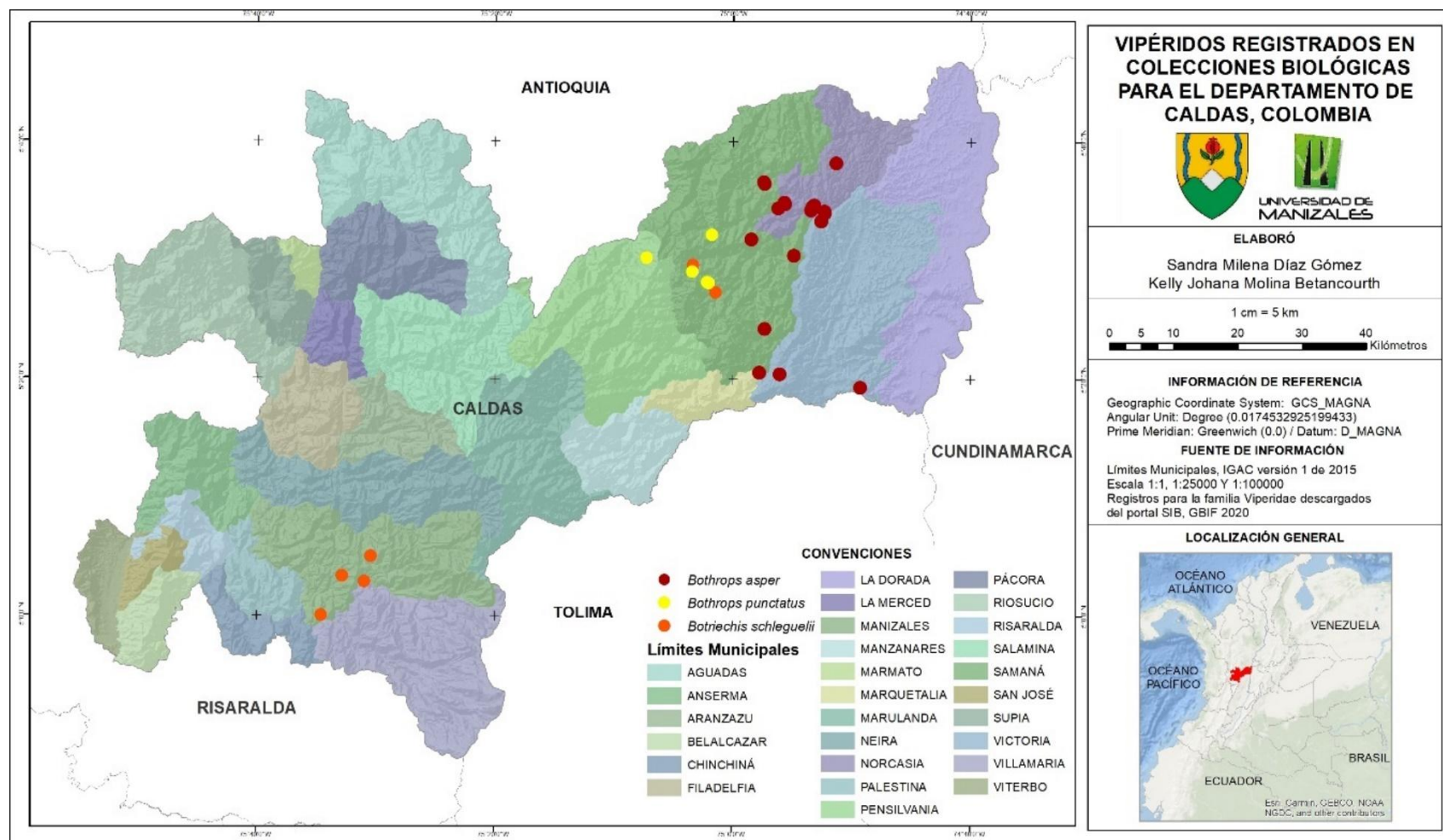
BIO13	0.43461	-0.104	-0.0812	0.21999	0.4311	0.48189	0.00147	0.40682	0.45895	0.44081	0.43453	0.86125	1	0.38775	0.00243	0.98137	0.44298	0.35629	0.90676
BIO14	0.01183	-0.374	0.59818	-0.4748	-0.118	0.07366	-0.6291	0.05334	-0.0107	-0.0328	0.04252	0.75456	0.38775	1	-0.8252	0.42756	0.99058	0.89789	0.31002
BIO15	0.24263	0.3752	-0.6801	0.59045	0.3721	0.18866	0.69674	0.19345	0.25791	0.28943	0.21431	-0.4516	0.00243	-0.8252	1	-0.0563	-0.822	-0.7359	-0.0062
BIO16	0.45085	-0.135	-0.0843	0.23179	0.4405	0.49975	-0.0212	0.42531	0.47855	0.45666	0.44949	0.89447	0.98137	0.42756	-0.0563	1	0.48259	0.36392	0.93081
BIO17	0.03408	-0.377	0.57152	-0.4446	-0.092	0.09757	-0.6142	0.07242	0.01546	-0.0082	0.06338	0.80128	0.44298	0.99058	-0.822	0.48259	1	0.89424	0.37048
BIO18	-0.1218	-0.407	0.6954	-0.6284	-0.259	-0.0585	-0.7072	-0.0746	-0.1568	-0.1715	-0.0818	0.68501	0.35629	0.89789	-0.7359	0.36392	0.89424	1	0.19314
BIO19	0.41402	-0.051	-0.1567	0.31556	0.4338	0.45847	0.08229	0.37186	0.46025	0.42876	0.40502	0.79747	0.90676	0.31002	-0.0062	0.93081	0.37048	0.19314	1

ANEXO C. Localidades para *Bothrops asper*, *Bothrops punctatus* y *Bothriechis schlegelii* en el departamento de Caldas. Fuente: (1) Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), (2) iNaturalist (3) Isagen S.A. E.S.P (Isagen S.A. E.S.P), (4) Parques Nacionales Naturales de Colombia, (5) Pontificia Universidad Javeriana, (6) Universidad de Antioquia (UdeA), (7) Universidad de Caldas (MHN-UCa), (8) Universidad de Caldas (MHN-UCa).

Especie	Localidad	Latitud	Longitud	Altura	Voucher	Fuente
<i>Bothrops asper</i>	Caldas, Campamento Hidro-Miel	5.571222	- 74.890222	727	IAvH-R-6404	1
	Caldas, Victoria	5.34032	- 74.933665	1028	39123377	2
	Caldas, Samaná	5.507056	- 74.914222	809	Observación	3
	Caldas, Victoria	5.555389	- 74.876222	574	Observación	3
	Caldas, Victoria	5.555389	- 74.876222	574	Observación	3
	Caldas, vereda Central Miel I, Cantera	5.567	- 74.871194	416	Observación	3
	Caldas, Norcasia	5.569417	- 74.871694	253	Observación	3
	Caldas, Norcasia	5.577778	- 74.886111	729	ICN-MHN-Rep 566	5
	Caldas, Victoria, El Llano	5.321944	- 74.820833	331	MHUA-R 14444	6
	Caldas, Samaná, Vereda Patio Bonito, Los Pomos	5.53021	-74.97429	1026	MHN-Uca-R299	7
	Caldas, Norcasia, Vereda Montebello	5.57389	-74.93611	485	MHN-Uca-R92	7
	Caldas, Norcasia, Vereda Montebello	5.57972	-74.92706	806	MHN-Uca-R142	7
	Caldas, Norcasia, Vereda Montebello	5.57972	-74.92706	806	MHN-Uca-R141	7
	Caldas, Norcasia, Vereda Montebello	5.57972	-74.92706	806	MHN-Uca-R138	7
	Caldas, Norcasia, Vereda Montebello, predio Horizontes, vía de acceso	5.5819	-74.9279	786	MHN-Uca-R300	7
	Caldas, Samaná, Vereda La Sonrisa, finca La Sonrisa, zona de captación del trasvase del Río Manso	5.6081	-74.95535	667	MHN-Uca-R175	7
	Caldas, Samaná, La Sonrisa	5.61028	-74.95667	670	MHN-Uca-R154	7
	Caldas, Norcasia	5.63727	-74.85511	543	MHN-Uca-R288	7
	Caldas, Samaná	5.342937	- 74.962636	646	UCN-MHN-Rep 11213	8
	Caldas, Samaná	5.342937	- 74.962636	646	UCN-MHN-Rep 11212	8

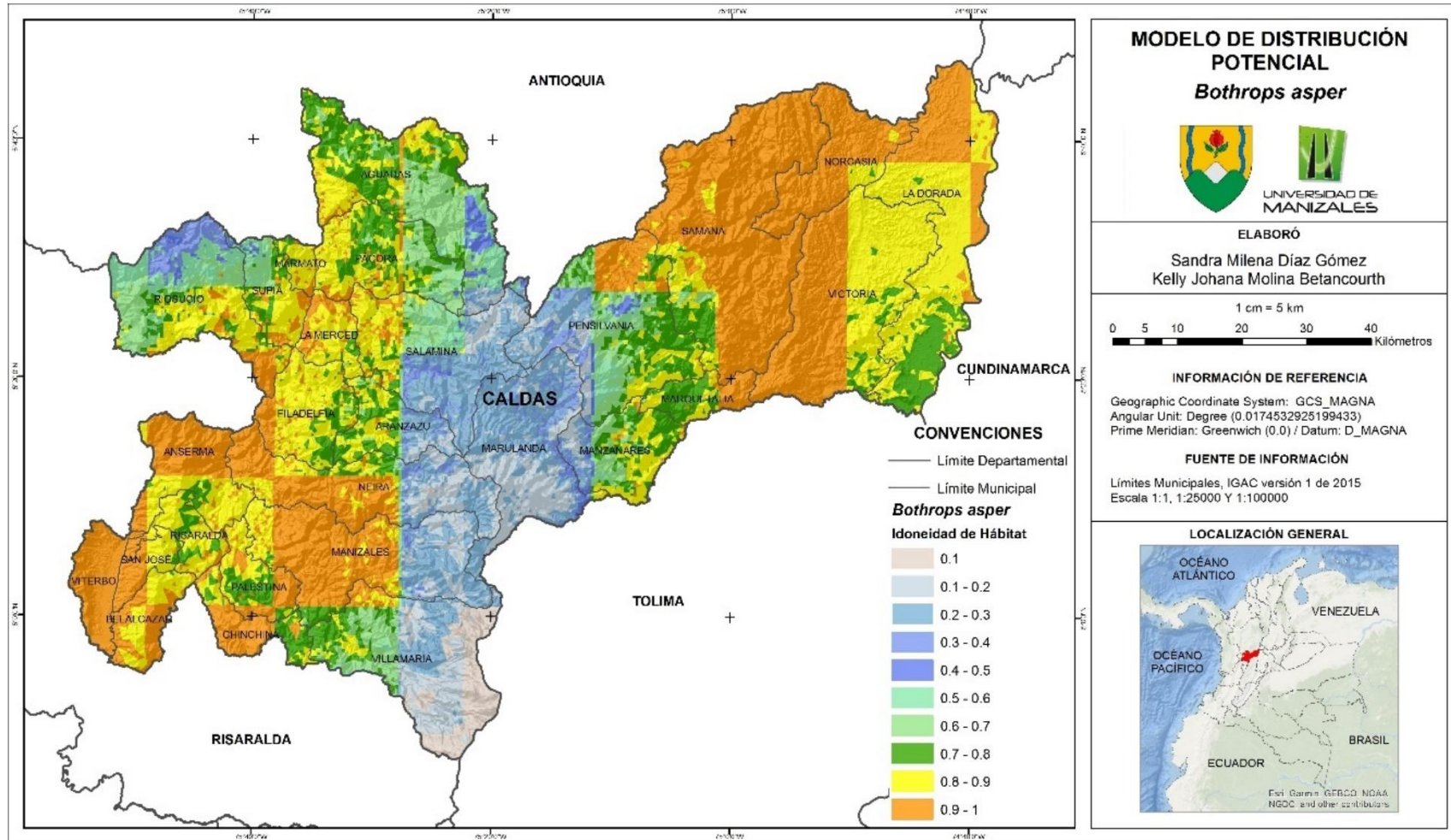
	Caldas, Samaná, Buenavista	5.404313	- 74.955062	986	ICN-MHN-Rep 1377	8
	Caldas, Norcasia	5.575833	- 74.888056	721	ICN-MHN-Rep 6600	8
	Caldas, Norcasia	5.575833	- 74.888056	721	ICN-MHN-Rep 6601	8
<i>Bothrops punctatus</i>	Caldas, Samaná, Vereda El Recreo	5.535905	- 75.029942	1455	40112160	2
	Caldas, Samaná, Parque Nacional Natural Selva De Florencia	5.46812	-75.034	1503	Observación	4
	Caldas, Samaná, Parque Nacional Natural Selva De Florencia	5.46968	-75.0366	1520	Observación	4
	Caldas, Samaná, Parque Nacional Natural Selva De Florencia	5.50332	-75.12157	1693	Observación	4
	Caldas, Samaná, Parque Nacional Natural Selva De Florencia	5.48429	-75.05709	1480	MHN-Uca-327	7
<i>Bothriechis schlegelii</i>	Caldas, Manizales	5.000515	- 75.576421	1607	35015798	2
	Caldas, Samaná, Parque Nacional Natural Selva De Florencia	5.49328	-75.05603	1455	Observación	4
	Caldas, Villamaría	5.0478	-75.5156	1897	MHUA-R 14533	6
	Caldas, Manizales, Sector El Arenillo	5.05583	-75.54679	1727	MHN-Uca-R 14	7
	Caldas, Sector El Arenillo	5.05583	-75.54679	1727	MHN-Uca-R 14	7
	Caldas, Manizales	5.08339	-75.50675	2132	MHN-Uca-R 15	7
	Caldas, Manizales	5.08339	-75.50675	2132	MHN-Uca-R 15	7
	Caldas, Samaná, Bosques de Florencia, Parque Nacional Natural Selva de Florencia, confluencia de la quebrada el Quindío con el Río Moro	5.455	-75.02417	1232	MHN-Uca-R 13	7
	Caldas, Samaná, Parque Nacional Natural Selva de Florencia, confluencia de la quebrada el Quindío con el Río Moro	5.455	-75.02417	1232	MHN-Uca-R 13	7

ANEXO D. Mapa de Vipéridos registrados en las colecciones biológicas para el Departamento de Caldas en los portales SiIB y GBIF.

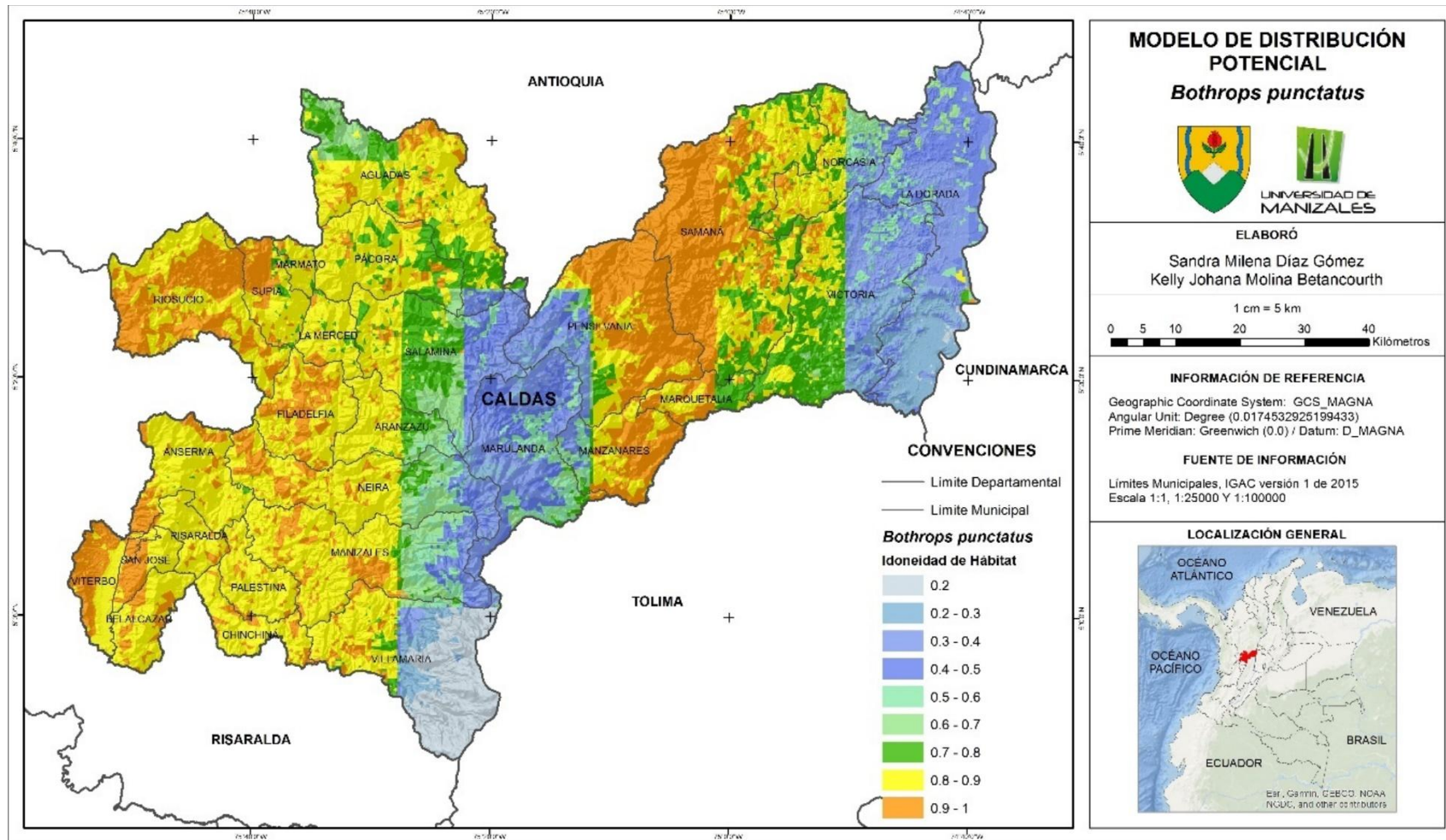


9633636852003

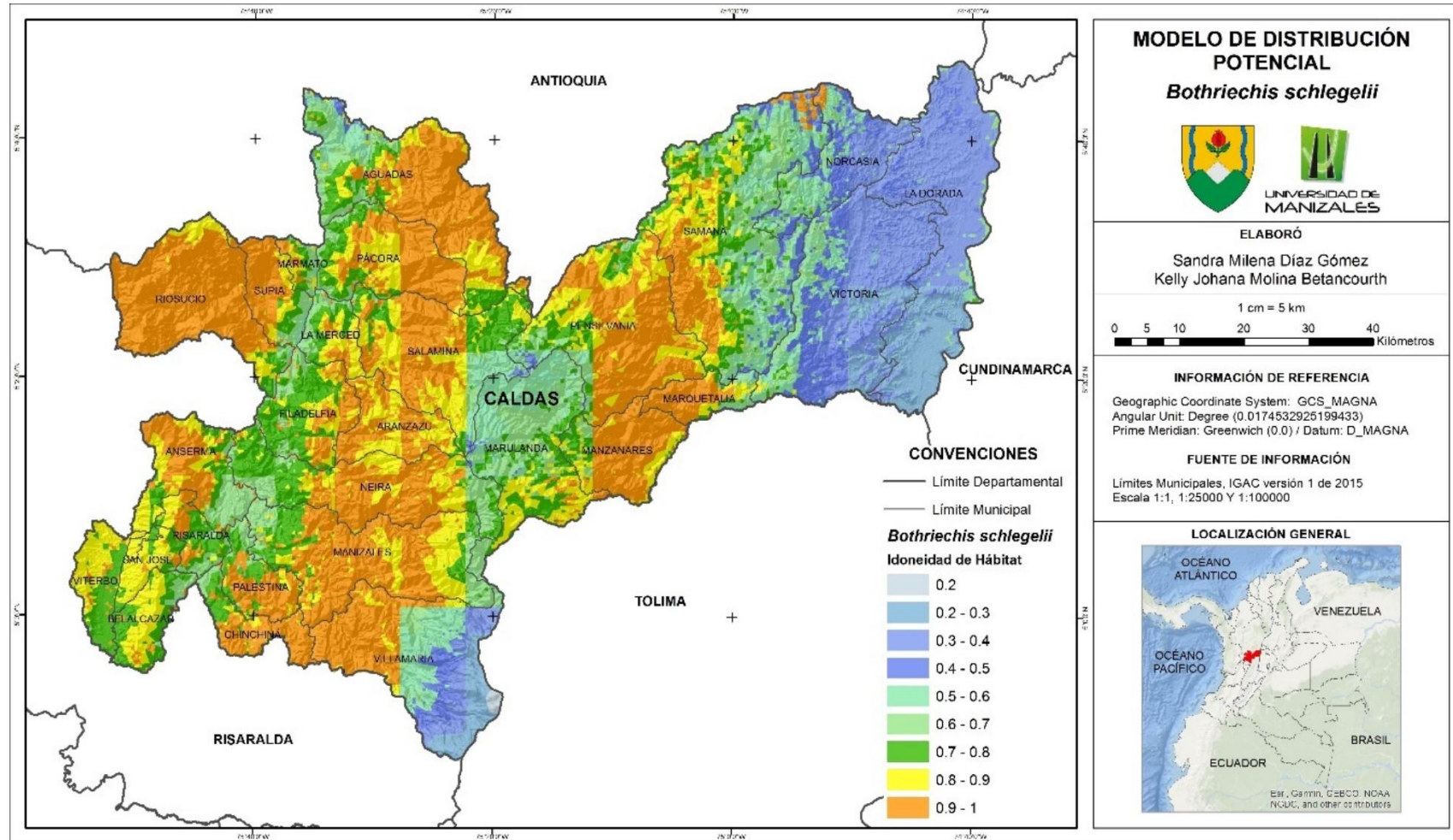
ANEXO E. Mapa de distribución potencial de *Bothrops asper* para el departamento de caldas.



ANEXO F. Modelo de distribución potencial de *Bothrops punctatus* para el departamento de caldas.



ANEXO G. Modelo de distribución potencial de *Bothriechis schlegelii*



ANEXO H. Mapa de idoneidad de hábitat y prevalencia de accidentes ofídicos relacionados con Vipéridos durante el 2009-2019 en el departamento de Caldas

