

**ÁREAS SUSCEPTIBLES A LA INVASIÓN DE LA RANA TORO (Anura:
Lithobates catesbeianus) EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA, COLOMBIA**

Julián Camilo Alegría Vivas

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN-CAUCA
2024**

**ÁREAS SUSCEPTIBLES A LA INVASIÓN DE LA RANA TORO (Anura:
Lithobates catesbeianus) EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA, COLOMBIA**

Julián Camilo Alegría Vivas

ANTEPROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE BIÓLOGO

DIRECTORA:

Mónica Patricia Valencia Rojas, Ph.D. – Universidad del Quindío

ASESOR:

Carlos Andrés Bravo Vega, Ph.D. – Universidad de los Andes

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

POPAYÁN-CAUCA

2024

Nota de Aceptación

Directora _____

Mónica Patricia Valencia Rojas

Jurado _____

Jimmy Alexander Guerrero Vargas

Jurado _____

Gustavo Adolfo Pisso Flores

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	4
LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE ANEXOS.....	7
RESUMEN	8
INTRODUCCION	9
1. JUSTIFICACION.....	10
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GENERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 MARCO TEORICO	12
3.1 INTRODUCCIÓN DE LA RANA TORO EN COLOMBIA.....	12
3.2 DESCRIPCIÓN DE LA RANA TORO	13
3.2.1 Clasificación Taxonómica.....	13
3.2.2 Morfología	13
3.2.3 Hábitat	13
3.2.4 Reproducción	14
3.2.5 Dimorfismo sexual	14
3.2.6 Alimentación.....	14
3.3 CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS INVASIONES	14
3.4 NICHOS Y SU MODELAMIENTO.....	15
4 ANTECEDENTES.....	17
4.1 ECOLOGÍA	17
4.2 ENFERMEDADES.....	17
4.3 AMENAZA COMO ESPECIE INTRODUCIDA	18
4.4 DISTRIBUCIÓN	18
4.5 MODELAMIENTO.....	18
5 METODOLOGIA	20
5.1 AREA DE ESTUDIO.....	20
5.1.1 Sitios de muestreo.....	20
5.2 METODOS.....	22
OBJETIVO 1: IDENTIFICAR Y CARACTERIZAR ÁREAS CON PRESENCIA DE POBLACIONES DE RANA TORO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.....	22
OBJETIVO 2: REALIZAR UN MODELAMIENTO DE NICHOS ACTUALES DE LA RANA TORO PARA EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.....	23
OBJETIVO 3: DISEÑAR UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN FUTURA DE LA RANA TORO CON BASE EN EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.	24

6	RESULTADOS.....	26
6.1	IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CON PRESENCIA DE POBLACIONES DE RANA TORO EN COLOMBIA	26
6.2	IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CON PRESENCIA DE POBLACIONES DE RANA TORO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA	27
6.3	COBERTURA DE LA TIERRA Y PAISAJE DE LAS ÁREAS CON PRESENCIA DE POBLACIONES DE RANA TORO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA	28
6.3.1	Cobertura de la tierra punto uno.....	30
6.3.2	Cobertura de la tierra punto dos.....	31
6.3.3	Cobertura de la tierra punto tres.....	32
6.3.4	Cobertura de la tierra punto cuatro	33
6.3.5	Cobertura de la tierra punto cinco.....	34
6.3.6	Cobertura de la tierra punto seis	35
6.3.7	Cobertura de la tierra punto siete.....	36
6.3.8	Cobertura de la tierra punto ocho.....	37
6.3.9	Cobertura de la tierra punto nueve	38
6.3.10	Cobertura de la tierra punto diez.....	39
6.4	MODELO DE NICHOS DE LA RANA TORO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.....	40
6.4.1	Mapa de idoneidad de hábitat	40
6.4.2	Mapa de presencia /ausencia.....	42
7	DISCUSION.....	46
7.1	VALIDACIÓN DE LA PRESENCIA DE LA RANA TORO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.....	46
7.2	RELACIÓN ENTRE LA RANA TORO Y LA ACUICULTURA.....	46
7.3	MOVILIDAD Y AMENAZAS EN DIFERENTES ÁREAS DEL DEPARTAMENTO.....	46
7.4	MODELAMIENTO DE NICHOS ECOLÓGICOS Y SUS PREDICCIONES A FUTURO	47
7.4.1	Enfoque y comparación con estudios previos	47
7.4.2	Susceptibilidad del departamento del Cauca.....	48
7.4.3	Análisis por cuencas	48
7.4.4	Modelamiento de nicho futuro.....	50
8	CONCLUSIONES.....	51
9	RECOMENDACIONES.....	52
10	BIBLIOGRAFIA.....	53
11	ANEXOS.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cuencas hidrográficas del Cauca y puntos de muestreo.

Figura 2: *Lithobates catesbeianus* en Colombia.

Figura 3: *Lithobates catesbeianus* en el Cauca.

Figura 4: Presencia confirmada de *Lithobates catesbeianus* (Ranidae: Anura) en el departamento del Cauca.

Figura 5: Cobertura de la tierra del punto uno. municipio de El Tambo, vereda El Zarzal.

Figura 6: Cobertura de la tierra punto dos. municipio de El Tambo, vereda El Zarzal.

Figura 7: Cobertura de la tierra punto tres, municipio de El Tambo, vereda Manizales.

Figura 8: Cobertura de la tierra punto cuatro. municipio de Guachené.

Figura 9: Cobertura de la tierra punto cinco. municipio de Villa Rica.

Figura 10: Cobertura de la tierra punto seis. municipio de Villa Rica.

Figura 11: Cobertura de la tierra punto siete. municipio de Santander de Quilichao

Figura 12: Cobertura de la tierra punto ocho. municipio de Santander de Quilichao Vereda San Julián.

Figura 13: Cobertura de la tierra punto nueve. municipio de Santander de Quilichao, Vereda de San Rafael.

Figura 14: Cobertura de la tierra punto diez. municipio de Caloto, vereda el Nilo

Figura 15: Idoneidad de hábitat de la rana toro en el Cauca

Figura 16: Mapa de presencia/ausencia de la rana toro en el Cauca.

Figura 17: Modelos de idoneidad de hábitat futuro de la rana toro en el Cauca.

Figura 18: Idoneidad de hábitat futuro de la rana toro en el Cauca en el rango de tiempo 2021-2040 con el ssp126.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Uso del suelo a 1 km de radio de las poblaciones de rana toro en el Cauca.

Tabla 2. Áreas de ocupación futura de la rana toro en el departamento del Cauca.

Tabla 3: Áreas de ocupación futura de la rana toro en el departamento del Cauca.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Fotografías de señuelos usados en la captura de ejemplares de rana toro.

Anexo 2: Mapa del área buffer alrededor de los puntos de presencia de la rana toro en Colombia.

Anexo 3: Cuadro de variables bioclimáticas con su respectivo código entregadas por el WorldClim en su sitio web.

Anexo 4: Resultado del índice de correlación de Pearson agrupándolas con similitud de $r \geq 0.9$ realizado sobre las 19 variables bioclimáticas entregadas por le WorldClim.

Anexo 5: Grafico de sensibilidad climática de los modelos del CMIP6, En amarillo se enmarca los modelos que superaron la máxima sensibilidad del CIMP5.

RESUMEN

La rana toro (*Lithobates catesbeianus*) es una especie de anuro nativo de Norteamérica (Estados Unidos y México), que fue introducida ilegalmente a Colombia en el año 1986, y accidentalmente liberada en los ecosistemas de la cuenca media del río Cauca. En Colombia, es considerada una especie invasora de alto riesgo debido a sus características en depredación, competencia y transmisión de enfermedades. Este estudio identificó áreas de ocupación actual en Colombia y el Cauca a través de bases de datos especializadas, encuestas a pobladores y recorridos en campo, así mismo, se identificaron áreas potencialmente vulnerables al proceso de invasión en el departamento del Cauca mediante modelos de nicho utilizando el modelo de maximización de entropía (MaxEnt). Los estudios de coberturas del suelo permitieron identificar 10 núcleos de poblaciones de esta especie establecidas en el departamento del Cauca con condiciones de uso de suelo similares, entre los que se destacan la caña de azúcar, los pastizales y los cultivos permanentes. En cuanto a los modelamientos de nicho, estos evidenciaron que a futuro (actualidad – 2100) las áreas vulnerables a la invasión de la rana toro serán mayores y sus condiciones serán más favorables para la especie en las cinco cuencas hidrográficas del departamento del Cauca, principalmente en el valle geográfico del río Cauca ubicado al norte del departamento y en el valle geográfico del río Patía. Este estudio puede servir de base para una priorización de espacios para el manejo, control o erradicación de esta especie invasora que amenaza los ecosistemas del departamento del Cauca.

Palabras clave: cambio climático, especie invasora, invasión biológica, modelos de nicho ecológico.

INTRODUCCION

La rana toro americana (*Lithobates catesbeianus*) es un anuro de hábitos acuáticos, que requiere fuentes de agua permanentes con preferencia de cuerpos de agua estancados como charcas, lagos, pantanos, márgenes de corrientes, zanjas de irrigación y lagos artificiales; sus poblaciones ocurren desde el nivel del mar hasta altitudes superiores a los 1900 m.s.n.m, pero es más abundante en bajas elevaciones (Bury et al., 1984). Esta especie es nativa de América del Norte, y se ha introducido a nivel mundial en más de 40 países, En Colombia ingreso de forma ilegal a el departamento (Dpto.) de Caldas hacia el año de 1986, y desde entonces sus poblaciones han venido aumentando su distribución e impacto en el territorio nacional.

Existen características ecológicas en la Rana toro que la hacen un invasor exitoso, por ejemplo, En Colombia carece de sus depredadores nativos aunque existen 16 posibles depredadores en el país (CAR 2016), posee una elevada capacidad reproductiva (Rueda-Almonacid, 1999), es un depredador con dieta amplia (Baptiste et al., 2010) y se comporta como un vector de parásitos como *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) y Ranavirus (Rv) (Hanselmann et al., 2004; Velasquez et al., 2008; Flechas et al., 2017, 2023). Adicionalmente, el movimiento de especies invasoras también está relacionado con el fenómeno de cambio climático, pues conforme el clima varia, muchas especies migran en busca de hábitats más amigables para ellas, y las especies invasoras como la rana toro no están excluidas de dichos movimientos espaciales. Considerando estas características y su potencial invasor, la rana toro estaría modificando la sinergia de los ecosistemas, y a su vez, ampliando su rango de distribución en el corto y mediano plazo en el Dpto. del Cauca; por tal motivo, este estudio tuvo como propósito identificar: ¿Cuáles son las áreas susceptibles a la invasión de la rana toro en el Dpto. del Cauca? Y ¿Cuáles áreas se verían afectadas por la invasión de la rana toro según las proyecciones de cambio climático?

En consecuencia, el presente estudio generó un modelamiento de nicho climático de la rana toro, con el objetivo de determinar las áreas susceptibles a la invasión de la rana toro en el Dpto. del Cauca. Para tal fin, se realizó la búsqueda en bases de datos y de manera física de la especie en 16 sitios, teniendo como resultado diez poblaciones establecidas de rana toro en el Dpto. del Cauca, las cuales están asentadas en la cuenca alta del rio Cauca, más específicamente en la meseta de Popayán en el municipio de El Tambo y en el valle geográfico del rio Cauca en los municipios de Guachené, Santander de Quilichao, Villa Rica y Caloto.

Finalmente, se realizó una caracterización de las coberturas del suelo, con el fin de buscar algún patrón que facilitara el establecimiento de la especie, donde se evidencia la flexibilidad de esta especie para ocupar espacios naturales altamente intervenidos y espacios artificiales, teniendo una mayor preferencia por los humedales de aguas lénticas en una matriz de pastizales y cultivos permanentes como el café o la caña de azúcar, concordando con los registros bibliográficos.

1. JUSTIFICACION

El control de especies invasoras es actualmente una prioridad de conservación en muchas partes del mundo; donde destaca la rana toro, la cual fue incluida en el listado de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo (Lowe, 2004), y en Latinoamérica, el caso de esta especie ha mostrado que la mayoría de las superficies adecuadas están situadas en la parte norte del continente, incluyendo la mayor parte de Venezuela, Colombia, el oeste de Perú, y el norte y centro de Brasil (Urbina et al, 2011).

La llegada de la rana toro y la expansión predicha en Colombia, supone una amenaza para la biodiversidad, ya que en sitios invadidos por esta especie, como en China o California, se ha encontrado una correlación negativa entre la presencia de ranas toro y la abundancia de especies nativas (Moyle, 1973; Pearl et al., 2004; Yihua & Yiming, 2014). Las repercusiones económicas originadas por la introducción de especies representan altos costos respecto a pérdidas en cosechas, poblaciones, comunidades y especies (Urbina & Castro, 2010), es tal el impacto, que globalmente, se estimó que en el año 2002, las pérdidas causadas por especies exóticas fueron de 400 mil millones de dólares americanos (Hernández et al., 2002), y un estudio más reciente estimó las pérdidas económicas ocasionadas solo por la rana toro en casi 178 millones de dólares anuales durante las últimas 3 décadas, convirtiéndola en el anfibio invasor con mayor impacto negativo, aportante de un 96,33% de las pérdidas totales calculadas (Soto et al., 2022).

En este sentido, en Colombia existe una normativa producto de la firma del convenio de diversidad biológica (CDB); la resolución 0848 del 23 mayo de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; dicha resolución la cual declara unas especies exóticas como invasoras y señala las especies introducidas irregularmente al país que pueden ser objeto de cría en ciclo cerrado; prohíbe la introducción al país de estas especies y fomenta las actividades de caza en el territorio. A pesar de los avances logrados en la generación de planes de prevención, control y manejo de la rana toro en departamentos como Cundinamarca y el Valle del Cauca, (CAR, 2016; CVC, 2020), es importante destacar que la implementación de estas medidas es una obligación para todas las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), y es fundamental que otras entidades sigan este ejemplo para abordar de manera efectiva la problemática asociada a esta especie invasora .

En la actualidad, las herramientas que estiman la distribución de especies, permiten enfocar espacios sobre los cuales priorizar la toma de decisiones para el monitoreo y el control, pudiéndose así optimizar dichos esfuerzos (Purnima & Res, 2018). Para el caso específico de la rana toro, se ha descrito la distribución actual en regiones de Suramérica (Urbina et al, 2011) , sin embargo, es conveniente realizar estos estudios a escala local y regional para hacer más operativo el manejo de esta especie. De esta manera, este trabajo busca suministrar información de distribución geográfica y posibles escenarios futuros en la distribución de rana toro en el departamento del Cauca, para que las decisiones que se ejecuten desde los diferentes actores regionales, se conviertan en métodos de manejo control o erradicación efectivos de esta especie invasora (Urbina et al, 2011).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar las áreas susceptibles a la invasión de la rana toro (*Lithobates catesbeianus*) en el departamento del Cauca, Colombia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y caracterizar áreas actuales con presencia de poblaciones de rana toro en el departamento del Cauca.
- Realizar un modelamiento de nicho actual de la rana toro para el departamento del Cauca.
- Diseñar un modelo de distribución futura de la rana toro con base en proyecciones de cambio climático en el departamento del Cauca.

3 MARCO TEORICO

3.1 INTRODUCCIÓN DE LA RANA TORO EN COLOMBIA

La rana toro americana (*Lithobates catesbeianus*) es nativa de América del Norte, y se ha introducido a nivel mundial en más de 40 países y cuatro continentes. Muchas de estas introducciones han sido intencionales, con el propósito de establecer nuevas fuentes de alimentos para el consumo humano, mascotas de acuario, y/o para el control biológico de insectos (ISSG 2019). En Colombia, el motivo de su introducción fue con fines de producción de carne y piel, al ser esta rana una especie prolífica que ya había sido introducida y explotada exitosamente en otros países como Brasil. Esta especie ingreso de forma ilegal en el departamento de Caldas hacia el año de 1986, donde fueron llevados para producción 20 individuos procedentes de Brasil, pero solo ocho años después, la especie había colonizado con éxito ambientes naturales de la cuenca geográfica del río Cauca, y se dispersó hacia la cuenca alta y media de la misma. Actualmente, está en siete de los 32 departamentos del país (Gutierrez et al., 2015).

Pese a que su introducción tuvo como objetivo la producción, la dispersión de la rana toro en el territorio nacional fue atribuida a los estudios de impacto ambiental y de factibilidad técnica de crianza impulsados por el INDERENA (Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente). Dichos estudios fueron adelantados en los municipios de San Marcos (Sucre) y Buga (Valle del Cauca) en 1987. Paralelo a esto, según algunos habitantes de los municipios de Fusagasugá y Silvania en el departamento de Cundinamarca, se dictaron cursos que pretendían ser una respuesta productiva a la crisis cafetera y durante los cursos les entregaban renacuajos vivos para que iniciara la producción (Rueda-Almonacid, 1999).

El primer registro de la rana toro en el entorno silvestre en Colombia, se dio el 14 de abril de 1994, donde Joaquín Romero capturó una hembra adulta de 381,9 g de peso, en el predio la Florentina, municipio de Yotoco a 10 km de las instalaciones del SENA. De igual manera, para la fecha se registró la especie en la hacienda La Floresta, y en la laguna Chiquique, en inmediaciones de la laguna de Sonso en el municipio de Buga- Valle del Cauca. El otro foco de contaminación encontrado fue en el alto de Chinauta en el departamento de Cundinamarca, donde al parecer la especie fue introducida entre 1989 y 1990 procedente del departamento Caldas. Ahí, a la comunidad se les regalo individuos (renacuajos) en los cursos de capacitación nombrados anteriormente (Rueda-Almonacid, 1999).

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA RANA TORO

3.2.1 Clasificación Taxonómica

Nombre científico: *Lithobates catesbeianus* (Shaw, 1802)

Sinonimia: *Rana catesbeiana*, *Rana catesbeianus*.

Nombre Común: Rana Toro o bramadora

Reino :	Animalia
Filo :	Chordata
Clase:	Amphibia
Orden:	Anura
Familia:	Ranidae
Genero :	<i>Lithobates</i>
Especie:	<i>catesbeianus</i>



Fotografía: Mónica Molano

3.2.2 Morfología

Su color puede variar de verde oliváceo a café o amarillento dorsalmente. Normalmente presentan manchas irregulares de color más oscuro en el dorso y las extremidades, especialmente las posteriores, donde forman bandas oscuras transversales. La superficie ventral por lo general es color crema, si presenta manchas, estas son de gris o amarillo. Los renacuajos en su última fase son grandes y de color verde oliváceo (Romero et al., 2008). Extremidades posteriores con cinco dedos, unidos por una amplia membrana interdigital, mientras que las extremidades anteriores poseen cuatro dedos separados o completamente libres; tanto los dedos anteriores y posteriores terminan de manera aguda pero redondeados, todos los dedos de sus patas traseras, excepto el cuarto, presentan membranas interdigitales. En los machos el tímpano tiene un diámetro mayor que el ojo y presenta un borde oscuro; en las hembras es del mismo tamaño que el ojo. Es un anfibio de gran tamaño de entre 10 y 20 cm de longitud del hocico a la cloaca y un peso entre 60 y 900 g. Sus larvas son excepcionalmente grandes, pudiendo medir entre 15 y 18 cm. Su cabeza es ancha y plana, presenta un pliegue de piel a cada lado que corre desde detrás del ojo hasta el tímpano, bordeándolo (CAR 2016).

3.2.3 Hábitat

Las ranas toro son principalmente acuáticas y requieren fuentes de agua permanentes. Prefieren cuerpos de agua estancados con vegetación acuática. Pueden establecerse con éxito en charcas, lagos, depósitos de agua, pantanos, oasis, márgenes de corrientes, zanjas de irrigación y lagos artificiales, y sus poblaciones ocurren desde el nivel del mar hasta altitudes superiores a los 1900 m.s.n.m, pero es más abundante en bajas elevaciones (Bury et al., 1984).

3.2.4 Reproducción

Su reproducción es sexual con fertilización externa, en la cual los huevos son fecundados, a la vez que son depositados en el agua. Estas masas de huevos varían entre 10000 y 48000 huevos (Bury et al., 1984). Tiene temporadas marcadas en latitudes altas, donde se observan masas de huevos de ranas toro en aguas poco profundas a fines de mayo y principios de junio (Society, 2018), mientras que, entre más cercanas al ecuador se encuentren las poblaciones de ranas toro, estas permanecen activas durante gran parte del año (Willis et al., 1956).

3.2.5 Dimorfismo sexual

Presentan dimorfismo sexual donde los machos se diferencian de las hembras por tener una membrana timpánica de mayor tamaño que el diámetro del ojo, y presentar la gula amarilla mientras que las hembras la tienen blanca y jaspeada de tonos oscuros (Daza & Castro, 1999).

3.2.6 Alimentación

La rana toro es un depredador generalista, su dieta tanto en su área natural como en los sitios donde ha sido introducida, se compone principalmente de insectos, que, en su mayoría son acuáticos, aunque también consume en proporciones significativas ranas y renacuajos de otras especies, peces y ratones; también se alimenta en menor proporción de otros invertebrados como arañas y caracoles, de aves y accidentalmente de material vegetal. A pesar de que en sus hábitos alimenticios se ha registrado el canibalismo, este aparece cuando hay escasez de alimento, como una estrategia de supervivencia: Este caso se da en sitios donde las estaciones condicionan la abundancia de presas. En el trópico, los patrones de dieta varían conforme la rana toro aumenta su tamaño corporal (Werner et al., 1995) donde en tamaños pequeños consumían principalmente insectos, mientras que, los peces y los anfibios llegan a constituirse como las presas principales con proporciones que van desde un 36% hasta un 45% de la dieta total cuando ya son de gran tamaño. Por ende, se puede intuir que la rana toro, a pesar de ser una especie generalista, trata de seguir un determinado patrón de dieta según su estado de desarrollo (Korschgen & Moyle, 1955; Wu et al., 2005) .

3.3 CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS INVASIONES

La convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, entiende por cambio climático, a un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, la cual altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (ONU, 2013). Dichos cambios, a nivel global, afectan las condiciones de nicho de las especies en la tierra afectando directamente la distribución de las mismas al alterar sus hábitats. Un ejemplo claro de lo anterior es el de los grandes osos polares, quienes año tras año pierden el área donde cazan su alimento por el derretimiento de las capas de hielo.

El cambio climático se convierte entonces en un reto para todos los países, incluyendo Colombia, debido a que sus fenómenos afectan en diversa forma y grado los ecosistemas, y a su vez los sistemas socioeconómicos de todas las regiones. Para Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, se encarga de informar a la comunidad acerca del clima, y en su última investigación sobre cambio climático para este siglo, calculo que la temperatura aumentara en promedio 1,4 C° en el rango 2011-2040, unos 2,4 C° para 2041-2070, y finalmente unos 3,2 C° en promedio para el periodo 2071-2100, y de igual manera habrán variaciones en la precipitación disminuyendo hasta en un 36% en las regiones Caribe y Andina (IDEAM et al., 2015).

Para el Cauca, los principales cambios en el fin del siglo estarán dados por un aumento en la temperatura de 2,1 C°, y un aumento en las precipitaciones del 18% en promedio. En particular, en el nororiente del departamento la precipitación podrá aumentar hasta en un 30%, específicamente sobre los municipios de Padilla, Miranda, Corinto, Guachené, Caloto, Toribio, Jambaló, Caldono y Santander de Quilichao (IDEAM et al., 2015).

Cabe resaltar que este último informe del IDEAM está basado en el quinto informe de los Proyectos de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP) de 2013 que presentó modelos climáticos de CMIP5. En la actualidad, se encuentra disponible el informe de evaluación (AR6) del 2021, quien presenta nuevos modelos CMIP6 de última generación, y el cual sirve de base para la generación de este trabajo, donde este último informe presenta una preocupación mayor, ya que un tercio de sus modelos superan en su sensibilidad a la máxima del informe CMIP5 (4,5°), lo cual significa que el calentamiento futuro puede ser peor de lo que se pensaba (Hausfather, 2020).

El movimiento de especies invasoras también está relacionado con el fenómeno de cambio climático, pues conforme el clima va cambiando, muchas especies migrarán en busca de hábitats que presenten condiciones adecuadas para ellas. De esta manera, el problema de la invasión de especies exóticas en nuevos ecosistemas tiende a empeorar. Esto sucede con la rana toro, quien fue introducida en países tropicales, donde la falta de estacionalidad y de predadores no aletarga el crecimiento de su población como si sucede en su región natural. En esta especie, el cambio climático se espera que le ayude a colonizar nuevas áreas donde las condiciones estén cambiando a su favor, aumentando su impacto y efectos deletéreos en la naturaleza (Hernández et al., 2002; Urbina & Castro, 2010).

3.4 NICHOS Y SU MODELAMIENTO

Entendiendo el nicho como un hipervolumen de n-dimensiones, donde cada dimensión corresponde a factores bióticos y abióticos que determinan la presencia de un organismo, el nicho llega a ser entonces un complejo de diversos factores que afectan con mayor o menor importancia la distribución de una especie (Grinnell, 1917). En este sentido, cada representación o modelamiento se convierte, como diría Grinnell, en un nicho menor donde no se encuentran todos los factores, pero si los que el investigador considere demuestran la naturaleza del nicho asociativo ocupado por su especie de estudio (Illoldi & Escalante, 2008).

La creciente preocupación por la acelerada invasión de la rana toro en el mundo ha llevado a que algunas investigaciones se preocupen por saber cuál será la dinámica de invasión a distintas escalas, incluyendo la geográfica (Ficetola et al., 2007); Como consecuencia, un modelo de nicho es una representación parcial de la realidad que refleja algunas de sus propiedades. Los modelos son, por tanto, simplificaciones, debidas tanto a la necesidad de reducir la complejidad del objeto real, como a nuestro desconocimiento de muchas de sus propiedades. Los modelos de distribución de especies son, por tanto, representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en función de las variables empleadas. Ya como herramienta, los modelos de distribución permiten inferir zonas potencialmente idóneas, en función de sus características ambientales. Estos modelos utilizan datos de presencia y ausencia de la especie de estudio, los cuales pueden ser abstraídos tanto de las áreas de estudio como de colecciones de historia natural y las bases de datos abiertas (Ruben et al., 2011).

4 ANTECEDENTES

A pesar que la rana toro ha sido una especie muy estudiada a nivel mundial por ser una especie útil para aprovechamiento humano (toxicología, carne y piel), es evidente que los estudios actuales han aumentado su enfoque hacia las características que hacen de ella una especie con una gran capacidad invasora. Teniendo en cuenta que, su área de distribución ha aumentado, y actualmente coloniza varios continentes, es importante destacar los diversos avances investigativos que aproximan a entender las dinámicas y funciones de esta especie en la naturaleza.

4.1 ECOLOGÍA

Desde principios de los años 40 hasta finales de los 70, se realizaron importantes estudios en ecología de la rana toro, todos orientados en conocer sobre una especie que se estaba explotando en gran magnitud en los Estados Unidos. Esto fue debido a que el aprovechamiento de esta especie se estaba dando sin control, y se observaban disminuciones importantes en la cantidad y calidad de los individuos. Es así como se desarrollaron investigaciones sobre la reproducción de la rana (Durham & Bennett, 1963), en el crecimiento y madurez sexual (Raney, 1941; Ryan, 1953; Schroeder, 1968; Purnima, 2018), territorialidad y organización (Emlen, 1968 Currie & Bellis, 1969; Wiewandt, 1969), canto (Willis et al., 1956), dimorfismo sexual (Shine, 1979; Howard, 1981), movimiento (Ingram & Raney, 1943), y hábitos alimenticios (Korschgen & Moyle, 1955; Leivas et al., 2012).

En la actualidad, las investigaciones ecológicas de la rana toro se enfocan en sus características como invasora, ya que ha sido introducida en al menos 36 países (Gutierrez et al., 2015), y también se estudia el impacto que deja su llegada a nuevos territorios. Es así como, en Brasil se realizó un estudio de su dieta y nicho trófico (Leivas et al., 2012), en China sobre su selección de hábitat (Yihua & Yiming, 2014), en Corea del sur sobre la dinámica poblacional (Chang et al., 2022), en Estados Unidos sobre sus características reproductivas (Urbina et al., 2020) y en Colombia, sobre sus hábitos alimenticios, hábitat (Daza & Castro, 1999) y de competencia acústica (Barona - Cortés, 2015).

4.2 ENFERMEDADES

Existen varios problemas que se generan cuando una especie exótica se establece en un nuevo ecosistema, donde además de sus características ecológicas se encuentra el posible transporte de parásitos y enfermedades, ya sea importándolos o adquiriéndolos y dispersándolos. Para el caso de la rana toro en Latinoamérica, y en el mundo, esta situación no es una excepción. Uno de los ejemplos más sobresalientes es el caso del *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd), el cual causa una enfermedad llamada quitridiomicosis que ha sido reconocida como la enfermedad infecciosa que causa la pérdida de biodiversidad más catastrófica conocida por la ciencia, siendo América del Sur la región más afectada. En Latinoamérica la rana toro exhibe una alta prevalencia; comportándose como potencial vector de Bd (Azat et al., 2022). Esta enfermedad ha causado una importante mortalidad en anfibios, y actualmente se encuentra en dispersión por los ecosistemas Colombianos y de Latinoamérica (Galli et al., 2006; Vasquez Ochoa, 2011; Eskew et al., 2015; Miaud et al., 2016; Borzée et al., 2017).

Otro claro ejemplo de enfermedades en anfibios es el de Ranavirus que también genera declives en poblaciones de anuros y que se encuentra en países como Venezuela donde la rana toro cumple también la función de vector (Hanselmann et al., 2004).

Finalmente una publicación más reciente evidencio la presencia de estos dos patógenos en Colombia en individuos de rana toro colectados entre el 2014-2019 e incluso un caso con coinfección de un organismo colectado en 2018, encendiendo de nuevo las alarmas de la propagación de estas enfermedades en el país (Flechas et al., 2023).

4.3 AMENAZA COMO ESPECIE INTRODUCIDA

Desde sus primeros reportes en Latinoamérica, se han venido adelantando estudios que demuestran el gran poder invasor y deletéreo a los ecosistemas que ocasiona la rana toro. En Colombia, son varios los documentos que analizan, categorizan y proponen unos lineamientos para el control de sus impactos, los cuales están basados en el estudio ecológico de sus hábitos alimenticios, abundancia, análisis de riego, aspectos reproductivos, trasmisión de enfermedades y en estudios de invasión realizados en países vecinos, los cuales concluyen que la rana toro es una especie invasora de alto riesgo y que sobre ella se deben tomar medidas rápidas, ya que aún esta es una etapa de expansión en el país (Rueda-Almonacid, 1999; Gutiérrez, 2006; Baptiste et al., 2010; Pedroza-Banda & Angarita-Sierra, 2011; Galván-Guevara & De la Ossa, 2011; Gutierrez et al., 2015).

4.4 DISTRIBUCIÓN

Su distribución se limitaba principalmente a la cuenca del río Mississippi en el nororiente de Norteamérica, pero actualmente se reporta en más de 36 países incluyendo países latinoamericanos como Chile, Argentina, Ecuador, Brasil, Venezuela, Perú, Uruguay, Paraguay, Guayanas y Colombia. En Colombia, los reportes en los últimos 30 años, dificultan conocer el estado de la invasión actual. En las bases de datos de biodiversidad como el GBIF (Global Biodiversity Information Facility) y el SIB (Sistema de Información de la Biodiversidad), se reportan al menos 319 registros de la especie en Colombia, y a nivel político se sabe que se encuentra en al menos nueve departamentos como lo son Sucre, Valle del Cauca, Cauca, Cundinamarca, Risaralda, Boyacá, Antioquia, Tolima y Caldas. Aun así, aunque en algunos de estos departamentos no se reporten poblaciones establecidas, si se ha encontrado individuos adultos y renacuajos en libertad que prenden las alarmas de un posible foco nuevo de invasión (IAvH, 2020; Lynch, 2005; Mueses-Cisneros & Ballén, 2007; SIB, 2020).

4.5 MODELAMIENTO

Los modelos de ocupación geográfica de la rana toro se han dado en distintas escalas (global, nacional o regional); Por ejemplo a nivel global (Ficetola et al., 2007), en Europa (Johovic et al., 2020), en Estados Unidos (Nelson & Piovio-Scott, 2022), en México (Becerra López et al., 2017), en Latinoamérica (Nori, Urbina, Loyola, Lescano, et al., 2011) y de manera individual se han adelantado en distintos países como en Brasil (Giovanelli et al., 2008), Ecuador (Iñiguez & Morejón, 2012; Dueñas-Tituaña, 2020) y Colombia mediante distintas herramientas de modelado (Urbina & Castro, 2010; Urbina, 2011; Bonilla, 2017). En Colombia se han publicado dos modelamientos

(Urbina, 2011; Bonilla, 2017) de la rana toro ambos difirieren en su población de muestra, por un lado esta Urbina quien toma las ocurrencias de la rana en su distribución natural al norte del continente, y por otro lado, Bonilla utiliza registros de la rana en Colombia; También las variables bioclimáticas usadas en ambos casos son distintas, el modelo propuesto por Bonilla utiliza las 19 variables presentadas por WorldClim sin discriminar algún grado de correlación y Urbina por su lado utiliza el índice de correlación de Pearson ($r < 0.75$). A pesar de estas notorias diferencias, sus resultados son similares en algunos aspectos y alarmantes para el futuro de los ecosistemas acuáticos continentales

En Colombia, son pocos los estudios realizados a los procesos invasivos de la rana toro, lo cual deja un interrogante sobre el peligro de su invasión, ya que los ecosistemas interandinos en los que se encuentra presentan distintos factores geomorfológicos y climáticos que los hace únicos, haciendo que sus impactos puedan ser nefastos sobre todo en especies endémicas como *Leucostethus fraterdanieli*, *Andinobates bombetes*, *Pristimantis silverstonei*, *Dendrosophus colombianus* entre otras, que son nativas de la cuenca media-alta del río Cauca (Área actual de invasión de la rana toro) y que en el caso de la última se pueden haber adaptado espacios intervenidos como lagos de piscicultura (Ramírez-chaves et al., 2018). Por otro lado, a pesar de existir varios modelamientos de su distribución futura y actual (Bonilla, 2017; Urbina et al., 2011; Urbina & Castro, 2010), estos se ocupan de realizar modelos a escala nacional e ignoran o desconocen las dinámicas de esta población en el suroccidente colombiano, donde las actividades humanas pueden estar ayudando a que la especie colonice de forma más rápida nuevos ecosistemas. Adicionalmente, los modelos de nicho son herramientas cambiantes que mejoran su incertidumbre matemática generando así modelos más precisos y robustos en cada versión, haciéndose necesario realizar estudios que actualicen la distribución de la especie para determinar posibles regiones y cuencas hidrográficas en riesgo no reportadas previamente, pudiendo advertir de nuevos espacios y nichos colonizables por la rana.

5 METODOLOGIA

5.1 AREA DE ESTUDIO

El departamento del Cauca está situado en el suroeste del país, entre las regiones amazónica, andina y pacífica; localizado entre los 00°58'54" y 03°19'04" de latitud norte y los 75°47'36" y 77°57'05" de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 29.308 km², lo que representa el 2.56 % del territorio nacional. Limita al Norte con el departamento del Valle del Cauca, por el Este con los departamentos de Tolima, Huila y Caquetá, por el Sur con Nariño y Putumayo, y por el Oeste con el océano Pacífico. Su división política consta de 42 municipios, su relieve pertenece al sistema andino, y en él se distinguen a nivel macro siete unidades morfológicas: la llanura del Pacífico, cordillera Occidental; cordillera Central, altiplano de Popayán, Macizo Colombiano, Valle del Patía y el sector de la cuenca del Amazonas. Dentro de su territorio cuenta con siete Parques Nacionales Naturales (Puracé, Gorgona, Cueva de los Guacharos, Nevado del Huila, Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel, Serranía de los Churumbelos y Munchique) que ocupan un área de 518.880 ha, y 39 reservas de la sociedad civil con 836 ha (CRC - SIAC, 2017).

La meseta de Popayán es un altiplano de colinas redondeadas ubicada entre la cordillera Central y la cordillera Occidental en los municipios de El Tambo, Timbío, Cajibío, Morales y Popayán en el departamento del Cauca, dividiendo en su escarpe los valles geográficos del río Patía y del río Cauca (Torres Hernandez, 2010).

5.1.1 Sitios de muestreo

la búsqueda se enfocó en 16 humedales sobre los cuales se realizó una jornada de campo con el propósito de registro de la rana toro. Los humedales visitados en el municipio de El Tambo fueron la piscícola la cabaña en el Zarzal, el lago del Zarzal, la vereda Manizales, en Santander de Quilichao sobre la Piscícola Bariloche, un lago privado en el corregimiento de San Rafael, el lago la Marquesa y la Piscícola Pambío en Timbío, El humedal Lago el Bolsón en el Municipio de Cajibío, El lago de Santa Rosa en Popayán, El embalse de la Salvajina en el Municipio de Suárez, Tres Humedales en los Cañaduzales de San Julián en Santander de Quilichao y los humedales y jagüeyes de la hacienda Versailles en el municipio del Patía Los dos puntos restantes de los que se obtuvo información en Guachené y Caloto no pudieron ser visitados pero gracias a la ayuda de la Bióloga Lina Acosta en el sector fueron incluidos como punto de presencia de la rana y verificados con audios y fotografías de la rana en los puntos, a pesar de existir otros espacios de interés para la búsqueda de la rana toro, estos se vieron descartados por cuestiones de presupuesto y seguridad.

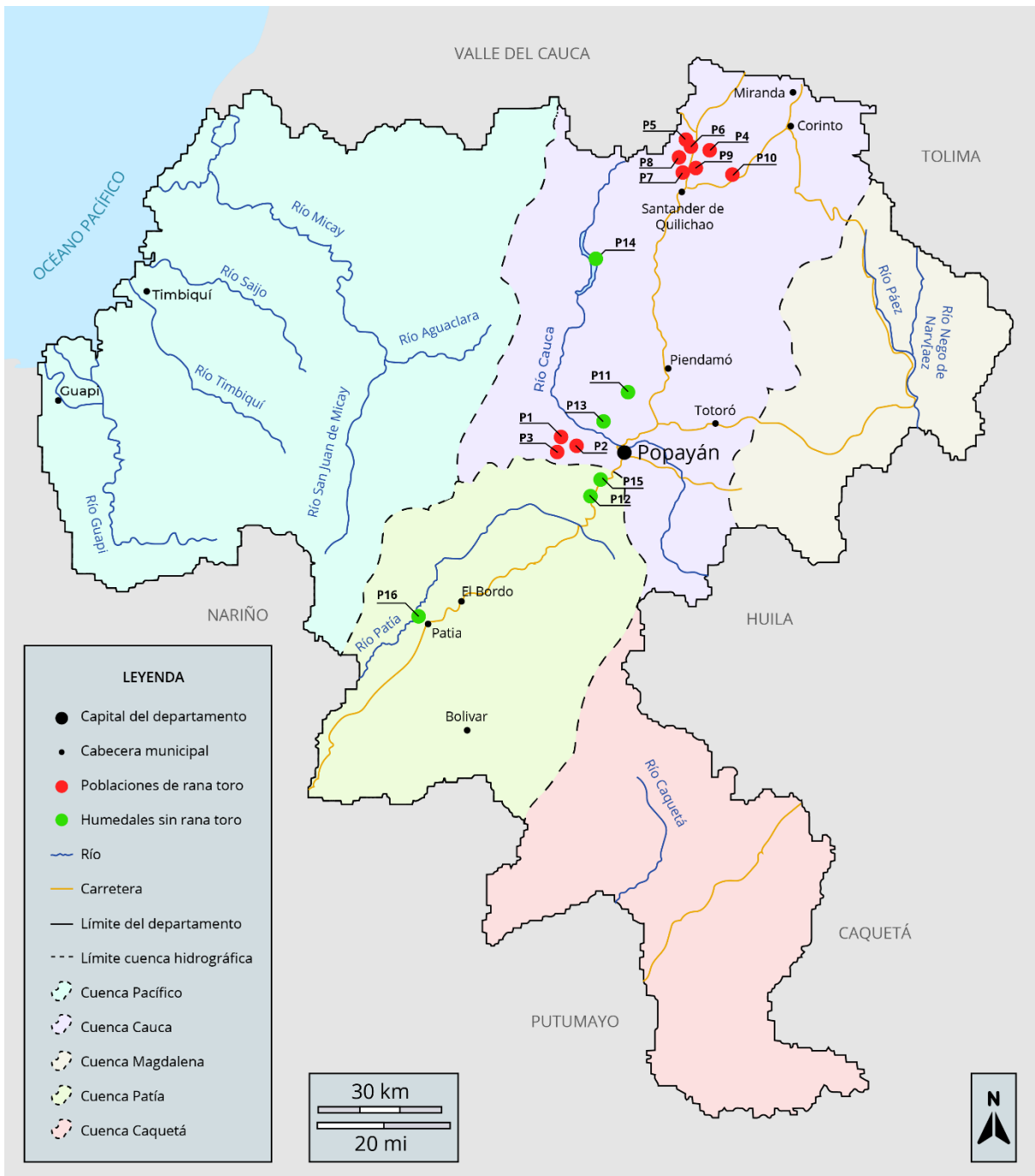


Figura 2: Cuencas hidrográficas del Cauca y puntos de muestreo.

Fuente: Elaboración propia

5.2 METODOS

A continuación, se presentan los métodos usados para el desarrollo de cada objetivo específico de este proyecto.

OBJETIVO 1: IDENTIFICAR Y CARACTERIZAR ÁREAS CON PRESENCIA DE POBLACIONES DE RANA TORO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.

Se obtuvo información de presencia de la especie utilizando bases de datos sobre biodiversidad como el SIB Y GBIF, las anteriores registros georreferenciados de la rana toro en el país de los cuales ninguno se encontraba en el departamento del Cauca, a pesar de esto, circulares de la CRC (CRC, 2018) dieron información sobre la presencia de poblaciones de la rana toro en algunos municipios del departamento como El Tambo y Guachené. Para encontrar puntos referenciados de presencia de la rana toro en el departamento del Cauca se realizaron entrevistas por medio de las redes sociales a habitantes y actores de distintos municipios, principalmente a piscicultores y pescadores, en estas últimas se realizaron tres preguntas principales: ¿Ha escuchado hablar de la rana toro? ¿conoce usted la rana toro?, ¿Conoce un sitio con presencia de la rana toro?; dichas dieron como resultado material informativo, fotográfico y de video que permitió la identificación y localización de poblaciones de rana toro establecidas en el de los municipios de Santander de Quilichao, Caloto. Guachené y El Tambo. Luego de esta priorización de espacios se realizó la búsqueda de rana toro en 16 humedales del departamento del Cauca mediante la técnica de muestreo de relevamiento sistemático (Angulo et al., 2006), durante un tiempo de aproximadamente de dos horas por punto, donde se eligió un horario que comprendiera el atardecer por ser el de pico de actividad de la rana toro (la rana también tiene hábitos nocturnos) (CAR, 2016); los individuos de rana toro suelen ser depredadores voraces, por tal motivo su captura se dio con una caña de pescar y señuelos artificiales que simulaban grillos o peces (Ver Anexo 1), cada humedal conto con un mínimo de 6 capturas para ser considerado como una población, la identificación se dio por características morfológicas.

Identificación de la rana toro en campo.

Esta rana es la más grande de Norteamérica y se distingue por carecer de pliegues dorsolaterales y tener tímpanos grandes, más grandes que el ojo en los machos. Las puntas de los dedos de manos y pies son romas. La cinta está bien desarrollada. La piel del dorso de esta especie es rugosa con pequeños tubérculos aleatorios. No hay pliegue dorsolateral, pero sí un pliegue supratimpánico prominente. La longitud media desde el hocico hasta la ventilación para los machos es de 152 mm (rango 111-178) y para las hembras es de 162 mm (rango 120-183). Los machos tienen almohadillas nupciales pigmentadas. Las aberturas vocales se encuentran en las comisuras de la boca.

El dorso es verde, con o sin un patrón en forma de red de color gris o marrón en la parte superior. El vientre es ligeramente blanco, a veces moteado de gris o amarillo. La coloración varía ampliamente según la localidad de la rana toro (Conant y Collins 1975). La característica principal que diferencia a la rana toro de sus

congéneres en Colombia en que esta no posee pliegues dorsolaterales (AmphibiaWeb, 2023), también es importante resaltar que las cuencas hidrográficas donde se encuentran naturalmente *L. vaillanti* y *L. palmitis* no son las mismas del área de muestreo (Batrachia, 2013).

Caracterización del uso del suelo

También se realizó la caracterización del uso del suelo para los diez puntos de presencia de la rana toro que fueron levantados en el departamento del Cauca donde se descargaron imágenes satelitales de alta resolución en el programa SAS PLANET, provenientes de satélites como Maxar y Airbus que tiene una resolución de 30 cm y que permitieron tener una escala de 1:5000, donde se generó un radio de un kilómetro alrededor del punto referenciado, dicha área fue elegida como referente del máximo desplazamiento de la rana toro en un año (Willis et al., 1956), después de delimitada esta área se realizó un mapa de uso del suelo, estos shapefiles se crearon de forma manual debido a la alta resolución de la imagen en el programa Qgis y el proceso tuvo como base metodológica la adaptación de Corine Land Cover para Colombia (IDEAM et al., 2008), en cuanto a color RGB y Nomenclatura de la unidades de cobertura.

OBJETIVO 2: REALIZAR UN MODELAMIENTO DE NICHOS ACTUALES DE LA RANA TORO PARA EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.

La estrategia para el modelado de nicho ecológico por maximización de entropía de la rana toro, consistió en realizar un modelo a nivel nacional y realizar el recorte en el departamento del Cauca. Esto debido a la insuficiencia de los datos y reportes en el departamento; La metodología utilizada fue la propuesta por Jamie Kass (Kass et al. (2022), que utiliza el paquete de ENMeval 2.0 de R. Esta metodología requiere datos de presencia/ausencia de la especie y datos climáticos asociados la área de estudio; para obtener los datos de presencia de la especie en Colombia, se utilizó las bases de datos del SIB Y GBIF y dichos datos fueron tratados a través del programa Open refine, donde se realizó un tratamiento de limpieza de información, que consistió en revisar que cada registro estuviera georreferenciado bajo el mismo sistema de coordenadas, y dado el caso se hizo su estandarización; luego se contrastó cada registro con la localidad reportada en la base de datos, evitando datos en una posición geográfica errónea. También se eliminaron los datos que ocurrían en una misma localidad (duplicados) y fuera del rango altitudinal reportado (>2000 m.s.n.m.), y finalmente, se eliminaron datos cuya fuente no fuera de una institución de investigación o de origen profesional, a pesar de que algunos puntos cumplieran con los anteriores criterios.

Así mismo, para evitar problemas de sobremuestreo, se realizó una cuadrícula de 30 arcos segundos (la misma resolución de las capas climáticas a usar) dentro del área de estudio y se eligió un único registro dentro de cada cuadrícula. Teniendo en cuenta la necesidad de incluir registros de pseudoausencia o background solicitados por el software MaxEnt, se realizó la creación de estos puntos aleatorios en un área buffer de 7 km alrededor de cada punto de presencia de la rana toro, y en esta área (Ver Anexo 2) se crearon 500 puntos de manera aleatoria, lo anterior, siguiendo los lineamientos de la metodología.

Por otro lado, se obtuvieron las capas climáticas con el fin de relacionar los registros con las características del clima, las cuales son proporcionadas por la base de datos meteorológicos y climáticos global (Worldclim, 2022), aquí se proporcionan 19 capas climáticas globales que relacionan la temperatura y precipitación, con una resolución elegida de 30 arcos segundos o 1km² aproximadamente (Ver Anexo 3). Para introducir las capas al modelamiento, fueron recortadas a la extensión del territorio nacional, y posterior a esto, se les realizó un índice de correlación de Pearson agrupándolas en sets con similitud de $r \geq 0.9$ (Ver Anexo 4). Cada set, se eligió al azar una sola variable eliminando así la redundancia que se podría generar si se introdujeran más variables al modelo.

Posteriormente, se usó el paquete de R "ENMeval" y la metodología de la viñeta 2.0 de ENMeval (Kass et al., 2022), la cual arroja un grupo de modelos dependientes del tipo de partición usada, para este caso se usó la partición "block" o de bloque, esta divide el grupo muestra en 4 subgrupos (k) a los cuales se les aplica un número de configuraciones (s) de modelos ("L", "LQ", "H", "LQH", "LQHP", "LQHPT") esto da como resultado un total de $s \times (k + 1)$ ejecuciones del modelo, que para el caso en cuestión fue de 30. Después, se debe elegir de este grupo de 30 el mejor modelo, esto se hizo basándose en el criterio de información de Akaike mediante la métrica AICc, donde el modelo con el valor AICc más bajo (es decir, $\Delta AICc = 0$) se considera el mejor modelo del conjunto actual de modelos (Muscarella et al., 2014).

Finalmente, el modelo se expresa a manera de dos mapas con una resolución de 30 arcos segundos, El primero es un mapa de idoneidad de hábitat que muestra la probabilidad de la presencia de la rana en un rango que va de 0 a 1. Es así, como el modelo de nicho expresa sobre un mapa como el conjunto de variables asociadas a cada pixel del mapa determina las condiciones bioclimáticas para que la rana toro se encuentre presente, la afinidad aumenta a medida que el pixel se acerca a 1. El segundo mapa es el de presencia/ausencia y es una derivación del mapa de idoneidad de hábitat, este asume la presencia de una especie desde un valor de idoneidad mínimo hasta el máximo, a lo que se le conoce como umbral. Dicho esto, el siguiente mapa uso como punto de referencia el valor mínimo de idoneidad de los puntos de presencia muestreados en el Cauca y las recomendaciones bibliográficas de umbral mínimo de presencia (Pyron et al., 2008; J. Nicolás Urbina, 2011; Rodda et al., 2011), siendo así se usó un $pr > 0,1$.

OBJETIVO 3: DISEÑAR UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN FUTURA DE LA RANA TORO CON BASE EN EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.

Después de realizar el modelo de nicho de la rana toro para el departamento del Cauca, y de que este fue validado, se procedió a la búsqueda de un modelo de cambio climático en la base de datos del Worldclim (Worldclim, 2022), con el fin de proyectar el modelo de nicho sobre las capas de cambio climático. Actualmente, se encuentran disponibles los modelos de cambio climático del proyecto de intercomparación de modelos acoplados (CMIP 6) (2016), el cual tiene disponibles 23 modelos de cambio climático (GCM) para cuatro rutas socioeconómicas compartidas (SSP) en cuatro periodos de tiempo de 20 años (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100). Los

SSP son la versión actualizada de los RCPs o rutas de concentración representativa y ambos tienen como propósito mostrar las posibles “rutas” o “camino” que examinan como la demografía, las elecciones de la sociedad global y la economía podrían cambiar las emisiones de gases de efecto invernadero durante el próximo siglo.

Para la elección del GMC, se tuvo en cuenta la publicación de la revista CarbonBrief llamada “CMIP6: la próxima generación de modelos de cambio climático explicada” (Hausfather, 2020), donde explica cómo se realizó la validación de 49 grupos de modelos de cambio climático, las novedades en la actualización de los 4 RCPs y el notable aumento en la sensibilidad climática de estos modelos. Dado que la sensibilidad climática de los modelos aumentó de manera significativa, se eligió un modelo que estuviera en el promedio de dicha sensibilidad que represente un consenso en este tema y no sea un modelo muy conservador o uno extremadamente sensible (Ver Anexo 5). En consecuencia, el modelo elegido para realizar el modelo de distribución futuro de la rana toro fue el ACCESS-ESM1-5 con una sensibilidad climática de 3.9, y que cuenta con cuatro SSP para los siguientes periodos de tiempo: 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100.

Finalmente, las capas de cambio climático se incluyeron en el modelamiento de nicho de la rana toro para generar un modelamiento de nicho futuro por cada SSP y por cada rango de tiempo, generando así 16 modelos de nicho futuro (Ver Figura 17), estos fueron reclasificados para obtener una tabla (Ver tabla 2) que permitiera entender el área de ocupación de la rana toro en cada modelo. Es importante resaltar que el modelamiento de nicho se realizó a nivel de todo el territorio colombiano, y posterior a este tratamiento, se realizó un recorte en el área de interés de este trabajo que es el departamento del Cauca.

6 RESULTADOS

6.1 IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CON PRESENCIA DE POBLACIONES DE RANA TORO EN COLOMBIA

La presencia de la rana toro en el país está concentrada en los valles interandinos del río Cauca y Magdalena, más específicamente en la cuenca media y alta del río Cauca sobre los departamentos de Antioquia, Risaralda, Caldas, Quindío, Valle del Cauca y Cauca. Y en la cuenca Media del río Magdalena sobre los departamentos de Tolima y Cundinamarca. A través de las bases de datos del SIB, GBIF se recopilaron 329 registros georreferenciados de poblaciones de rana toro en el país entre los años 2002 y 2022, de estos 148 registros fueron útiles para la generación del mapa de presencia de la rana en Colombia. A pesar de existir en bibliografía la presencia de individuos en el norte y oriente del país, no existen registros georreferenciados de la rana toro para estas zonas.

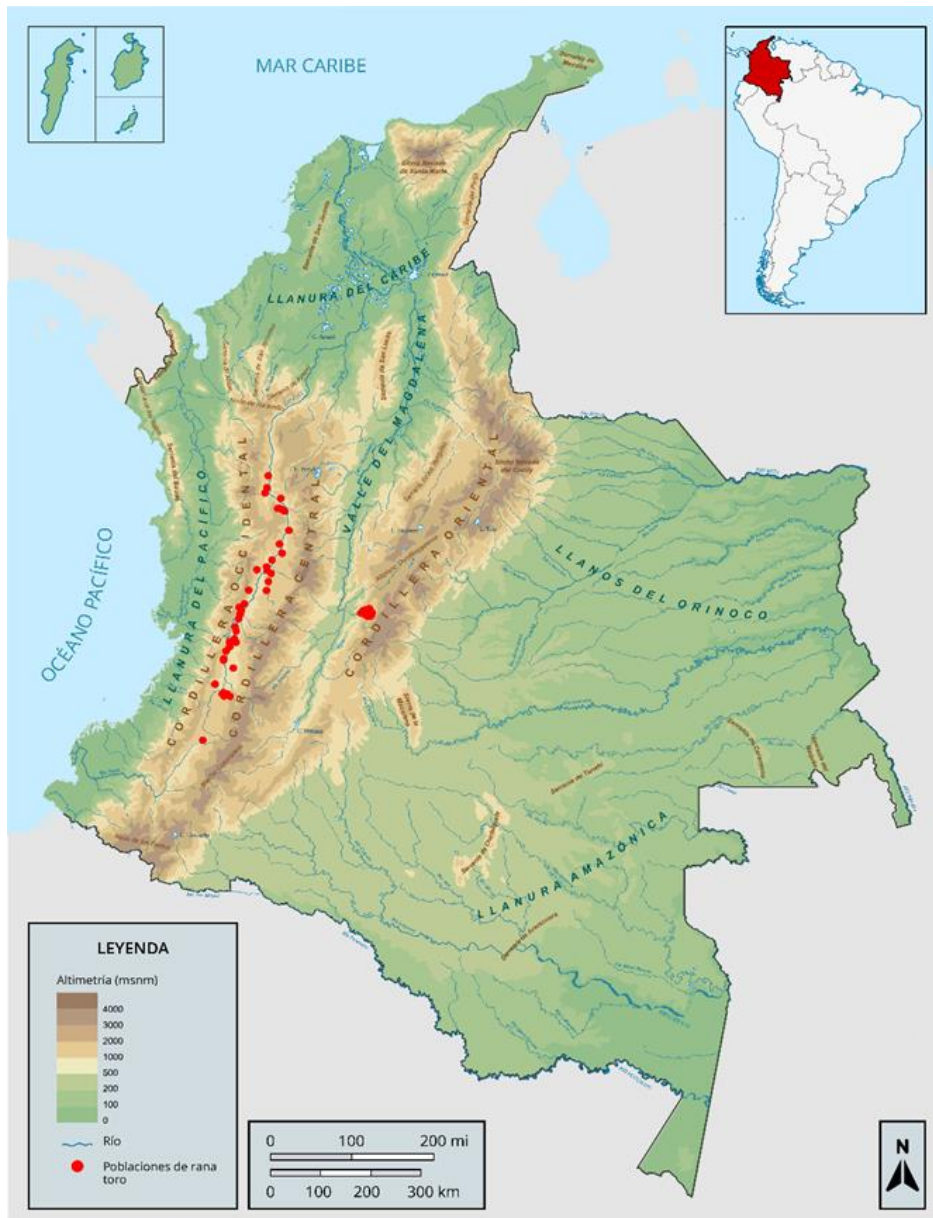


Figura 3: *Lithobates catesbeianus* en Colombia. Fuente: Elaboración propia

6.2 IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CON PRESENCIA DE POBLACIONES DE RANA TORO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

La búsqueda de rana toro en el departamento del Cauca se realizó en 16 humedales y deajo como resultado diez poblaciones de rana toro distribuidas en dos grupos, la primera la Meseta de Popayán, más específicamente en la vereda el Zarzal del municipio del Tambo, y la segunda la zona norte en el valle geográfico del río Cauca en los municipios de Santander de Quilichao, Villa Rica, Caloto y Guachené. Las verificaciones se dieron de manera presencial, y en dos casos que no fue posible (P10 y P4), se recibieron videos, fotografías y audios como material probatorio para la identificación de la especie. Es de resaltar que en otros municipios del departamento cabe la posibilidad de que existan poblaciones de rana toro, pero el presupuesto y los problemas de seguridad no permitieron que fueran visitados.

Tabla 1: Tabla de Humedales estudiados en el Cauca.

Fecha	Hora de inicio	Código	Nombre	Latitud	Longitud	No de individuos
26/11/2021	16:57	Punto 1 (P1)	Piscícola La cabaña	2°27'12.18"N	76°45'2.12"O	24
27/11/2021	17:00	Punto 2 (P2)	Lago el Zarzal	2°27'8.85"N	76°44'7.24"O	8
15/12/2021	17:00	Punto 3 (P3)	Vereda Manizales	2°26'38.34"N	76°45'17.99"O	6
22/01/2022	N	Punto 4 (P4)	Guachené	3° 6'38.33"N	76°25'7.16"O	6
30/01/2022	15:00	Punto 5 (P5)	Humedal San Julián o Cuprecia	3° 7'45.52"N	76°28'17.19"O	11
30/01/2022	17:00	Punto 6 (P6)	Humedal San Julián o Cuprecia	3° 7'23.84"N	76°27'58.71"O	10
31/01/2022	15:00	Punto 7 (P7)	Piscícola Bariloche	3° 3'50.67"N	76°28'30.98"O	6
31/01/2022	17:00	Punto 8 (P8)	Humedal San Julián o Cuprecia	3°5'47.10" N	76°29'9.71"O	7
31/01/2022	19:00	Punto 9 (P9)	Finca doña Albenis en San Rafael	3° 4'22.73"N	76°27'7.93"O	12
22/01/2022	N	Punto 10 (P10)	Vereda El Nilo humedal lago El bolsón	3°3'23.91" N	76°22'1.31" O	6
25/12/2021	16:30	Punto 11 (P11)		2°34'20.97"N	76°36'37.98"O	0
8/05/2022	15:00	Punto 12 (P12)	Piscicola Pambio	2°20'21.86"N	76°41'34.14"O	0
19/02/2022	16:00	Punto 13 (P13)	Lago Santa Rosa	2°30'27.36"N	76°39'56.33"O	0
12/02/2022	17:00	Punto 14 (P14)	Embalse Salvajina	2°52'25.41"N	76°41'2.28"O	0
8/05/2022	17:00	Punto 15 (P15)	Lago la Marquesa	2°22'46.63"N	76°40'18.18"O	0
17/04/2022	17:00	Punto 16 (P16)	Hacienda Versailles	2° 4'15.95"N	77° 4'53.51"O	0

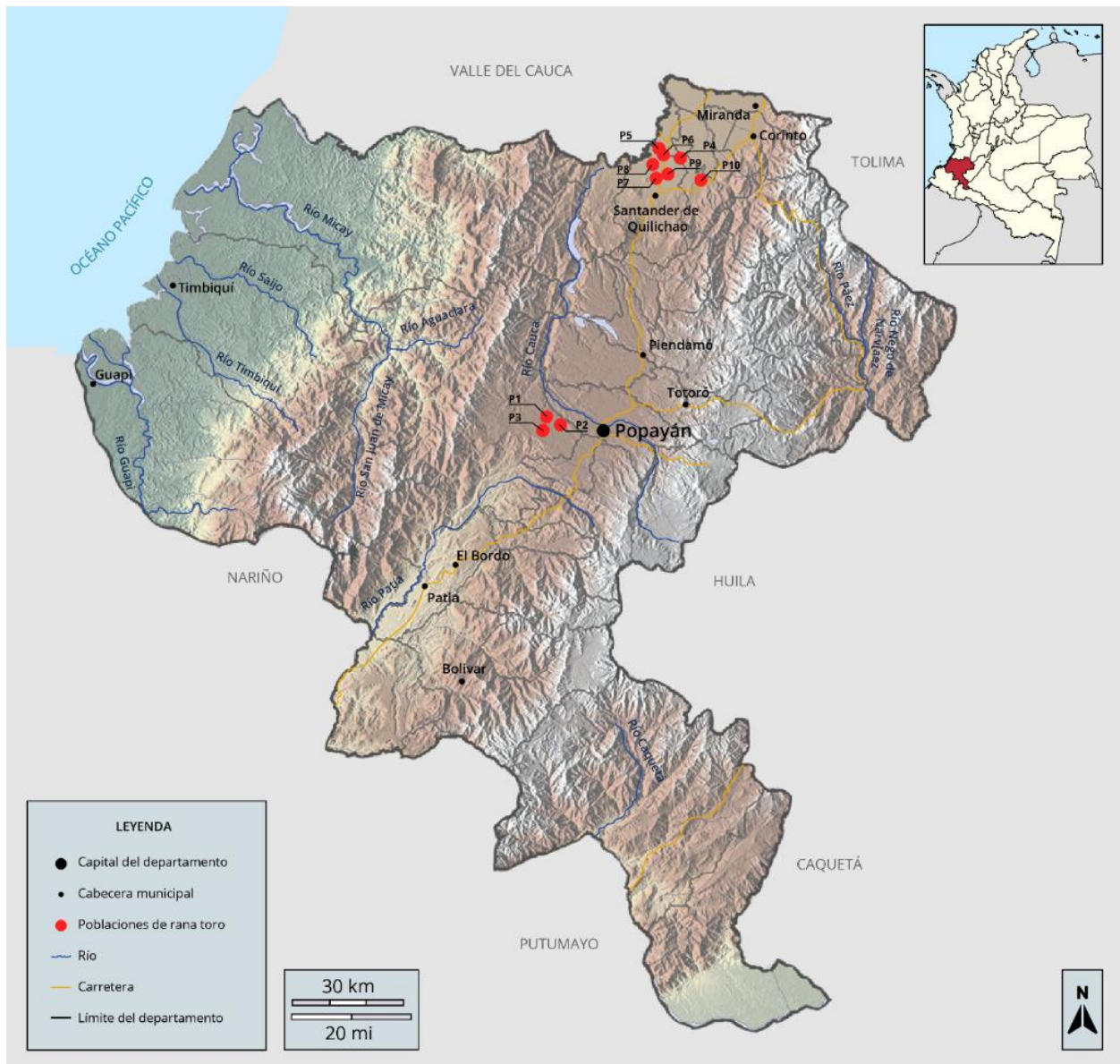


Figura 4: Presencia confirmada de *Lithobates catesbeianus* (Ranidae: Anura) en el departamento del Cauca.

6.3 COBERTURA DE LA TIERRA Y PAISAJE DE LAS ÁREAS CON PRESENCIA DE POBLACIONES DE RANA TORO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

El uso del suelo en la zona con poblaciones de rana toro es de carácter agropecuario casi en su totalidad, esto implica coberturas y paisajes muy modificados, a pesar de esto, existen áreas que por su naturaleza acuática no han sido muy modificadas y podrían suponer un refugio para la vida silvestre. En la tabla 2, se aprecia un total el área estudiada de 3134,74 hectáreas (ha), con un promedio por cada punto de 313 ha; En la tabla 1 se evidencia en color amarillo las coberturas dominantes para cada punto y en rojo la cobertura dominante total que fue los pastizales con un total de 888,7 ha suponiendo un 28,35% del total de uso del suelo del estudio.

A pesar de que el uso de suelo es mayoritariamente pastizales y cultivos, existe un buen porcentaje de territorios o espacios de tipo acuático como lo son las zonas

pantanosas, los estanques de acuicultura, las lagunas, lagos y ciénagas naturales que en conjunto constituyen un 11,5% de la superficie total. Estos son los espacios que posiblemente estén siendo utilizados por la rana toro. También es pertinente resaltar que en la mayoría de puntos existe la presencia de estanques de acuicultura, y que en los tres casos en que no están, estos fueron encontrados a menos de tres kilómetros de cada punto en cuestión.

Tabla 2: Uso del suelo a 1 km de radio de las poblaciones de rana toro en el Cauca.

Cobertura	punto 1 (ha)	punto 2 (ha)	punto 3 (ha)	punto 4 (ha)	punto 5 (ha)	punto 6 (ha)	punto 7 (ha)	punto 8 (ha)	punto 9 (ha)	punto 10 (ha)	Total
Tejido urbano discontinuo	4,7	24,9	14,3	22,8	7,7	20,3	0	0	35,6	14,1	144,4
Zona de tierra desnuda, degradada o quemada	8,1	4	10,9	3,1	0,7	0	22,8	0	8,4	0,8	58,8
Bosque de galería o ripario	37,6	0	55,9	5	11,1	9,2	3,3	12,7	4	53,7	192,5
Vegetación secundaria o en transición	19,4	0	28,1	10	0	0	0,8	0	31	8,8	98,1
Cultivos permanentes	67,3	155,7	8,9	22	0	0	17,7	2,6	70,4	136,3	480,9
Arbustal	16,9	7,5	54,4	3,2	1,2	5,6	18,4	2,5	0	31	140,7
Pastizales	116,8	82,1	133,5	118,5	0	14,5	120,8	103,5	137	62	888,7
Estanque de acuicultura	5,3	5	4,1	0,04	0	0	4,2	0	7,8	2,3	28,74
Zonas pantanosas	33,8	31,4	3,7	0	0	0	4,9	0	0	1,7	75,5
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	2,7	2	0	24,3	86,3	48,5	31,2	53,1	7,2	1,5	256,8
Cañaduzal	0	0	0	103,7	204,2	217	93,5	140,2	11	0	769,6

En amarillo el área dominante por punto, en rojo el área dominante total.

6.3.1 Cobertura de la tierra punto uno

Este punto se encuentra ubicado en el municipio de El Tambo, en la vereda El Zarzal y se encuentra inmerso en la formación geológica denominada La Meseta de Popayán. Se caracteriza por tener un paisaje ligeramente ondulado con pequeñas montañas y humedales muy colmatados llenos de vegetación flotante, sus aguas se drenan en la cuenca alta del río Cauca y son el límite de drenaje con la cuenta alta del río Patía. Su cobertura de la tierra tiene mayor representatividad en los pastizales generados para la ganadería y los cultivos permanentes diversos, también cuenta con un gran porcentaje de humedales que son usados como abrevaderos para ganadería y como fuentes de agua para sistemas de riego y piscícolas (Figura 5).

La población de rana toro en este punto es abundante, donde se encontraron más de 20 individuos entre juveniles y adultos durante la jornada de muestreo, y según los habitantes del sector ha ido en aumento con el paso de los años, donde algunos habitantes del sector han optado por controlar la especie con gatos y también optan por consumirla. La abundancia puede deberse a que los individuos no solo se encuentran alimento en los humedales naturales sino también a que las ranas hacen incursiones a las piscifactorías (piscícola Macondo y piscícola La Cabaña) para alimentarse. Se cree que llegó como polizón en el transporte de alevinos de peces provenientes del Valle del Cauca.

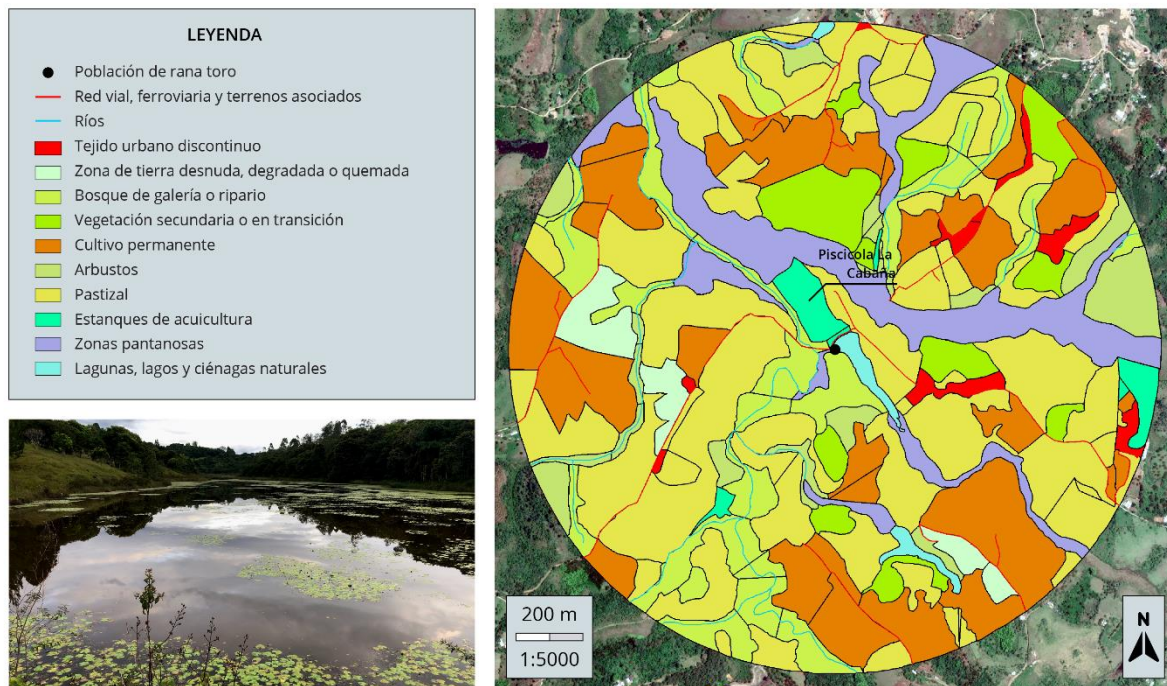


Figura 5: Cobertura de la tierra del punto uno. municipio de El Tambo, vereda El Zarzal.

Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Cobertura de la tierra punto dos

Al igual que el punto uno, este punto se encuentra ubicado en el municipio de El Tambo, en la vereda El Zarzal y por consiguiente posee las mismas características de paisaje, donde este punto está ubicado un poco más arriba a 1.7 km por el mismo drenaje. Esta piscifactoría está junto a la carretera que comunica el municipio de El Tambo con la ciudad de Popayán y es conocida por ser un sitio turístico de nombre el lago El Zarzal. Su cobertura de la tierra tiene mayor representatividad los cultivos permanentes diversos, seguido de los pastizales para ganadería, también cuenta con un gran porcentaje en tejido urbano discontinuo (la vereda El Zarzal) y en humedales que son usados como abrevaderos para ganadería, como fuentes de agua para sistemas de riego y piscícolas, y como lagos de recreación.

La población de rana toro de este punto fue menos abundante que en el punto anterior, registrándose 8 individuos durante el recorrido y la llegada al sector está asociada al punto uno.

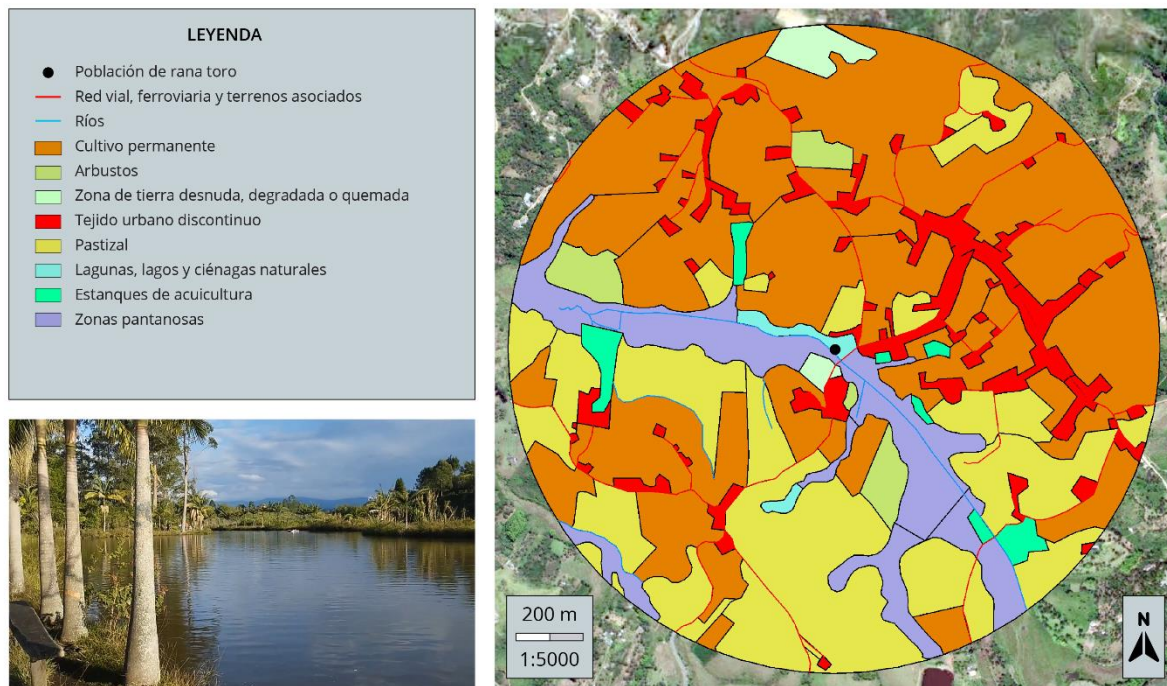


Figura 6: Cobertura de la tierra punto dos. municipio de El Tambo, vereda El Zarzal.
Fuente: Elaboración propia

6.3.3 Cobertura de la tierra punto tres

Al igual que el punto uno y dos, este punto se encuentra ubicado en el municipio de El Tambo, en la vereda Manizales, muy cerca de la piscícola del mismo nombre. Sus características del paisaje son similares a las del punto uno y dos. Su cobertura de la tierra está dominada por los cultivos permanentes diversos, seguido de los pastizales para ganadería, y sus humedales son usados como abrevaderos y como fuentes de agua para sistemas de riego y piscícolas, los cuales son de menor tamaño y ocupación debido al ligero aumento en las pendientes de las montañas y a la presencia de un drenaje más complejo con diversas quebradas.

La población de rana toro de este punto fue menos abundante que en los puntos anteriores, encontrándose 6 individuos durante el recorrido de búsqueda y su llegada al sitio está asociada al punto uno.

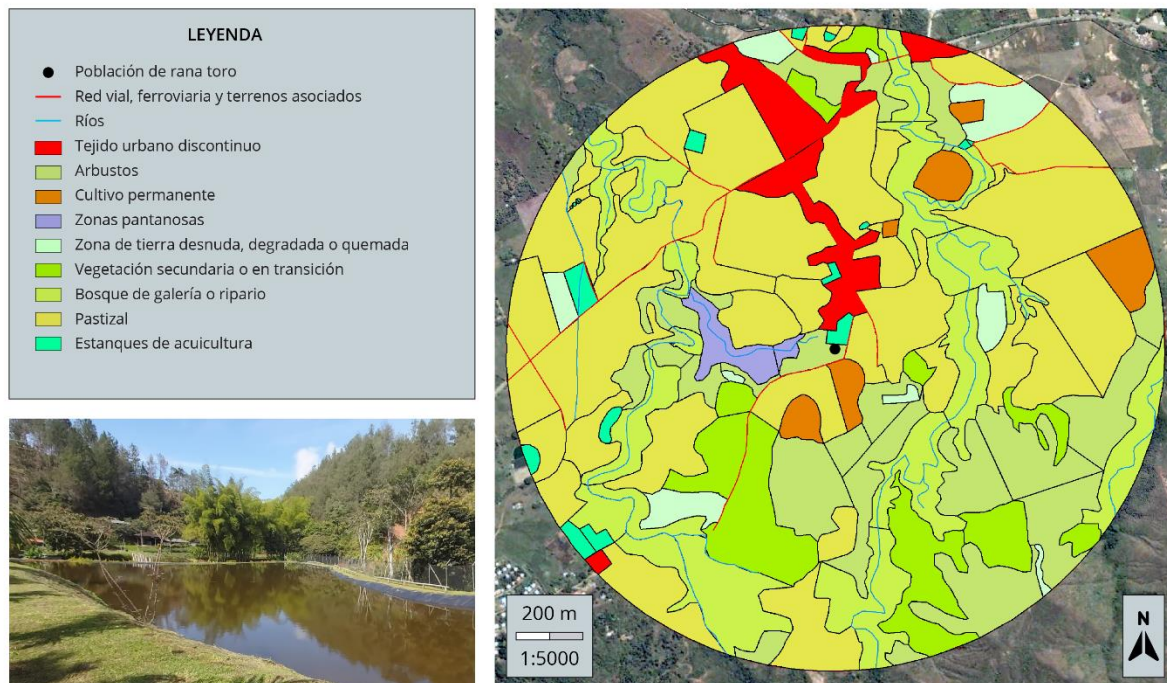


Figura 7: Cobertura de la tierra punto tres, municipio de El Tambo, vereda Manizales.
Fuente: Elaboración propia

6.3.4 Cobertura de la tierra punto cuatro

Este punto se encuentra ubicado en el municipio de Guachené, su paisaje se caracteriza por ser plano con ligeras ondulaciones causadas por el drenaje, y presenta grandes humedales en un estado avanzado de colmatación, donde sus aguas se drenan a la cuenca del río Cauca y están conectadas por zanjas, canales y acequias con la cuenta alta del río Palo. Su cobertura de la tierra tiene mayor dominancia de los pastizales, seguido del monocultivo de caña de azúcar y a causa de su topografía cuenta con un gran porcentaje de humedales.

La abundancia de individuos en esta población de rana toro no pudo ser estimada, ya que su validación se dio por audios y fotografías de los individuos, este sector siendo de carácter agropecuario presenta pequeñas piscícolas que suponen una entrada a los territorios por parte de la rana toro.

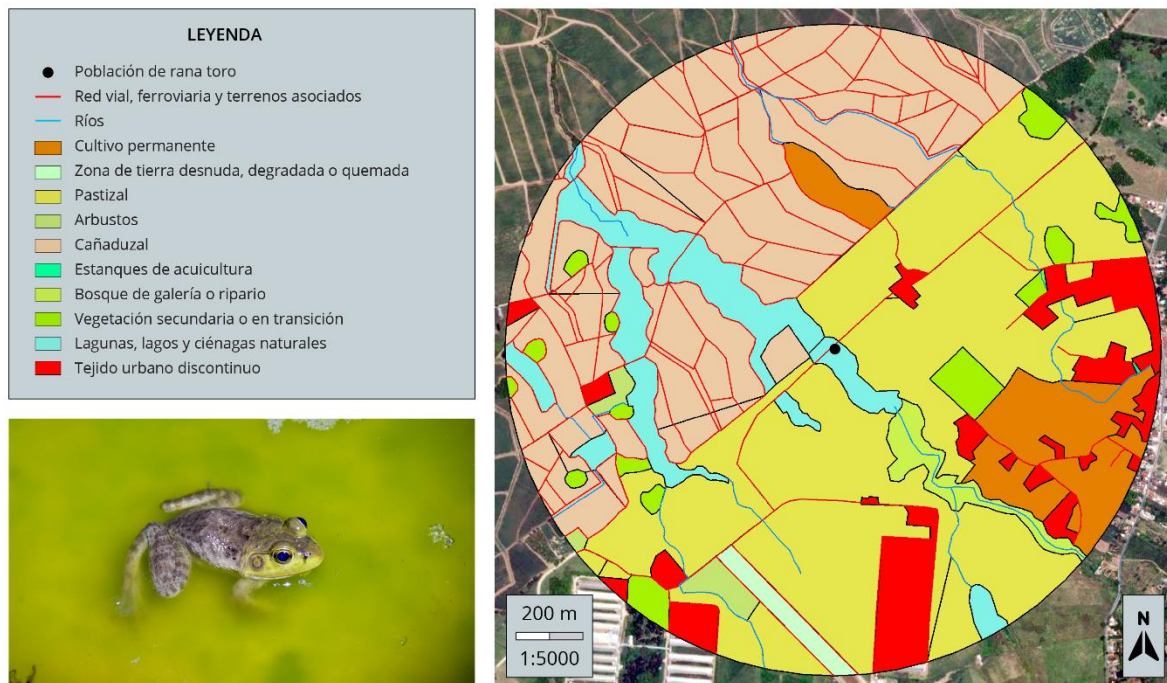


Figura 8: Cobertura de la tierra punto cuatro. municipio de Guachené.

Fuente: Elaboración propia

6.3.5 Cobertura de la tierra punto cinco

Este punto se encuentra ubicado en el municipio de Villa Rica, cerca de la vía panamericana en el kilómetro 13 que comunica Santander de Quilichao con Villa Rica. Su morfología se caracteriza por ser plana con ligeras ondulaciones causadas por el drenaje y grandes humedales en estado de colmatación variable, y sus aguas se drenan directamente al río Cauca. Su cobertura de la tierra está dominada por el cultivo de caña de azúcar, seguido de las lagunas, lagos y ciénagas naturales que han sido modificados e interconectados para irrigar las plantaciones de caña.

La población de rana toro de este punto conto con una abundancia de 11 individuos, la mayoría en estado juvenil y fueron encontrados en los canales de irrigación del cultivo de caña, aunque también se escucharon varios cantos de adultos en los lagos durante el recorrido. A pesar de no encontrar en el área una piscifactoría, la más cerca se encuentra a tan solo dos kilómetros del punto y sobre el mismo drenaje.

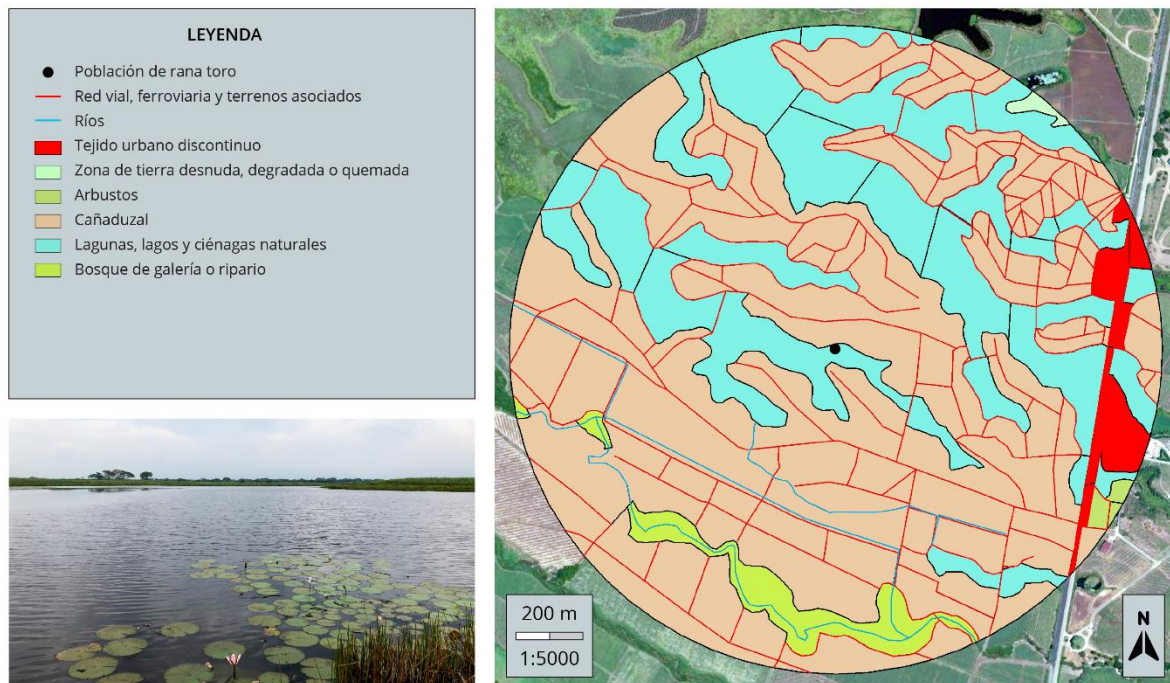


Figura 9: Cobertura de la tierra punto cinco. municipio de Villa Rica.

Fuente: Elaboración propia

6.3.6 Cobertura de la tierra punto seis

Este punto se encuentra ubicado en el municipio de Villa Rica, cerca de la vía panamericana en el kilómetro 12 que comunica Santander de Quilichao con Villa Rica, un Kilómetro al sur del punto cinco; su paisaje se caracteriza por ser plano con ligeras ondulaciones causadas por el drenaje y grandes humedales en estado de colmatación variable, donde sus aguas se drenan directamente al río Cauca. Su cobertura de la tierra al igual que en el anterior punto tiene como mayor dominancia del cultivo de caña de azúcar, seguido de las lagunas, lagos y ciénagas naturales que han sido modificados e interconectados para irrigar las plantaciones de caña.

La población de rana toro de este punto conto con una abundancia de 10 individuos durante el recorrido, se encontraron juveniles de pequeño tamaño amontonados en pequeños pozos de los canales de irrigación de la caña, a pesar de no encontrarse una piscifactoría en el sector, la más cercana estaba a 1,07 kilómetros y es visible en el límite inferior derecho del mapa en cuestión.

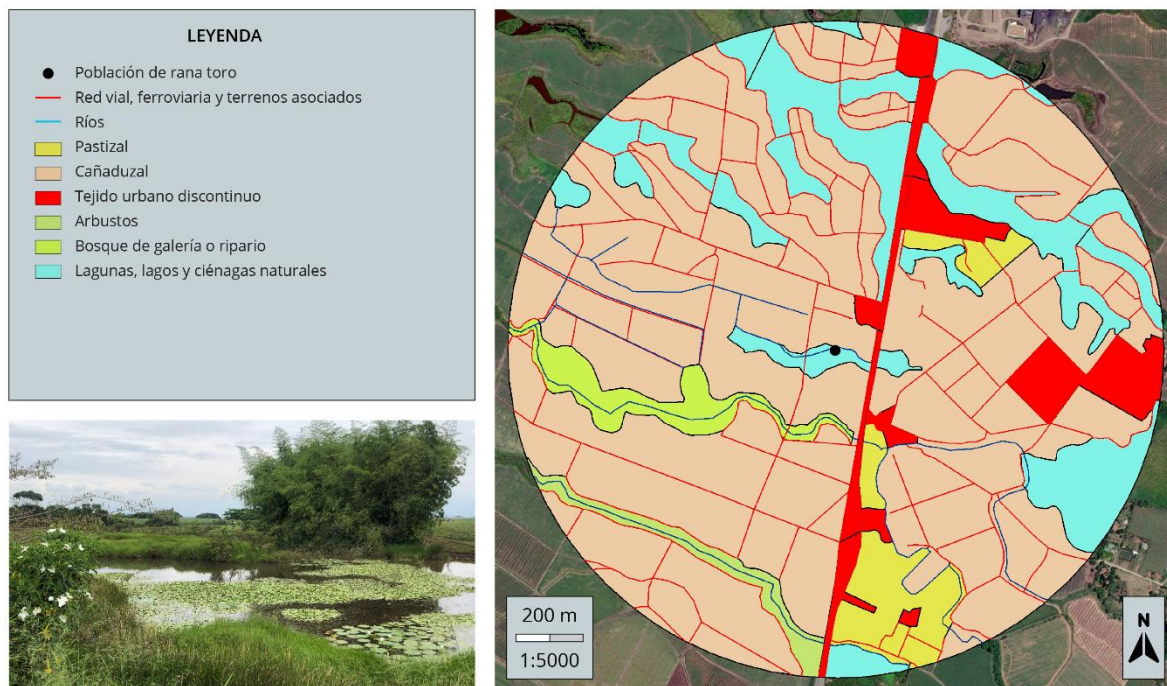


Figura 10: Cobertura de la tierra punto seis. municipio de Villa Rica

Fuente: Elaboración propia

6.3.7 Cobertura de la tierra punto siete

Este punto se encuentra ubicado en el municipio de Santander de Quilichao sobre el Kilometro tres que comunica dicho municipio con Villa Rica, su geomorfología se caracteriza por ser plano con ligeras ondulaciones causadas por el drenaje y grandes humedales y pantanos cuyas aguas se drenan directamente al rio Cauca. Su cobertura de la tierra tiene mayor dominancia por los pastizales, seguido del monocultivo de caña de azúcar, y a causa de su topografía cuenta con un gran porcentaje de humedales.

La población de rana toro de este punto conto con una abundancia de seis individuos durante el recorrido, se cree que la rana llego como polizón en el transporte de alevinos de peces provenientes del Valle del Cauca, ya que dicho punto se encuentra ubicado en los lagos de tratamiento de aguas de los lagos de pesca deportiva llamados Bariloche. También es importante anotar que la búsqueda de individuos en este punto se dio en horas de la tarde (15:00-17:00), ya que es un punto vigilado y en el momento se encontraban en un torneo de pesca, esto pudo influenciar la abundancia de individuos.

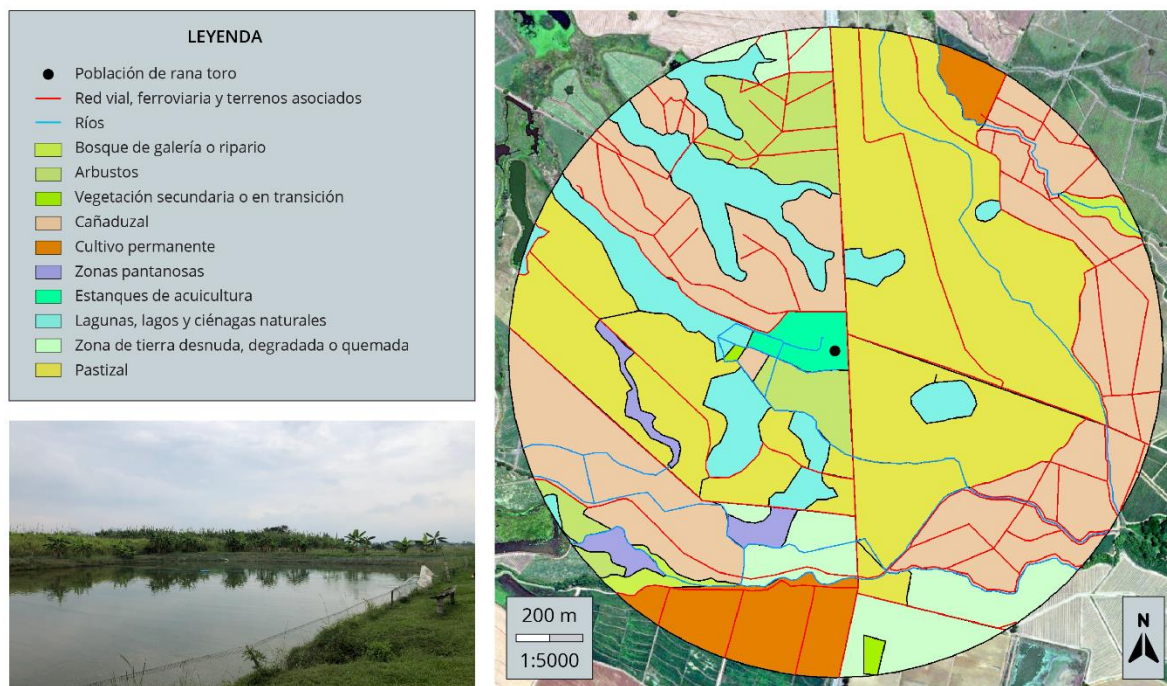


Figura 11: Cobertura de la tierra punto siete. municipio de Santander de Quilichao.
Fuente: Elaboración propia

6.3.8 Cobertura de la tierra punto ocho

Este punto se encuentra ubicado en el municipio de Santander de Quilichao en la vereda San Julián al occidente del Club Campestre los Andes, su paisaje se caracteriza por ser plano con ligeras ondulaciones causadas por el drenaje y grandes humedales en estado de colmatación variable, y sus aguas se drenan directamente al río Cauca. Su cobertura de la tierra está dominada por los cultivos de caña de azúcar, seguido de los pastizales, y a causa de su topografía cuenta con un gran porcentaje de humedales.

La población de rana toro de este punto conto con una abundancia de ocho individuos durante el recorrido, a pesar de no encontrarse piscifactorías en el área delimitada, la más cercana se encuentra a poco más de dos kilómetros y a 1,5 kilómetros se encuentran el complejo de trampas de golf, donde se cultivan peces para la pesca deportiva.

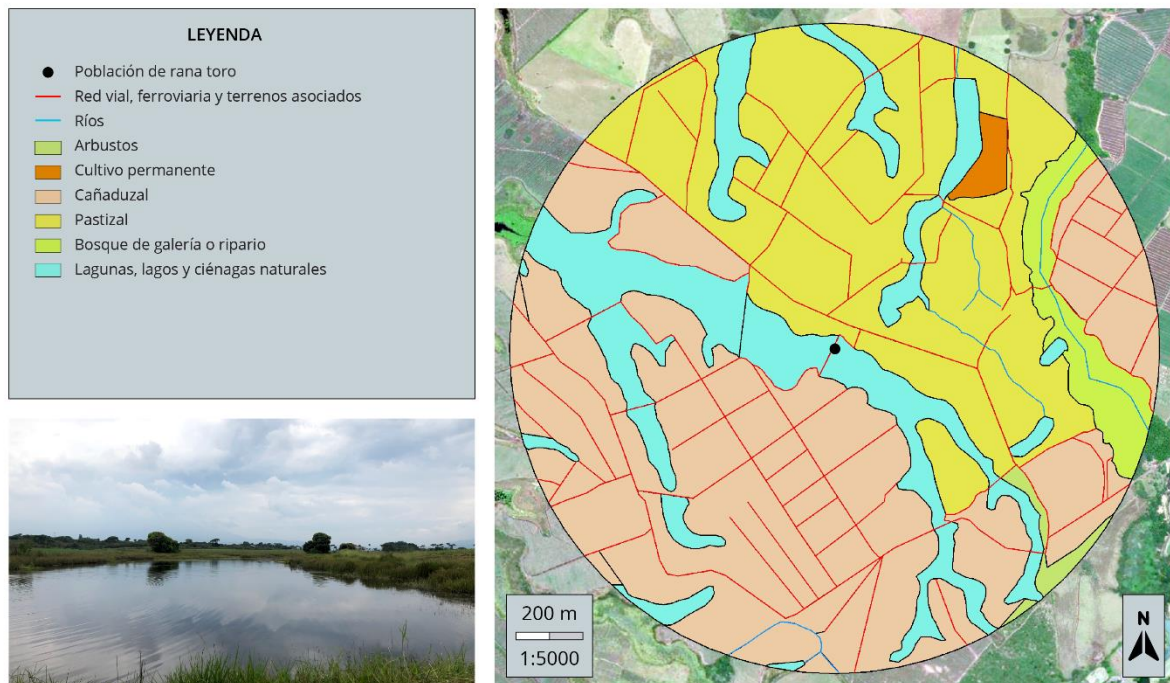


Figura 12: Cobertura de la tierra punto ocho. municipio de Santander de Quilichao Vereda San Julián. **Fuente:** Elaboración propia

6.3.9 Cobertura de la tierra punto nueve

Este punto se encuentra ubicado en el municipio de Santander de Quilichao, en la vereda de San Rafael, donde su geomorfología se caracteriza por ser plano con montañas pequeñas y muy dispersas, sus aguas se drenan directamente al río Cauca. Su cobertura de la tierra tiene mayor dominancia de los pastizales, seguido de un gran bloque de arbustos que posiblemente sea un pastizal arbolado y su cercanía a la zona de casas de la vereda hace que el tejido urbano discontinuo sea la tercera cobertura más abundante.

La población de rana toro de este punto conto con una abundancia de 12 individuos durante el recorrido, y su llegada al humedal se cree se dio por la llegada como polizón en una siembra de peces.

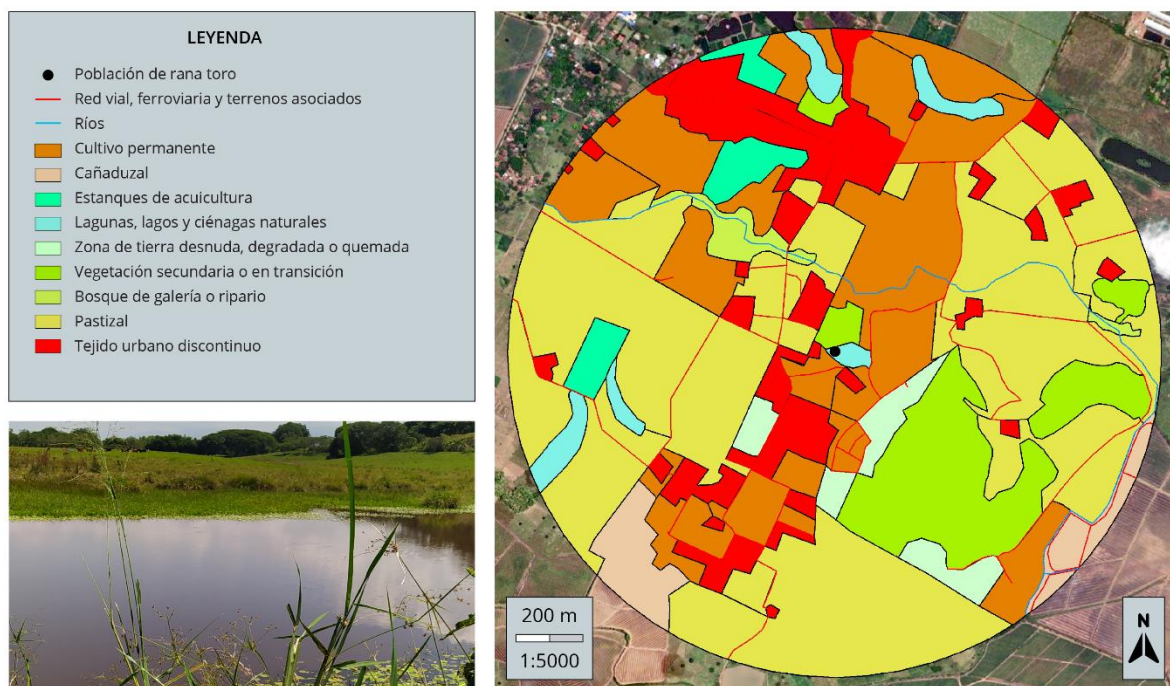


Figura 13: Cobertura de la tierra punto nueve. municipio de Santander de Quilichao, Vereda de San Rafael. **Fuente:** Elaboración propia

6.3.10 Cobertura de la tierra punto diez

Este punto se encuentra ubicado en el municipio de Caloto, en la vereda el Nilo, su paisaje se caracteriza por tener pequeñas montañas típicas de un piedemonte, que en este caso sería, el encuentro de la cordillera Central con el valle geográfico del río Cauca. Sus aguas se drenan en la cuenca baja del río Palo que termina desembocando en el río Cauca unos kilómetros más adelante. Su cobertura de la tierra está dominada por los pastizales generados para la ganadería, seguido de los bosques de galería y arbustos que posiblemente se deban a potreros en desuso.

La abundancia de individuos en esta población de rana toro, no pudo ser estimada ya que su validación se dio por audios y fotografías de los individuos, donde este sector al igual que el punto cuatro es de carácter agropecuario y en él se encuentran pequeñas piscícolas que suponen una entrada a los territorios por parte de la rana toro.

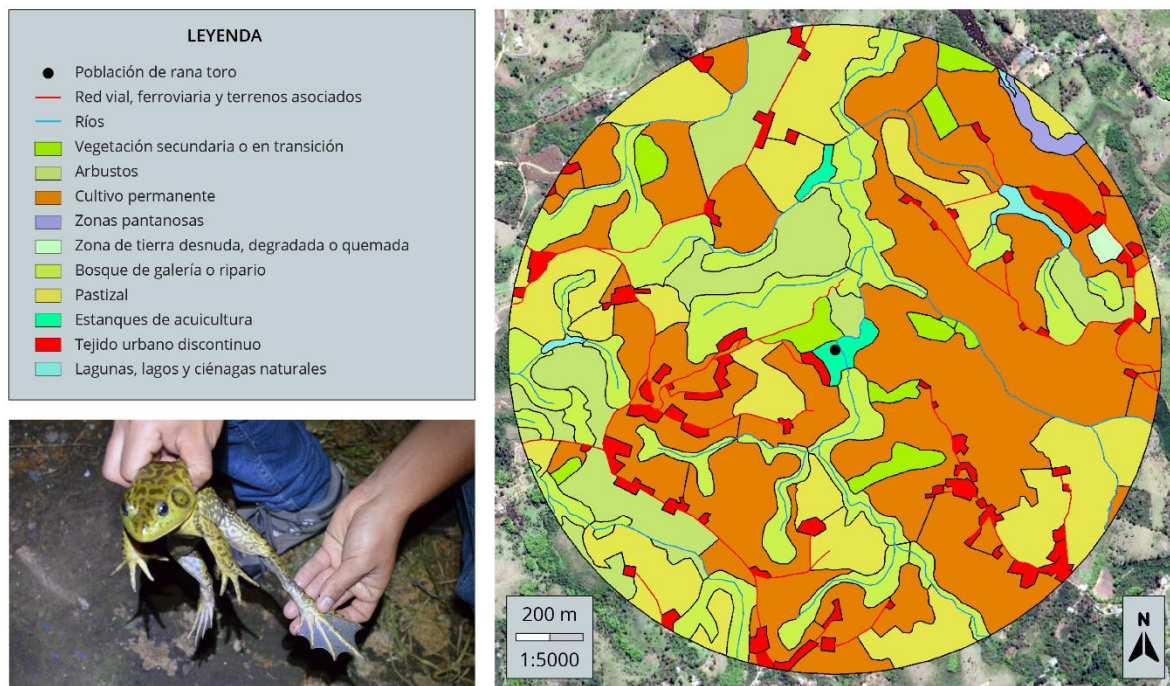


Figura 14: Cobertura de la tierra punto diez. municipio de Caloto, vereda el Nilo.

Fuente: Elaboración propia

6.4 MODELO DE NICHOS DE LA RANA TORO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

Para realizar el modelo de nicho fueron ingresados al programa 158 registros de la rana toro, 148 provenientes de bases de datos y 10 de la búsqueda en el departamento; Y las siguientes 9 variables climáticas: Temperatura media del trimestre más frío (BIO11), Intervalo medio diurno (BIO2), Isotermalidad (BIO3), Rango anual de temperatura (BIO7), Precipitación del mes más lluvioso (BIO13), Precipitación del mes más seco (BIO14), Estacionalidad de precipitación (BIO15), Precipitación del trimestre más cálido (BIO18), Precipitación del trimestre más frío (BIO19). Finalmente, de los modelos resultantes se eligió el mejor modelo bajo el criterio de Akaike y este se puede visualizar mediante dos gráficos, el mapa de idoneidad de hábitat y el mapa de presencia/ausencia.

6.4.1 Mapa de Idoneidad de hábitat

En este mapa (Figura 15), se observa un gradiente de color cuyo máximo de hábitat idóneo con la rana toro es el verde, así pues, se evidencia una alta idoneidad de hábitat en los valles geográficos de los ríos Patía, Cauca, y en la cuenca alta del Río Magdalena, también es de notar una buena afinidad en la parte media de la cuenca Pacífico, en la cuenca Caquetá y en la meseta de Popayán. Por último, las zonas de alta montaña como lo son la cordillera central y occidental junto con la llanura del pacífico son zonas que presentan muy poca o nula idoneidad de hábitat para la rana toro.

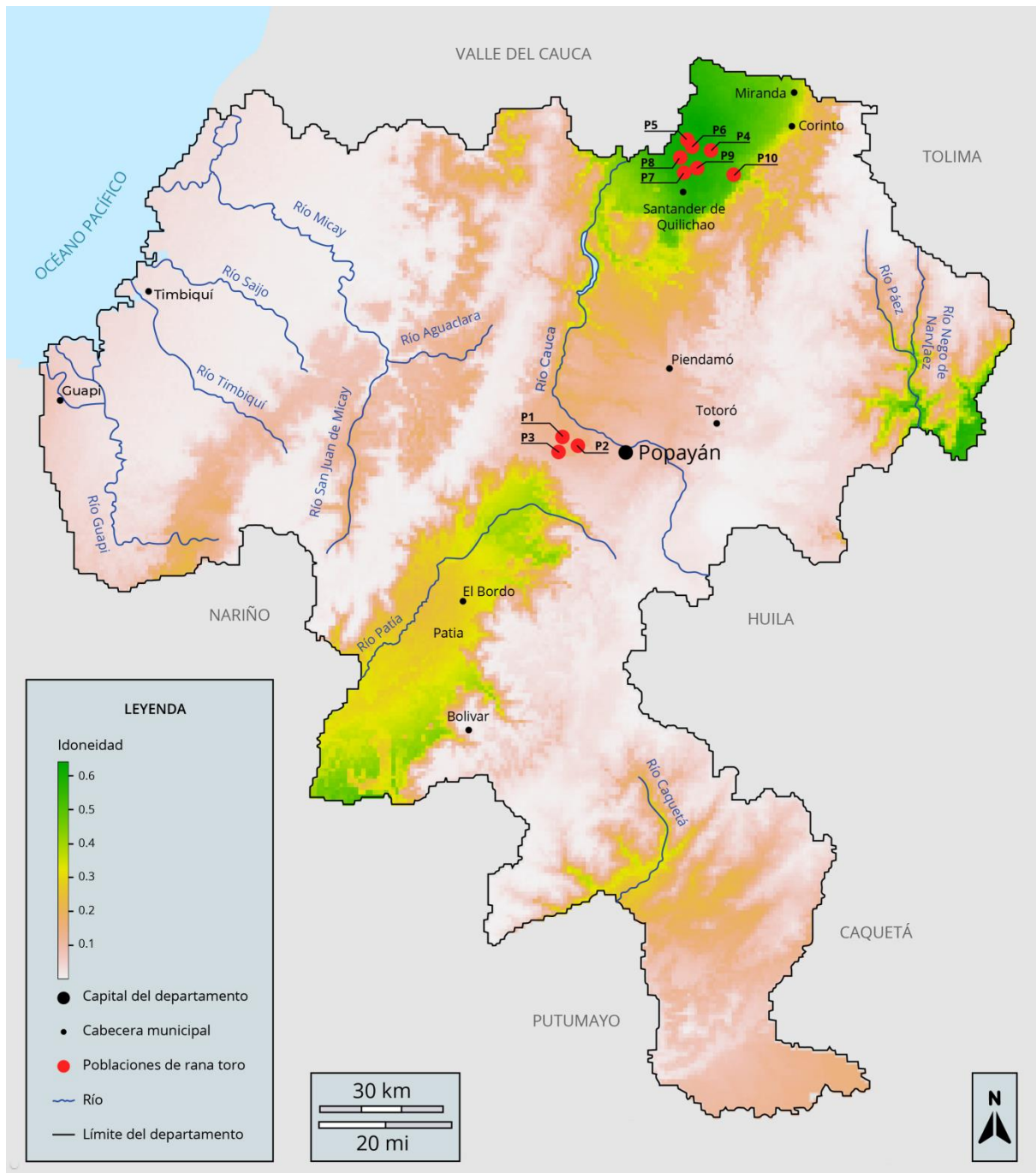


Figura 15: Idoneidad de hábitat de la rana toro en el Cauca.

Fuente: Elaboración propia

6.4.2 Mapa de presencia /ausencia

Este mapa (figura 16) muestra las áreas susceptibles a la invasión de la rana toro, ya que sus poblaciones son recientes, y en algunos casos posiblemente confinadas, donde podemos observar en color rojo los puntos de presencia de la rana toro encontrados en este estudio y como encajan dentro del área predicha por el modelo para su presencia, y a partir de ellos, podemos inferir un aumento de área colonizada en el futuro. La cuenca del río Cauca es la única donde se encontró con poblaciones establecidas de la rana toro, a pesar de esto, todas las cuencas son potenciales nichos para rana desde este modelo, esto incluye zonas de importancia para la conservación como la cuenca media del Pacífico, la zona media de la cuenca Magdalena, la cuenca Caquetá y el piedemonte amazónico. La totalidad de la meseta de Popayán, el valle geográfico del río Cauca y el valle del río Patía son áreas susceptibles de ser invadidas, y este último presenta una alta afinidad para que ocurra este fenómeno, ya que las poblaciones de rana están en el margen de su divisoria de aguas, separadas por una formación geológica llamada la cuchilla del Tambo.

Para concluir, las áreas susceptibles a la invasión de la rana toro en el departamento del Cauca constituyen 12766 kilómetros cuadrados o lo que sería un 35.03% del territorio departamental según el modelamiento de nicho climático.

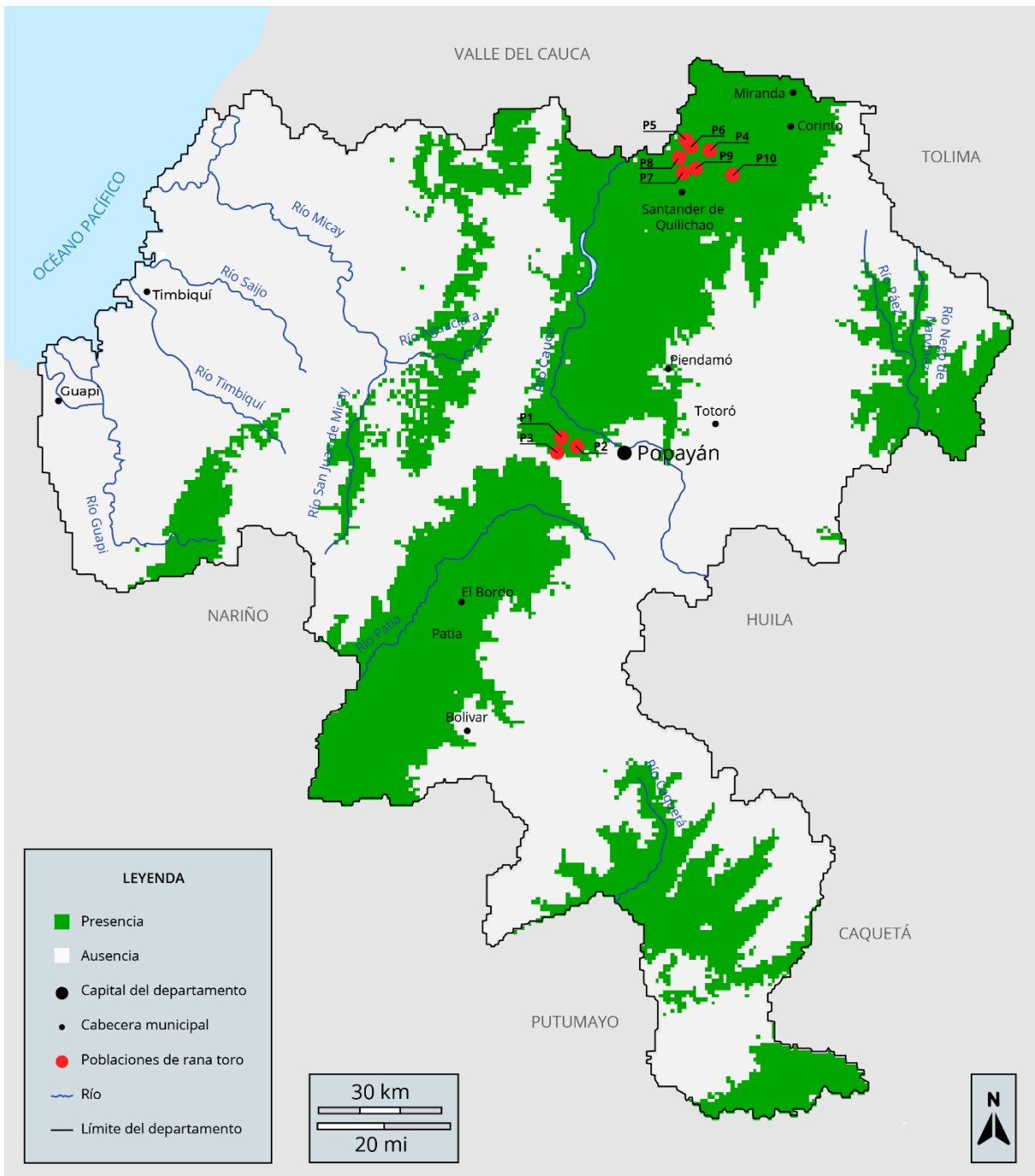


Figura 16: Mapa presencia/ausencia de la rana toro en el Cauca.
Fuente: Elaboración propia

6.5 DISTRIBUCION FUTURA DE LA RANA TORO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

El modelo de distribución futura de la rana toro en el departamento del Cauca permiten visualizar como se convierte la zona andina en un nicho bioclimático potencial para la rana toro en los próximos 80 años; también es resaltable ver como las áreas susceptibles a la invasión de la rana toro aumentan conforme el cambio climático en todos los modelos y en todos los rangos de tiempo, incluso en el modelo más optimista (ssp126) del primer periodo de tiempo 2021-2040 (figura 18) el aumento de áreas susceptibles es de 6483 km² lo que vendría siendo un 17,7 % más en el territorio departamental comparado con el modelo de ocupación actual.

Tabla 3: Áreas de ocupación futura de la rana toro en el departamento del Cauca

AREA OCUPADA (KM²)					
RANGO DE TIEMPO	ssp126	ssp245	ssp370	ssp585	Promedio
2021-2040	19249	20185	19736	19900	19767
2041-2060	17618	18890	20622	20329	19364
2061-2080	17687	19151	20993	21680	19878
2081-2100	17718	18666	21450	22168	20000

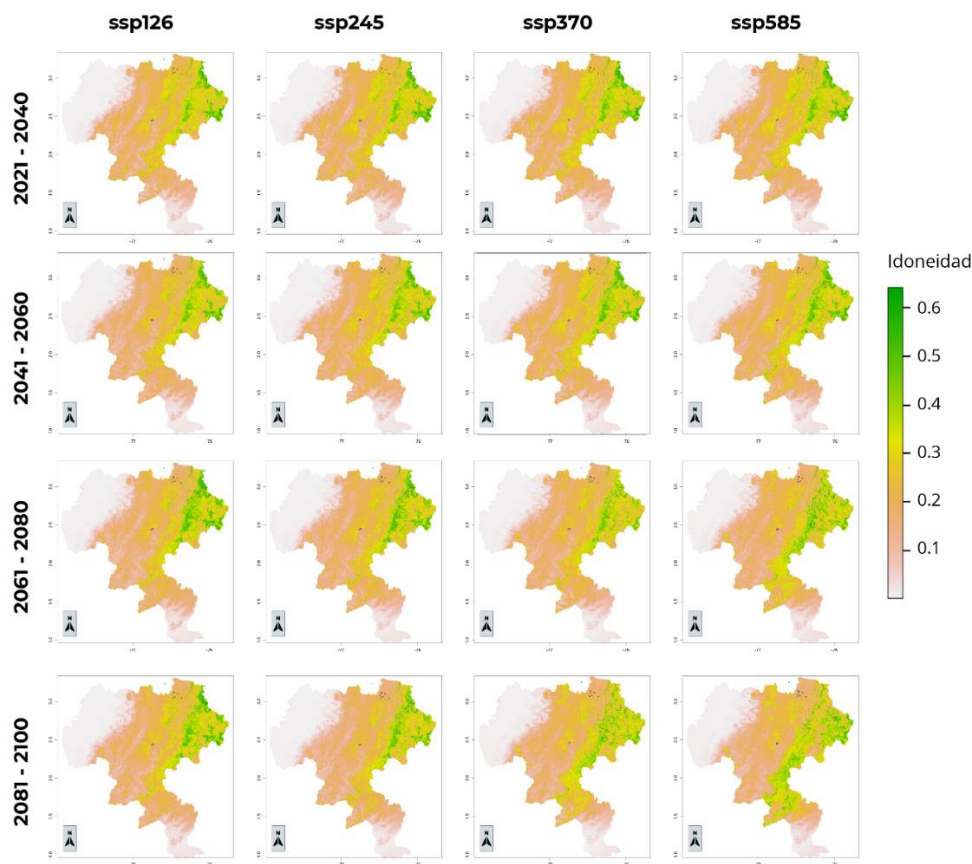


Figura 17: Modelos de idoneidad de hábitat futuro de la rana toro en el Cauca. **Elaboración:** propia

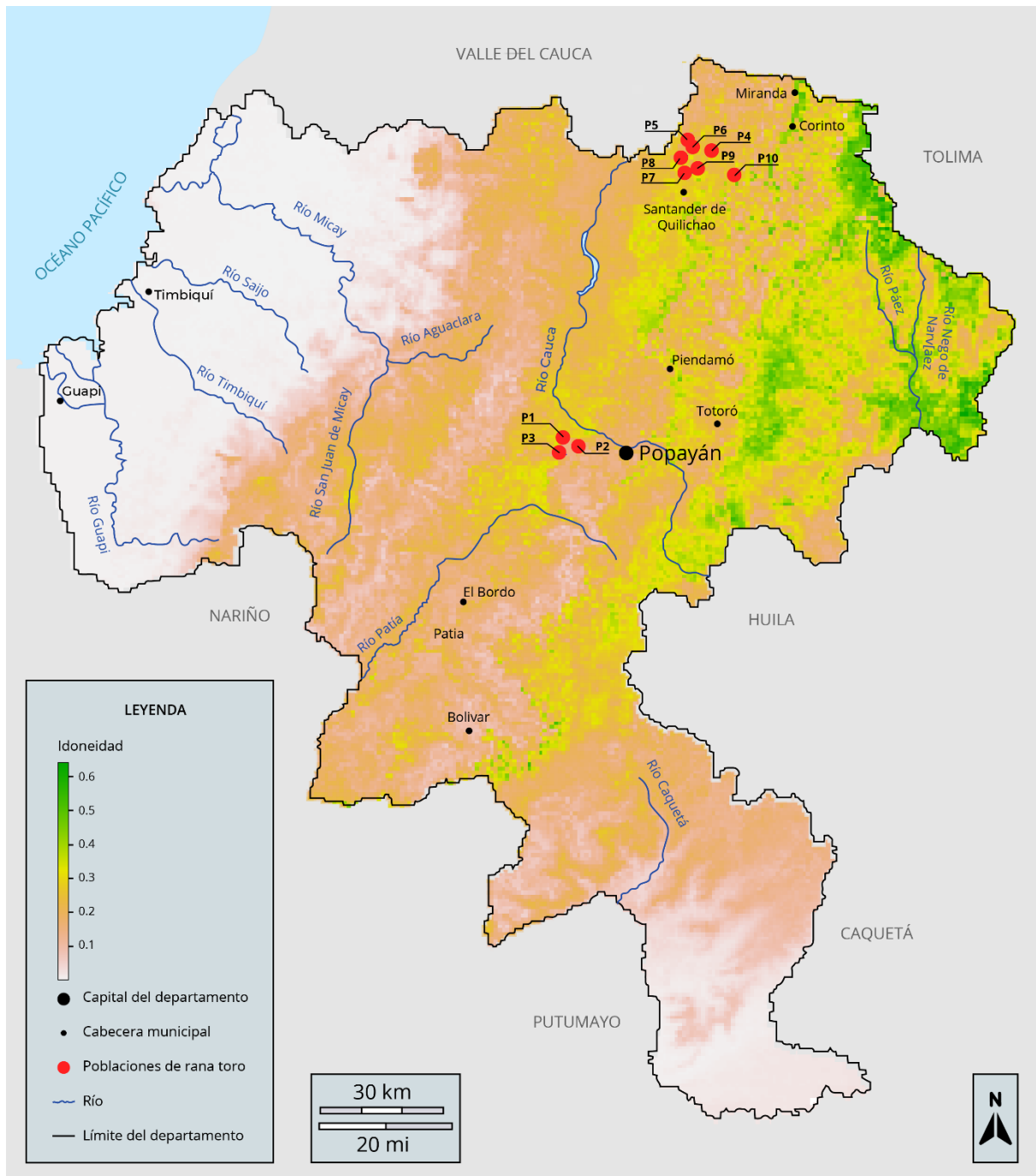


Figura 18: Idoneidad de hábitat futuro de la rana toro en el Cauca en el rango de tiempo 2021-2040 con el ssp126. **Fuente:** Elaboración propia

7 DISCUSION

7.1 VALIDACIÓN DE LA PRESENCIA DE LA RANA TORO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

Este estudio validó la presencia de rana toro en 10 puntos del departamento del Cauca, distribuidos en dos grupos geográficamente separados: la Meseta de Popayán y el Norte del Cauca. Esto indica que la llegada de la rana no solo es un hecho, sino que su expansión en el territorio caucano está en marcha. Es importante destacar que el muestreo en el departamento fue limitado y se basó en encuestas e información humana, lo que no descarta la posibilidad de que existan poblaciones asentadas de rana toro en otras áreas del departamento.

En continuidad, se presentan únicamente los puntos donde se identifican poblaciones de rana toro. Durante la búsqueda de esta especie, se visitaron humedales y piscícolas que podrían albergar poblaciones de rana toro, según los datos recopilados en encuestas previas (Ver tabla 1). A pesar de realizar las visitas, no se localizó la presencia de la rana toro en estos humedales en específico. Esta ausencia podría atribuirse a la posibilidad de que las personas estén confundiendo a la rana toro con el sapo común (*Rhinella horribilis*) debido al desconocimiento de la especie, ya que es el único anfibio en estos humedales que puede alcanzar un tamaño similar

7.2 RELACIÓN ENTRE LA RANA TORO Y LA ACUICULTURA

Se destaca la presencia constante de estanques de acuicultura en los mapas de cobertura realizados. En los casos donde no se registraban directamente, se identificaban a una distancia máxima de dos kilómetros. Esta cercanía sugiere una posible relación entre la presencia de la rana toro y la actividad de acuicultura en el departamento. No obstante, los datos presentados en este estudio son insuficientes para establecer una correlación fiable entre ambas. Se sugiere dirigir la búsqueda de la rana toro hacia áreas donde se desarrolla la acuicultura para futuras investigaciones. Además, estos espacios asociados con la acuicultura podrían ser focos de interés para evaluar el impacto de esta especie invasora.

En contraste, la ausencia de lagos de piscicultura en los puntos cinco, seis y ocho del norte del Cauca plantea cuestionamientos sobre la movilidad y el tiempo de llegada de la rana toro. Esta carencia podría indicar una notable capacidad de desplazamiento de la especie, considerando las pisciculturas como posibles núcleos de dispersión.

7.3 MOVILIDAD Y AMENAZAS EN DIFERENTES ÁREAS DEL DEPARTAMENTO

Los puntos localizados en la meseta de Popayán, próximos a la divisoria entre los ríos Cauca y Patía, plantean una amenaza para la fauna y los ecosistemas del valle del río Patía. El bosque seco, considerado el ecosistema más amenazado del país, presenta dinámicas particulares que podrían verse afectadas si la rana toro invadiera la región, según lo sugiere el modelado del nicho ecológico. Esta invasión podría poner en riesgo a las especies que dependen de este hábitat.

Por otro lado, el grupo de poblaciones en el municipio de El Tambo parece tener una movilidad limitada y estar confinado. Esto puede atribuirse a la conectividad de los

humedales invadidos, entrelazados por quebradas y ríos de caudal variable, separados por montañas de mayor pendiente que las presentes en el valle del río Cauca. A pesar de este confinamiento, la alerta de invasión de la rana toro no disminuye. En esta área, la alta movilidad de peces destinados a la piscicultura y la aparente restricción territorial podrían aumentar las densidades dentro de las poblaciones de la rana, incrementando así la probabilidad de su transporte involuntario por personas o su desplazamiento como polisones.

Los paisajes de ambos grupos comparten similitudes en su topografía, caracterizados por terrenos planos con pequeñas elevaciones, propicios para la formación de humedales y pantanos de aguas lentas, entornos donde la rana toro tiende a establecerse. Estas observaciones coinciden con informes previos (Bury et al., 1984; Rueda-Almonacid, 1999; Ardila Vargas, 2004). También se aprecia que son territorios donde la presencia humana es fuerte (Ver Tabla 2) y que esto genera ecosistemas intervenidos, los cuales, según la bibliografía, son de preferencia para esta especie (Ardila Vargas, 2004; Yihua & Yiming, 2014)

7.4 MODELAMIENTO DE NICHOS ECOLÓGICOS Y SUS PREDICCIONES A FUTURO

7.4.1 Enfoque y comparación con estudios previos

El modelamiento de nicho se basó en 158 registros de la rana toro en el país, similar al enfoque utilizado por estudios previos, como el de Manuel Dueñas en 2020, que empleó 146 registros en Suramérica para su modelamiento en Ecuador, y los 184 registros en Colombia utilizados por Alejandro Bonilla en 2017 (Bonilla, 2017), Algunos estudios más antiguos realizaron modelamientos con un número significativamente mayor de registros, como $240 \pm$ (Urbina & Castro, 2010) y 1431 (Urbina et al., 2011), aunque estos registros correspondían a distribuciones en su área nativa y global. Sin embargo, a diferencia de los modelos anteriores que se centraron en registros más alejados del área de estudio, este estudio se enfoca en datos cercanos al área específica de investigación, lo que posiblemente contribuya a una mayor precisión en la modelización del nicho de la rana toro en este contexto geográfico.

También, algunos modelos anteriores utilizaron métricas más comunes de desempeño, como el AUC (área bajo la curva), para validar los modelos generados. Sin embargo, algunos autores argumentan que el uso del AUC como medida absoluta de rendimiento para los ENMs (Modelos de Distribución de Especies) presencia-fondo podría no ser apropiado (Kass et al., 2022; Lobo et al., 2008); en contraste este estudio optó por el uso del AICc (criterio de información de Akaike corregido), basado en la metodología del paquete ENMeval (Kass et al., 2022), como indicador de selección. Esta elección puede representar una diferencia significativa en la evaluación del rendimiento de los modelos, proporcionando una perspectiva alternativa y posiblemente más apropiada para los ENMs (Modelos de Distribución de Especies) en este contexto específico.

Finalmente, el modelo de idoneidad de hábitat actual de la rana toro se comporta de manera similar a la propuesta de modelo generada por Urbina en el 2011 en donde la meseta de Popayán se ve altamente vulnerable a esta invasión. Sin embargo, en dicha publicación el norte del Cauca y la cuenca norte del río Patía no son zonas aptas para la especie contrario a los resultados del presente modelamiento y a las

evidencias de 7 poblaciones establecidas en el norte del Cauca en el presente estudio. Igualmente, la publicación de la distribución potencial de la rana toro en Colombia propuesta por Bonilla-Forero en el 2018 muestra similitudes visuales con el modelo propuesto en este estudio en donde la zona norte del departamento del Cauca y la cuenca norte del río Patía se ve altamente vulnerable a la invasión de la rana toro, sin embargo, este estudio muestra como barrera la meseta de Popayán y en ella no dispone un riesgo de invasión, cosa que contradice el presente modelo en donde la meseta se ve altamente amenazada y en donde se han podido observar ya poblaciones establecidas de la rana en cuestión.

7.4.2 Susceptibilidad del departamento del Cauca

El modelo de nicho generado recientemente destaca la susceptibilidad del departamento del Cauca a una invasión rápida de la rana toro. A pesar de las barreras geográficas presentes en la región, su desplazamiento no solo se debe a su capacidad de movimiento, sino también a situaciones en las que es transportada involuntariamente, lo que incluye ser llevada como polizón. Por esta razón, aunque la aparición de poblaciones en ciertos espacios sea menos probable, se optó por no excluirlas del modelo. Esto con el fin de identificar que estos espacios no están completamente exentos de la colonización por parte de esta especie invasora.

7.4.3 Análisis por cuencas

De lo anterior podemos visualizar en la figura 14 como las cinco cuencas hidrográficas con las que cuenta el departamento del Cauca son potenciales nichos para la rana toro, es de notar por ejemplo como la cuenca alta de los ríos Cauca, Patía y Magdalena evidencian ser un nicho mucho más apto que la cuenca Pacífico o Caquetá, sin embargo, haciendo una recapitulación de las necesidades de nicho de esta especie, se encuentra que prefiere cuerpos de agua lénticos y permanente lo que nos lleva a hacer un pequeña reflexión individual de las cinco cuencas en estudio con el fin encontrar cuencas más susceptibles a la invasión de la rana toro.

La cuenca alta del río Magdalena en el departamento del Cauca comprende los municipios de Belalcázar e Inzá y en ellas las subcuentas de los ríos Páez, Moras y Ullucos abarcando un 10,7% del área del departamento. Estas cuencas cuentan con un amplio rango altitudinal, que va desde 5.500 hasta 1.000 msnm, lo que genera vertientes muy escarpadas con cauces profundos que producen valles y terrazas aluviales muy pequeñas (Martínez, 2019), lo anterior nos muestra que a pesar de que en nuestro modelamiento dicha zona cuenta con una muy alta idoneidad de hábitat esta no cuenta con una red o grandes zonas de humedales lénticos y por tanto es una zona cuyo riesgo de invasión puede ser menor al de otras áreas en el departamento. Cabe recordar que el modelo se basa en la compatibilidad bioclimática, ignorando otros factores que afectan el espacio hiperdimensional del nicho ecológico de la especie.

En ese mismo orden de ideas, la cuenca Pacífico del departamento del Cauca representa un 35% de la superficie del departamento y comprende los municipios de Argelia, Guapi, Timbiquí, López y gran parte del municipio de El Tambo, con ríos importante como el Naya, Micay, Saija, Guapi y un sin número de quebradas que desembocan en el océano Pacífico. Dicha cuenca se caracteriza por presentar altas

pendientes en la parte superior de la cordillera, donde hay un efecto regulador de la vegetación y el agua alcanza mayores velocidades en su descenso. En la llanura del Pacífico, la velocidad de las aguas de los ríos es menor y de ensanchamiento en los esteros, debido a la baja pendiente y al efecto de las mareas (Martínez, 2019). Según el modelamiento de nicho realizado en el presente trabajo, la zona que presenta riesgo de invasión de la rana toro es la parte alta de la cuenca pacífico y al igual que en la cuenca alta del río Magdalena la zona cuenta con pendientes fuertes lo que genera poca presencia de humedales de aguas lenticas y por tanto puede ser un área poco viable para el establecimiento de grandes poblaciones de rana toro.

En igual forma que las dos cuencas anteriores se encuentra la cuenca alta del río Caquetá, esta cuenca comprende el 16,3% del área departamental y desciende desde los 3.800 hasta 400 msnm. A esta cuenca pertenecen parte de algunos municipios, como San Sebastián, Santa Rosa y Piamonte. Tal gradiente altitudinal impide como ya se ha dicho la formación de grandes redes de humedales de aguas lenticas en las cuencas altas, pero para este caso de la cuenca alta del río Caquetá que está ubicada sobre el municipio de Piamonte ocurre la caída a la planicie amazónica y esto conlleva a que se generen humedales como pantanos, lagos, lagunas y madres viejas que podrían posibilitar el establecimiento y la proliferación de la rana toro en el sur oriente del departamento. A pesar de esto en la cuenca no se conocen reportes de la rana toro y la producción piscícola se da con especies de la región y la movilidad de alevinos se da principalmente por la ruta que conduce al Mocoa y el Huila en la mayoría de los casos, pudiendo ralentizar la colonización de la rana.

Una de las cuencas geográficas que más generan preocupación en la cuenca del río Patía, según este modelamiento su cuenca alta presenta una idoneidad de hábitat alta para la rana toro, esta cuenca tiene un área que representa cerca del 18,4% del área del departamento y en ella se encuentra uno de los ecosistemas más amenazados del país que es el bosque seco tropical. La preocupación no solo radica la gran afinidad con la rana toro, sino en que tres de las poblaciones encontradas en este estudio (punto uno, dos y diez) se encuentran a menos de tres kilómetros de la divisoria de aguas de esta cuenca con la del río Cauca (ver figura 3 y 14). Es evidente en el mapa de presencia/ausencia (figura 15) que la formación geológica llamada la cuchilla de El Tambo es una barrera natural que puede evitar o impedir la propagación de la rana hacia el valle del río Patía, pero este es uno de los medios de dispersión de la rana y en dicho valle se realizan actividades de piscicultura que podrían posibilitar el transporte y establecimiento de la rana.

Otra situación preocupante que se encontró es la de la cuenca alta del río Cauca cuya extensión equivale a cerca del 25,2% de la superficie del departamento. En esta cuenca fue donde se encontró las diez poblaciones de rana toro y es en donde quizás se debe hacer mayor énfasis en los momentos de implementar un plan de manejo departamental. Se podría dividir como ya se dijo la invasión de la rana en dos espacios dentro de la cuenca del río Cauca, la primera es el grupo de la meseta de Popayán que cuenta con tres poblaciones establecidas en este estudio, estas se encuentran en el municipio de El Tambo y están ligeramente confinadas por la topografía, pero con unas poblaciones altamente densas lo que las puede convertir en sitios proveedores o sumideros de individuos para la colonización de nuevos espacios. Por otro lado, se tiene el valle geográfico del río Cauca que corresponde al departamento del Cauca, esta zona al parecer está siendo invadida de manera efectiva por la rana

y según el modelo podría ser ocupada casi en su totalidad por poblaciones de la misma.

7.4.4 Modelamiento de nicho futuro

Por otra parte este trabajo presenta un modelamiento de nicho futuro de la rana toro en el departamento del Cauca mediante el modelo de cambio climático llamado ACCESS-ESM1-5 en cuatro periodos de tiempo con un rango de 20 años (2021-2040/2041-2060/2061-2080/2081-2100) y en las cuatro rutas socioeconómicas compartidas (ssp), a medida que estas aumentan en número (126-245-370-545) es mayor el aumento de temperatura y menos las acciones tomadas en conjunto por los gobiernos para mitigar los efectos del cambio climático. Como se puede apreciar en los diferentes modelos de nicho futuro para la rana toro, espacios que antes no estaban disponibles como los humedales alto andinos de la cordillera central podrían verse amenazados por la invasión de esta especie.

Por otro lado, a pesar que en los modelamientos futuros se visualiza como algunos espacios reducen su afinidad de idoneidad de hábitat como lo es el norte del Cauca y el Valle del Patía, esto no supone que dejen de estar disponibles como futuros nichos, todo lo contrario, dicho cambio climático representa una mayor disponibilidad de hábitat para la rana toro en el departamento eliminando barreras bioclimáticas como los son los gradientes de temperatura generados por los cambios altitudinales. Todo lo anterior amenaza de forma directa también las zonas dispuestas para la conservación de la naturaleza como lo son los parques naturales que por lo general se ubican en la media y alta montaña de las cordilleras central y occidental.

8 CONCLUSIONES

A continuación, se muestran las conclusiones de esta investigación resaltando los aspectos más importantes.

- 1. Ubicación de poblaciones de rana toro:** Se identificaron 10 puntos con presencia de rana toro en el departamento del Cauca, distribuidos en la cuenca alta del río Cauca, específicamente en la meseta de Popayán, municipio de El Tambo, y en el valle geográfico del río Cauca en los municipios de Guachené, Santander de Quilichao, Villa Rica y Caloto.
- 2. Preferencias ambientales y dispersión:** El estudio de cobertura del suelo reveló la flexibilidad de la rana toro para ocupar entornos naturales altamente intervenidos y cuerpos de agua artificiales, destacando su preferencia por humedales de aguas estancadas. Las actividades humanas relacionadas con la piscicultura y la presencia de humedales artificiales facilitan su dispersión.
- 3. Riesgo de invasión según modelado de nicho:** Todas las cuencas hidrográficas del departamento, especialmente la cuenca alta del río Cauca y la cuenca alta del río Patía, presentan riesgo de invasión por la rana toro; aunque en el Patía, si bien existe una barrera geográfica llamada la cuchilla del Tambo, las poblaciones de rana toro están justo al límite de esta barrera.
- 4. Impacto de las barreras geográficas:** Las cuencas altas del Pacífico, el Magdalena y el Caquetá presentan áreas susceptibles de invasión, aunque estas posibilidades se reducen debido a la lejanía de poblaciones confirmadas y a las barreras geográficas como la cordillera central y occidental.
- 5. Proyecciones de cambio climático:** Todos escenarios de cambio climático utilizados predicen un aumento mínimo del 17% en áreas aptas para la invasión de la rana toro, eliminando barreras geográficas como la cordillera central.
- 6. Cambio en áreas aptas para invasión:** La planicie amazónica en el municipio de Piamonte es un nicho potencial para la rana toro en la actualidad. Sin embargo, según los modelos de cambio climático presentados en este estudio, esta zona dejará de ser apta para la invasión en el futuro.

9 RECOMENDACIONES

- **Implementar un plan integral de manejo:** Urge la creación e implementación de un plan integral de manejo de la rana toro en el departamento del Cauca, priorizando acciones de control y erradicación en áreas críticas como la vereda el Zarzal del municipio del El Tambo y en el Valle del río Cauca al norte del departamento.
- **Educación comunitaria y en la industria piscícola:** Ampliar y diversificar las actividades de divulgación sobre la rana toro, enfocándose en la identificación, manejo y reporte de esta especie invasora, especialmente entre las personas involucradas en la piscicultura.
- **Monitoreo recurrente de áreas críticas:** Realizar seguimientos periódicos en el norte del valle geográfico del río Patía para prevenir una potencial invasión en este ecosistema crucial.
- **Ampliar la búsqueda de la rana toro:** Realizar una búsqueda más exhaustiva en el departamento del Cauca para comprender la extensión actual de la invasión en la región.
- **Estudios de hábitat y nicho ecológico:** Realizar investigaciones sobre el hábitat preferido de la rana toro, su historia de vida y posibles solapamientos con otras especies de anuros para una mejor comprensión de su comportamiento.
- **Estudios de dinámica poblacional:** Profundizar en estudios sobre la reproducción y dinámica poblacional de la especie para mejorar estrategias de manejo, control y erradicación.

10 BIBLIOGRAFIA

- AmphibiaWeb. (2023). *Lithobates vaillanti*.
https://amphibiaweb.org/cgi/amphib_query?where-genus=Rana&where-species=vaillanti
- Angulo, A., Rueda-Almonacid, J. V., & Rodríguez-Mahecha, J. V. (2006). *Técnicas de Inventario y Monitoreo para los Anfibios de la Región Tropical Andina*.
- Ardila Vargas, D. S. (2004). *USO DE HABITAT DE Rana catesbeiana EN EL MUNICIPIO DE PEREIRA, RISARALDA*.
- Azat, C., Alvarado-Rybak, M., Solano-Iguaran, J. J., Velasco, A., Valenzuela-Sánchez, A., Flechas, S. V., Peñafiel-Ricaurte, A., Cunningham, A. A., & Bacigalupe, L. D. (2022). Synthesis of Batrachochytrium dendrobatidis infection in South America: amphibian species under risk and areas to focus research and disease mitigation. *Ecography*, 2022(7), 1–12. <https://doi.org/10.1111/ecog.05977>
- Baptiste, M. P., Castaño, N., Lasso, C. a., Cárdenas, D., Gutiérrez, F. D. P., & Gil, D. L. (2010). Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia. In ... *Bogotá, DC, Colombia*. <http://www.acictios.org/publi/1.pdf>
- Barona Cortés, E. (2015). *Efecto acústico de ranas invasoras en el ensamble de anuros del Valle del río Cauca*. 1–13.
- Batrachia. (2013). *Lithobates spp*. <https://www.batrachia.com/orden-anura/ranidae-3-spp/>
- Becerra López, J. L., Esparza Estrada, C. E., Romero Méndez, U., Sigala Rodríguez, J. J., Mayer Goyenechea, I. G., & Castillo Cerón, J. M. (2017). Evidence of niche shift and invasion potential of *Lithobates catesbeianus* in the habitat of Mexican endemic frogs. *PLoS ONE*, 12(9), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185086>
- Bonilla, J. A. (2017). *Distribucion potencial de la especie Lithobates catesbeianus en la region continental de Colombia bajo iteraciones de cambio climatico*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Borzée, A., Kosch, T. A., Kim, M., & Jang, Y. (2017). Introduced bullfrogs are associated with increased *Batrachochytrium dendrobatidis* prevalence and reduced occurrence of Korean treefrogs. *PLoS ONE*, 12(5), 190551. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177860>
- Bury, R. B., States, U., Survey, G., & Conservation, H. (1984). *Ecology and Management of the Bullfrog March*.
- CAR. (2016a). *IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN PARA LA PREVENCIÓN , MONITOREO Y CONTROL DE ESPECIE RANA TORO (Rana catesbeiana). EN LA JURISDICCIÓN CAR* (pp. 1–12).
- CAR, C. A. R. C. –. (2016b). *Plan de Acción para el Control, Manejo y Monitoreo de la Especie Rana Toro (Rana catesbeiana) en la jurisdicción CAR*. 1–39.
- Chang, B., Kim, I., Choi, K., Cho, W., & Ko, D. W. (2022). *Population Dynamics of American Bullfrog (Lithobates catesbeianus) and Implications for Control*.
- CRC. (2010). *Estrategia de control y erradicación de la rana toro (Lithobates catesbeianus) en el municipio de El Tambo, Departamento del Cauca*.
- CRC. (2018). *Boletín informativo N°88*.
- CRC - SIAC. (2017). *Pa*. <https://doi.org/10.1038/oby.2005.31>
- Currie, W., & Bellis, E. (1969). *Home Range and Movements of the Bullfrog , Rana catesbeiana Shaw , in an Ontario Pond*. 1969(4), 688–692.
- CVC. (2020). *Planes de manejo de las especies exóticas invasoras buchón de agua, caracol gigante africano, garza de ganado, hormiga loca, rana coquí y rana toro en el departamento del Valle del Cauca*.
- Daza, J. D., & Castro, F. (1999). Hábitos alimenticios de la rana toro (*Rana Catesbeiana*) Anura: Ranidae, en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23(184), 265–274.
- Dueñas-Tituaña, M. R. (2020). *EFFECTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RANA INVASORA LITHOBATES CATESBEIANUS*

(SHAW 1802) (ANURA: RANIDAE) EN EL ECUADOR CONTINENTAL PARA EVALUAR SU RESPUESTA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO.

- Durham, L., & Bennett, G. (1963). Age, Growth, and Homing in the Bullfrog. *The Journal of Wildlife Management*, Vol. 27, No. 1 (Jan., 1963), Pp., 27(1), 107–123.
- Emlen, S. (1968). *Territoriality in the Bullfrog, Rana catesbeiana* (Vol. 2, Issue 2, pp. 240–243). American Society of Ichthyologists and Herpetologists (ASIH). <https://www.jstor.org/stable/1441748>
- Eskew, E. A., Worth, S. J., Foley, J. E., & Todd, B. D. (2015). American Bullfrogs (*Lithobates catesbeianus*) Resist Infection by Multiple Isolates of *Batrachochytrium dendrobatidis*, Including One Implicated in Wild Mass Mortality. *EcoHealth*, 12(3), 513–518. <https://doi.org/10.1007/s10393-015-1035-2>
- Ficetola, G. F., Thuiller, W., & Miaud, C. (2007). Prediction and validation of the potential global distribution of a problematic alien invasive species - The American bullfrog. *Diversity and Distributions*, 13(4), 476–485. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00377.x>
- Flechas, S. V., Paz, A., Crawford, A. J., Sarmiento, C., Acevedo, A. A., Arboleda, A., Bolívar-García, W., Echeverry-Sandoval, C. L., Franco, R., Mojica, C., Muñoz, A., Palacios-Rodríguez, P., Posso-Terranova, A. M., Quintero-Marín, P., Rueda-Solano, L. A., Castro-Herrera, F., & Amézquita, A. (2017). Current and predicted distribution of the pathogenic fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* in Colombia, a hotspot of amphibian biodiversity. *Biotropica*, 49(5), 685–694. <https://doi.org/10.1111/btp.12457>
- Flechas, S. V., Urbina, J., Crawford, Andrew J Gutiérrez, K., Corrales, K., Castellanos, L. A., González, M. A., & Cuervo, Andrés M. Catenazzi, A. (2023). First evidence of ranavirus in native and invasive amphibians in Colombia. *DAO*, 153, 51–58. <https://www.int-res.com/abstracts/dao/v153/p51-58/>
- Galli, L., Pereira, A., Márquez, A., & Mazzoni, R. (2006). Ranavirus detection by PCR in cultured tadpoles (*Rana catesbeiana* Shaw, 1802) from South America. *Aquaculture*, 257(1–4), 78–82. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.06.019>
- Galván-Guevara, S., & De la Ossa, V. J. (2011). Fauna exótica y fauna trasplantada con mayor representatividad en Colombia. *Revista Colombiana Ciencias Animales*, 3(1), 167–179.
- Giovanelli, J. G. R., Haddad, C. F. B., & Alexandrino, J. (2008). Predicting the potential distribution of the alien invasive American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Brazil. *Biological Invasions*, 10(5), 585–590. <https://doi.org/10.1007/s10530-007-9154-5>
- Grinnell, J. (1917). The niche relationships of the California thrasher. *Science*, 2(29), 242–250. <https://archive.org/details/jstor-4576614>
- Gutiérrez, F. D. P. (2006). De especies invasoras: Propuesta de lineamientos para el control de los impactos. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, 156. <http://www.humboldt.org.co/es/noticias/item/294-estado-de-conocimiento-de-especies-invasoras-propuesta-de-lineamientos-para-el-control-de-los-impactos>
- Gutiérrez, F., Lasso, C., Baptiste, M., Sanchez-Duarte, P., & Díaz, A. (2015). Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y transplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves. In *PhD Proposal* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hanselmann, R., Rodríguez, A., Lampo, M., Fajardo-Ramos, L., Alonso Aguirre, A., Marm Kilpatrick, A., Paul Rodríguez, J., & Daszak, P. (2004). Presence of an emerging pathogen of amphibians in introduced bullfrogs *Rana catesbeiana* in Venezuela. *Biological Conservation*, 120(1), 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.02.013>
- Hausfather, Z. (2020). CMIP6: the next generation of climate models explained. *Carbonbrief*. <https://web.archive.org/web/20201030021903/https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>
- Hernández, G., Lahmann, E., & Pérez-Gil, R. (2002). *Invasores en mesoamérica y el caribe*.
- Howard, R. D. (1981). Sexual Dimorphism in Bullfrogs. *Wiley on Behalf of the Ecological Society of America*, 62(2), 303–310.

- IAvH. (2020). *Instituto de Investigacion de Recursos Biologicos Alexander von Humbolt*. <http://www.humboldt.org.co/es/>
- IDEAM, IGAC, & CORMAGDALENA. (2008). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000* (Vol. 21, Issue 1). <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2015). Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científica para los Tomadores de Decisione- Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicacion Nacional de Cambio Climatico. In *BMC Genetics* (Vol. 13, Issue 114). <https://doi.org/10.1186/1471-2156-13-58>
- Illoldi, P., & Escalante, T. (2008). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*, 3(January 2008), 7–12.
- Ingram, W., & Raney, E. C. (1943). *Additional Studies on the Movement of Tagged Bullfrogs , Rana catesbeiana*. 29(1), 239–241.
- Iñiguez, C. A., & Morejón, F. J. (2012). Potential Distribution of the American Bullfrog (*Lithobates Catesbeianus*) in Ecuador . *South American Journal of Herpetology*, 7(2), 85–90. <https://doi.org/10.2994/057.007.0211>
- Johovic, I., Gama, M., Banha, F., Tricarico, E., & Anastácio, P. M. (2020). A potential threat to amphibians in the European Natura 2000 network: Forecasting the distribution of the American bullfrog *Lithobates catesbeianus*. *Biological Conservation*, 245(January), 108551. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108551>
- Kass, J. M., Muscarella, R., Pinilla-Buitrago, G. E., & Galante, P. J. (2022). *ENMeval 2.0 Vignette*. <https://jamiemkass.github.io/ENMeval/articles/ENMeval-2.0-vignette.html#select>
- Korschgen, L. J., & Moyle, D. L. (1955). Food Habits of the Bullfrog in Central Missouri Farm Ponds. *The American Midland Naturalist*, 54(2), 332–341.
- Leivas, P. T., Leivas, F. W. T., & Moura, M. O. (2012). Diet and trophic niche of lithobates catesbeianus (Amphibia: Anura). *Zoologia*, 29(5), 405–412. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702012000500003>
- Lobo, J. M., Jiménez-valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17(2), 145–151. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>
- Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., & De Poorter, M. (2004). *100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database*. 12.
- Lynch, J. D. (2005). An alert concerning a possible threat to the amphibian fauna of the Andes: discovery of the american bullfrog in eastern Colombia. *Revista Acad. Colomb. Cienc.*, 24(113), 589–590.
- Miaud, C., Dejean, T., Savard, K., Millery-Vigues, A., Valentini, A., Curt Grand Gaudin, N., & Garner, T. W. J. (2016). Invasive North American bullfrogs transmit lethal fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* infections to native amphibian host species. *Biological Invasions*, 18(8), 2299–2308. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1161-y>
- Moyle, P. (1973). *Effects of Introduced Bullfrogs , Rana catesbeiana , on the Native Frogs of the San Joaquin Valley , California Author (s): Peter B . Moyle Published by : American Society of Ichthyologists and Herpetologists (ASIH) Stable URL : https://www.jstor.org/1973(1), 18–22.*
- Mueses-Cisneros, J. J., & Ballén, G. (2007). Un nuevo caso de alerta sobre posible amenaza a una fauna nativa de anfibios en Colombia: Primer reporte de la rana toro (*Lithobates catesbeianus*) en la Sabana de Bogotá. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 31(118), 165–166. [file:///C:/Users/Juan/Documents/Juan Camilo/Juan Camilo/IAVH-especies exoticas 2014/Bibliografia/Especies/Anfibios/Lithobates catesbeianus/2007. Un nuevo caso de alerta sobre posible amenaza a una fauna nativa de anfibios en Colombia. Mueses y Ballen.PDF](file:///C:/Users/Juan/Documents/Juan%20Camilo/Juan%20Camilo/IAVH-especies%20exoticas%202014/Bibliografia/Especies/Anfibios/Lithobates%20catesbeianus/2007.%20Un%20nuevo%20caso%20de%20alerta%20sobre%20posible%20amenaza%20a%20una%20fauna%20nativa%20de%20anfibios%20en%20Colombia.%20Mueses%20y%20Ballen.PDF)

- Muscarella, R., Galante, P. J., Soley-Guardia, M., Boria, R. A., Kass, J. M., Uriarte, M., & Anderson, R. P. (2014). ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(11), 1198–1205. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.12261>
- Nelson, N., & Piovra-Scott, J. (2022). Using environmental niche models to elucidate drivers of the American bullfrog invasion in California. *Biological Invasions*, 24(6), 1767–1783. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02744-3>
- Nori, J., Urbina, N., Loyola, R., & Layanud, G. (2011). *Cambio Climático y la invasion dela rana toro : ¿ Qué podemos esperar en América del Sur ?* 1–8.
- Nori, J., Urbina, N., Loyola, R., Lescano, J., & Leynaud, G. (2011). Climate change and American Bullfrog invasion: What could we expect in South America? *PLoS ONE*, 6(10), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025718>
- ONU. (2013). United Nations Climate Change Portal. In *Choice Reviews Online* (Vol. 50, Issue 07, pp. 50-3868-50–3868). <https://doi.org/10.5860/choice.50-3868>
- Pearl, C. A., Adams, M. J., Bury, R. B., McCreary, B., Pearl, C. A., Adams, M. J., Bury, R. B., & McCreary, B. (2004). *Asymmetrical Effects of Introduced Bullfrogs (Rana catesbeiana) on Native Ranid Frogs in Oregon Published by : American Society of Ichthyologists and Herpetologists (ASIH) Stable URL : https://www.jstor.org/stable/1448632 REFERENCES Linked references. 2004(1), 11–20.*
- Pedroza-Banda, R., & Angarita-Sierra, T. (2011). *Herpetofauna De Los Humedales La Bolsa y Charco de oro, Andalucía, Valle del Cauca, Colombia.*
- Purnima, G., & Res, A. (2018). *Matrix Model Investigation of Invasive Species Control : Bullfrogs on Vancouver Island Author (s) : Purnima Govindarajulu , Res Altwegg and Bradley R . Anholt Published by : Wiley on behalf of the Ecological Society of America Stable URL : http://www.jst. 15(6), 2161–2170.*
- Pyron, R. A., Burbrink, F. T., & Guher, T. J. (2008). Claims of potential expansion throughout the U.S. by invasive python species are contradicted by ecological niche models. *PLoS ONE*, 3(8), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002931>
- Ramírez-chaves, H. E., Pisso-florez, G. A., Liévano-bonilla, A. F., Ayerbe-quiñones, F., Anganoy-criollo, M., & Noguera-urbano, E. A. (2018). *On the distribution of the endemic Boettger ' s Colombian Treefrog , Dendropsophus columbianus (Anura : Hylidae) with distribution extension in southwestern Colombia. 11, 49–58.* <https://doi.org/10.3897/CompCytogen>.
- Raney, E. C., & Ingram, W. M. (1941). *Growth of Tagged Frogs (Rana catesbeiana Shaw and Rana clamitans Daudin) under Natural Conditions. 26(1), 201–206.*
- Rodda, G. H., Jarnevich, C. S., & Reed, R. N. (2011). Challenges in identifying sites climatically matched to the native ranges of animal invaders. *PLoS ONE*, 6(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014670>
- Romero, J. Á., Medellín, R., Oliveras de Sánchez, A., & Héctor, G. de S. (2008). *Animales exóticos en México : una amenaza para la biodiversidad.*
- Ruben, M., Ángel, F., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies : Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84, 217–240.
- Rueda-Almonacid, J. V. (1999). Situación actual y probleática generada por la introducción de "rana toro" a Colombia. In *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (Vol. 23, Issue Suplemento especial, pp. 367–393).
- Ryan, R. A. (1953). Growth Rates of Some Ranids under Natural Conditions. *Nature*, 139(3528), 1014–1014. <https://doi.org/10.1038/1391014a0>
- Schroeder, E., & Baskett, T. (1968). *Age Estimation , Growth Rates , and Population Structure in Missouri Bullfrogs. 1968(3), 583–592.*
- Shine, R. (1979). Sexual Selection and Sexual Dimorphism in the Amphibia. *American Society of Ichthyologists and Herpetologists (ASIH)*, 2, 297–306.
- SIB. (2020). *Sistema de Informacion sobre la Biodiversidad de Colombia.* <https://sibcolombia.net/>
- Society, W. (2018). *Age , Growth , and Homing in the Bullfrog Author (s) : Leonard Durham*

and George W. Bennett Source : *The Journal of Wildlife Management* , Vol . 27 , No . 1 (Jan . , 1963) , pp . 107-123 Published by : Wiley on behalf of the Wildlife Society Stable URL : 27(1), 107–123.

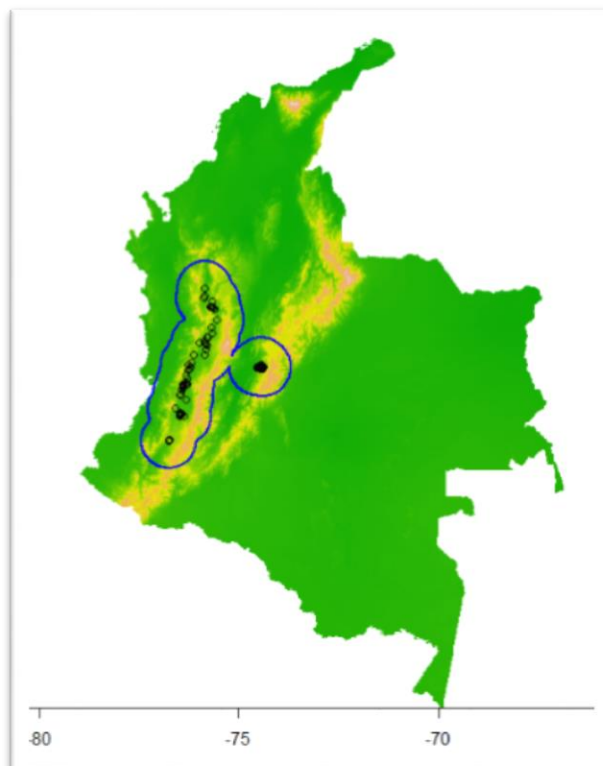
- Soto, I., Cuthbert, R. N., Kouba, A., Capinha, C., Turbelin, A., Hudgins, E. J., Diagne, C., Courchamp, F., & Haubrock, P. J. (2022). Global economic costs of herpetofauna invasions. *Scientific Reports*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15079-9>
- Torres Hernandez, M. P. (2010). *Petrografía, geocronología y geoquímica de las ignimbritas de la formación Popayán, en el contexto del vulcanismo del suroccidente de Colombia*.
- Urbina, J., Bredeweg, E. M., Cousins, C., Blaustein, A. R., & Garcia, T. S. (2020). Reproductive characteristics of American bullfrogs (*Lithobates catesbeianus*) in their invasive range of the Pacific Northwest, USA. *Scientific Reports*, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73206-w>
- Urbina, N., & Castro, F. (2010). Distribución Actual y Futura de Anfibios y Reptiles con Potencial Invasor en Colombia: Una Aproximación Usando Modelos de Nicho Ecológico. *Biodiversidad y Cambio Climático*, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2003.09.014>
- Urbina, N., Nori, J., & Castro, F. (2011). Áreas vulnerables a la invasión actual y futura de la rana toro (*Lithobates catesbeianus*: Ranidae) en Colombia: estrategias propuestas para su manejo y control. *Design*, 12(2), 179–207. <http://www.siac.net.co/biota/handle/123456789/274>
- Vasquez Ochoa, L. A. (2011). *Deteccion de Batrachochytrium dendrobatidis en el ensamblaje de anfibios de la region andina, central, Orinoquia y Amazonica de Colombia y el estudio in-vitro de la accion antagonica de la bacteria Janthinobacterium lividum frente a la cepa Colombiana de B* (Vol. 11, Issue 2). <https://doi.org/10.16194/j.cnki.31-1059/g4.2011.07.016>
- Velasquez, B., Castro-herrera, F., & Herrera-montes, M. I. (2008). Infección por el hongo quitrido *Batrachochytrium Dendrobatidis* en anuros de la Cordillera Occidental de Colombia. *Herpetotropicos*, 4(2).
- Werner, E. E., Wellborn, G. A., Mcpeek, M. A., Werner, E. E., Wellborn, G. A., & Mcpeek, M. A. (1995). Diet Composition in Postmetamorphic Bullfrogs and Green Frogs : Implications for Interspecific Predation and Competition. *Journal of Herpetology*, 29(4), 600–607.
- Wiewandt, T. (1969). *Vocalization , Aggressive Behavior , and Territoriality in the Bullfrog , Rana catesbeiana*. 1969(2), 276–285.
- Willis, Y. L., Moyle, D. L., & Baskett, T. S. (1956). *Emergence , Breeding , Hibernation , Movements and Transformation of the Bullfrog , Rana catesbeiana , in Missouri* Published by : American Society of Ichthyologists and Herpetologists (ASIH) Stable URL : <https://www.jstor.org/stable/1439241> REFERENCES L. 1956(1), 30–41.
- Worldclim. (2022). *Clima mundial*. <https://www.worldclim.org/data/index.html>
- Wu, Z., Li, Y., Wang, Y., & Adams, M. J. (2005). Diet of Introduced Bullfrogs (*Rana catesbeiana*): Predation on and Diet Overlap with Native Frogs on Daishan Island , China. *Journal of Herpetology*, 39(4), 668–674.
- Yihua, W., & Yiming, L. (2014). *Habitat Selection by the Introduced American Bullfrog (Lithobates catesbeianus) on Daishan Island , China*. 43(2), 205–211.

11 ANEXOS

Anexo 1: Fotografías de señuelos usados en la Captura de ejemplares de rana toro



Anexo 2: Mapa del área buffer alrededor de los puntos de presencia de la rana toro en Colombia.



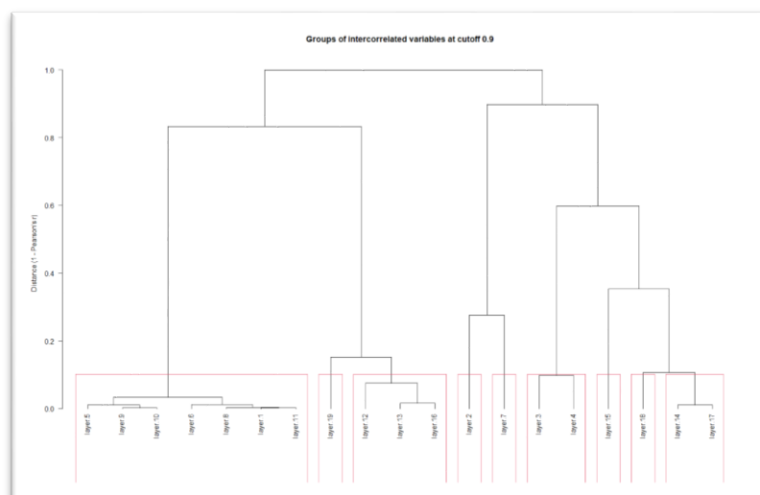
Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Cuadro de variables bioclimáticas con su respectivo código entregadas por el WorldClim en su sitio web.

Código	Variable Bioclimática
BIO1	Temperatura Media Anual
BIO2	Intervalo medio diurno (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) ($\times 100$)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura Media del Cuarto Más Seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación Anual
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la Precipitación (Coeficiente de Variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del Trimestre Más Seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

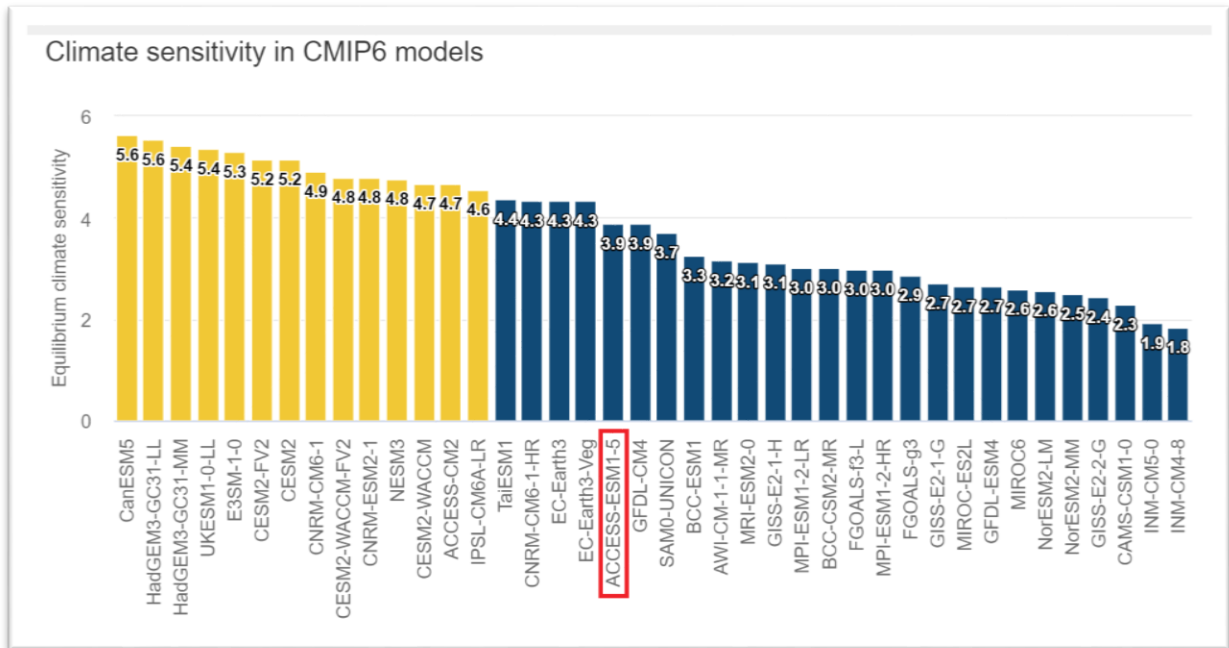
Fuente: WorldClim

Anexo 4: Resultado del índice de correlación de Pearson agrupándolas con similitud de $r \geq 0.9$ realizado sobre las 19 variables bioclimáticas entregadas por le WorldClim.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Grafico de sensibilidad climática de los modelos del CMIP6, En amarillo se enmarca los modelos que superaron la máxima sensibilidad del CIMP5.



Fuente: www.carbonbrief.org