



Universidad Nacional de Costa Rica
Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar
Escuela de Ciencias Geográficas

Práctica profesional supervisada como requisito para optar por el bachillerato en Ciencias
Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio

Título:

*Definición de áreas de conectividad ecológica estructural del Corredor Biológico
Interurbano Cubujuquí, en el cantón de Barva.*

Realizada por:
Aarón Rodríguez Vargas

Instructor: André Hansen Gutiérrez
Profesor: M. Sc. Luis Guillermo Calderón Ramírez
Código de curso: GEI 427

Heredia, Campus Omar Dengo, I Ciclo, 2023

Índice

1. Introducción	7
2. Planteamiento del problema.....	8
3. Objetivos	10
3.1. Objetivo General	10
3.2. Objetivos Específicos.....	10
4. Justificación del estudio.....	11
5. Metodología	13
5.1 Área de estudio:.....	13
5.2. Naturaleza de la investigación.....	17
5.3. Etapas y métodos.....	18
5.3.1. Etapa 1: Caracterización de las variables	18
5.3.2. Etapa 2: Aplicación de la matriz de Saaty	21
5.3.3. Etapa 3: Álgebra de mapas	23
6. Análisis de resultados	24
6.1. Etapa 1: Caracterización de las variables.....	24
6.1.1. Porcentaje de pendientes	24
6.1.2. Tipo de suelo	27
6.1.3. Uso de la tierra.....	29
6.1.4. Geología.....	31
6.1.5. Densidad de población.....	33

6.1.6. Área de protección de pozos y nacientes	35
6.1.7. Zonas de vida de Holdridge	37
6.1.8. Índices de fragilidad ambiental (IFAS)	39
6.1.9. Influencia de la red vial	41
6.1.10. Influencia de la red hídrica	43
6.1.11. Índice de fragmentación del bosque	45
6.1.12. Asignación de pesos de valor	48
6.2. Etapa 2: Aplicación de la matriz de Saaty	51
6.3. Etapa 3: Álgebra de mapas	58
7. Conclusiones	63
6. Cronograma	65
7. Referencias bibliográficas	66
8. Anexos	69

Mapas

Mapa 1: Mapa base del cantón de Barva, 2023	14
Mapa 2: Microcuencas del CBIC dentro del cantón de Barva, 2023	16
Mapa 3: Porcentaje de pendientes, cantón de Barva, 2023	26
Mapa 4: Tipos de suelo según orden, cantón de Barva, 2023	28
Mapa 5: Usos de la tierra, cantón de Barva, 2023	30
Mapa 6: Geología, cantón de Barva, 2023	32
Mapa 7: Densidad de población, cantón de Barva, 2023	34

Mapa 8: Área de protección de pozos y nacientes, cantón de Barva, 2023	36
Mapa 9: Zonas de vida de Holdridge, cantón de Barva, 2023	38
Mapa 10: Índice de fragilidad ambiental, cantón de Barva, 2020	40
Mapa 11: Área de influencia de vías, cantón de Barva, 2023.....	42
Mapa 12: Área de influencia de ríos, cantón de Barva, 2023	44
Mapa 13: Fragmentación del bosque, cantón de Barva, 2023	47
Mapa 14: Áreas de conectividad ecológica estructural del CBIC, cantón de Barva, 2023.....	59

Figuras

Figura 1: Variables y métodos utilizados.....	20
Figura 2: Asignación de pesos de valor	20
Figura 3: Clasificación del grado de conectividad	23
Figura 4: Nivel de importancia de las variables para la conectividad ecológica	52

Tablas

Tabla 1: Área de los distritos en km2	13
Tabla 2: Valores del Índice de Consistencia Aleatoria (CA) según Saaty	22
Tabla 3: Categoría de pendiente	25
Tabla 4: Matriz A de Saaty (pesos).....	55
Tabla 5: Matriz A de Saaty (Eigenvector)	55
Tabla 6: Matriz A1 de Saaty	56
Tabla 7: Resumen de operaciones matriciales	57

Gráficos

Gráfico 1: Proporción de extensión de las categorías de conectividad ecológica estructural del CBIC en el cantón de Barva, 2023	60
---	----

Cuadros

Cuadro 1: Agrupación de las variables de estudio.....	52
Cuadro 2: Asignación de los valores	54

Ecuaciones

(Ecuación 1) Índice de Consistencia (IC)	21
(Ecuación 2) Razón de Inconsistencia (RI)	22
(Ecuación 3) Índice de Fragmentación	45
(Ecuación 4) Índice de Fragmentación (0-1)	45

Lista de acrónimos

Acrónimo	Descripción
<i>CB</i>	<i>Corredor Biológico</i>
<i>CBI</i>	<i>Corredor Biológico Interurbano</i>
<i>CBIC</i>	<i>Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí</i>
<i>GAM</i>	<i>Gran Área Metropolitana</i>
<i>INEC</i>	<i>Instituto Nacional de Estadística y Censos</i>
<i>MAG</i>	<i>Ministerio de Agricultura y Ganadería</i>
<i>MINAE</i>	<i>Ministerio de Ambiente y Energía</i>
<i>PNBC</i>	<i>Parque Nacional Braulio Carrillo</i>
<i>PNCB</i>	<i>Programa Nacional de Corredores Biológicos</i>
<i>SINAC</i>	<i>Sistema Nacional de Áreas de Conservación</i>
<i>SNIT</i>	<i>Servicio Nacional de Información Territorial</i>

1. Introducción

A mediados del siglo pasado, Costa Rica sufrió un proceso de transformación de cobertura vegetal que dejó altas tasas de deforestación, ocasionando la reducción, destrucción, degradación y fragmentación de la mayoría de sus hábitats naturales, lo que condujo a la pérdida y transformación del 75% de su cobertura natural (FAO, 1990. Citado por Canet, 2007. pág. 11). A su vez, este proceso generó distintas problemáticas a nivel ecológico y principalmente una deuda enorme con los habitantes en temas de conservación.

Debido a esto, los corredores biológicos surgieron como respuesta al proceso acelerado de fragmentación de los ecosistemas naturales, y en la década de 1990, el país los implementó con la intención de generar espacios de conectividad ecológica entre las áreas protegidas que funcionan como paso entre las áreas de núcleo (Morera, Sandoval & Alfaro, 2021. pág. 106).

En ese sentido, el país desarrolló una metodología para evaluar la efectividad de manejo de los corredores biológicos, mediante el Programa Nacional de Monitoreo Ecológico en Áreas Protegidas y Corredores Biológicos, llamado PROMEC-CR. Esta metodología permite, en primer lugar, conocer el grado de avance en función de los objetivos de conservación y la sostenibilidad para cada uno de ellos y, en segundo lugar; dar a conocer como la sumatoria de todos ellos está contribuyendo a las metas de conservación del país (Canet, Herrera & Finegan, 2012. párr. 6).

En el caso del presente estudio, se pretende trabajar la conectividad ecológica estructural, al cual Taylor et al. (2006) se refiere como “las relaciones de continuidad y adyacencia entre los fragmentos de un tipo de cobertura” (citado por Correa, Mendoza & Granados, 2014. pág. 8); esto dentro del Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí, únicamente para el cantón de Barva.

Para esto, se utilizará la metodología de Saaty, la cual consiste en la selección de variables relacionadas a la conectividad ecológica, y la elaboración de una matriz de pesos estadísticos que relaciona cada una de las variables en función de su grado de importancia. Finalmente, se determinarán áreas de conectividad ecológica estructural en el cantón de Barva; como un aporte al proyecto Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí.

2. Planteamiento del problema

En Costa Rica, los Corredores Biológicos (CB) son impulsados por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) mediante el Programa Nacional de Corredores Biológicos, con el objetivo de generar conectividad entre los distintos ecosistemas, áreas silvestres protegidas, bosques, paisajes y hábitats naturales o interferidos por el ser humano, ya sea rural o urbano. Con base a esto, en el año 2017 el SINAC incorporó la modalidad de Corredor Biológico Interurbano (CBI), cuando entró en vigencia el Decreto Ejecutivo N° 40043-MINAE, como una estrategia para la conservación y el manejo de la biodiversidad dentro las áreas urbanas del territorio nacional (Alvarado, 2020. pág. 4).

Mediante este decreto, el SINAC tuvo la intención de aprovechar ciertas extensiones territoriales urbanas de relevancia, especialmente dentro de la Gran Área Metropolitana (GAM), para proporcionar la conectividad entre distintos ecosistemas a través de microcuencas y tramos verdes de las ciudades tales como: parques urbanos, calles y avenidas arborizadas, líneas férreas, isletas y bosques a orillas de ríos; integrando a actores sociales, dentro de los gobiernos locales y las comunidades (Decreto Ejecutivo N° 40043– MINAE, 2017, s.p).

No obstante, existen estudios actuales, como el caso de Romero et al., 2020 y el de Segura et al., 2019; que ponen en evidencia distintas problemáticas ocasionadas principalmente por un rápido y desordenado desarrollo urbano dentro de la GAM, incluyendo el área

metropolitana de Heredia y todos los distritos de la provincia que se encuentran en ella, exceptuando a Vara Blanca. Estos problemas generan un aumento en la inequidad, contaminación, dificultades de movilidad, daños a la salud y deterioro en la calidad de vida de los habitantes; colocando al país de cara a distintos retos y desafíos centrados en los espacios urbanos consolidados y emergentes (citado por Romero, Bermúdez, Apuy & García, D, 2022. pág. 2).

En el caso del Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí, este resulta como un proyecto sumamente joven. El año de aprobación de la propuesta para su delimitación como Corredor Biológico Interurbano fue en el 2021, pero él mismo tuvo inicio hasta enero del 2022. En un principio, la intención del proyecto fue conectar el Parque Nacional Braulio Carrillo (PNBC) con el río Virilla, a través de los bosques pertenecientes a las partes altas de las montañas de Heredia, siguiendo los bosques ribereños y zonas verdes que atraviesan la ciudad.

No obstante, conforme el proyecto se fue desarrollando y tuvo un mayor alcance, comenzó a responder a algunas de las problemáticas relacionadas a la contaminación, degradación del suelo y la deforestación presentes en la ciudad. Por otro lado, es importante destacar que gran parte del área del CBIC se encuentra dentro de algunos territorios periurbanos o, en otras palabras, en espacios geográficos localizados en la periferia de la ciudad. Estos territorios destacan en temas de corredores biológicos, puesto que desde el punto de vista paisajístico poseen una matriz dominante rural o rural urbano y normalmente limitan con áreas de conservación, como el caso del Parque Nacional Braulio Carrillo (PNBC) en el cantón de Barva.

Debido a esto, la definición de áreas prioritarias de manejo de conectividad ecológica del CBIC en el cantón de Barva, que pretende realizarse en el presente estudio; puede considerarse como un aporte geográfico de gran importancia para el trabajo que realiza el equipo interdisciplinario de dicho proyecto, el cual se encuentra conformado por personas

académicas de las escuelas de Ciencias Biológicas, Geográficas, Ambientales y el Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible. Principalmente porque toma en cuenta “el enfoque de la ecología del paisaje y la perspectiva de servicios ecosistémicos, incorporando elementos del ordenamiento territorial ambiental y el enfoque de cuencas hidrográficas” (Rodríguez & Vega, 2015. pp. 3-4) para definir las áreas de manejo.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Determinar áreas de conectividad ecológica estructural en el cantón de Barva; utilizando la metodología multicriterio de Saaty, como un aporte al proyecto Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las variables asociadas con la conectividad ecológica estructural asignándoles pesos estadísticos para el análisis multicriterio de Saaty.
- Desarrollar álgebra de mapas para el análisis de las características de las áreas de conectividad ecológica estructural en el CBIC dentro del cantón de Barva.
- Delimitar áreas críticas de conectividad ecológica estructural con base en la caracterización espacial de las variables y el análisis multicriterio de Saaty.

4. Justificación del estudio

A medida que el país “sigue experimentando un rápido crecimiento de sus poblaciones urbanas, tanto en la Gran Área Metropolitana (GAM) como las ciudades intermedias” (Potthast & Geppert, 2019. pág. 2), como es el caso de Barva; es necesario trabajar con las comunidades locales e implementar una mejor educación ambiental que promueva la gestión y el uso sostenible de los recursos naturales. Como medida eficaz ante la fragmentación ecológica generada por los espacios urbanos, los CBI incorporan tanto la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad como el desarrollo sostenible local. A su vez, fortalecen áreas claves de manejo de conectividad ecológica para el mantenimiento de la biodiversidad e implementan acciones que contribuyen a mitigar, disminuir y compensar las amenazas o problemáticas que en ellas se ciernen (Canet-Desanti, Herrera & Finegan, 2012. párr. 2).

Aún más importante, para combatir el crecimiento de la llamada infraestructura gris, la pérdida de espacios verdes, la contaminación, la impermeabilización del suelo, entre muchas otras problemáticas; el SINAC estableció los CBI mediante el Decreto 40043 del MINAE, como una solución ante estos efectos negativos que surgen dentro de los espacios urbanos y principalmente como respuesta “a la creciente preocupación por las microcuencas altamente contaminadas y degradadas” (Potthast & Geppert, 2019. pág. 8) presentes en las ciudades de la GAM.

Según explica Jankilevich (2019), la integración de los CBI en Costa Rica permitió hacer uso de estos como posible solución para contrarrestar los efectos de la fragmentación ocasionada por la pérdida acelerada de los recursos locales, relacionada directamente al desarrollo urbano no regulado dentro de la GAM. Gracias a ello, se ha logrado intervenir en la planificación y el ordenamiento territorial desde enfoques que sustentan sus bases en la lucha

contra el cambio climático, los encadenamientos productivos y la cohesión sociocultural (citado por Alvarado, 2020. pág. 15).

En consecuencia, los estudios sobre conectividad ecológica sirven como herramientas de relevancia para evaluar el nivel o grado de fragmentación del paisaje y de esta manera tomar en consideración cuáles áreas tienen la capacidad de permitir o no la transferencia de especies vegetales y animales, materia, e incluso bienes y servicios (Taylor et al., 1993. Citado por Cambroner, Marín & Reyes, 2019. pág. 22); para tomar decisiones basadas en la gestión ambiental territorial, en este caso, dentro del cantón de Barva.

Por esta razón, la realización de un estudio de conectividad ecológica estructural para el CBIC dentro del cantón de Barva podría contribuir a la conservación de la biodiversidad, “posibilitando la migración, dispersión de especies de flora y fauna, incluyendo las dimensiones culturales, sociales y políticas” (MINAE, 2017, citado por Romero, 2022. pág. 2). Además, mediante la aplicación de la metodología de Saaty, se pretende diseñar un mapa de conectividad ecológica estructural que se pueda implementar dentro del CBIC, como estrategia de gestión de los espacios naturales en la ciudad de Barva.

Asimismo, este trabajo busca integrar ámbitos de manejo ambiental como la disminución del grado de contaminación sobre las cuencas, la mitigación del riesgo de inundaciones, la mejora en la prestación de bienes y servicios ambientales y la mejora en los procesos de conservación (Alvarado, 2022. pág. 7), impulsando al gobierno local y a las comunidades organizadas a recuperar la calidad de los ecosistemas y recursos naturales de la zona. Con la intención de generar un desarrollo sostenible, así como una ciudad más verde y ecológica que atienda lo antes posible las problemáticas mencionadas anteriormente.

Por ende, el presente estudio al abordar la integración de distintas variables geográficas y biológicas, representa un insumo de relevancia mediante el cual se podría analizar espacialmente la conectividad del paisaje que presenta la zona, tomando en cuenta la estructura

y conformación de los territorios. De este modo, funcionará como insumo sobre el cual se puedan definir ciertos criterios que faciliten la toma de decisiones futuras dentro del cantón de Barva, aportando tanto teórica como metodológicamente.

5. Metodología

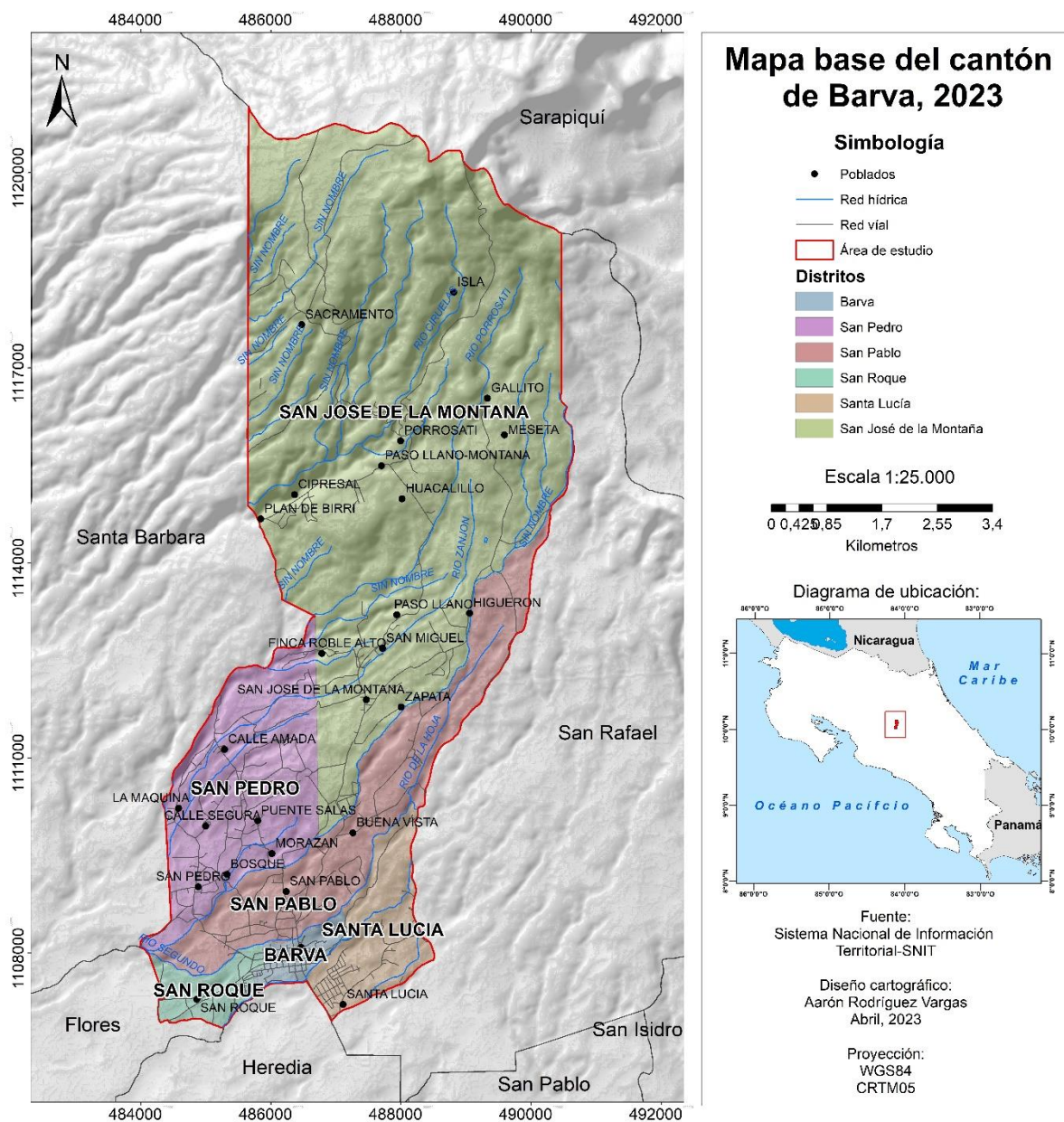
5.1 Área de estudio:

Barva es el segundo cantón de la provincia de Heredia, se encuentra ubicado espacialmente dentro las coordenadas geográficas 10°04'27" latitud norte y 84°07'05" longitud oeste en el territorio nacional, y a solamente 3 km al norte del centro de dicha provincia. Este cantón tiene una extensión de 53,8 km², y según datos del INEC posee una población aproximada de 46,600 habitantes (Municipalidad de Heredia, 2021. párr. 3), la cual se encuentra dividida en seis distritos: Barva, San Pedro, San Pablo, San Roque, Santa Lucía y San José de la Montaña (ver Tabla 1 y Mapa 1).

Tabla 1: Área de los distritos en km²

Distritos del cantón	Área del distrito (km²)	Porcentaje territorial de los distritos
Barva	0,82	1,47%
San Pedro	7,26	12,98%
San Pablo	7,04	12,59%
San Roque	1,25	2,23%
Santa Lucía	2,89	5,17%
San José de la Montaña	36,67	65,56%
Total	55,93	100%

Fuente: Elaboración propia



Mapa 1: Mapa base del cantón de Barva, 2023

Este último distrito (SJM), incluye gran parte del PNBC-Sector Volcán Barva, área que resulta de suma importancia para el desarrollo del CBIC debido a sus características geográficas y biológicas. Por su parte, Bolaños & Watson (1993) explican que el lugar se encuentra ubicado en un área que es fuertemente influenciada por lluvias, entre dos zonas de vida según la clasificación de Holdridge: Bosque Pluvial Montano (2000-4000 mm anuales) y Bosque Pluvial Montano Bajo (4000-8000 mm anuales) (citado por Salazar., Alvarado., Madrigal & Monestel, 2019. párr. 6).

En consecuencia, el cantón de Barva posee una alta riqueza hídrica, con un potencial de agua subterránea muy importante definida por abundante precipitación, materiales de adecuada permeabilidad y capacidad de infiltración (Vargas, 2002 pág. 43); además de pendientes con alto grado de inclinación y suelos principalmente minerales, lo que favorece a las tres cuencas bases del CBIC: Ciruelas, la cual posee 1677 hectáreas (9,5% del total de la subcuenca) dentro del cantón; Segundo; que cuenta con 3467 hectáreas (19,6% del total de la subcuenca) en el cantón y Quebrada Seca; con solamente 246 hectáreas (1,4% del total de la subcuenca) dentro del cantón de Barva (ver Mapa 2).

Es importante agregar que estos ríos además del valor que poseen para el desarrollo y subsistencia de la vida silvestre, también representan un importante recurso para el consumo humano y para el desarrollo de actividades económicas dentro del cantón (Bermúdez, 2005. pág. 21). Mientras que, por otro lado, debido a las variaciones climáticas y topográficas del lugar, existen ecosistemas sumamente ricos en biodiversidad, entre los que destaca una rica herpetofauna y avifauna, gran cantidad de mamíferos, hongos y una vegetación excepcional.

5.2. Naturaleza de la investigación

El presente estudio posee una metodología con enfoque de índole mixto, el cual se basa en un análisis multicriterio que utiliza herramientas cuantitativas y cualitativas para el procesamiento de la información. En ese sentido, los dos enfoques se incorporan al método multicriterio de Saaty, este a su vez, es “un proceso jerárquico analítico en el que se asignan pesos de valor cualitativos y el uso de indicadores ponderados para la selección de variables” (Alvarado, 2020. pág. 15).

Respecto al alcance de la investigación, esta es de naturaleza descriptiva, principalmente porque se basa en la caracterización y descripción de variables sobre ecología, paisaje, climatología, hidrografía, geología, y sociología, las cuales se toman en consideración para elaborar el posible perfil de conectividad ecológica estructural del CBIC en el cantón de Barva. Además, se utilizó como guía o referencia metodológica la investigación de práctica profesional supervisada elaborada por Alvarado (2020). Esta, por su parte, se encuentra dirigida a una zonificación de conectividad ecológica estructural en la microcuenca del río Tibás, y utiliza también el análisis multicriterio de Saaty.

Por último, la información consultada para la elaboración del estudio se basó en datos con fuentes de origen primario y secundario, que permitieron elaborar la cartográfica y la caracterización de las variables. Por un lado, las fuentes primarias fueron brindadas por la Municipalidad de Barva y el Instituto Geográfico Nacional (ING) a través del Servicio Nacional de Información Territorial (SNIT); mientras que, por otra parte, las fuentes secundarias se obtuvieron por medio de bibliografía como artículos científicos, documentos, libros e investigaciones relacionadas a la teoría de CB, CBI y conectividad ecológica estructural.

5.3. Etapas y métodos.

Es importante resaltar que el presente estudio integró once de las catorce variables utilizadas por Alvarado (2020) para la conectividad ecológica estructural del Corredor Biológico Interurbano Pará – Toyopán, que anteriormente fueron propuestas por Rodríguez & Vega (2015). Por consiguiente, se aplicó la metodología del análisis multicriterio de Saaty (1977), asignando pesos de valor a once variables que serán expuestas más adelante, además, se pretende generar la matriz de Saaty para poder obtener el grado de conectividad ecológica del área de estudio.

Luego se establecieron tres etapas de trabajo, las cuales se dividen en: caracterización de las variables de estudio, la aplicación de la matriz de Saaty para lograr el diseño del mapa de conectividad ecológica estructural y, por último, algunas recomendaciones que servirán de insumo para el proyecto del CBIC en el cantón de Barva.

5.3.1. Etapa 1: Caracterización de las variables

En primer lugar, se genera un proceso de valoración y caracterización de las variables con datos de carácter ordinal y nominal para establecer ciertas categorías y jerarquías dentro del análisis multicriterio de Saaty. Para esto, se utilizarán métodos y técnicas para la descripción general de las variables en relación con el tema de conectividad ecológica. Por otra parte, la información espacial fue tratada por medio del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente con los programas ArcGIS 10.8 y QGIS, para la elaboración de los diseños cartográficos, la conversión del formato *shapefile* a *ráster* y también la asignación de pesos de valor.

Además, para el desarrollo del estudio se seleccionaron once variables con el fin de determinar el grado de conectividad ecológica estructural del CBIC en el cantón de Barva. La

Figura 1 expresa cada una de estas variables, así como las etapas y métodos que fueron utilizados en cada uno de los objetivos específicos, para desarrollar el mapa de conectividad ecológica.

En color negro se muestran las diez variables que fueron brindadas por la Municipalidad de Barva para la realización del estudio. Con las capas (shapes) de las variables facilitadas se procedió a elaborar un mapa temático, con la intención de representar y visualizar su distribución espacial dentro del cantón y, seguidamente, se asignaron los pesos de valor a los elementos para ejecutar la conversión de las capas a formato ráster. Por otro lado, las cuatro variables que poseen color naranja: densidad de población, porcentaje de pendientes, fragmentación de bosque y tamaño de parche de bosque; fueron generadas para luego aplicar el mismo proceso que las anteriores

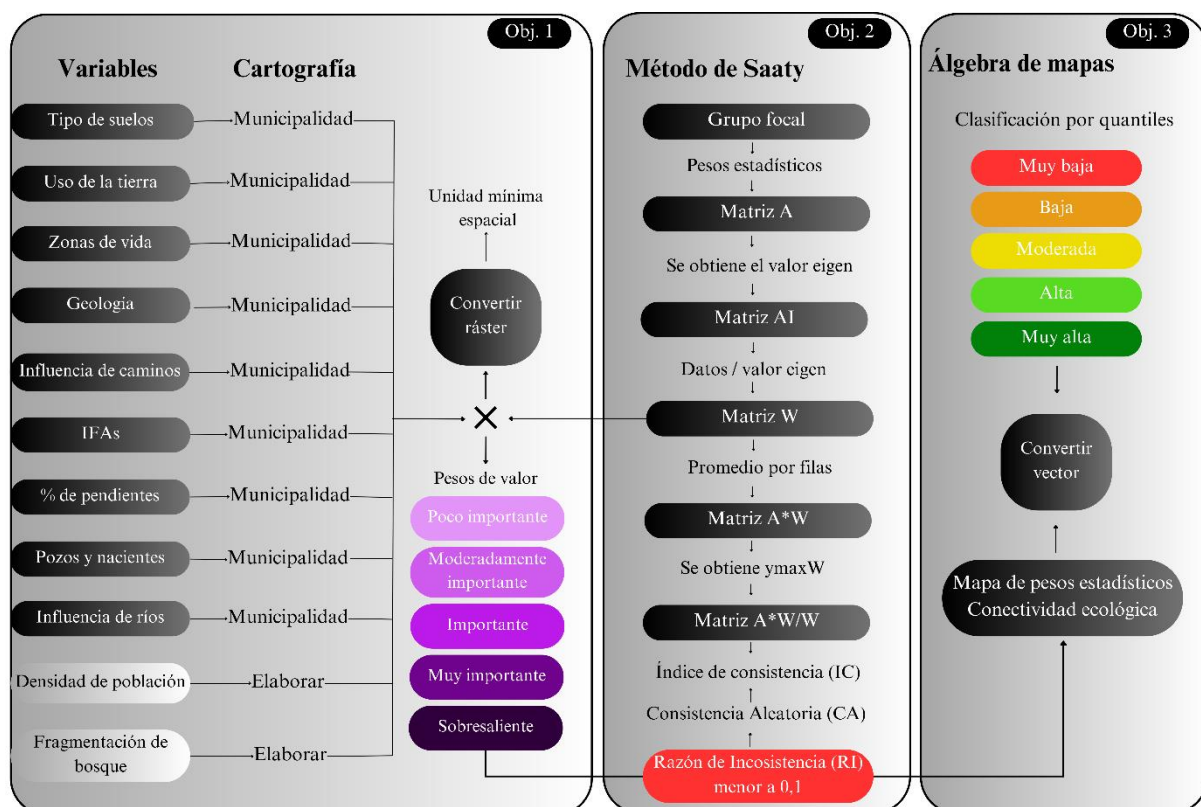


Figura 1: Variables y métodos utilizados

Fuente: elaboración propia, adaptación de Alvarado (2020).

Respecto al proceso de asignación de pesos de valor, se utilizaron números del 1 al 5 que cumplen una función jerárquica con cierto nivel de importancia para cada uno de los elementos que comprenden la información espacial de las variables. De este modo, funcionan como discriminantes para establecer la representatividad de los datos en relación con el grado de conectividad ecológica (Alvarado, 2020. pág. 21).



Figura 2: Asignación de pesos de valor

Fuente: adaptación de Saaty (1977), citado por Alvarado (2020).

5.3.2. Etapa 2: Aplicación de la matriz de Saaty

Luego de llevar a cabo el proceso de asignación de pesos de valor para cada variable y convertir las capas de shapefile a ráster, se procedió a generar el análisis multicriterio de Saaty, el cual consiste en elaborar una matriz de pesos estadísticos (ver *Anexo 1*), relacionando cada uno de los criterios dependiendo de su grado de importancia. En relación con esto, aplicando algunas operaciones matriciales, se establece la Razón de inconsistencia (RI) que servirá para validar el cálculo de peso estadístico promedio para cada variable, con la intención de mostrar el grado de conectividad ecológica estructural de cada una de ellas (Alvarado, 2020. pp. 21-22). Además, para generar la matriz de pesos se consideró el procedimiento utilizado por Rodríguez y Vega (2015) en su estudio de tesis para la definición de un corredor biológico urbano en la microcuenca del río Macho; los cuales serán descritos a continuación:

Paso 1: Se crea la Matriz A (Average), en donde se asigna una clasificación para cada variable según su grado o nivel de importancia. Con base a esto, se obtiene el valor “Eigenvector” realizando una sumatoria de los datos. Paso 2: Se procede a realizar una división de los datos en con el “Eigenvector” para generar la Matriz A1. En esta Matriz (A1) se calcula el promedio para cada fila y se crea la Matriz W (Weight). Paso 3: Se calcula el $\gamma_{\max W}$, el cual se obtiene multiplicando la Matriz A por la Matriz W para generar la Matriz AW (Average Weigth). Esta nueva Matriz (AW) se divide entre la Matriz W para obtener el $\gamma_{\max W}$ y luego se saca el promedio. Paso 4: Se calcula el Índice de Consistencia (IC) mediante la siguiente fórmula:

$$IC = \gamma_{\max W} - n/n - 1$$

(Ecuación 1)

Donde:

- IC= Índice de consistencia
- $\gamma_{\max W}$ = valor característico promedio de la matriz AW
- n= tamaño de la matriz o número de variables

Seguidamente, se obtiene el Índice de consistencia aleatoria (CA) el cual se obtuvo de la *Tabla 1* en la que n representa la cantidad de variables de la matriz y C + A indica el valor de la consistencia aleatoria.

Tabla 2: Valores del Índice de Consistencia Aleatoria (CA) según Saaty

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C	0.0	0.0	0.5	0.	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
A	0	0	8	0	2	4	2	1	5	9	1	8	6	7	9

Fuente: Saaty 1980, citado por Rodríguez y Vega (2015).

Por último, se procedió a calcular la Razón de Inconsistencia (RI) o peso estadístico de Saaty, el cual debe generar un valor menor a 0.1 (menor al 10%), mediante la fórmula de razón:

$$RI = IC / CA$$

(Ecuación 2)

Donde:

- RI= Razón de inconsistencia
- IC= Índice de consistencia
- CA= Índice de consistencia aleatoria

5.3.3. Etapa 3: Álgebra de mapas

En esta última fase se realizó la aplicación del álgebra de mapas con el fin de integrar las capas *ráster* de las variables y proceder al análisis de las características de las áreas de conectividad ecológica estructural en el CBIC dentro del cantón de Barva. De este modo, se utilizaron las capas junto con los valores de pesos estadísticos, y se unificaron todas las variables por medio del *ráster calculator* dentro del Arc GIS para expresar el grado de conectividad ecológica estructural mediante un mapa.

Además, considerando las recomendaciones de Chinchilla (2013), se realizó una clasificación de criticidad que va de “muy baja” a “muy alta”; así como una reclasificación por quintiles (*Figura 3*) la cual expresa que mientras exista un alto grado de criticidad existirá un menor grado de conectividad.



Figura 3: Clasificación del grado de conectividad

Fuente: adaptación de Chinchilla (2013), citado por Rodríguez y Vega (2015).

6. Análisis de resultados

6.1. Etapa 1: Caracterización de las variables

La etapa 1 puede considerarse como una de las más importantes para el desarrollo del estudio. En ella se seleccionaron once variables que resultan significantes para el análisis espacial de áreas de conectividad ecológica estructural dentro del CBIC en el cantón de Barva. En esta sección, por un lado, se brindará un aporte teórico con la intención de explicar los criterios que fueron considerados para la selección de dichas variables, además de una descripción cartográfica de los mapas generados para cada una de ellas. Mientras que, por otra parte, se expone cuáles son los pesos de valor que fueron asignados para las variables, dependiendo de su nivel de importancia en el contexto de conectividad ecológica.

6.1.1. Porcentaje de pendientes

En el país, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) define la pendiente de un terreno como la relación entre la distancia vertical y horizontal de dos puntos de manera porcentual, es decir, su grado de declive (Decreto Ejecutivo N° 23214-MAG- MIRENEM, 1994. pág. 10). A su vez, establece una categoría de pendiente en función del relieve, la cual clasifica el suelo según muestra la Tabla 3:

Tabla 3: Categoría de pendiente

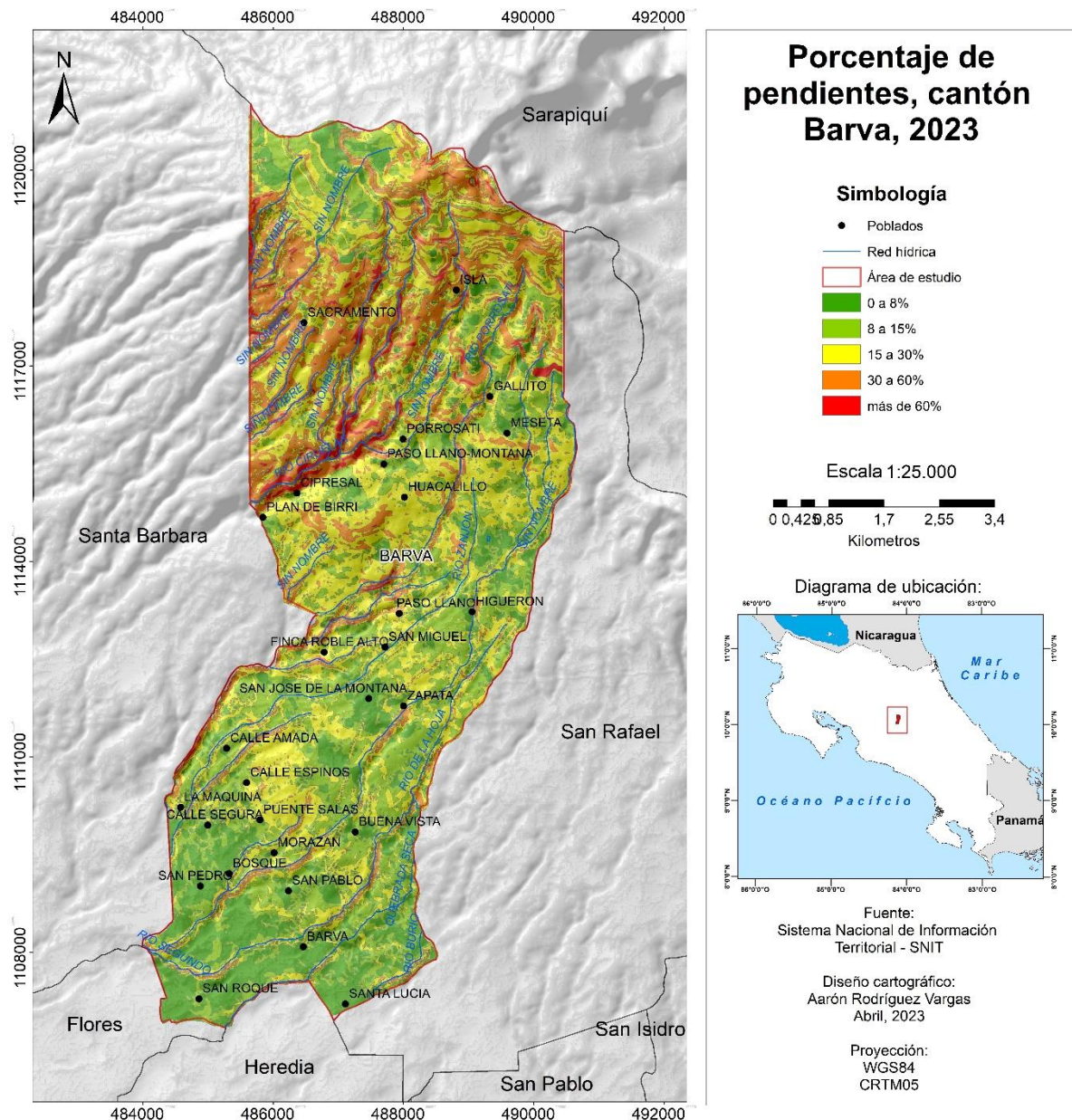
Categoría	Porcentaje de pendiente
Plano o casi plano	0 a 3%
Ligeramente ondulado	3 a 8%
Moderadamente ondulado	8 a 15%
Ondulado	15 a 30%
Fuertemente ondulado	30 a 60%
Escarpado	60 a 75%
Fuertemente escarpado	más de 75%

Fuente: Elaboración propia a partir del MAG (1994).

En el caso del presente estudio se exceptúan las categorías 2 y 7, debido a la poca o mínima presencia de dichos rangos en el relieve del cantón de Barva. Además, se considera esta variable bajo el criterio de su función para evaluar la capacidad de uso de la tierra, así como la estabilidad del terreno en relación con la conservación de los ecosistemas. En ese sentido, el porcentaje de pendiente resulta importante para facilitar el grado de conectividad ecológica dentro del CBIC, ya que, en las zonas con mayor porcentaje de pendientes, por lo general, los usos de la tierra que predominan son coberturas forestales y estructuras naturales que beneficia la funcionalidad de los ecosistemas, atrayendo biodiversidad.

Para el caso de las categorías de las pendientes, las catalogadas como “plano o casi plano” (0 a 3%) se localizan principalmente en la parte baja del cantón, en los distritos de Barva, Santa Lucía, San Pedro y San Roque. Las pendientes “moderadamente ondulado” (8 a 15%) predominan en la parte media del cantón, entre los distritos de San Pablo y San José de la Montaña. Respecto a la categoría “ondulado (15 a 30%)”, esta posee una distribución parcial en la parte alta y media del cantón; mientras que las categorías “fuertemente ondulado” (30 a 60%) y “escarpado (más de 60%)” se encuentran ubicadas en la sección alta del cantón, específicamente en el distrito de San José de la Montaña (ver *Mapa 3*).

Por último, referente a la cartografía, es importante agregar que la capa de porcentajes de pendientes fue suministrada por la Municipalidad de Barva, y en base a esta se generó un mapa a escala 1.25 000.



Mapa 3: Porcentaje de pendientes, cantón de Barva, 2023

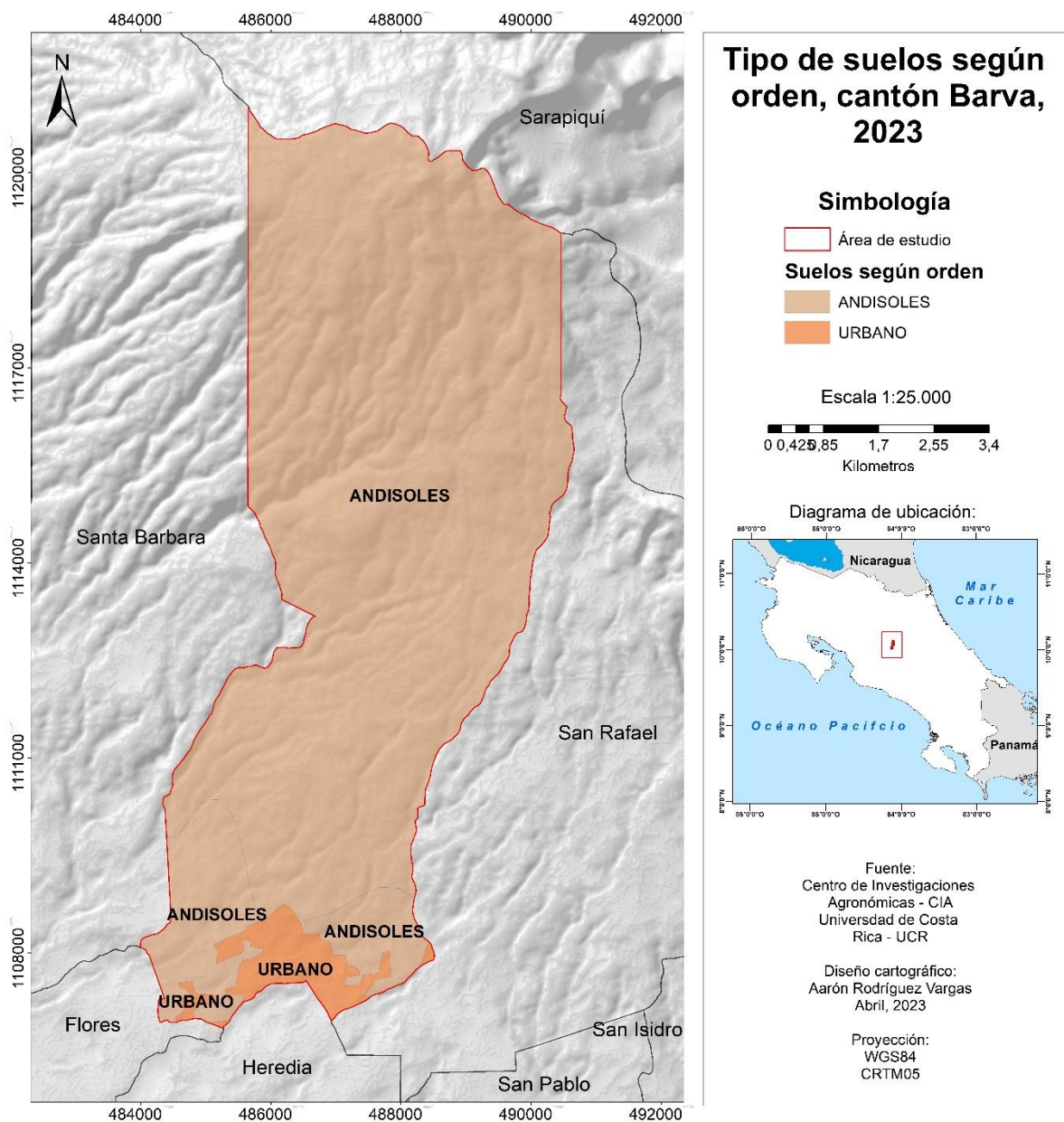
6.1.2. Tipo de suelo

En el caso del tipo de suelo, el criterio de selección de dicha variable consideró la descripción del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), el cual pertenece al MAG. El tipo de suelo andisol es apto para la siembra de una gran variedad de cultivos anuales, permanentes e incluso plantaciones forestales. No obstante, es recomendable realizar algunas prácticas de manejo y conservación para prevenir problemas de erosión y compactación del suelo (INTA, 2015. párr. 1).

Además, estos suelos se desarrollan a partir de cenizas y otros materiales volcánicos como lava y piedra pómez. Al encontrarse en áreas de influencia de los volcanes, en este caso del volcán Barva; y en regiones húmedas y subhúmedas, poseen un buen drenaje y alto valor en contenido de materia orgánica (humus), lo que genera una alta productividad natural y grandes beneficios para el desarrollo de la biodiversidad (MAG, 2015. s.p).

En el *Mapa 4* se expresa la distribución espacial de los tipos de suelo por orden para el CBIC en el cantón de Barva, el cual posee en su mayor parte del territorio suelos andisoles con texturas medias de franco, franco-arenosa y franco-limoso; a excepción de la parte baja, en donde predomina el tipo de suelo urbano.

Respecto a la cartografía, se utilizó la capa de tipos de suelo a nivel nacional que posee el CCI de la Universidad de Costa Rica, a la cual se le realizó un *clip* en ArcGIS a través de la herramienta de *geoprocessing*, y posteriormente se generó el mapa a escala 1: 25 000.



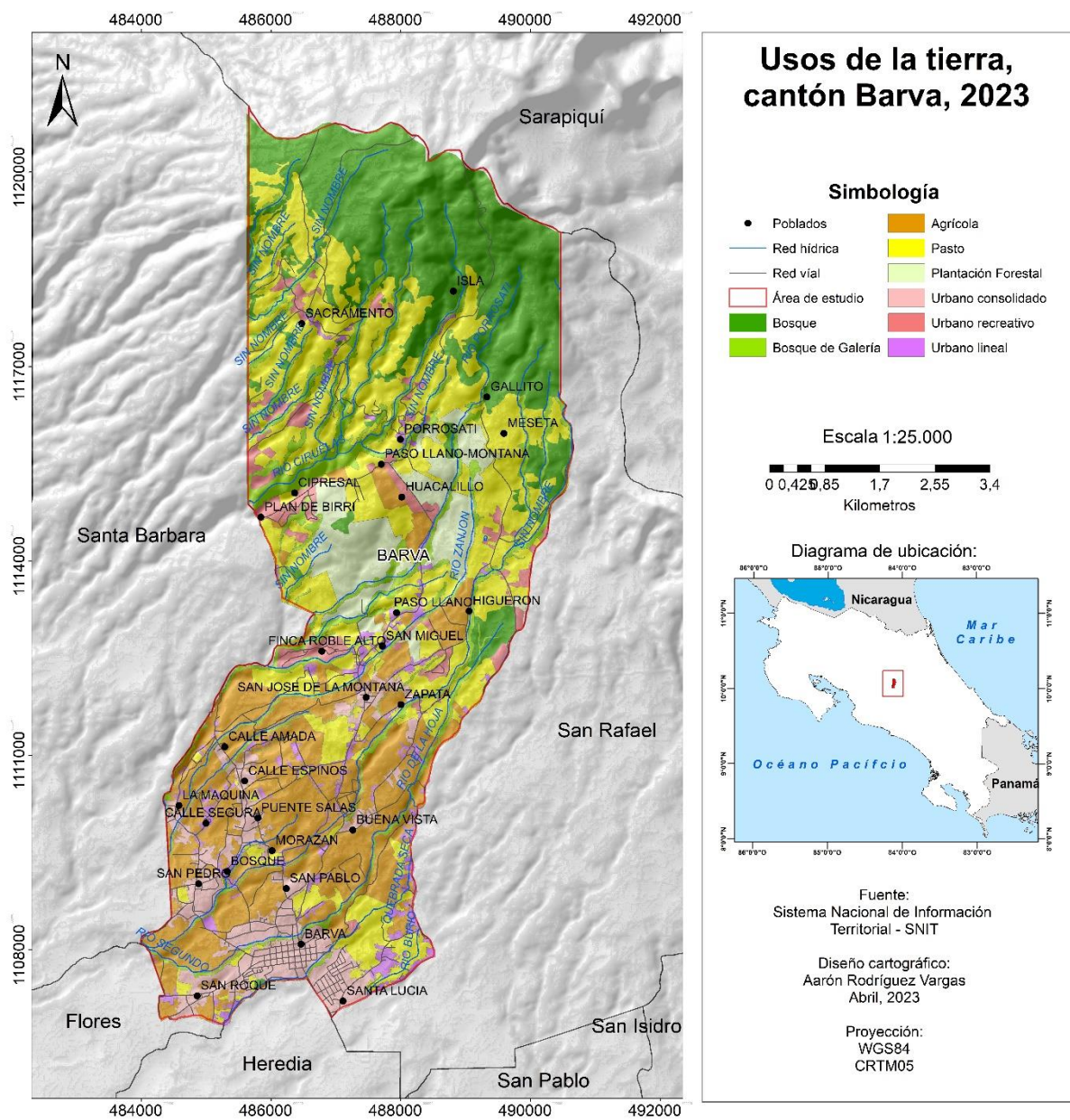
Mapa 4: Tipos de suelo según orden, cantón de Barva, 2023

6.1.3. Uso de la tierra

La variable de uso de la tierra es de suma importancia para el tema de conectividad ecológica estructural. Como criterio principal para la selección de esta, se consideró como un indicador para expresar las coberturas que influyen de manera positiva o negativa en el traslado de la biodiversidad, es decir, si facilitan o dificultan su desplazamiento. En sentido, se incluyen las siguientes categorías: bosque, bosque de galería, agrícola, pasto, plantación forestal; las cuales permiten o posibilitan el traslado de las distintas especies, mientras que; urbano consolidado, urbano recreativo y urbano lineal como categorías que forman barreras de relevancia que disminuyen el desplazamiento.

El *Mapa 5* muestra la distribución de dichas categorías, en donde predominan los usos de bosque, pastos y plantación forestal en la parte alta del cantón, específicamente en el distrito de San José de la Montaña, siendo este la zona que presenta una mayor conectividad ecológica. Por su parte, la zona media-baja se caracteriza por poseer usos agrícolas (principalmente cultivos de café), pastizales y secciones de urbano recreativo. Mientras que en la parte baja, en los distritos de Barva, Santa Lucía y San Roque existe una predominancia de los usos urbanos que actúan como barreras para la conectividad ecológica.

Referente a la cartografía, se utilizó la capa de usos de la tierra que posee la Municipalidad de Barva, a la cual se le asignó una clasificación con paleta de colores y luego se procedió a elaborar el mapa a escala 1:25 000.



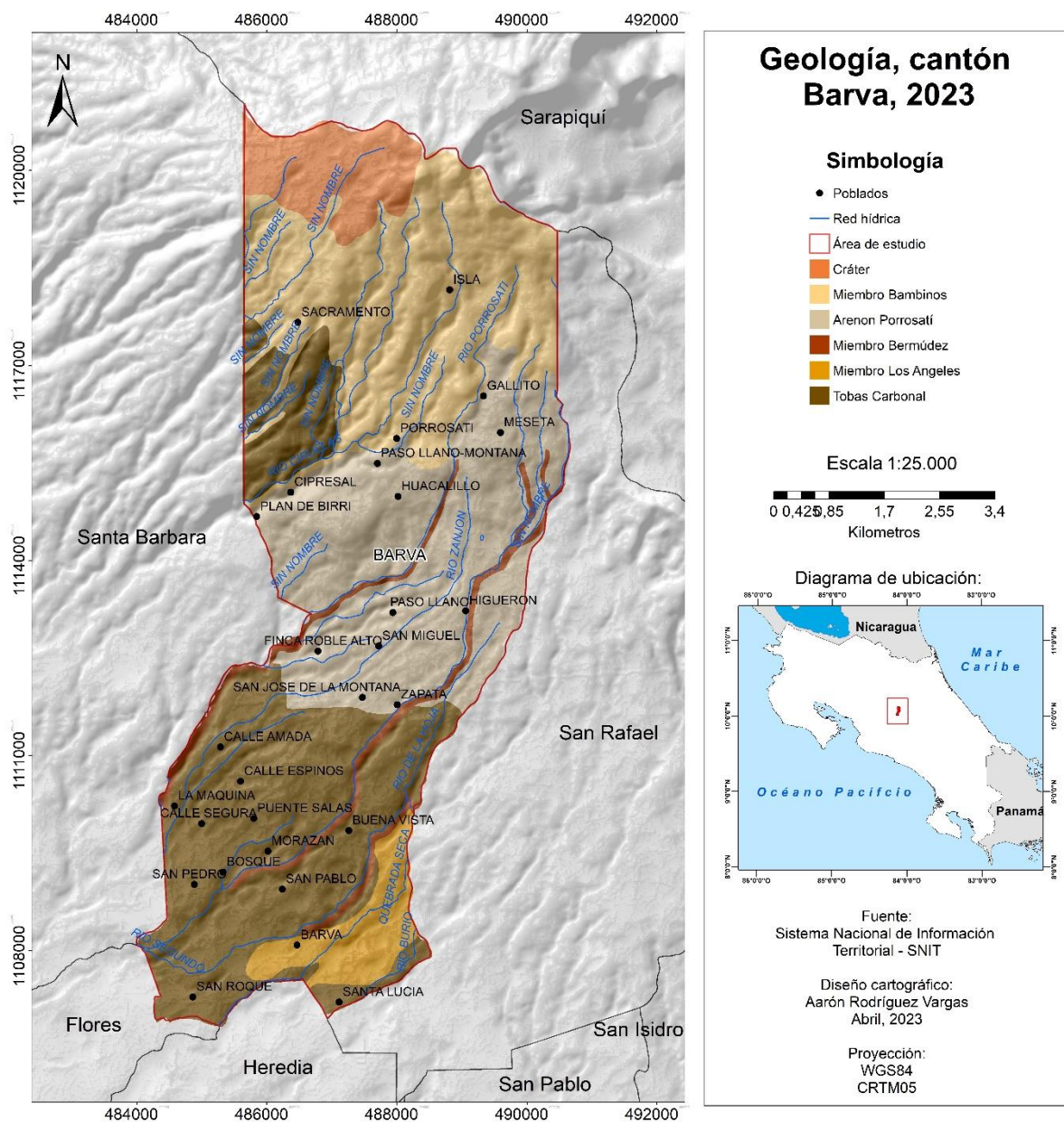
Mapa 5: Usos de la tierra, cantón de Barva, 2023

6.1.4. Geología

La variable de geología fue seleccionada bajo dos criterios establecidos por Alvarado (2020) en su estudio de conectividad ecológica. El primero, se relaciona con la identificación del tipo de formación, la cual facilita el desarrollo de usos urbanos y agropecuarios por su estructura mineral; mientras que el segundo, se basa en que el establecimiento por tipo geológico presenta potencial para la conservación. Si bien es cierto, esta variable no se relaciona directamente a la conectividad, no obstante, sirve como indicador del aprovechamiento de la tierra que supone la presión sobre los usos de bosque para el desarrollo de otros usos (Alvarado, 2020. pp. 31-32).

Respecto a su distribución y clasificación, el área de estudio se encuentra formada principalmente por geología de origen volcánico del Cuaternario. Como se muestra en el *Mapa 6*, existe un predominio de Tobas Carbonal, en la parte media-baja del cantón y en una zona de la parte alta de San José de la Montaña, entre Sacramento y el Plan de Birrí. Seguido se encuentra Arenon Porrosatí, en la parte media-alta, hasta el poblado del Gallito; luego Miembro Bambinos en la parte alta del cantón. Por otro lado, las estructuras con menor predominio son Cráter, esto en las cercanías de la laguna del volcán, y Miembro Los Ángeles, entre los distritos de Barva y Santa Lucía.

Al igual que en la variable anterior, se utilizó la capa de geología que suministró la Municipalidad de Barva, a la cual se le asignó una clasificación con paleta de colores y luego se procedió a elaborar el mapa a escala 1:25 000.



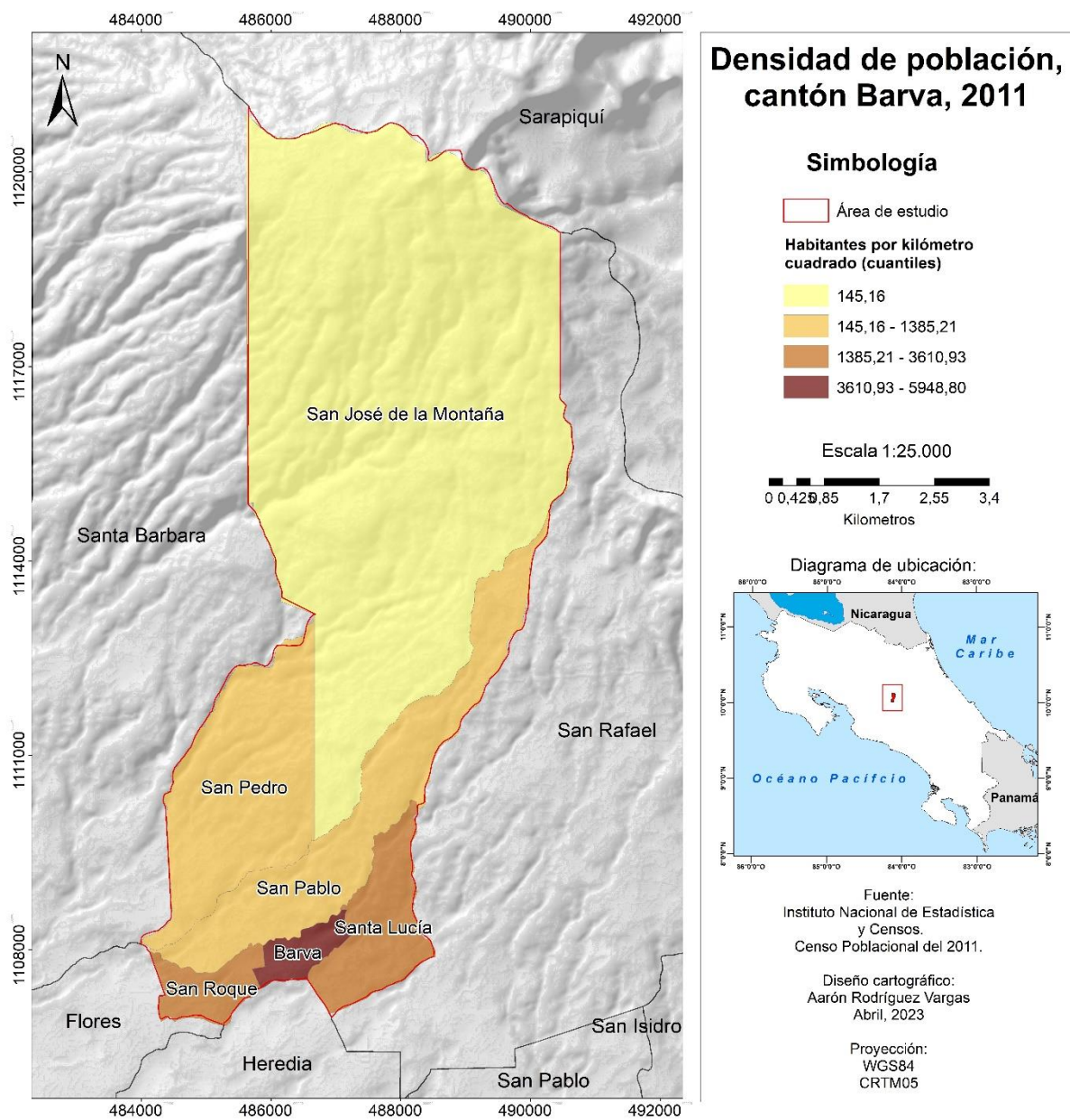
Mapa 6: Geología, cantón de Barva, 2023

6.1.5. Densidad de población

La variable de densidad de población se seleccionó bajo algunos criterios de importancia, principalmente considerando las afectaciones que suelen generar las aglomeraciones urbanas, ocasionando contaminación, degradación de los suelos, pérdida de la cobertura forestal, ruido y permeabilidad del suelo. De esta manera, la variable puede ser catalogada como un indicador de influencia negativa directa (antrópica) sobre la conectividad ecológica y la calidad de los ecosistemas presentes en el área de estudio.

En relación con su distribución espacial, la variable muestra una tendencia general de aglomeración de la población en la parte baja del cantón, siendo Barva el distrito con mayor densidad de habitantes por kilómetro cuadrado (cerca de 6000), seguido por Santa Lucía y San Roque. Esto puede resultar como una barrera a considerar para los temas de conectividad ecológica en el CBIC. Luego, la densidad de población se traslada hacia la parte media- baja del cantón, en los distritos de San Pedro y San Pablo, en donde habitan entre 145 y 1385 personas por kilómetro cuadrado. Por último, el distrito de San José de la Montaña es el que posee la menor densidad de población, con aproximadamente 145 habitantes por kilómetro cuadrado.

Esta variable se generó a través de la información del Instituto Nacional de Estadística y Censos, específicamente con el censo realizado en el año 2011. Se procedió a tratar la información en ArcGIS y se elaboró un mapa con clasificación cuantiles a escala 1:25 000.



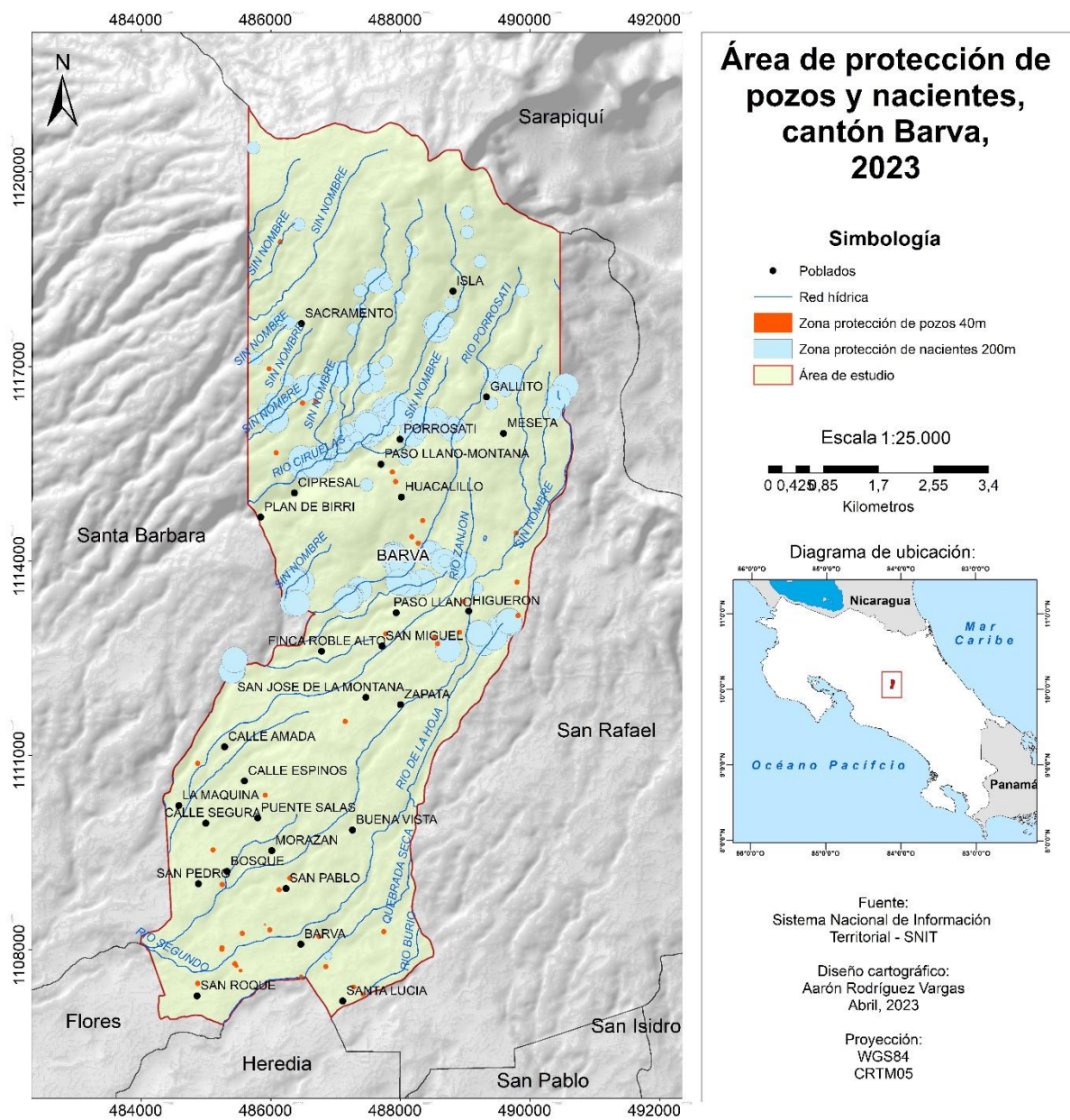
Mapa 7: Densidad de población, cantón de Barva, 2023

6.1.6. Área de protección de pozos y nacientes

La variable de áreas de protección de pozos y nacientes se elige bajo el criterio de la Ley de Aguas N° 276 de 1942, la cual, en el artículo 32 menciona la importancia de preservar los sitios de captación de agua para consumo humano (el caso de los pozos y nacientes) y la protección del medio forestal que se encuentra circundante en que se produce la infiltración de aguas potables, con el fin de que funcione como mecanismo de estabilidad ambiental y preservación del recurso hídrico (s.p.).

Por su parte, el Mapa 8 muestra la ubicación espacial de los pozos y nacientes. En el caso de los pozos, se contabilizaron 38 ubicados principalmente en los distritos de San José de la Montaña, San Pablo, San Pedro y San Roque. Mientras que la distribución de las nacientes se encuentra en la parte media y alta del cantón, específicamente en los ríos Ciruelas y Porrosatí, convirtiéndose en un área con una alta riqueza hídrica que favorece tanto a la biodiversidad, como a miles de personas de los principales centros urbanos de la GAM (Bermúdez, 2005. pág. 2)

En relación con la cartografía, se utilizó la capa de protección de pozos y nacientes facilitada por la Municipalidad de Barva, la cual posee un *Buffer* de 40 metros para los pozos y de 200 metros para las nacientes. El mapa, por su parte, fue laborado a una escala 1:25 000.



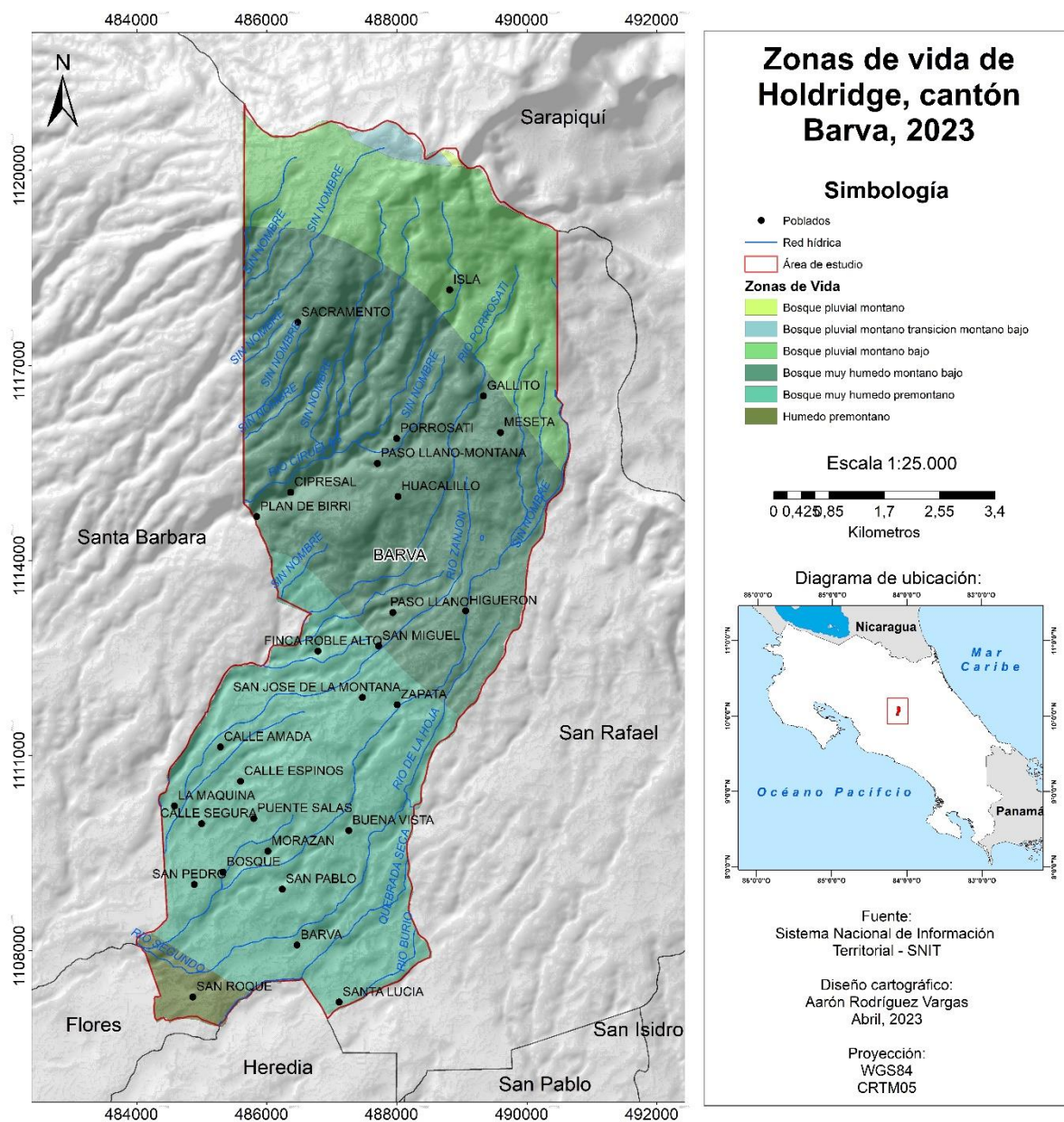
Mapa 8: Área de protección de pozos y nacientes, cantón de Barva, 2023

6.1.7. Zonas de vida de Holdridge

Las zonas de vida de Holdridge son definidas por Holdridge (1967) como “un conjunto de ámbitos específicos de los factores climáticos principales, constituido por la biotemperatura, precipitación y la humedad, los cuales caracterizan una condición ambiental particular para un área geográfica determinada” (citado por MAG, 2015. pág. 8). En relación a lo anterior, la selección de la variable se basó en la importancia que poseen como indicadores de la variación de la estructura vegetal y las condiciones climáticas del medio, caracterizando así las categorías de las distintas especies que pueden habitar en cada zona; y además, se relacionan con el grado de intervención antrópica dentro de los ecosistemas (Alvarado, 2020. pág. 42).

Respecto a su distribución, el CBIC en el cantón de Barva, posee seis del total de las categorías establecidas por Holdridge expresadas en el *Mapa 9*. En la parte alta, cerca de la laguna del volcán Barva, se encuentran las categorías de bosque pluvial montano y bosque pluvial montano transición montano bajo. En el flanco sur del PNBC se encuentra la zona de vida bosque pluvial montano bajo; mientras que, en la zona media-alta, en el distrito de San José de la Montaña se establece el bosque muy húmedo montano bajo.

Por otra parte, la zona media-baja del área de estudio posee el bosque muy húmedo premontano, esto en los distritos de San Pablo, San Pedro, Barva y Santa Lucía, dejando únicamente al distrito de San Roque con la zona de vida húmedo premontano. En este caso, la cartografía también fue desarrollada mediante la capa de zonas de vida de Holdridge brindada por la municipalidad de Barva.



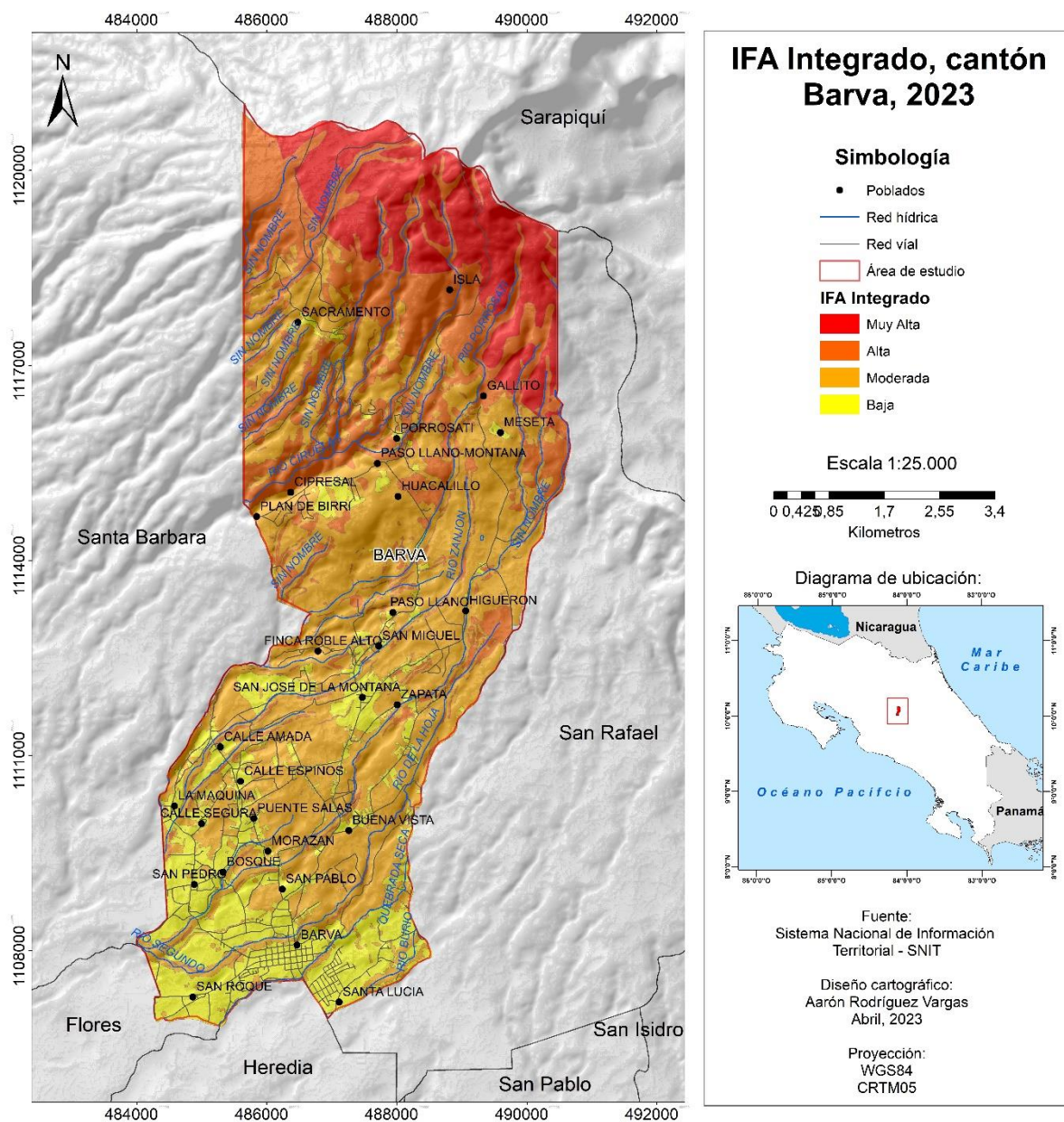
Mapa 9: Zonas de vida de Holdridge, cantón de Barva, 2023

6.1.8. Índices de fragilidad ambiental (IFAS)

En el caso de los IFAS, el criterio de selección se basó en la zonificación de fragilidad ambiental con la intención de identificar las zonas más aptas para fomentar la conectividad ecológica en función de la recuperación forestal, la protección hídrica y la mitigación de riesgos a través de la recuperación o protección de hábitats (Alvarado, 2020. pág. 44). Además, la información corresponde al estudio de IFA integrado del proyecto PRUGAM (2007) para los cantones pertenecientes a la GAM.

Por otro lado, el *Mapa 10* expresa la distribución de las subclases, en donde la fragilidad ambiental muy alta se encuentra en las zonas aledañas de la laguna Barva, en el PNBC. La fragilidad ambiental alta está presente en su mayor parte dentro del distrito de San José de la Montaña, en la parte alta del área de estudio y en la zona alta del distrito de San Pablo. Respecto a la fragilidad ambiental moderada, esta es la que predomina el cantón y abarca parcialmente el territorio desde Sacramento (SJM) hasta el distrito de San Pablo, Por último, la fragilidad ambiental baja sobresale en la parte baja del área de estudio, zona con un alto desarrollo humano y de infraestructura industrial y comercial.

El mapa, al igual que los expuestos anteriormente, fue desarrollado mediante la capa de IFA creada por la municipalidad de Barva, a una escala 1:25 000



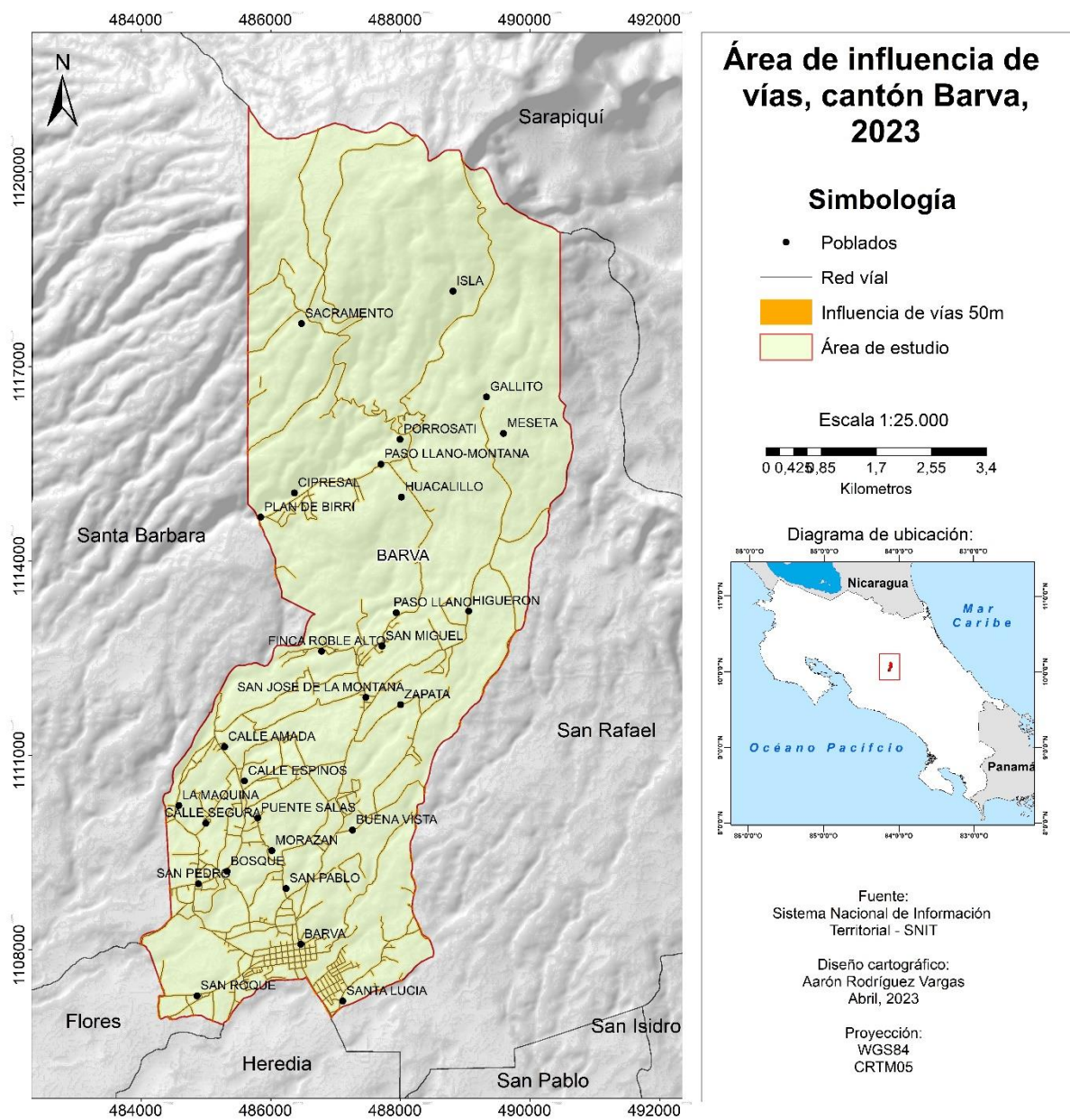
Mapa 10: Índice de fragilidad ambiental, cantón de Barva, 2020

6.1.9. Influencia de la red vial

Según explica el SINAC (2007) las carreteras son un obstáculo para el tránsito de especies de un lugar a otro, y también imponen perturbación por la generación de ruidos y otros tipos de contaminación que generan que su efecto vaya más allá del área propiamente dedicada al tránsito vehicular (citado por Alvarado, 2020. Pág. 46). Con base a esto, se consideró como una variable que influye directamente a la conectividad ecológica del CBIC, ya que funciona de barrera y limita el traslado de ciertas especies.

En este caso, en el *Mapa 11* se expresa que, al ser la parte baja del cantón la que posee un mayor desarrollo en cuanto a infraestructura vial, resulta como una barrera importante que imposibilita el tránsito de las especies de un lugar a otro dentro del CBIC.

Por otra parte, para la información utilizada en el desarrollo de la cartografía se tomó como base la capa de red vial que posee la Municipalidad de Barva, a la que se aplicó un Buffer de 50 metros a cada lado de la vía y luego se elaboró el mapa a escala 1:25 000.

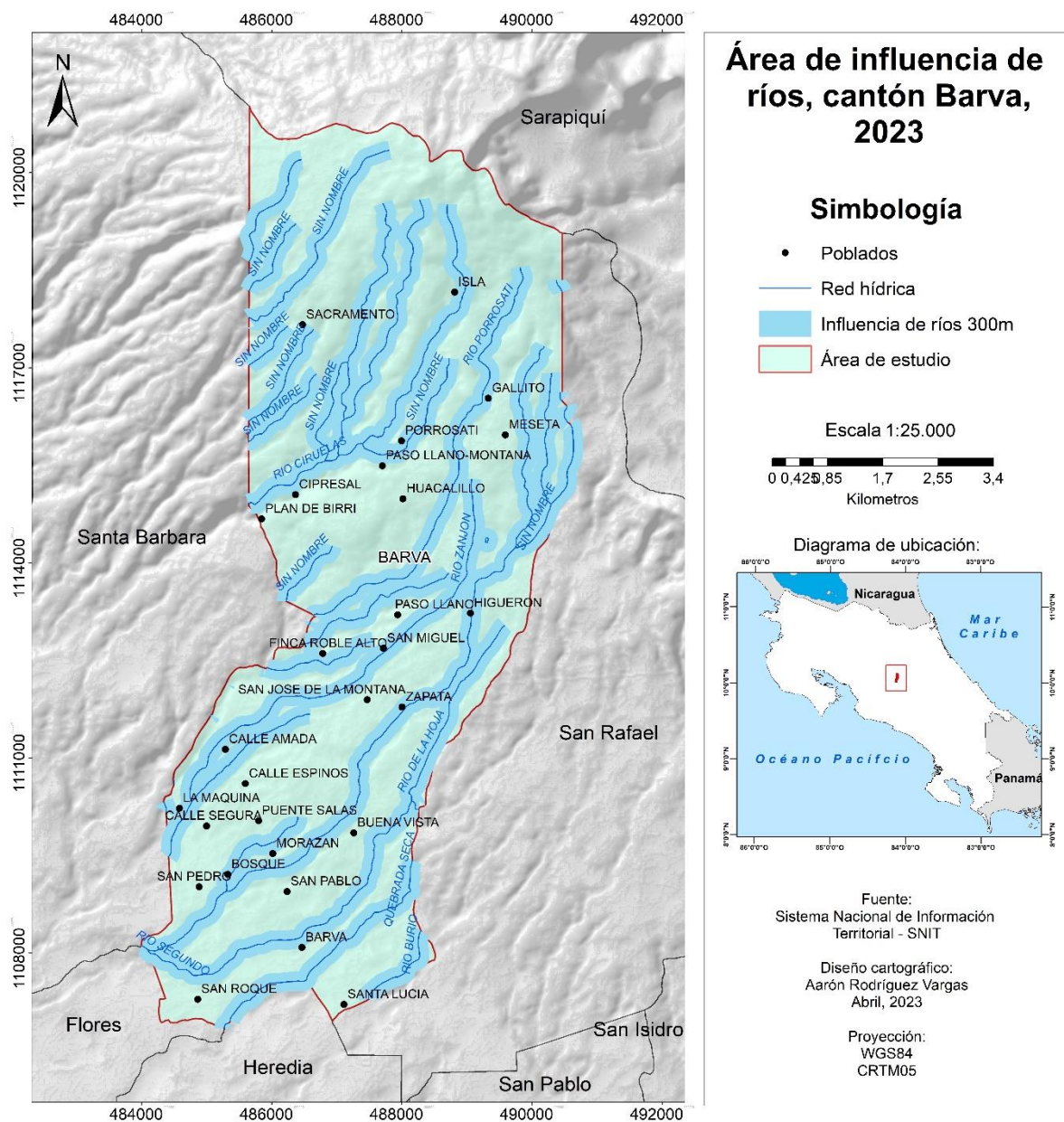


Mapa 11: Área de influencia de vías, cantón de Barva, 2023

6.1.10. Influencia de la red hídrica

La variable de influencia de la red hídrica también se considera importante para la conectividad ecológica. Debido a esto, se eligió bajo algunos criterios expuestos por el SINAC (2017), en donde menciona que las zonas que se encuentran ubicadas cerca de los sistemas naturales de drenaje tales como: ríos, quebradas, arroyos, acequias o cualquier otro; favorecen y posibilitan la conectividad de los ecosistemas. Además, la utilidad que poseen estos espacios para la biodiversidad en general, se encuentra ligada al consumo y el uso del agua, mientras que, para otras especies sirve de transporte o medio dispersor (citado por Alvarado, 2020. pág. 46).

El *Mapa 11* muestra la distribución espacial de los ríos presentes en las subcuencas Ciruelas, Quebrada Seca y Segundo, dentro del CBIC. En donde destacan el río Ciruelas, el río Porrosatí, río Zanjón, río Segundo y río de la Hoja; además de quebradas como Honda y Seca. Este mapa fue elaborado a escala 1:25 000, mediante la capa de red hídrica del cantón facilitada por la Municipalidad de Barva, a la cual se le aplicó un buffer de 300 metros para representar el área de influencia.



Mapa 12: Área de influencia de ríos, cantón de Barva, 2023

6.1.11. Índice de fragmentación del bosque

Esta variable también es catalogada como una de las importantes, debido a su utilidad como indicador del grado de conectividad/fragmentación dentro de las coberturas seleccionadas anteriormente en los usos de la tierra del CBIC dentro del cantón. Para calcular este índice de fragmentación del bosque, se consideró la metodología que exponen Larrea, Sáenz, Cervantes & Chiriboga (s.f.).

Según explican estos autores, calcular este indicador permite crear una analogía ente el área total de la vegetación y su borde para establecer zonas intervenidas, así como su grado de fragmentación. El índice se calcula mediante la siguiente formula:

$$\text{Indfrag} = \frac{\text{Área total de la cobertura (km}^2\text{)}}{\text{Perímetro total de la cobertura (km)}}$$

(Ecuación 3)

$$\text{Indfrag}_{0-1} = \frac{\text{Infrag}}{n \text{ max}}$$

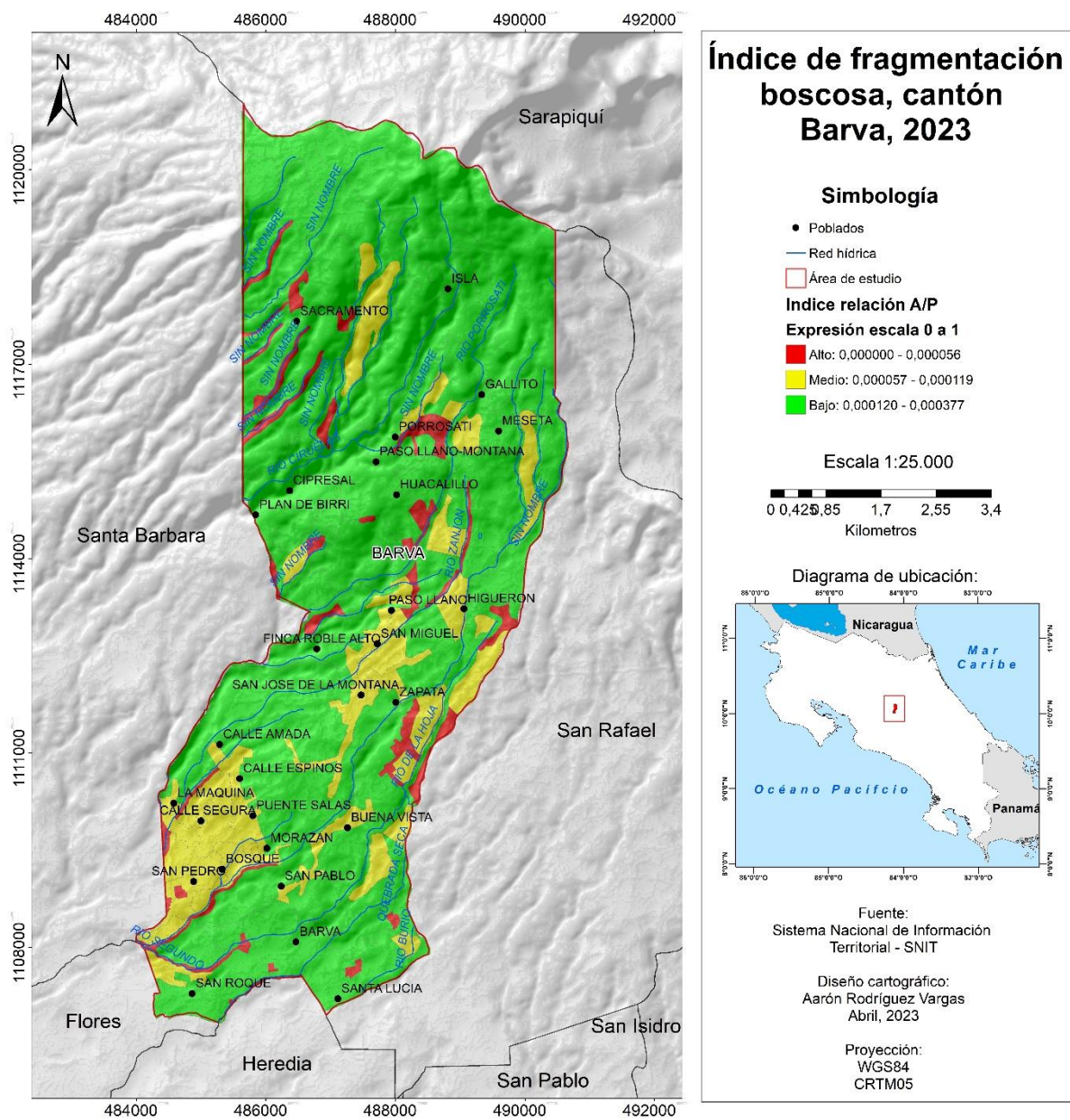
(Ecuación 4)

Los resultados se expresan en una escala que va de 0 a 1, en donde 1 es el valor máximo entre los resultados (Infrag), interpretándose de modo que los valores que se encuentren más cercanos a 1 presentan un menor grado de fragmentación, mientras que, los más cercanos a 0 un mayor grado de fragmentación.

El *Mapa 13* muestra la manera en que se distribuye la fragmentación boscosa en el espacio del área de estudio, presentando los valores más cercanos a 0, es decir, los que poseen mayor fragmentación del bosque; en los distritos de San José de la Montaña y San Pablo,

debido a que existe una mayor presencia de cobertura forestal. En la parte media- baja del área de estudio hay una alta predominancia de fragmentación media.

Por otra parte, la cartografía fue realizada con la capa de cobertura brindada por la Municipalidad. A esta capa se le eliminaron las coberturas que no pertenecían a bosque y posterior a eso, mediante el uso de *ráster calculator* se aplicó la ecuación del índice de fragmentación del bosque. Luego, se generó una clasificación por cuantiles en tres categorías y se generó el mapa a escala 1:25 000.



Mapa 13: Fragmentación del bosque, cantón de Barva, 2023

6.1.12. Asignación de pesos de valor

Una vez realizada la caracterización de las variables y descrita su distribución espacial dentro del CBIC, en el cantón de Barva; se desarrolló el segundo proceso dentro de la Etapa I. Este consiste en la asignación de pesos de valor para cada elemento presente en las variables, y a su vez, permite definir el nivel de importancia que poseen, estableciendo una jerarquización en función de la conectividad ecológica estructural.

La asignación de pesos de valor se realizó tomando como base el estudio de Alvarado (2020), el cual trata la conectividad ecológica estructural para el Corredor Biológico Interurbano Pará-Topoyan, en dónde dichos pesos fueron asignados mediante la discusión del grupo focal (criterio de experto), conformado por profesionales de la Universidad Nacional. Como resultado, los pesos de valor se dividieron categóricamente en cinco grados de importancia, siendo (1) poco importante, (2) moderadamente importante, (3) importante, (4) muy importante y (5) sobresaliente. Dicho lo anterior, a continuación, se brindará una descripción de la asignación de pesos de valor para cada elemento de las variables.

En primer lugar, para la variable de **porcentaje de pendientes**, a los relieves plano a casi plano y ligeramente ondulado se les asignaron pesos de valor (1) y (2), debido a la capacidad de uso que poseen, en donde se desarrollan mayoritariamente actividades humanas. En relación con los relieves moderadamente ondulado y ondulado, se le asignaron pesos de valor (3) y (4), teniendo en cuenta su función para la conectividad, Mientras que, los relieves fuertemente ondulado y escarpado recibieron los pesos sobresalientes (5), en relación a la importancia que tienen estas categorías para la conservación de los ecosistemas, ya que en dicho relieve se limita el desarrollo de actividades humanas.

Seguidamente, a la variable de **tipos de suelos** le fueron asignado los pesos de valor más bajos, dado que esta variable no se relaciona directamente con la conectividad ecológica.

Al grupo de andiosles, presente en la mayor parte de área de estudio, se le asignó un peso de valor (2), mientras que al grupo urbano (1), ya que limita la conectividad ecológica.

Por otra parte, la variable de **usos de la tierra**, al establecer espacios que permiten o limitan la conectividad y el traslado de las especies, se le asignaron pesos (1) a los grupos ligados a usos urbanos, ya que funcionan como barreras. (2) a los usos relacionados a la agricultura, ya que la cobertura cambia dependiendo de los tiempos de cultivo y cosecha. Por su parte, a los pastos se les asignó un peso (3) debido a que posibilitan el desplazamiento de las especies. Por último, a las plantaciones forestales y a los usos de bosque se les asignaron pesos (4) y (5) puesto que funcionan como hábitat de excelencia para diversas especies, y permiten el desarrollo y la funcionalidad de los ecosistemas.

En el caso de la variable **geología** los pesos fueron asignados en una categoría baja, ya que, al igual que el tipo de suelos, su condición es de indicadora indirecta. En este caso, las formaciones con origen volcánico tuvieron un peso de (2), mientras que las zonas de lahares obtuvieron un peso de (1). El peso asignado a lo lahares ese vincula en función de su uso para implementar algunas estrategias de conservación dado que el grado de estabilidad del material geológico es menor que en las formaciones volcánicas (Alvarado, 2020. pág. 57).

Referente a la variable de **densidad de población**, se realizó una agrupación de los distritos que poseen más densidad de población, los que poseen moderada y los que poseen baja. En ese sentido, el grupo de mayor densidad de población, conformado por Barva, Santa Lucía y San Roque recibieron pesos de valor (1), debido a la alta concentración de infraestructura para el desarrollo humano y las problemáticas que esto genera para la conectividad ecológica. Luego, el grupo que posee una moderada densidad de población recibió un peso de valor (2), y está integrado por San Pedro y San Pablo. Por último, San José de la Montaña representa al grupo con baja densidad de población, en donde existe un mayor

uso de cobertura boscosa y pastos, beneficiando el traslado de las especies, por lo tanto, recibe un peso (3).

Respecto a la asignación de pesos para las variables de área de influencia, esta se basó en el nivel de importancia de los elementos que facilitan o limitan el traslado de las especies de un lugar a otro dentro del área de estudio. En el caso de las **áreas de protección de pozos y nacientes**, el peso asignado es de (4), ya que permite la conservación de hábitats y la preservación del recurso hídrico, lo que favorece a los ecosistemas. El peso definido para la **influencia de red hídrica** posee un valor de (3), ya que algunas de las zonas aledañas a los ríos se encuentran fragmentadas debido al desarrollo de actividades agropecuarias principalmente. En el último caso, a **la influencia de la red vial** se le asignó un peso de valor (1), en relación con la permeabilización del suelo, la contaminación y la influencia de los vehículos para el desplazamiento de las especies.

En relación con la variable **zonas de vida**, los pesos de valor fueron asignados de la siguiente manera: bosque pluvial montano y bosque pluvial montano transición montano bajo (5), bosque pluvial montano bajo (4), bosque muy húmedo montano bajo (3), bosque muy húmedo premontano (2) y el bosque húmedo premontano (1). Esta valorización se realizó en función de las zonas que presentan hábitats más estables para el desarrollo de la biodiversidad, y aquellas que son más vulnerables frente al cambio climático.

Por otro lado, para la variable de **IFAS integrado**, como lo explica Alvarado (2020), “se decidió dar importancia al grado de inestabilidad de la morfología de las estructuras físicas, la existencia de potencial de recarga acuífera y las posibilidades de plantear estrategias para la recuperación de cobertura forestal” (pág. 59). Con base a esto, se clasificó de la siguiente manera: muy alta fragilidad tuvo un peso de (5), la alta fragilidad (4), la moderada fragilidad (3) y la baja fragilidad (2).

Por último, la variable de **índice de fragmentación de bosque** se clasificó con (5) la baja fragmentación, con (4) la fragmentación moderada y con (3) la alta fragmentación del bosque. Esto considerando la importancia que presenta esta variable para el desarrollo de los ecosistemas y el traslado de las especies dentro del CBIC.

6.2. Etapa 2: Aplicación de la matriz de Saaty

Para la segunda etapa del estudio, se llevó a cabo la aplicación de la matriz de Saaty con el objetivo de realizar una jerarquización de las variables en función de su representatividad, basándose en el nivel de importancia para la conectividad ecológica estructural. A su vez, en esta etapa también se identifican cuáles son las variables que poseen mayor influencia para la definición de las áreas de conectividad ecológica del CBIC dentro del cantón. De este modo, los valores de los pesos estadísticos fueron multiplicados con los pesos de valor que fueron asignados para las variables y sus elementos en el Etapa 1, con la intención de expresar cuales son más importantes.

En primer lugar, la elaboración del *Cuadro 1* permitió llevar a cabo la agrupación de las variables de estudio para establecer los valores numéricos y completar la matriz A. El cuadro agrupa las variables en tres tipos: las que definen directamente la conectividad ecológica, las que definen moderadamente dicha conectividad y las que no definen la conectividad pero que se utilizan como indicadoras. Además, posee una descripción para cada grupo y también identifica las variables en orden descendente de mayor a menor.

En ese sentido, cada una de las variables se encuentra en un escalón dentro de la agrupación a la que pertenece. Estos escalones indican el nivel de importancia sobre las otras (ver *Figura 4*); no obstante, es importante destacar que existen casos en donde se establecen dos variables en un mismo escalón, como el caso de tipos de suelo y geología. Cuando esto

sucede, se definen dichas variables como semejantes, debido a su misma importancia para el nivel de conectividad en el paisaje.

Cuadro 1: Agrupación de las variables de estudio

Conectividad	Descripción	Variable
Definen directamente la conectividad ecológica	Variables que definen directamente la estructura del paisaje para la conectividad ecológica	Uso de la tierra
		Índice de fragmentación boscosa
		Influencia red vial, pozos y nacientes
Definen moderadamente la conectividad ecológica	Variables que definen moderadamente la estructura del paisaje para la conectividad ecológica	Porcentaje de pendientes, Influencia de red hídrica
		Zonas de vida
		IFA Integrado, Densidad de población
No definen la conectividad ecológica	Variables que no definen la estructura del paisaje para la conectividad ecológica	Tipo de suelos = Geología

Fuente: elaboración propia, adaptación de Alvarado (2020).



Figura 4: Nivel de importancia de las variables para la conectividad ecológica

Fuente: elaboración propia.

Seguidamente, basándose en la organización e interpretación de los valores en el *Cuadro 1*, se utilizó el *Cuadro 2*, el cual corresponde a la asignación de los valores y que fue propuesto por Alvarado (2020). Este cuadro asigna los valores para las variables de la siguiente manera:

- Variables ubicadas dentro de la misma agrupación, pero en distintos escalones = valores decimales.
- Variables ubicadas en el mismo escalón de la forma (a,b) = valor decimal de 0.5, puesto que se consideran con pesos similares.
- Variables ubicadas dentro del mismo escalón de la forma (a=b) = valor de 1, ya que poseen criterios iguales.
- Variables analizadas en relación con la agrupación de la otra = valores 2 y 3, dependiendo de si se encuentra una agrupación arriba o abajo.
- Variable del uso de la tierra contra las variables del tercer grupo = valor 3.5, debido a que se consideró el uso de la tierra como una variable predominante sobre el resto (Alvarado, 2020. pp. 63-64).

Cuadro 2: Asignación de los valores

Valor	Descripción	Interpretación
0-1	Decimal de relación	Variables dentro de la misma agrupación de conectividad pero en escalones distintos
0.5	Proporción equitativa	Variables dentro del mismo escalón consideradas con pesos similares (a,b)
1	Igual criterios	Variables dentro del mismo escalón consideradas iguales (a=b)
2	Destacablemente significativa	Variables 1 agrupación arriba de otras
3	Considerablemente significativa	Variables 2 agrupaciones arriba de otras
3.5	Mayormente significativa	Variable uso de la tierra sobre última agrupación

Fuente: Alvarado (2020).

Posteriormente, fueron colocados los valores de pesos numéricos en la matriz A (ver *Tabla 3*), para la cual se utilizó la estructura de la Matriz de Saaty mostrada en el *Anexo 1*. Luego, estos valores fueron convertidos a expresión decimal no fraccionaria y se calculó el valor de Eigenvector para cada columna, realizando una sumatoria de las celdas (ver *Tabla 4*). Seguidamente, con los valores obtenidos, se dividieron cada una de las celdas entre el valor de Eigenvector de cada columna, dando lugar a la creación de la Matriz A1, la cual se expresa mediante la *Tabla 5*.

Tabla 4: Matriz A de Saaty (pesos)

Criterios	1. Porcentaje	2. Tipo de suelos	3. Uso de la tierra	4. Geología	5. Densidad de población	6. Pozos y nacientes	7. Zonas de vida	8. IFAS	9. Influencia caminos	10. Inflencia ríos	11. Fragmentación
1. Porcentaje de pendientes	1	4	2/5	4	3 1/3	1/2	2 1/2	3 1/3	1/2	2	1/2
2. Tipo de suelos	1/4	1	2/7	1	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	4/9	1/3
3. Uso de la tierra	2 1/2	3 1/2	1	6 2/3	4	3 1/3	4	4	3 1/3	4	1/3
4. Geología	1/4	1	1/7	1	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	4/9	1/2
5. Densidad de población	2/7	2	1/4	2	1	1/2	1 2/3	2	1/2	1 1/3	1/2
6. Pozos y nacientes	2	3	2/7	3	2	1	3 1/3	4	2	2 1/2	1/2
7. Zonas de vida	2/5	2	1/4	2	3/5	2/7	1	2 1/2	1/2	1 2/3	1/2
8. IFAS	2/7	2	1/4	2	1/2	1/4	2/5	1	1/2	1 1/3	1 2/3
9. Influencia caminos	2	3	2/7	3	2	1/2	2	2	1	2 1/2	1/2
10. Influencia ríos	1/2	2 1/4	1/4	2 1/4	3/4	2/5	3/5	3/4	2/5	1	1/3
11. Fragmentacion bosque	2	3	2/5	3	2	3/5	2	2	3/5	2	1

Tabla 5: Matriz A de Saaty (Eigenvector)

Criterios	1. Porcentaje	2. Tipo de suelos	3. Uso de la tierra	4. Geología	5. Densidad de población	6. Pozos y nacientes	7. Zonas de vida	8. IFAS	9. Influencia caminos	10. Inflencia ríos	11. Fragmentación
1. Porcentaje de pendientes	1,000	4,000	0,400	4,000	3,333	0,500	2,500	3,333	0,500	2,000	0,500
2. Tipo de suelos	0,250	1,000	0,286	1,000	0,500	0,333	0,500	0,500	0,333	0,444	0,333
3. Uso de la tierra	2,500	3,500	1,000	6,667	4,000	3,333	4,000	4,000	3,333	4,000	0,333
4. Geología	0,250	1,000	0,143	1,000	0,500	0,333	0,500	0,500	0,333	0,444	0,500
5. Densidad de población	0,286	2,000	0,250	2,000	1,000	0,500	1,667	2,000	0,500	1,333	0,500
6. Pozos y nacientes	2,000	3,000	0,286	3,000	2,000	1,000	3,333	4,000	2,000	2,500	0,500
7. Zonas de vida	0,400	2,000	0,250	2,000	0,600	0,286	1,000	2,500	0,500	1,667	0,500
8. IFAS	0,286	2,000	0,250	2,000	0,500	0,250	0,400	1,000	0,500	1,333	1,667
9. Influencia caminos	2,000	3,000	0,286	3,000	2,000	0,500	2,000	2,000	1,000	2,500	0,500
10. Influencia ríos	0,500	2,250	0,250	2,250	0,750	0,400	0,600	0,750	0,400	1,000	0,333
11. Fragmentacion bosque	2,000	3,000	0,400	3,000	2,000	0,600	2,000	2,000	0,600	2,000	1,000
Eigenvector	11,471	26,750	3,800	29,917	17,183	8,036	18,500	22,583	10,000	19,222	6,667

Tabla 6: Matriz A1 de Saaty

Criterios	1. Porcentaje	2. Tipo de suelos	3. Uso de la tierra	4. Geología	5. Densidad de población	6. Pozos y nacientes	7. Zonas de vida	8. IFAS	9. Influencia caminos	10. Influencia ríos	11. Fragmentacion
1. Porcentaje de pendientes	0,087	0,150	0,105	0,134	0,194	0,062	0,135	0,148	0,050	0,104	0,075
2. Tipo de suelos	0,022	0,037	0,075	0,033	0,029	0,041	0,027	0,022	0,033	0,023	0,050
3. Uso de la tierra	0,218	0,131	0,263	0,223	0,233	0,415	0,216	0,177	0,333	0,208	0,050
4. Geología	0,022	0,037	0,038	0,033	0,029	0,041	0,027	0,022	0,033	0,023	0,075
5. Densidad de población	0,025	0,075	0,066	0,067	0,058	0,062	0,090	0,089	0,050	0,069	0,075
6. Pozos y nacientes	0,174	0,112	0,075	0,100	0,116	0,124	0,180	0,177	0,200	0,130	0,075
7. Zonas de vida	0,035	0,075	0,066	0,067	0,035	0,036	0,054	0,111	0,050	0,087	0,075
8. IFAS	0,025	0,075	0,066	0,067	0,029	0,031	0,022	0,044	0,050	0,069	0,250
9. Influencia caminos	0,174	0,112	0,075	0,100	0,116	0,062	0,108	0,089	0,100	0,130	0,075
10. Inflencia ríos	0,044	0,084	0,066	0,075	0,044	0,050	0,032	0,033	0,040	0,052	0,050
11. Fragmentación bosque	0,174	0,112	0,105	0,100	0,116	0,075	0,108	0,089	0,060	0,104	0,150

Una vez finalizadas las matrices A y A1, se elaboró un resumen de operaciones matriciales dentro de la Tabla 6, con la intención de determinar los pesos estadísticos y la Razón de Inconsistencia (RI). En ese sentido, primero se sumaron cada una de las filas de la matriz A1 para obtener la matriz W. Luego, se obtuvo el valor de $\gamma_{\max}W$, mediante una fórmula de algebra de matrices, y se creó la matriz AW ($\gamma_{\max}W$), a la cual se le calculó también el promedio que sería utilizado más adelante en la fórmula de Índice de Inconsistencia (IC) y que se encuentra representado en la tabla con color rojo. Seguidamente, se establecieron los valores $\gamma_{\max}$, mediante la división entre la matriz AW la matriz W. Por último, se calcularon los pesos estadísticos, los cuales serán utilizados más adelante para el proceso de algebra de mapas en la Etapa III. Estos pesos se obtienen del cálculo del promedio de cada una de las filas de la matriz A1.

Tabla 7: Resumen de operaciones matriciales

Variables	Matriz W	AW $\gamma_{\max}W$	$\gamma_{\max}$	Pesos estadísticos
1. Porcentaje de pendientes	1,244	14,94	12,01	0,113
2. Tipo de suelos	0,394	4,38	11,12	0,036
3. Uso de la tierra	2,467	29,44	11,93	0,224
4. Geología	0,381	4,23	11,09	0,035
5. Densidad de población	0,726	8,51	0,00	0,066
6. Pozos y nacientes	1,465	17,95	12,25	0,133
7. Zonas de vida	0,689	8,15	11,82	0,063
8. IFAS	0,728	7,58	10,41	0,066
9. Influencia caminos	1,142	13,70	11,99	0,104
10. Influencia ríos	0,570	6,50	11,40	0,052
11. Fragmentacion bosque	1,194	13,98	11,71	0,109
		11,76		

Respecto al peso estadístico de la Matriz de Saaty denominado como Razón de Inconsistencia (RI), se utilizó en primer lugar el valor promedio de $\gamma_{\max}W$ (11,76) para calcular el Índice de Consistencia (IC) el cual, aplicado a la fórmula tuvo un resultado de 0,08. Posteriormente, se determinó el valor del Índice de Consistencia Aleatoria (CA) a través del uso de la Tabla de Saaty (Tabla 1), en donde, para 11 variables, posee un valor de 1,51.

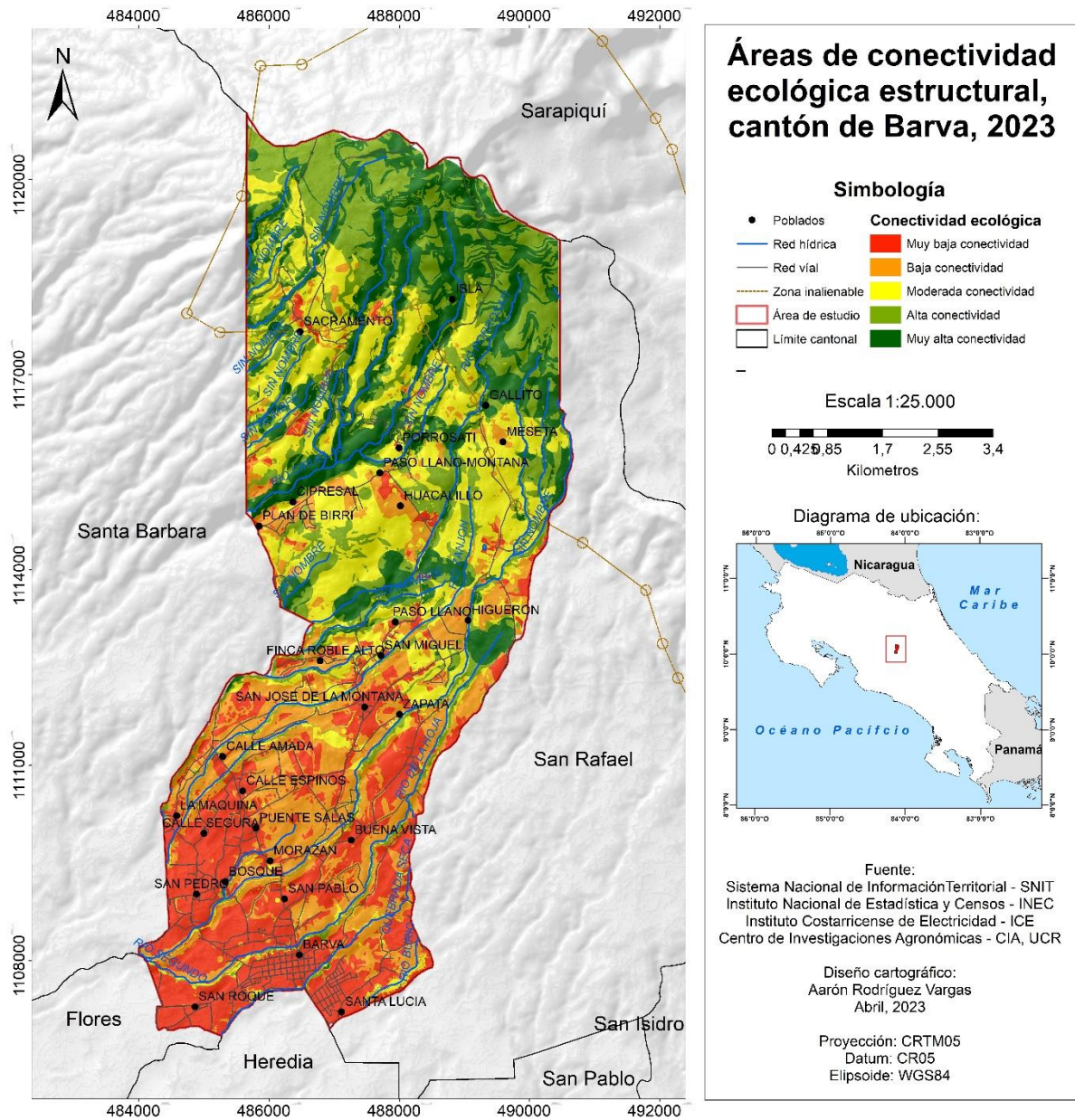
A partir de estos resultados, se calculó la RI la cual tuvo un valor de 0.05. Según la teoría, el error debe de ser menor a 0.1, por lo tanto, los resultados obtenidos en la Matriz de Saaty se consideran como aceptables ya que el valor es RI es considerablemente menor al 10%.

6.3. Etapa 3: Álgebra de mapas

Con respecto a la Etapa 3, esta define las áreas de conectividad ecológica estructural del CBIC dentro del cantón, basándose en la integración de los datos obtenidos en el proceso de asignación de pesos de valor de la Etapa 1 y los datos obtenidos en la asignación de los pesos estadísticos de la matriz de Saaty en la Etapa 2. De esta manera, los datos de los pesos estadísticos se deben multiplicar por los pesos de valor, para luego aplicar el álgebra de mapas.

Posterior a esto, una vez obtenidos los resultados de la multiplicación, se procede a convertir las capas de formato *vectorial* a formato *ráster* para generar los denominados “mapas estadísticos”. Estos mapas resultantes para cada una de las variables y su respectivo valor fueron sumados a través de la herramienta *Map Algebra* de ArcGIS. Finalmente, al aplicar esta sumatoria se obtiene el resultado del mapa de conectividad que posteriormente se reclasifica en quintiles y establece el grado de conectividad ecológica estructural (Rodríguez & Vega, 2015. Pág. 118), el cual se divide en cinco categorías que expresan el grado de conectividad: Muy alta, Alta, Moderada, Baja y Muy baja.

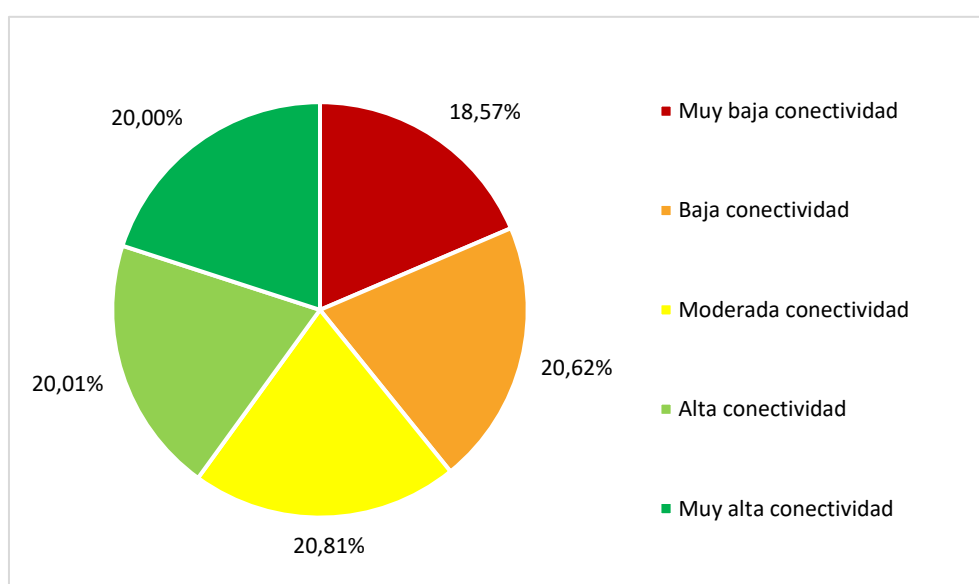
Por último, con base a los resultados anteriores y la obtención de la zonificación final de áreas de conectividad ecológica, se convirtió nuevamente la capa de formato ráster a vectorial, con el objetivo de obtener un archivo shapefile que representara de manera más concreta dichas áreas (*Mapa 14*).



*Mapa 14: Áreas de conectividad ecológica estructural del CBIC,
cantón de Barva, 2023*

En relación con la definición de las áreas de conectividad ecológica estructural del CBIC, el Grafico 1 muestra la distribución porcentual de dichas categorías dentro del cantón de Barva. Espacialmente existe una semejanza en cuanto a la distribución de estas, no obstante, los resultados son positivos, ya que la categoría que posee la menor área es la de muy baja conectividad ecológica, con 18%; mientras que el resto cuenta con aproximadamente un 20% del total del área.

Gráfico 1: Proporción de extensión de las categorías de conectividad ecológica estructural del CBIC en el cantón de Barva, 2023



Fuente: elaboración propia.

En el caso de las áreas con **muy baja conectividad**, estas se establecen principalmente en la parte baja del cantón, en los distritos de Barva, San Pedro, San Roque y Santa Lucía. Además, se encuentran ligadas directamente a un alto nivel de intervenciones antrópicas, las cuales se relacionan al exponencial desarrollo de áreas urbanas, la alta densidad vial y

poblacional, así como los ecosistemas intervenidos dentro de la ciudad. En relación con las zonas de vida asociadas, se encuentran el bosque muy húmedo premontano y el bosque húmedo premontano, las cuales poseen un índice climático húmedo montano. A su vez, el porcentaje de pendientes que sobre sale va de plano a moderadamente ondulado (0 a 15%), facilitando el desarrollo de actividades humanas. Respecto a los IFAS, se encuentran zonas con baja y moderada fragilidad ambiental y además, hay presencia de pozos con zonas de protección de 40 metros.

Por su parte, la categoría de **baja conectividad** se establece en la parte media-baja del cantón, principalmente en los distritos de San Pablo y la parte más baja de San José de la Montaña. Entre los usos de la tierra predominantes sobresalen la agricultura, mayoritariamente cultivos de café, tierras destinadas a pastos y un menor uso urbano con densidad de población media. Para el caso de las zonas de vida asociadas destaca el bosque muy húmedo premontano con un índice climático muy húmedo. Respecto a los porcentajes de pendientes, hay una predominancia existente de moderadamente ondulado a ondulado (8 a 30%). Además, en relación con los IFAS, existen zonas de moderada fragilidad ambiental y hay presencia de pozos con zonas de protección de 40 metros.

Para el caso de la categoría de **moderada conectividad**, esta se encuentra situada principalmente en la parte media-alta del cantón, esto en los distritos de San José de la Montaña y la zona alta de San Pablo. Destacan los usos de la tierra ligados a la agricultura (cultivos de café), tierras destinadas a pastos, las cuales son utilizadas principalmente para ganadería de leche, plantaciones forestales y algunos parches de bosque de galería. Las zonas de vida asociadas son el bosque muy húmedo montano bajo y el bosque pluvial montano bajo. Por otra parte, el porcentaje de pendientes es muy variado, pero a diferencia de las categorías anteriores se incluyen pendientes escarpadas y fuertemente escarpadas (30 a más de 75%). En esta categoría hay menor influencia de vías y mayor presencia de pozos y nacientes con áreas de

protección de 200 metros, lo que beneficia directamente a la conectividad. Por último, en relación con los IFAS, existe un panorama con moderada y alta fragilidad ambiental.

Por su parte, la categoría de **alta conectividad**, se sitúa principalmente el distrito de San José de la Montaña, con algunas franjas, siguiendo la trayectoria de los ríos hacia la parte baja del cantón. En ella destacan los usos de la tierra ligados a bosques, bosques de galería, y plantaciones forestales, con poca influencia de usos urbanos e influencia de vías, así como una baja densidad de población. A su vez, se encuentran presentes las zonas de vida de bosque muy húmedo montano bajo, el bosque pluvial montano bajo y en menor presencia el bosque pluvial montano transición montano bajo. Además, se incluyen las zonas de influencia de pozos y nacientes con 40 y 200 metros de protección, lo cual posibilita la conectividad en la zona. Respecto a las pendientes, en general son muy variadas, pero predominan las escarpadas y fuertemente escarpadas (30 a más de 75%). En relación con los IFAS, estos indican que poseen zonas con alta y muy alta fragilidad ambiental.

Finalmente, la categoría de **muy alta conectividad** se encuentra ligada directamente a la influencia del Parque Nacional Braulio Carrillo, el cual colinda con la parte más alta del cantón, específicamente en el distrito de San José de la Montaña. Esta zona posee el nivel de intervención humano más bajo, con menor influencia de vías y usos urbanos, así como una densidad de población escasa en comparación con el resto del área de estudio. No obstante, existen algunos parches en la zona media-alta que se relacionan directamente a las áreas de protección de pozos y nacientes. El mayor uso de la tierra en esta categoría está comprendido por bosque primario y secundario, así como bosque de galería. Sobresalen las zonas de vida bosque pluvial montano y bosque pluvial montano transición montano bajo. Respecto al porcentaje de pendientes, predominan las escarpadas y fuertemente escarpadas (30 a más de 75%), al igual que en la categoría anterior. Por último, según los IFAS, esta categoría posee

una alta y muy alta fragilidad ambiental principalmente relacionadas al riesgo volcánico y a zonas con vulnerabilidad de deslizamientos por el grado de las pendientes que posee.

7. Conclusiones

Existen distintas maneras de medir la conectividad ecológica de un área determinada, como trazar rutas de conectividad o las valoraciones en función de los usos del suelo. No obstante, estos estudios no son factibles cuando se trata de corredores biológicos interurbanos, debido a que estas zonas se encuentran altamente fragmentadas, poseen un alto nivel de desarrollo urbano, así como de actividades humanas. Además, un factor clave que impide la utilización de estos otros métodos es la predominancia de la propiedad privada, que imposibilita el uso del suelo para fines de conectividad ecológica.

Para el caso del presente estudio, al tratarse de un corredor biológico interurbano, se consideró que la manera más adecuada y óptima para establecer las áreas de conectividad ecológica estructural fue la aplicación del análisis multicriterio de Saaty, el cual selecciona y utiliza distintas variables que se encuentran relacionadas a la conectividad; aunque algunas de estas variables solo funcionan como indicadoras.

En ese sentido, la utilización de la metodología de Saaty permitió establecer las áreas de conectividad ecológica estructural para el Corredor Biológico Interurbano Cubujuquí (CBIC), dentro del cantón de Barva, así como la distribución espacial de cada una de las variables. A su vez, este método definió cuales son las variables de mayor importancia en relación con su grado de conectividad, las cuales con base a los resultados obtenidos para el estudio realizado son: 1) Usos de la tierra, 2) Protección de pozos y nacientes, 3) Porcentaje de pendientes, 4) Fragmentación de bosque y 5) Influencia de caminos y ríos; mientras que las

que poseen un valor menos significativo son: tipos de suelo y la geología; debido a que no influyen directamente con la conectividad ecológica y el paisaje. Esta información servirá de insumo tanto para el equipo multidisciplinario encargado del CBIC, como para la Municipalidad de Barva a la hora de tomar decisiones futuras respecto a este corredor biológico y algunos otros temas de conectividad ecológica dentro del cantón.

Por otra parte, el desarrollo de este estudio permitió dar a conocer la importancia de la zonificación de la conectividad ecológica estructural, como indicador determinante para representar el nivel de facilidad o dificultad que poseen espacios naturales específicos para desarrollar distintas interacciones e interrelaciones de biodiversidad.

Por último, en el ámbito de la gestión, el manejo y la planificación ambiental, se considera importante desarrollar y aplicar estrategias de conservación, principalmente cerca de los bosques y de los ríos presentes en la parte baja del cantón, con la intención de beneficiar al desplazamiento de las especies y el desarrollo de los ecosistemas dentro de la ciudad.

6. Cronograma

Actividad	Meses (Semanas)																	
	Marzo					Abril					Mayo					Junio		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Solicitud de carta de aprobación para la realización de la PPS	X																	
Revisión bibliográfica para el proyecto	X	X	X	X														
Reunión con el encargado en la institución					X													
Entrega de Tarea I			X															
Elaboración de documento escrito (borrador)			X															
Definición de metodología					X	X												
Entrega y presentación del Avance I							X											
Trabajo de campo								X										
Elaboración de mapas, gráficos y tablas								X	X	X	X							
Entrega y presentación del Avance II												X						
Análisis de resultados													X	X	X			
Entrega y presentación del Avance III																X		
Revisión del trabajo final																X	X	
Entrega y presentación de la PPS																		X

7. Referencias bibliográficas

- Alvarado, J. (2020). *Conectividad ecológica estructural de la microcuenca del río Tibás para la ampliación del Corredor Biológico Interurbano Pará - Toyopán*. [Práctica Profesional Supervisada como requisito para optar por el bachillerato en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio, Universidad Nacional de Costa Rica].
- Bermúdez, F. (2005). *PLAN DE MANEJO DEL PARQUE NACIONAL BRAULIO CARRILLO*. Ministerio del Ambiente y Energía Sistema Nacional de Áreas de Conservación Área de Conservación Cordillera Volcánica Central.
- Canet-Desanti, L. (2007). *Herramientas para el Diseño, Gestión y Monitoreo de Corredores Biológicos en Costa Rica*. [Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado como requisito para optar al grado de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza].
- Canet-Desanti, L., Herrera, B., & Finegan, B. (2012). *Efectividad de manejo en corredores biológicos: el caso de Costa Rica*. *Revista Parques*, 2(1-10).
- Correa Ayram, C. A., Mendoza, M. E., & López Granados, E. (2014). *Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México*. *Revista de Geografía Norte Grande*, (59), 7-23.

Corredor Biológico Interurbano para el área metropolitana de Heredia, desde un enfoque bioeconómico. (2022). Formulación de Proyecto Académico, UNA.

Decreto Ejecutivo N°23214-MAG-MIRENEM. Diario Oficial la Gaceta, San José, Costa Rica, 6 de junio de 1994.

Decreto Ejecutivo N°40043 - MINAE. (2017). Diario Oficial la Gaceta, San José, Costa Rica, 27 de enero de 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA EN TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. (2015). *SUELOS DE COSTA RICA ORDEN ANDISOL*. Boletín Técnico (8).

Ley N° 276. Diario Oficial la Gaceta, San José, Costa Rica, 27 de agosto de 1942.

Morera-Beita, C., Sandoval-Murillo, L. F., & Alfaro-Alvarado, L. D. (2021). *Evaluación de corredores biológicos en Costa Rica: estructura de paisaje y procesos de conectividad-fragmentación*. Revista Geográfica de América Central, (66), 106-132.

Municipalidad de Heredia. (2021). *Historia del Cantón de Barva*. Heredia, Gobierno Local. Recuperado el día 22 de marzo, 2023 de <https://www.heredia.go.cr/en/node/13756>

Potthast & Geppert. (2019). *Corredores Biológicos Interurbanos: Fusionando el capital construido y el capital natural de la ciudad*. Ambientico, (272).

Rodríguez & Vega. (2015). *DEFINICIÓN DE UN CORREDOR BIOLÓGICO URBANO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MACHO COMO CONTRIBUCIÓN AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LAS ZONAS ADYACENTES A LA RESERVA FORESTAL VOLCÁNICA CENTRAL*. [Seminario para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio, Universidad Nacional].

Romero, M., Bermúdez, T., Apuy, A., & García, D. (2022). *Corredor Biológico Interurbano para el área metropolitana de Heredia, desde un enfoque bioeconómico*.

Salazar, M., Alvarado, G., Madrigal, J., & Monestel, Y. (2019). *Deslizamientos históricos importantes en el volcán Barva (Costa Rica) y su transformación en flujos de escombros volcánicos*. Revista Geológica de América Central. n.61.

Vargas, A. (2002). *MANANTIALES DE UNA PARTE DEL VALLE CENTRAL DE COSTA RICA*. ICE. Revista Geológica de América Central, 27: 39-52.

8. Anexos

Anexo N°1: Estructura de la Matriz de Saaty

Criterios	1. Porcentaje de pendientes	2. Tipo de suelos	3. Uso de la tierra	4. Geología	5. Densidad de población	6. Pozos y nacientes	7. Zonas de vida	8. IFAS	9. Influencia caminos	10. Influencia ríos	11. Fragmentacion
1. Porcentaje de pendientes											
2. Tipo de suelos											
3. Uso de la tierra											
4. Geología											
5. Densidad de población											
6. Pozos y nacientes											
7. Zonas de vida											
8. IFAS											
9. Influencia caminos											
10. Inflencia ríos											
11. Fragmentación bosque											

Fuente: elaboración propia.