



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:

*Conectividad ecológica estructural de la microcuenca del río Tibás para la
ampliación del Corredor Biológico Interurbano Pará - Toyopán*

Realizada por:

José Ignacio Alvarado Espinoza

Instructor: Ing. Ronald Mora Vargas

Profesor: M. Sc. Luis Guillermo Calderón Ramírez

Código de curso: GEI 427

Heredia, Campus Omar Dengo, II Ciclo, noviembre de 2020

Agradecimientos

A Dios y a la Santísima Virgen por ser mi fe, esperanza y fortaleza, el impulso que me ha mantenido constante en este camino recorrido.

A mis padres, hermano, abuelas y abuelos, quiénes me han acompañado en cada uno de los retos y oportunidades que el estudio me ha dado. Igualmente a todos aquellos familiares que me han acompañado con un cándido aliento para continuar con mis metas, ilusiones y aspiraciones.

A la Oficina Subregional de Heredia SINAC-MINAE y al Consejo Local del Corredor Biológico Interurbano Pará-Toyopán por permitirme realizar este estudio y brindarme su apoyo y cercanía a lo largo de estos meses de trabajo. Manifiesto mi más cordial agradecimiento al Ing. Ronald Mora Vargas y al Ing. Sergio Feoli Borashi quiénes me compartieron su conocimiento, tiempo y dedicación para llevar a cabo esta práctica profesional.

A la Escuela de Ciencias Geográficas por el proceso de aprendizaje que me ha permitido vivir a lo largo de estos cuatro años y que ha forjado mi carácter profesional. Agradezco especialmente a la M.S.c. Ligia Hernando Echeverría por la compañía, orientación y guía que ha significado constantemente en este proceso. Al Dr. Omar Arrieta Chavarría por las tertulias sobre el espacio geográfico. A la Dra. Marilyn Romero Vargas por brindarme su cercanía, sabiduría y conocimiento en la aplicación y realización de este trabajo. Al M.S.c. Luis Guillermo Calderón Ramírez por la guía y consejos para el desarrollo de esta práctica profesional.

A mis amistades, compañeros, compañeras, conocidos y conocidas que han formado parte de este gran océano de conocimiento y me han dado su cercanía y ánimos para continuar siempre adelante en el arte y la ciencia.

Índice

Sección	Página
1. Introducción.....	1
1.1. Presentación del estudio.....	1
1.2. Panorama Institucional.....	2
2. Planteamiento del problema.....	4
3. Objetivos.....	6
3.1. Objetivo General.....	6
3.2. Objetivos Específicos.....	6
4. Justificación del estudio.....	7
5. Marco Teórico.....	9
5.1. Dimensión de la conectividad ecológica.....	9
5.2. Zonificación aplicada a la conectividad ecológica estructural.....	12
6. Metodología.....	15
6.1. Naturaleza de la Investigación.....	15
6.2. Área de estudio.....	16
6.3. Fases y Métodos.....	19
6.3.1. Fase I: Descripción y tratamiento de variables.....	19
6.3.2. Fase II: Generación de la matriz de Saaty.....	21
6.3.3. Fase III: Aplicación de álgebra de mapas y comparación cartográfica.....	24

7. Análisis de resultados.....	25
7.1. Fase I: Descripción y tratamiento de variables.....	25
7.2. Fase II: Generación de la matriz de Saaty.....	60
7.3. Fase III: Aplicación de álgebra de mapas y comparación cartográfica.....	66
8. Conclusiones.....	76
9. Bibliografía.....	78
10. Anexos.....	83

Tablas

Descripción	Página
<i>Tabla N°1:</i> Distribución cantonal presente en la microcuenca del río Tibás.....	17
<i>Tabla N°2:</i> Valores del Índice de consistencia aleatoria según el método de Saaty.....	23
<i>Tabla N°3:</i> Porcentaje de pendientes en la microcuenca del río Tibás.....	27
<i>Tabla N°4:</i> Porcentaje de usos de la tierra en la microcuenca del río Tibás.....	29
<i>Tabla N°5:</i> Densidad distrital poblacional proporcionada.....	33
<i>Tabla N°6:</i> Caracterización del Índice climático.....	36
<i>Tabla N°7:</i> Proporción de zonas de vida de Holdridge.....	40
<i>Tabla N°8:</i> Porcentaje de extensión IFA integrado.....	42
<i>Tabla N°9:</i> Porcentaje de vulnerabilidad de áreas de recarga.....	48
<i>Tabla N°10:</i> Métricas de paisaje sobre categoría de bosque.....	50

<i>Tabla N°11:</i> Cantidad de parches por tamaño y categoría de bosque.....	51
<i>Tabla N°12:</i> Determinación del índice de fragmentación boscosa.....	53
<i>Tabla N°13:</i> Matriz A de Saaty.....	61
<i>Tabla N°14:</i> Obtención de los Eigenvector.....	61
<i>Tabla N°15:</i> Matriz A1 de Saaty.....	61
<i>Tabla N°16:</i> Resumen de resultados matriciales.....	65
<i>Tabla N°17:</i> Distribución del grado de conectividad de la microcuenca por área distrital..	71
<i>Tabla N°18:</i> Relación porcentual de área unificada.....	75

Cuadros

Descripción	Página
<i>Cuadro N°1:</i> Agrupación de las variables de estudio.....	60
<i>Cuadro N°2:</i> Interpretación de asignación de valores.....	63

Figuras

Descripción	Página
<i>Figura N°1:</i> Variables y métodos aplicados.....	20
<i>Figura N°2:</i> Asignación de pesos de valor.....	21
<i>Figura N°3:</i> Clasificación del grado de conectividad/criticidad.....	24
<i>Figura N°4:</i> Asignación de pesos de valor por variable.....	56

Gráficos

Descripción	Página
<i>Gráfico N°1:</i> Proporción de extensión de las categorías de conectividad ecológica estructural de la microcuenca del río Tibás	68
<i>Gráfico N°2:</i> Proporción de extensión de las categorías de conectividad ecológica estructural del Corredor Biológico Interurbano Pará-Toyopán.....	74

Mapas

Descripción	Página
<i>Mapa N°1:</i> Microcuenca del río Tibás: Ubicación.....	18
<i>Mapa N°2:</i> Microcuenca del río Tibás: Porcentaje de pendientes.....	26
<i>Mapa N°3:</i> Microcuenca del río Tibás: Tipos de suelo.....	28
<i>Mapa N°4:</i> Microcuenca del río Tibás: Usos de la tierra, 2018.....	30
<i>Mapa N°5:</i> Microcuenca del río Tibás: Geología.....	32
<i>Mapa N°6:</i> Microcuenca del río Tibás: Densidad de población, 2011.....	35
<i>Mapa N°7:</i> Microcuenca del río Tibás: Índice climático, 2020.....	37
<i>Mapa N°8:</i> Microcuenca del río Tibás: Área de protección de pozos y nacientes.....	39
<i>Mapa N°9:</i> Microcuenca del río Tibás: Zonas de Vida de Holdridge, 2008.....	41
<i>Mapa N°10:</i> Microcuenca del río Tibás: IFA integrado, 2007.....	43
<i>Mapa N°11:</i> Microcuenca del río Tibás: Influencia de la red vial.....	45

<i>Mapa N°12: Microcuenca del río Tibás: Influencia de la red hídrica.....</i>	<i>47</i>
<i>Mapa N°13: Microcuenca del río Tibás: Vulnerabilidad áreas de recarga, 2007</i>	<i>49</i>
<i>Mapa N°14: Microcuenca del río Tibás: Tamaño de parche boscoso.....</i>	<i>52</i>
<i>Mapa N°15: Microcuenca del río Tibás: Índice de fragmentación boscosa.....</i>	<i>54</i>
<i>Mapa N°16: Microcuenca del río Tibás: Áreas críticas de conectividad ecológica estructural.....</i>	<i>67</i>
<i>Mapa N°17: Conectividad ecológica estructural microcuenca del río Tibás y Corredor Biológico Interurbano Pará-Toyopán.....</i>	<i>72</i>

Ecuaciones

Descripción	Página
(e.1). Índice de Consistencia (IC).....	22
(e.2). Razón de Inconsistencia (RI).....	23
(e.3). Densidad poblacional (Dp).....	34
(e.4). Densidad poblacional proporcionada (Dpp).....	34
(e.5). Índice de fragmentación (Infrag).....	53
(e.6). Índice de fragmentación escala 0-1 (Infrag ₀₋₁).....	53

Lista de acrónimos

Acrónimo	Descripción
<i>CB</i>	<i>Corredor Biológico</i>
<i>CBI</i>	<i>Corredor Biológico Interurbano</i>
<i>CBIPT</i>	<i>Corredor Biológico Interurbano Pará – Toyopán</i>
<i>CBM</i>	<i>Corredor Biológico Mesoamericano</i>
<i>CBMC</i>	<i>Corredor Biológico Marino Costero</i>
<i>CCBIPT</i>	<i>Consejo Local Corredor Biológico Interurbano Pará-Toyopán</i>
<i>CNFL</i>	<i>Compañía Nacional de Fuerza y Luz</i>
<i>GAM</i>	<i>Gran Área Metropolitana</i>
<i>IGN</i>	<i>Instituto Geográfico Nacional</i>
<i>MINAE</i>	<i>Ministerio de Ambiente y Energía</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

1.1. Presentación del estudio

Los estudios en conectividad ecológica han tomado gran interés para la ordenación del territorio debido a su importancia para el establecimiento de áreas en las que se necesita de intervención participativa en aras de la recuperación de los espacios naturales, el desarrollo sostenible y la conservación. Como señalan Gurrutxaga y Lozano (2008), la investigación sobre la estructura de los paisajes, abordados desde la Ecología del Paisaje, ha permitido evaluar la relación existente entre las interacciones que permiten la funcionalidad de los territorios con los cambios sobre los paisajes naturales y su dinámica ecológica. Dicho panorama ha permitido poner en perspectiva la influencia antrópica sobre el medio natural estudiándose la transformación y modificación de los paisajes y las interacciones y comportamientos que la biodiversidad asume como respuesta de su intervención.

En Costa Rica, la creación del Programa Nacional de Corredores Biológicos (PNCB), propuesto por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), ha servido de estrategia nacional para la promoción de la conservación y uso sostenible de la biodiversidad fuera de los territorios catalogados como áreas silvestres de protección. A través del PNCB se ha implementado la creación de los Corredores Biológicos (CB) los cuales han tomado los estudios en conectividad ecológica como parte de sus ejes estratégicos de implementación para procurar el resguardo y cuidado de la biodiversidad mediante la participación social y cultural (SINAC, 2018).

Los Corredores Biológicos Interurbanos (CBI) forman parte de dicha estrategia y tienen como fin extender el marco de acción institucional hacia las áreas urbanas que forman parte del Gran Área Metropolitana (GAM). Un ejemplo de esta categoría es el Corredor Biológico Interurbano Pará-Toyopán (CBIPT), el cual comprende parte del área de la microcuenca del río Pará (V. Pacífica) y quebradas pertenecientes a la cuenca del río Chirripó (V. Caribe). En el ámbito organizativo integra parte de las áreas político administrativas de los cantones de San Isidro, Santo Domingo, Moravia y Vázquez de Coronado.

Como parte de una iniciativa de ampliación para el CBIPT, este estudio se basa en la elaboración de una zonificación de áreas críticas de conectividad ecológica estructural para

la microcuenca del río Tibás, la cual corresponde al límite oeste del corredor y abarca el área de interés sobre la cual se desea establecer el nuevo límite territorial. En dicho ámbito, la conectividad ecológica estructural forma parte de los estudios en conectividad ecológica que se necesitan para definir una nueva delimitación para el corredor. De tal modo, el estudio se basa en la evaluación de las condiciones físicas o estructurales que presenta la microcuenca del río Tibás para la identificación y descripción del grado de conectividad ecológica estructural que posee sirviendo de insumo para la elaboración de un posterior perfil técnico sobre la ampliación del CBIPT.

1.2. Panorama institucional

El Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) se creó en el año 1988, mediante la Ley de la Biodiversidad N° 7788, como una institución desconcentrada y participativa del Ministerio Nacional de Ambiente y Energía (MINAE) que está encargada de gestionar, planificar y coordinar institucionalmente acciones en materia forestal, vida silvestre, áreas protegidas, uso de cuencas hidrográficas y sistemas hídricos para el manejo sostenible de los recursos naturales del territorio nacional (SINAC, 2017; Ley N° 7788 art. 22, 1988). “Con la Ley de Biodiversidad, el país – y principalmente el SINAC– promueve un modelo de gobernanza participativa, donde la sociedad civil tiene la oportunidad de dirigir la toma de decisiones en materia de conservación y uso sostenible de la biodiversidad y los recursos naturales” (Castro, 2019, p. 19).

Una de las estrategias implementadas para definir un marco de acción institucional sobre el ambiente y el desarrollo social de las comunidades ha sido la creación del Programa Nacional de Corredores Biológicos (PNCB). El PNCB se originó a partir de la adopción del proyecto Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) que permitió desarrollar la visión de estrategias institucionales, integradas desde el desarrollo económico y social, para la conservación y gestión de la biodiversidad a escala mesoamericana (Rojas y Chavarría, citados por SINAC, 2018). De igual manera, el CBM buscó integrar a los siete países de América Central y los estados del sur-sureste de México con el fin de promover acciones dirigidas desde la promoción de la sostenibilidad ambiental, la mejora de la calidad de vida poblacional, el manejo de la biodiversidad, la prevención y reducción de riesgos en

asentamientos humanos, afectaciones por deforestación y uso inapropiado de la tierra (Proyecto para la Consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano, 2002).

A través del Decreto Ejecutivo N° 33106 – MINAE, publicado el 30 de mayo de 2006, el SINAC estableció la vigencia del PNCB con el que dio inicio a la estrategia de conservación de los Corredores Biológicos (CB), concretizados dentro del Plan Estratégico del Programa Nacional de Corredores Biológicos 2009 – 2014. Para el 2017, se aprobó el Decreto Ejecutivo N° 40043 – MINAE que modifica las estipulaciones del primer decreto sobre el PNCB al integrar un enfoque más amplio en manejo de biodiversidad y en el que se contempla un nuevo plan estratégico para el período 2018 – 2025 (SINAC, 2018). “Dentro de las novedades del nuevo Decreto Ejecutivo (artículo 5 / de 40043 – MINAE), está la inclusión de dos modalidades, los corredores biológicos interurbanos (CBI) y los corredores biológicos marino – costeros (CBMC)” (p. 12).

El enfoque reestructurado que generó el Decreto Ejecutivo N° 40043 – MINAE fue fundamental para el establecimiento de acciones en materia socio-ambiental. Desde el punto de vista de la participación ciudadana, la inserción de los CB ha generado un impacto positivo para la organización territorial dentro de la cual el fomento del diálogo ha permitido la promoción de una mejora en la participación comunitaria para el desarrollo a través de intervenciones relacionadas con la satisfacción de necesidades básicas poblacionales y la protección ambiental (Calderón, 2019).

En el caso de los CBI, dos de los principales aportes están ligados a la valoración de los servicios ecosistémicos forestales y el fomento de modelos de gobernanza participativos dentro de su organización y administración. Según lo refiere Rodríguez (2019), la recuperación de trama verde y forestal en espacios urbanos es un efecto importante para la regulación del microclima, la mejora de la calidad del paisaje, la recuperación de especies, el mejoramiento de la calidad hídrica de cuerpos de agua y la promoción de una mejor calidad de vida para los habitantes. En el escenario de la gobernanza, de acuerdo con Feoli (2019), se ha valorado como herramienta trascendental por la cual, en el ejercicio del poder y las responsabilidades sobre la conservación, se permite vincular acciones según los actores involucrados con el fin de democratizar la toma de decisiones en materia ambiental en atención al Decreto Ejecutivo DAJ-D-010-2016 N° 39519 -MINAE.

2. Planteamiento del problema

A partir del año 2017, el SINAC introdujo dentro de sus estrategias para la conservación y el manejo de la biodiversidad la modalidad de los CBI; mediante la entrada en vigor del Decreto Ejecutivo N° 40043 – MINAE. En este se establecen los CBI como “extensión territorial urbana que proporciona conectividad entre paisajes, ecosistemas, y hábitats modificados o naturales, que interconectan microcuencas, tramos verdes de las ciudades (parques urbanos, áreas verdes, calles y avenidas arborizadas, línea férrea, isletas y bosque a orillas de ríos y otros) o áreas silvestres protegidas” (Decreto Ejecutivo N° 40043 – MINAE, 2017, s.p).

En el país, los CBI existentes están distribuidos dentro de la Gran Área Metropolitana (GAM) con el fin de interconectar trama verde perteneciente a los ríos urbanos de la región e incorporar a actores sociales, conformados por gobiernos locales y comunidades, dentro de las estrategias para el manejo y el aprovechamiento de los recursos naturales (Romero, Bermúdez, Alfaro y Durán, 2019). Tal es el caso de los seis CBI formalizados hasta el momento, los cuales están comprendidos por los CBI río Torres y María Aguilar pertenecientes a la provincia de San José, el CBI Cobric Surac de la provincia de Cartago, el CBI Garcimuñoz en la provincia de Alajuela y el CBI Pará-Toyopán que comprende parte de las provincias de San José y Heredia.

En el caso del Corredor Biológico Interurbano Pará-Toyopán (CBIPT), fue en 2010 que comenzó la propuesta para su delimitación como Corredor Biológico (CB) y para 2017 se presentó el perfil técnico para su oficialización por parte del PNCB bajo la categoría de CBI. Dentro de dicho panorama, la principal razón de su creación fue la atención a las problemáticas derivadas de la contaminación, deforestación y fragmentación boscosa de los sitios de fuentes de captación de agua superficial de la microcuenca, recursos esenciales para el sustento poblacional (Castrillo, Feoli, Mora y Villalobos, 2017). Actualmente, el corredor comprende parte de las divisiones territoriales administrativas de los cantones de San Isidro, Santo Domingo, Moravia y Vázquez de Coronado. En su organización se integran comunidades, actores sociales, gobiernos locales y funcionarios del SINAC que conforman

un ente administrativo denominado Consejo Local del Corredor Biológico Interurbano Pará Toyopán (CCBIPT).

Actualmente, por parte del CCBIPT y de la Oficina Subregional de Heredia, del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central del SINAC-MINAE, existe un interés por incluir el área de la microcuenca del río Tibás al límite del corredor con el fin de ampliar el margen de conectividad ecológica entre los cantones de San Isidro, Santo Domingo y San Rafael de Heredia dadas las características ambientales que comparten la microcuenca del río Pará y la microcuenca del río Tibás. Esta propuesta tiene como proyección extender el marco de acción institucional para vincular a más comunidades dentro de la participación para la conservación y la gestión de los espacios naturales en aras del desarrollo social sostenible.

En atención a lo anterior, con el fin de elaborar la propuesta técnica de ampliación por presentar ante el PNCB, surge la necesidad de realizar un estudio de conectividad ecológica estructural como parte de los criterios que fundamenten la integración de la microcuenca del río Tibás al área del CBIPT. Dicho aspecto se dirige hacia la elaboración de una cartografía de áreas críticas de conectividad ecológica estructural que permita identificar el grado de conectividad/fragmentación existente dentro de la microcuenca y así determinar si la microcuenca del río Tibás posee las condiciones para incorporarse como área al corredor.

De dicho modo, a raíz de implementar una visión geográfica y cartográfica de la distribución espacial de las variables paisajísticas, sociales, climáticas, geológicas e hidrográficas, que integran al ámbito de la conectividad, esta investigación se plantea como objetivo general la elaboración de dicha zonificación que tiene como fin servir de insumo para la toma de decisiones sobre la base de la ampliación territorial del CBIPT.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Elaborar la zonificación de la conectividad ecológica estructural de la microcuenca del río Tibás mediante la aplicación del método multicriterio de Saaty para la comparación cartográfica de su estructura con la del Corredor Biológico Interurbano Pará-Toyopán.

3.2. Objetivos Específicos

- Describir las variables vinculadas con la conectividad ecológica estructural de la microcuenca del río Tibás para la asignación de pesos estadísticos por criterio de experto según el análisis multicriterio de Saaty.
- Identificar las áreas críticas de conectividad ecológica estructural a partir de las variables valoradas según el análisis multicriterio de Saaty.
- Analizar espacialmente el grado de conectividad ecológica estructural de la microcuenca del río Tibás para su comparación cartográfica con la existente del Corredor Biológico Interurbano Pará-Toyopán.

4. Justificación del estudio

Como subcategoría de los Corredores Biológicos (CB), los CBI poseen una importancia fundamental para atender la situación de conectividad ecológica estructural en las áreas urbanas. Así lo refiere Solano (2017) al indicar que estando “posicionados en ambientes urbanos son cruciales para el funcionamiento tanto ambiental como social y económico en su zona de influencia. Sin embargo [sic], (...), poseen importantes desafíos en su consolidación y manejo, al estar con frecuencia expuestos a condiciones de estrés y disturbio humano” (p. 33).

De acuerdo con Jankilevich (2019), la creación de los CBI en Costa Rica permitió impulsarlos como una posible solución contra los efectos de la fragmentación ocasionada por la pérdida acelerada de los recursos locales, derivada del desarrollo urbano no regulado, principalmente en la GAM. A partir de ellos se ha podido intervenir en la planificación territorial con abordajes vistos desde el cambio climático, los encadenamientos productivos y la cohesión sociocultural. Dentro de este ámbito, la fragmentación es estudiada como el grado de pérdidas en las conexiones naturales que hay entre los ecosistemas del paisaje, dadas principalmente a partir de la alteración de las coberturas originarias por acción expansiva de la urbanización y la deforestación, representándose gran riesgo para la sobrevivencia y el desarrollo de la biodiversidad (Isaacs, Trujillo y Jaime, 2017).

En dicho panorama, los estudios de conectividad, al ser evaluaciones del grado de fragmentación del paisaje, poseen una gran importancia para la determinación de áreas sobre las cuales tomar decisiones con base en la gestión ambiental territorial. La trascendencia del abordaje de la conectividad sobre el paisaje, que toma como estudio el estado de fragmentación de las coberturas, representa una oportunidad por la cual integrar ámbitos de manejo ambiental como la disminución del grado de contaminación sobre las cuencas, la mejora en la prestación de bienes y servicios ambientales, la mitigación del riesgo de inundaciones y la mejora en los procesos de conservación. De tal modo se identifican las áreas que requieren acciones de intervención desde la restauración, la rehabilitación y la recuperación ecológica (Isaacs, Trujillo y Jaime, 2017).

En relación con lo expuesto anteriormente, la propuesta técnica para la oficialización del CBIPT se creó con el fin de gestionar una estrategia de protección y conservación participativa sobre los recursos naturales esenciales para las poblaciones locales. De acuerdo con Castrillo, Feoli, Mora y Villalobos (2017), fue una iniciativa vinculada a la solución de problemáticas sobre la contaminación y deforestación que incidía en la calidad de las fuentes de agua superficiales de uso poblacional. Al lado de ello, se ligó al restablecimiento de la conectividad entre las áreas del Parque Nacional Braulio Carrillo, la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central y la Zona Inalienable 1888. A partir de ello, el corredor fue un impulso a la iniciativa local de comunidades organizadas (principalmente de la Asociación de Desarrollo de San Luis de Santo Domingo) por recuperar la calidad de ecosistemas y recursos esenciales para el desarrollo poblacional.

En relación con lo anterior, la realización de un estudio de zonificación de conectividad ecológica estructural para la microcuenca del río Tibás serviría de base para ampliar el margen de influencia del CBIPT, al sumar nuevas comunidades al proceso de gestión de los recursos naturales, contribuyendo con la interconexión de la biodiversidad de las áreas de conservación que el corredor actualmente posee y la promoción de paisajes socioproductivos que incorporarían al cantón de San Rafael de Heredia dentro de las áreas político administrativas y actores sociales que participan dentro de la organización del área.

Para dicho ámbito, el abordaje de integración de variables mediante un análisis geográfico representa una vía importante por la cual analizar espacialmente el comportamiento que presenta la conectividad del paisaje. Esta situación está vinculada con el hecho de que la zonificación logra demostrar visualmente los distintos ámbitos que integran la estructura y conformación de los territorios, de tal modo que representa una herramienta sobre la cual se definen criterios para la toma de decisiones para la actuación. En el caso de la zonificación ecológica estructural se visualizan las áreas que presentan mayor conectividad, es decir menor grado de fragmentación, situación que servirá de insumo para el establecimiento de los espacios con un importante grado de conexión y su posterior delimitación a través de un corredor que los interconecte y haga funcional su continuidad.

5. Marco Teórico

5.1. Dimensión de la conectividad ecológica

La dimensión de la conectividad ecológica integra abordajes vistos desde el estudio de las estructuras de las unidades paisajísticas generando investigaciones para la comprensión del desplazamiento de la biodiversidad a través de los ecosistemas (World Wildlife Fund, 2015). Con base en lo anterior, la conectividad ecológica está ligada a comprender el grado de relación experimentado en las unidades paisajísticas definiéndose como “la facilidad o el impedimento que presenta el paisaje para el desplazamiento de las especies entre parches naturales con recursos” (Taylor, Fahrig, Henein y Merriam, 1993, p. 571). La facilidad o el impedimento están determinados por la existencia de barreras que inciden sobre la conectividad del paisaje y sobre el tránsito de las especies. Las barreras se pueden categorizar como artificiales (infraestructura vial, urbanización y usos del suelo), naturales (alineaciones montañosas y redes hidrográficas) y culturales (jurisdicción territorial privada o pública) (World Wildlife Fund, 2015).

De acuerdo con Rico (2017), dentro del concepto de conectividad ecológica existen dos componentes que evalúan el estado territorial del paisaje las cuales son la conectividad ecológica estructural y la conectividad ecológica funcional. La primera hace referencia a la descripción de los elementos naturales del paisaje, al lado de las acciones y estrategias planteadas para su recuperación; mientras que la segunda estudia el comportamiento de las especies a través de los elementos naturales que conforman los parches de hábitat. En ambas componentes, existe una importancia para el mantenimiento de la biodiversidad territorial dado que permiten la reproducción genética de las especies y la preservación ecológica del medio que define la estabilidad de los ecosistemas.

El grado de conectividad de los paisajes está determinado por la reducción y la fragmentación de los hábitat que son vistas como las principales causas de impacto ambiental hacia la biodiversidad y para las cuales se hacen necesarias soluciones desde la conservación, la restauración y la planificación (Gurrutxaga y Lozano, 2006). Según Vargas (2008), “la fragmentación de los paisajes naturales debe entenderse como el proceso en que extensas áreas de vegetación forestal reducen su superficie al dividirse en varias manchas más pequeñas por la acción de un agente externo” (p.10). El proceso de fragmentación se refleja

en el paisaje desde la reducción de los hábitats naturales hasta el incremento en las distancias físicas entre los fragmentos, de modo que los hábitats se aíslan cada vez más unos de otros, afectando la conectividad estructural y funcional de las especies, lo que supone la disminución de la densidad poblacional y el aumento del riesgo de extinción (Morera, Pintó y Romero, 2008). De allí, que muchas estrategias para la restauración y planificación de ecosistemas partan del análisis y evaluación de la conectividad con el fin de fomentar una resiliencia en el paisaje que logre mantener procesos biológicos como la movilidad de las especies y la dispersión de polen y semillas que son fundamentales para su conservación (Isaacs y Ariza, 2015).

En el caso específico de ambientes tropicales, la reducción de las coberturas forestales no conlleva únicamente a la fragmentación del paisaje sino que, por incidencia de la deforestación para la extracción de especies maderables, la calidad ecológica de los fragmentos disminuye quedando estratos forestales desfaunados y comúnmente bordeados por tierras agrícolas o extensiones de pastos con fines pecuarios (Morera, Pintó y Romero, 2008). Asimismo, en estos espacios, la deforestación está correlacionada con la influencia que ejerce el crecimiento de la población urbana y las exportaciones agrícolas que, en su expansión, ocasionan una presión sobre los espacios naturales fomentando cambios en las coberturas de la tierra y conllevando a la degradación de las condiciones naturales del suelo y las estructuras de los bosques naturales (Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, 2017), de modo que se altera la composición natural del territorio y se limita su funcionalidad para albergar las interacciones de la biodiversidad.

En dicho panorama, el abordaje sobre el paisaje ha funcionado de base geográfica para poder comprender la influencia de las actividades humanas con el medio y sus interacciones con las estructuras ecológicas. Con base en Morera, Pintó y Romero (2007), la transformación del paisaje es comprendida desde la interpretación y el estudio de cada momento histórico; además del estudio de las formas de relación entre la sociedad y el ambiente natural que, desde la perspectiva ecológica, posee consecuencias transformantes sobre la composición y organización de los hábitats. Para ello, “el paisaje se refiere a la morfología del espacio geográfico, al mosaico de elementos, dispuestos en unas determinadas proporciones de número, forma, posición geográfica y superficie, que

caracterizan un territorio concreto” (2007; p. 13). El estudio de dicha composición y organización, a través de la ecología del paisaje, ha permitido comprender integralmente la dimensión territorial del ambiente mediante nuevas técnicas de análisis científico que a través de la cartografía ecológica permiten identificar las estructuras naturales y ecosistemas (Morera y Sandoval, 2017); en relación con las dinámicas poblacionales y la fragmentación.

Dicho lo anterior, la unicidad de la comprensión entre conectividad ecológica y paisaje ha permitido ser la base del planteamiento de estrategias desde la ordenación territorial con el fin de incidir con acciones ambientales para la conservación. Desde la posición de Gurrutxaga (2004):

La toma de medidas para prevenir y corregir los impactos negativos de los procesos de fragmentación de hábitats y poblaciones silvestres requiere estrategias territoriales integradas e instrumentos normativos de carácter horizontal, dada la notable incidencia de diversas políticas sectoriales sobre la dinámica de dichos procesos y sus posibles vías de mitigación (p.129).

De acuerdo con el autor, el planteamiento de estas acciones se debe direccionar desde la integración conjunta de políticas territoriales urbanísticas, de infraestructura pública, agrícolas, forestales y de conservación. Además, destaca la integración de criterios de conectividad ecológica territorial dentro de evaluaciones de impacto ambiental, análisis de infraestructuras viales para el evalúo del grado de permeabilidad sobre el paisaje, planificación ecorregional sobre paisajes naturales protegidos e instrumentos de planificación sectorial. Por lo tanto, se llega a una visión conjunta que logra organizar las perspectivas territoriales que inciden e impactan directamente sobre el paisaje de modo que se convierten en una vía por la cual hacer frente a las problemáticas ligadas a la fragmentación de los espacios naturales.

Un ejemplo concreto de la aplicación de este tipo de estrategias se ve reflejado en la consolidación de los CB. Según lo señalan Alonso et. al (2017), los CB se basan en el supuesto de la conexión territorial de fragmentos de hábitat para la disminución de las posibilidades de extinción de las especies por aislamiento en los ecosistemas. Según los autores, históricamente la estrategia fue planteada por Wilson y Willis en 1975 al tomar como base teórica la Teoría del Equilibrio de Biogeografía de Islas realizada por MacArthur y

Wilson en 1967. Para Schlönvoigt (2019), la funcionalidad que tienen los CB comprende el contrarrestar y prevenir la fragmentación boscosa y el aislamiento de hábitats, el mantenimiento de reservas naturales y conexión de corredores ecológicos, la restauración de la conectividad, la integración de objetivos de conservación y servicios ecosistémicos para la planificación local y el fomento del desarrollo económico. De allí que sean una perspectiva de planificación ecológica integral con importantes beneficios sobre la organización y coordinación para la planificación de los recursos; al lado de ser una oportunidad para la vinculación de entes gubernamentales, grupos y actores con la conservación de la biodiversidad.

5.2. Zonificación aplicada a la conectividad ecológica estructural

Como anteriormente se mencionó, la conectividad ecológica se integra a partir de la evaluación de la conectividad ecológica estructural y la conectividad ecológica funcional. Retomando lo señalado a partir de Rico (2017), se obtiene que la conectividad ecológica estructural se liga a la evaluación de la estructura territorial del paisaje. Para Gurrutxaga (2004), esta variante permite evaluar espacialmente el grado de continuidad entre las manchas del paisaje, de modo que su naturaleza es de medición cartográfica. Así, “cuanto más separados o distanciados estén los fragmentos de hábitat entre ellos, menor conectividad espacial tendrá dicho hábitat en el paisaje” (p. 20).

El estudio de la conectividad es comúnmente trabajado a partir de modelos que permiten medir el grado de facilidad o dificultad entre los parches de hábitat y sus condiciones estructurales para la movilidad de las especies (Urban y Keitt 2001, Adraensen et al. 2003, Hargrove et al. 2004, Mac Rae et al. 2003; citados por Isaacs, Trujillo y Jaime, 2010). El método más empleado de estas metodologías se basa en elaboración de grillas de resistencia que se diseñan a partir de “la unión de diferentes variables espaciales como por ejemplo cobertura, pendiente, altura, presencia de infraestructura humana, distancia a fuentes de agua, entre otros aspectos del hábitat que son importantes para las especies” (Bennet 2006, Theobald 2006, citados por Isaacs, Trujillo y Jaime, p. 72).

La expresión de la espacialidad de la conectividad toma como base de trabajo la elaboración del proceso de zonificación que corresponde a la evaluación cartográfica de las

distintas variables de análisis. De acuerdo con Martínez (2017), la zonificación vista desde los estudios en ecología es un método de clasificación espacial por el que se definen y caracterizan áreas o zonas, según criterios naturales y sociales, que comprenden a la totalidad del paisaje local y sirve de técnica para la identificación de aspectos como coberturas, usos de la tierra y contextos geográficos específicos. En dicho panorama:

La zonificación es (...) un proceso de división o parcelamiento, ya sea regular o irregular, en un área determinada, define zonas individuales que poseen características propias y un grado relativamente alto de uniformidad interna en todos o en ciertos atributos esenciales para propósitos específicos y caracterizar “zonas”, lo que se realiza en función de la integración de múltiples variables que permiten la evaluación de sus aptitudes para su agrupamiento (Martínez, 2017, p. 349).

En relación con lo anterior, gran parte de estudios sobre la conectividad ecológica estructural toman como base la técnica de la zonificación como herramienta para evaluar la condición del paisaje con el fin de establecer áreas sobre las cuales ejercer decisiones. En dicho aspecto, la zonificación de áreas críticas de conectividad es el proceso de establecimiento de dicho panorama ecológico que, para Useche (2006), se definen como “áreas en donde acciones de restauración ecológica para mejorar la conectividad estructural del paisaje son necesarias debido a que ésta se ve afectada o inhibida por la pérdida de hábitat” (p.181).

Rodríguez y Vega (2015) señalan que en Costa Rica el estudio de las áreas críticas de conectividad ecológica a estado influenciado por la implementación del método multicriterio que propuso Saaty entre 1977 y 1980 para la interpretación de variables que requieren toma de decisiones. En su desarrollo, la CNFL ha sido un importante actor que ha fomentado la aplicación de la metodología en aras de la delimitación de corredores biológicos interurbanos, verbigracia, los proyectos en las microcuencas de los ríos Pará, Torres, Tibás y Macho.

Es importante señalar que la elaboración de dichos estudios en conectividad se basan en la adaptación aplicada de la metodología multicriterio de Saaty, la cual de acuerdo con Márquez y Baltierra (2017), corresponde a un proceso jerárquico analítico desarrollado por Thomas L. Saaty para la toma de decisiones sobre procesos complejos y el cual “provee un marco de referencia para estructurar un problema de decisión, para representar y cuantificar

sus elementos, relacionar esos elementos a los objetivos generales y para evaluar alternativas de solución” (p. 5). La aplicación de esta metodología varía de la utilizada por estudios similares como en Isaacs, Trujillo y Jaimes (2017) y Useche (2006) en cuanto al tratamiento de la información espacial e integración de variables aunque el resultado final mantiene como objetivo llevar a la producción de una cartografía que exprese la condición de conectividad ecológica existente según las condiciones del paisaje.

Todo lo anterior, mantiene como trayectoria el fomento de una gestión ambiental dentro de los espacios urbanos y las cuencas hidrográficas con el fin de promover acciones desde la sostenibilidad ambiental para la recuperación ecológica de las áreas urbanas. Así lo refiere Feoli (2013) al indicar que la visión sobre los corredores biológicos interurbanos en Costa Rica permite estratégicamente abordar los problemas del deterioro de los ecosistemas urbanos por causa antrópica; al lado, de la valoración de las actividades sociales que se desarrollan en las cuencas hidrográficas. A partir de ello, se crean funcionalidades sobre los espacios urbanos que les permiten actuar como áreas geográficas importantes para el desarrollo de la biodiversidad urbana a través de la continuidad de áreas verdes que mitigan el efecto del crecimiento urbano y la expansión del medio construido.

A modo de finalización del apartado teórico, la importancia de la conceptualización sobre conectividad ecológica realizada en la sección (5.1) y el abordaje del panorama aplicado a su componente, la conectividad ecológica estructural, en la sección (5.2), está en la comprensión de los criterios teórico-prácticos que se integran en este estudio como parte de la revisión bibliográfica de partida. Identificar la relación de los impactos de la fragmentación de ecosistemas con la transformación del paisaje y la pérdida de conectividad ecológica permite interpretar la problemática general ocasionada por la disminución y alteración de las coberturas originarias de los ecosistemas, en este caso urbanos.

Para dicho panorama, el establecimiento de metodologías para la zonificación de áreas críticas de conectividad ecológica es una herramienta fundamental para dirigir acciones de intervención sobre la problemática y establecer estrategias para la conservación, recuperación o rehabilitación de hábitats que son necesarias para mantener los procesos biológicos esenciales para la sobrevivencia de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que sustentan a las poblaciones y comunidades.

6. Metodología

6.1. Naturaleza de la investigación

La metodología del estudio posee un enfoque de análisis mixto que utiliza técnicas y herramientas para el tratamiento de la información tanto cualitativa como cuantitativa. En dicho aspecto, ambos enfoques se integran como parte del uso del método multicriterio de Saaty que se basa en un proceso jerárquico analítico en el que se asignan pesos de valor cualitativos y el uso de indicadores ponderados para la selección de variables.

El ámbito cualitativo está dado por el proceso de descripción y valoración de las variables que utilizan mediciones y tratamiento de datos de índole nominal y ordinal para el establecimiento de categorías y jerarquías dentro del proceso de análisis. En este caso, se utilizan estas técnicas y métodos dentro de la descripción general de las variables relacionadas con el ámbito de la conectividad, así como en el proceso de la asignación de pesos de valor que se realiza en la construcción inicial de la matriz de Saaty y la elaboración cartográfica del mapa de áreas críticas de conectividad ecológica estructural.

Por el lado del ámbito cuantitativo se emplean indicadores propios de los análisis matriciales con el fin de establecer valores estadísticos que permitan corregir la inconsistencia de los pesos asignados por el criterio de experto, que fueron establecidos mediante la participación de un grupo focal integrado por el practicante y los representantes: Ing. Sergio Feoli Borashi (CNFL), Ing. Ronald Mora Vargas (SINAC) y la Geog. Marilyn Romero Vargas (Escuela de Ciencias Geográficas – UNA). En dicho panorama, el enfoque cuantitativo se utiliza únicamente en el tratamiento de la información de la matriz de Saaty que se compone de operaciones entre valores de matrices y de la que se obtiene la razón de inconsistencia que se utilizará como prueba estadística del criterio de experto para expresar los valores de conectividad ecológica estructural dentro del mapa de áreas críticas.

En cuanto al alcance de investigación, el estudio se caracteriza por poseer una naturaleza descriptiva dado que se parte de la descripción de las variables sobre el paisaje, sociedad, geología, climatología e hidrografía, para la definición del perfil de conectividad ecológica estructural de la microcuenca del río Tibás. Es importante destacar que para el área

de estudio se han realizado otras investigaciones relacionadas con la evaluación de variables ambientales, algunos ejemplos son los estudios en recurso hídrico realizados por Herrera y Hernández (1993) y Leandro, Coto y Salgado (2010); la investigación de susceptibilidad a procesos de ladera de Fallas (2015); el estudio de composición forestal de Calvo, Bermúdez y Vega (2017); la evaluación de zonas de restauración forestal y uso del suelo de Calvo Bermúdez y Vega (2018) y la delimitación preliminar propuesta por Navarro (2015) para el establecimiento del corredor interurbano.

Finalmente, en relación con la información consultada, se utilizaron fuentes de datos de origen primario y secundario que facilitaron el diseño cartográfico y la descripción bibliográfica de las variables. Las fuentes primarias corresponden a los archivos *shapefile* suministrados por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), el Atlas del Instituto Tecnológico de Costa Rica 2014 y el Instituto Geográfico Nacional (IGN) a través del Servicio Nacional de Información Territorial (SNIT). En cuanto a las fuentes secundarias, fueron abordadas a partir de documentos bibliográficos que comprenden artículos científicos, libros y exposiciones relacionados con la teoría general sobre corredores biológicos interurbanos, zonificación de conectividad ecológica estructural, metodologías de análisis sobre la conectividad y descripción general de la microcuenca.

6.2. Área de estudio

El área de estudio corresponde la microcuenca del río Tibás, ubicada en la provincia de Heredia. Su extensión abarca alrededor de los 46,40 km² y pertenece a la subcuenca del río Virilla y a su vez a la cuenca del río Grande de Tárcoles, correspondientes a la vertiente Pacífica de Costa Rica. En cuanto a su ubicación, se localiza en las coordenadas extremas 10°4'60" N y 84°5'56" O, en su sección norte, y las coordenadas 9°55'43" N y 84°10'10" O, en su sección sur, de acuerdo con el sistema de proyección de coordenadas WGS84 (Fallas, 2015) (*Véase Mapa N°1*).

La microcuenca comprende 10 divisiones distritales que pertenecen a los cantones de Santo Domingo, San Isidro y San Rafael de Heredia. En el caso del cantón de Santo Domingo se integra parte de los distritos de Santo Tomás, San Vicente, San Miguel, Pará y completamente el área del distrito de Tures. Para el caso de San Isidro, la microcuenca abarca

parte de los distritos de San Francisco, San José, Concepción y la totalidad del distrito primero de San Isidro. En último caso, para el cantón de San Rafael, se integra únicamente parte del distrito de Concepción (*Véase Tabla N° 1*).

Tabla N° 1:
Distribución cantonal presente en la microcuenca del río Tibás

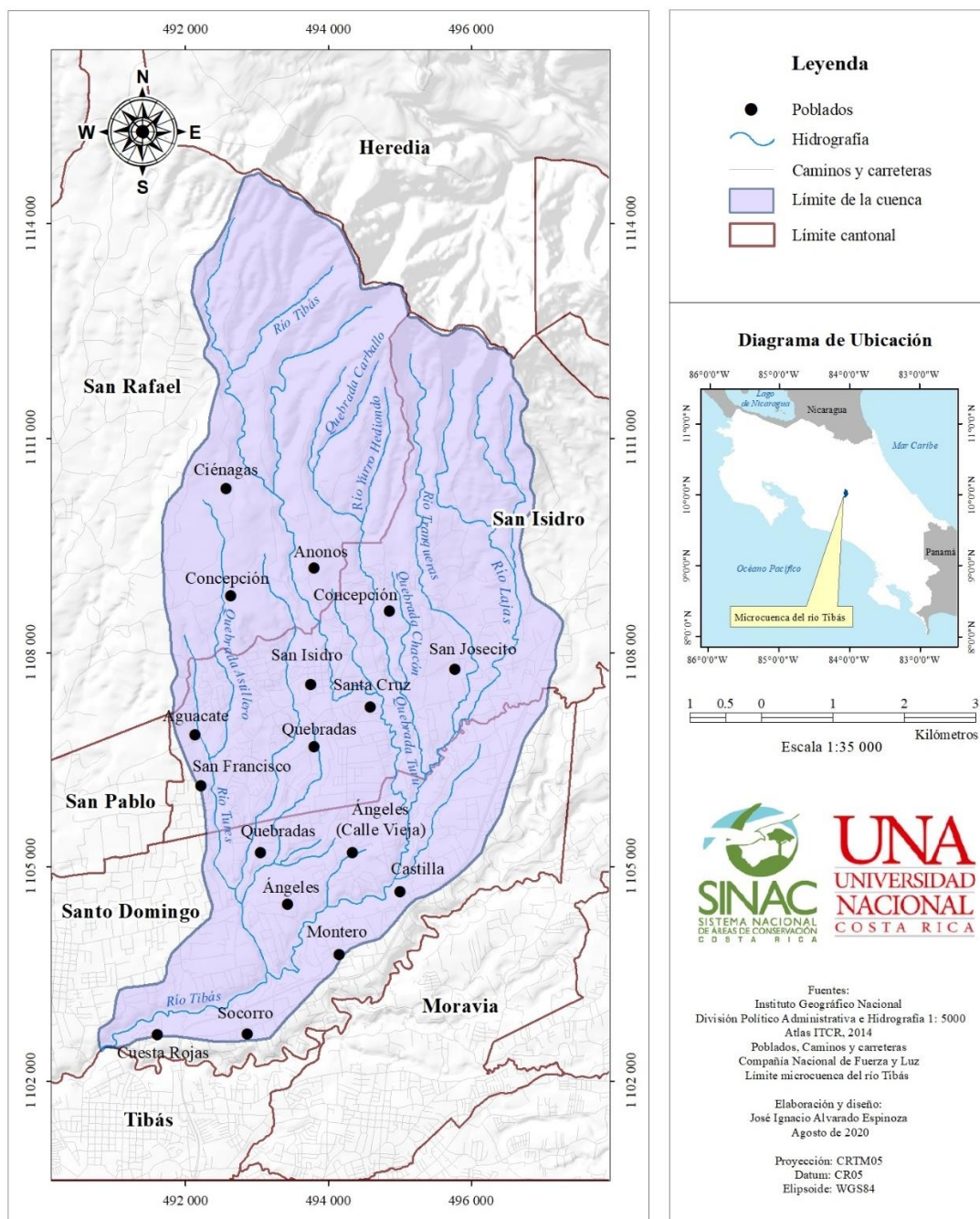
Cantón	Distrito	Área del Distrito (km ²)	Área del distrito dentro de la microcuenca (km ²)	Porcentaje territorial de los distritos dentro de la microcuenca	Porcentaje de la microcuenca por distritos
Santo Domingo	Santo Tomás	3.54	1.88	53.11%	4.06%
	San Vicente	2.88	0.28	9.72%	0.60%
	San Miguel	5.9	3.22	54.58%	6.95%
	Tures	3.88	3.88	100.00%	8.38%
	Pará	2.87	2.03	70.73%	4.38%
San Isidro	San Francisco	4.56	4.06	89.04%	8.77%
	San Isidro	2.67	2.67	100.00%	5.77%
	San José	11.37	4.64	40.81%	10.03%
	Concepción	8.07	7.49	92.81%	16.18%
San Rafael	Concepción	22.81	16.15	70.80%	34.88%
Total		68.55	46.3	-	100.00%

Fuente: elaboración propia a partir de adaptación de Rodríguez y Vega (2015)

En cuanto a su caracterización física general, la microcuenca se encuentra situada a 9 kilómetros al noreste de la ciudad de Heredia, en las estribaciones sudoccidentales del Cerro Chompipe, el Cerro Delicias y el Cerro Tibás, pertenecientes a la Cordillera Volcánica Central. La geomorfología es de un modelado juvenil con un relieve volcánico del período Pleistoceno, caracterizado por fuertes pendientes, pequeños valles en “v” y un talweg en el cauce principal que no sobrepasa los 12 m pero que muestra un alto índice de rugosidad y potentes taludes de erosión (Herrera y Hernández, 1993). En relación con su hidrografía, la microcuenca integra los cauces de los ríos Tibás, Tures y Tranqueras, los cuales poseen sus nacientes cerca de zonas protegidas en áreas de recarga acuífera con alta precipitación pluvial (Leandro, Coto y Salgado, 2010).

Dentro de su climatología, la microcuenca está determinada por un régimen climático influenciado por los sistemas de viento provenientes del Mar Caribe y el Océano Pacífico. La acción de los vientos alisios del noreste, que provienen del Mar Caribe, dejan marcado dos escenarios climáticos: sobre los 2000 m.s.n.m. existen importantes aportes de nubosidad

y abundantes lluvias todo el año y por debajo de los 2000 m.s.n.m. el aporte de humedad disminuye con menor cantidad de lluvias para la zona. Para el período entre mayo-noviembre, disminuye la acción de los alisios del noreste e incursionan los vientos del Pacífico con dirección suroeste que propician abundante nubosidad y lluvias torrenciales con mayor intensidad hacia las zonas bajas de la microcuenca (Herrera y Hernández, 1993).



Mapa N°1: Microcuenca del río Tibás, Ubicación

Estos vientos, denominados oestes ecuatoriales tienen un período de debilitamiento entre mediados de noviembre y finales del mes de abril. Según Herrera y Hernández (1993), dicho aspecto genera el período seco para las zonas bajas de la microcuenca, situación que conlleva a déficits de humedad en el suelo. En dicho ámbito, los caudales de escorrentía en las quebradas y ríos reciben aportes procedentes de la infiltración del agua que ingresa a lo largo del año y las lluvias orográficas interceptadas por la vegetación en las partes altas de la microcuenca.

6.3. Fases y métodos

El estudio tomó como referencia de guía metodológica la investigación de tesis realizada por Rodríguez y Vega (2015), dirigida al establecimiento de áreas críticas de conectividad ecológica estructural en la microcuenca del río Macho, ubicada en la provincia de San José. En ella, se utiliza el análisis multicriterio de Saaty aplicado a la integración y el tratamiento de variables relacionadas con la conectividad ecológica estructural con el fin de realizar una propuesta de delimitación de un CBI para la microcuenca.

A partir de lo anterior, es importante destacar que, como el presente estudio tiene por objetivo estudiar el área de la microcuenca del río Tibás en relación con la ampliación del CBIPT, no se realizó un proceso de selección de variables como lo proponen Rodríguez y Vega (2015) sino que se integraron las variables utilizadas para la creación del CBIPT. Dicho lo anterior, la aplicación de la metodología parte de la asignación de los pesos de valor de las quince variables de análisis y la generación de la matriz de Saaty para la obtención de las expresiones del grado de conectividad ecológica estructural de la microcuenca. En dicho aspecto, se plantearon tres fases de trabajo que comprendieron: el proceso de descripción y tratamiento de las variables de estudio, la generación de la matriz de Saaty por criterio de experto y el diseño del mapa de áreas críticas de conectividad ecológica estructural para la comparación con la cartografía de conectividad existente para el CBIPT.

6.3.1. Fase I : Descripción y tratamiento de variables

Se realizó una descripción de catorce variables de estudio a partir de cartografía temática y un tratamiento de la información espacial mediante el uso de Sistemas Información Geográfica (SIG) para la asignación de pesos de valor con los cuales establecer

el grado de importancia. Para ello, se utilizó el programa ArcGIS 10.7 con el que se trabajó el diseño cartográfico, la asignación de los pesos de valor en las tablas de atributos de las variables y la conversión del formato *shapefile* a *ráster*. Dentro del proceso de conversión a formato *ráster*, se utilizó como valor de unidad mínima cartografiable el mismo generado para la creación de la propuesta técnica del CBIPT el cual corresponde a un tamaño de celda de 5m².

En relación con las variables integradas dentro del estudio, para expresar el grado de conectividad ecológica estructural de la microcuenca del río Tibás, la *Figura N°1* muestra las catorce que fueron abarcadas, así como también un resumen general de las fases y métodos empleados para obtener el mapa de áreas críticas de conectividad.

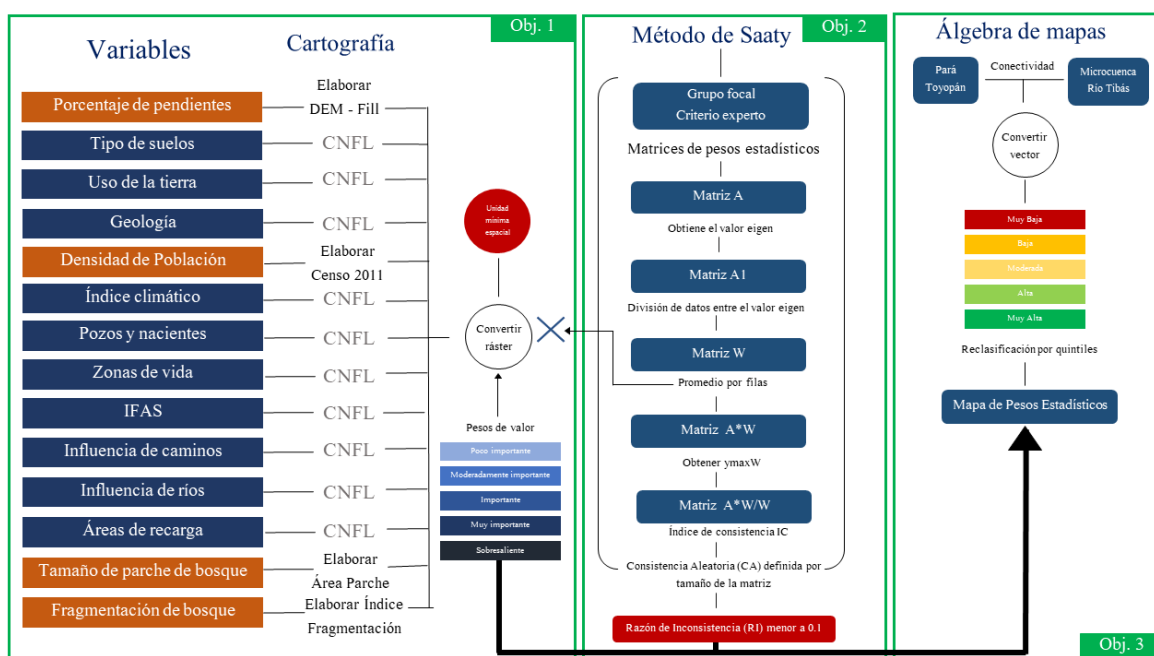


Figura N°1: Variables y métodos aplicados

Fuente: elaboración propia a partir de adaptación de Rodríguez y Vega (2015)

Con color azul se ilustran las variables (información espacial) que fueron facilitadas por la CNFL para la realización del estudio, a las cuales se les realizó un mapa temático para visualizar su distribución y una asignación de pesos de valor a cada uno de sus elementos para después realizar la conversión al formato *ráster*. Por otro lado, con color naranja se

ilustran las variables que fueron generadas para completar la información espacial que no se poseía, las cuales correspondieron al porcentaje de pendientes, la densidad poblacional, el tamaño de parche y la fragmentación de las categorías de bosque seleccionadas a partir de la capa de uso de la tierra. A partir de ello, se siguió la misma dinámica empleada en las variables ilustradas con color azul: el diseño de un mapa temático, la asignación de los pesos de valor para cada elemento de la capa y la conversión de la información a formato *ráster*.

En cuanto al proceso de asignación de los pesos de valor, consistió en la asignación de números del 1 al 5 para establecer una jerarquía de importancia para cada elemento que conformaba la información espacial de las variables. Estos números, son establecidos por criterio de experto y asignados por los integrantes del grupo focal para establecer un orden de importancia en la información de cada variable. De tal modo, funcionan de discriminantes para el establecimiento de la representatividad de los datos con base en el grado de conectividad ecológica.

Asignación de pesos de valor

1	Poco importante
2	Moderadamente importante
3	Importante
4	Muy importante
5	Sobresaliente

Figura N°2: Asignación de pesos de valor

Fuente: adaptación de Saaty (1977), citado por Chinchilla (2013) y Rodríguez y Vega (2015)

6.3.2. Fase II : Generación de la matriz de Saaty

Con la asignación de los pesos de valor y las capas convertidas en formato *ráster*, se procedió a la aplicación del análisis multicriterio que se basa en la generación de una matriz de pesos estadísticos (*véase Anexo N°1*). A través de operaciones matriciales, se obtiene la

Razón de inconsistencia (RI) que validará el método de criterio de experto utilizado y el cálculo del peso estadístico promedio de cada variable con el fin de expresar el grado de conectividad ecológica estructural. Dicho lo anterior, la matriz de pesos estadísticos se basa en la asignación de valores entre todas las variables para establecer el grado de importancia entre ellas. Su elaboración se realizó mediante la asignación de valores numéricos que permitieran expresar las interrelaciones proporcionales de las variables.

Para la generación de la matriz de pesos se siguieron los pasos señalados por Rodríguez y Vega (2015) basados en el método de Saaty. En un primer aspecto, se generó la Matriz A (Average) en la cual se asignaron valores de importancia según el grado de relación entre cada variable ordenada en la matriz. A partir de los datos se calcularon los valores “Eigenvector”, obtenidos de la sumatoria de las columnas. Seguidamente, se obtuvo la Matriz A1 que resultó de la división de las celdas de cada columna de variable entre su respectivo valor “Eigenvector”. A partir de ello, se aplicó una sumatoria de cada una de las filas de la matriz de modo que se obtuvo la Matriz W (Weight), asimismo, se calculó el promedio para cada una de las filas. Con la Matriz W se determinó el valor promedio de $\gamma_{\max}W$ que resultó de la multiplicación de la Matriz A por la Matriz W dando como resultado la Matriz AW (Average Weight). Finalmente, se dividió la Matriz AW entre la Matriz W para obtener el dato γ_{\max} .

A partir de los procedimientos matriciales anteriores, se determinó el corrector o prueba estadística para validar el criterio de experto empleado en la asignación de los valores de importancia de la Matriz A1 el cual corresponde a la Razón de inconsistencia (RI). Este se obtiene del Índice de Consistencia (IC) y el Índice de Consistencia Aleatoria (CA). Primeramente, se tomó el valor promedio obtenido de la matriz AW con el que se calculó el Índice de consistencia (IC) utilizando la siguiente forma:

$$IC = \gamma_{\max}W - n/n - 1 \quad (e. 1)$$

Donde:

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

Seguido del cálculo del IC se procedió a obtener el Índice de consistencia aleatoria (CA) el cual se obtuvo de la *Tabla N°2* en la que n representa la cantidad de variables de la matriz y C + 0.0A indica el valor de la consistencia aleatoria.

Tabla N°2

Valores del Índice de consistencia aleatoria (CA) según el método de 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)

Una vez obtenidos los valores del Índice de consistencia (IC) y el valor del Índice de consistencia aleatoria se procedió a calcular la Razón de inconsistencia (RI) mediante la forma de razón:

$$RI = IC/ CA \quad (e. 2)$$

Donde:

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

El resultado de la obtención de la RI o peso estadístico de Saaty debe de generar un valor menor a 0.1 (menor al 10%) de tal modo que se pueda validar el criterio de experto asignado según lo indicado por Rodríguez y Vega (2015) (en el caso de este estudio se obtuvo un error del 0.1 que será justificado en el apartado de resultados). Una vez que se validó la razón de inconsistencia, mediante la comprobación del dato, se tomó el valor promedio obtenido en las filas de la Matriz A1 para multiplicarlo con el peso de valor asignado a cada variable en formato *ráster* durante la Fase I de la metodología.

6.3.3. Fase III: Aplicación de álgebra de mapas y comparación cartográfica

La última fase del estudio correspondió a la aplicación del álgebra de mapas para integrar las capas *ráster* de las variables y proceder a la comparación de las características de las áreas críticas de conectividad ecológica estructural de la microcuenca del río Tibás con la información existente para el CBIPT. En dicho ámbito se tomaron las capas *ráster* con los valores de pesos estadísticos y, a través del *raster calculator* del Arc GIS, se unificaron todas las variables en una sola vista de manera que se obtuvieron los valores de expresión del grado de conectividad ecológica estructural. Así, según lo recomendado por Chinchilla (2013), citado por Rodríguez y Vega (2015), se procedió a efectuar una reclasificación por quintiles expresada en la *Figura N°3* que además muestra la interpretación de los datos con base en la conectividad.

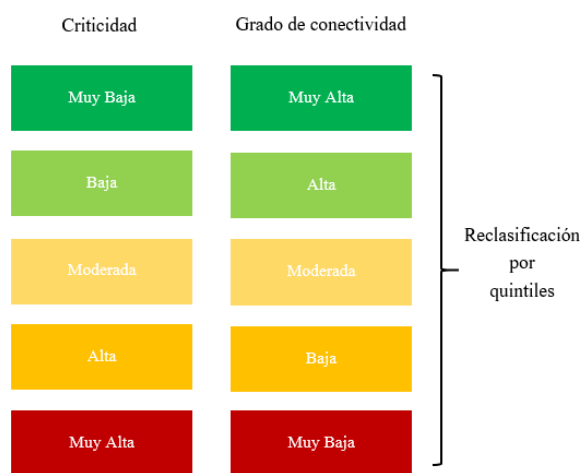


Figura N°3: Clasificación del grado de conectividad/criticidad

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

A partir de la reclasificación se obtuvo el mapa de áreas críticas de conectividad ecológica estructural. En su relación obedece a que un mayor grado de criticidad conlleva a un menor grado de conectividad ecológica estructural, según los autores. Para finalizar, se realizó un análisis espacial de la distribución de la zonificación basado en la descripción de variables realizada en la Fase I del estudio. De igual manera, se elaboró una comparación, mediante mapas y gráficos pastel, de la proporción del grado de conectividad ecológica entre la microcuenca del río Tibás y el CBIPT para evaluar la conectividad entre ambas áreas.

7. Análisis de resultados

7.1. Fase I: Descripción y tratamiento de variables

El planteamiento de la fase inicial del estudio se basó en una descripción del panorama que envuelve a las catorce variables de análisis. Para ello, se realizó un abordaje teórico con el fin de comprender el criterio de selección de cada una al lado de una descripción cartográfica de la distribución en el área de la microcuenca del río Tibás. En dicho aspecto, la Fase I resultó en la base por la cual se discutió la asignación de pesos de valor, como también de la interpretación final del análisis espacial de las áreas críticas de conectividad ecológica estructural. En las siguientes secciones se enumeran las descripciones realizadas para cada una de las variables.

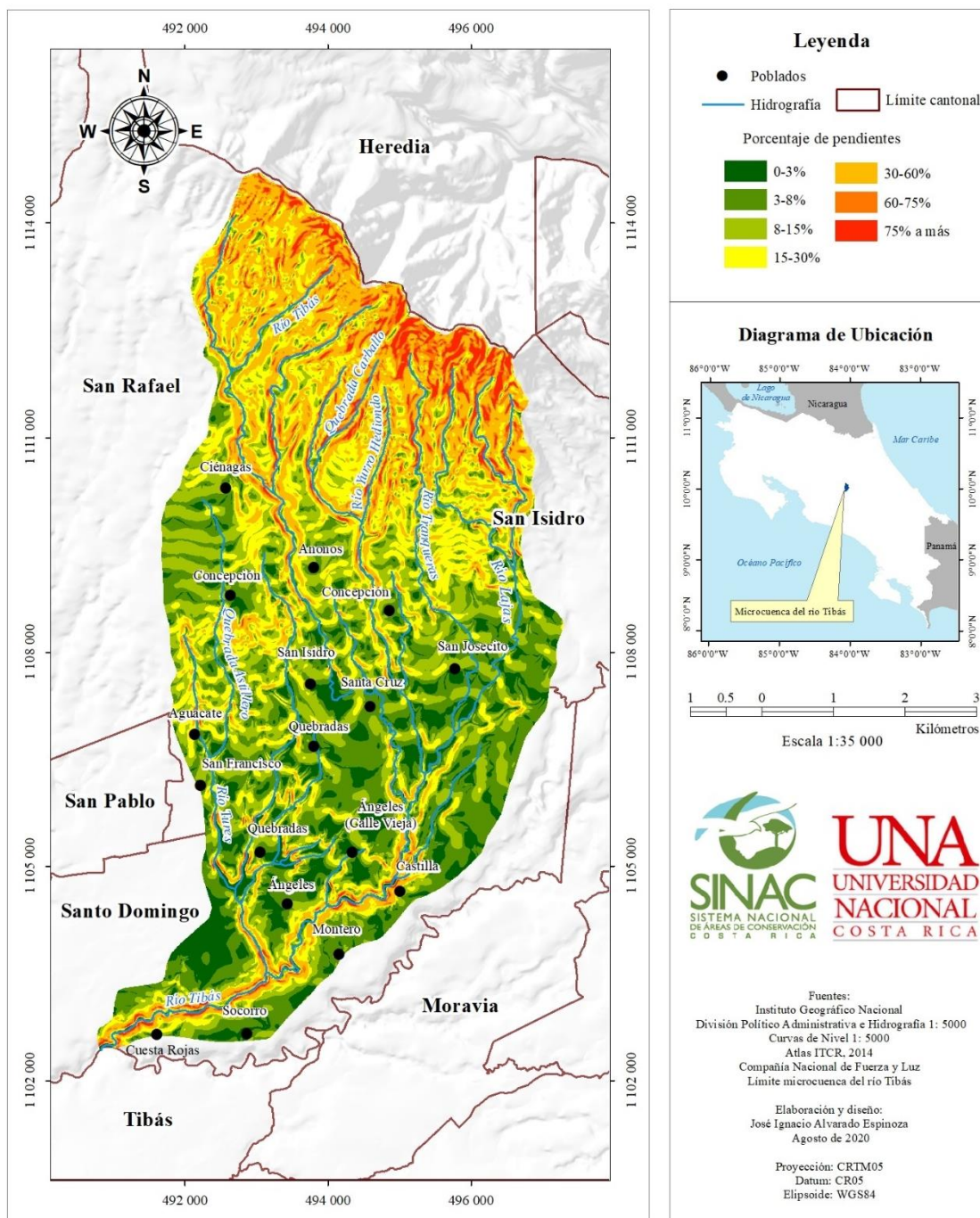
7.1.1. Porcentaje de pendientes

La variable de porcentaje de pendientes se trabajó a partir de la clasificación que establece el Decreto Ejecutivo N° 23214-MAG- MIRENEM (1994). En la norma se define que el valor de las pendientes expresa la “relación entre las distancias vertical y horizontal de dos puntos en términos porcentuales” (p.10); la clasificación establecida actualizada define siete categorías en función del relieve las cuales se establecen si el terreno es plano o casi plano de 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% o fuertemente escarpado con porcentajes de pendiente mayores al 75%.

El criterio de selección de la variable se basó en ser una de las condiciones consideradas para evaluar la capacidad de uso de la tierra y estabilidad del terreno visto desde la conservación. En dicho aspecto, las pendientes fueron valoradas en función de su representatividad para facilitar la conectividad ecológica estructural en términos de usos de la tierra dominados por coberturas forestales y estructuras naturales que permitan albergar una funcionalidad para la biodiversidad.

Para el tratamiento cartográfico se utilizó la capa de curvas de nivel 1: 5000 del SNIT de la cual, por interpolación, se generó un modelo de elevación digital. A partir de la herramienta *fill* de ArcGIS se realizó la corrección del modelo y posteriormente se generaron

las categorías de pendientes por reclasificación del procesamiento *slope* para cálculo de pendientes en porcentaje (*Mapa N°2*).



Mapa N°2: Microcuenca del río Tibás: Porcentaje de pendientes

En cuanto a la distribución espacial de las pendientes la *Tabla N°3* muestra la proporción porcentual de representatividad de las pendientes dentro de la microcuenca. En

dicho panorama, la categoría de pendientes plano a casi plano representa un 9% y se distribuye en el área baja y media de la microcuenca al igual que las categorías de pendiente ligeramente ondulada y moderadamente ondulada que presentan un porcentaje del 22% y el 21%, respectivamente.

Tabla N°3:
Porcentaje de pendientes dentro de la microcuenca del río Tibás

Rango de pendientes	Descripción	Área en Km2	Porcentaje dentro de la microcuenca
0-3%	Plano casi o casi plano	4.29	9%
3-8%	Ligeramente ondulado	10.32	22%
8-15%	Moderadamente ondulado	9.92	21%
15-30%	Ondulado	9.85	21%
30-60%	Fuertemente ondulado	8.63	19%
60-75%	Escarpado	1.89	4%
75% +	Fuertemente escarpado	1.37	3%
Total	-	46.27	100%

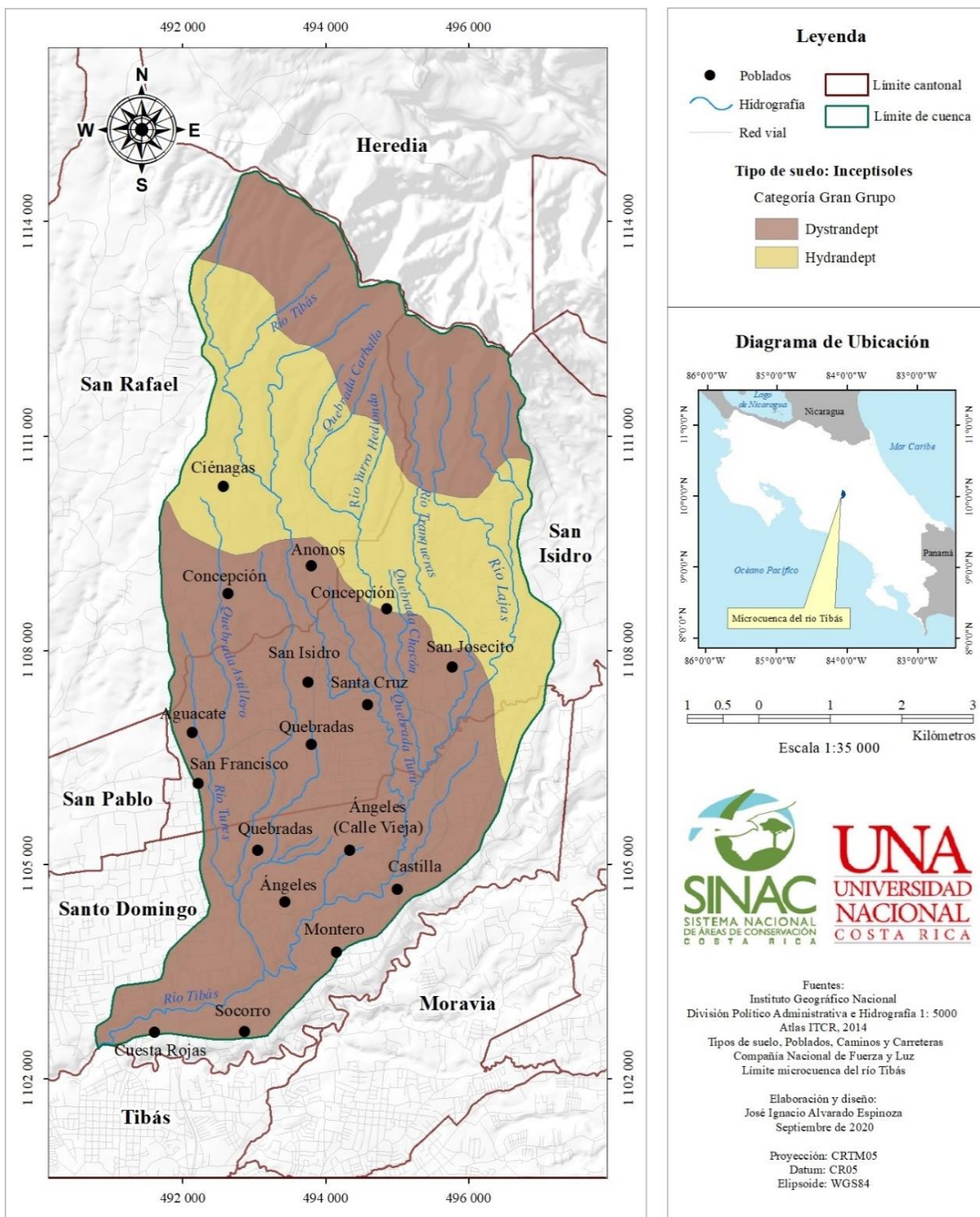
Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las categorías medias, que poseen pendientes onduladas y fuertemente onduladas, su distribución fue localizada hacia algunas zonas de la parte media de la microcuenca, cerca del talweg del cauce del río Tibás y hacia la sección alta de la microcuenca. En dicho caso las pendientes onduladas presentan una proporción porcentual del 21% y las escarpadas del 19%. Finalmente, para las pendientes altas, de relieve escarpado y fuertemente escarpado, se obtuvo una distribución hacia la sección alta de la microcuenca, cerca de las nacientes de los ríos principales y hacia la sección baja del talweg del río Tibás. Estas representan los menores porcentajes con un 4% para la categoría de pendientes escarpadas y un 3% para las fuertemente escarpadas.

7.1.2. Tipo de suelo

Para la variable de tipo de suelo se obtuvo únicamente la categoría del tipo de orden inceptisol el cual se caracteriza por poseer un origen juvenil derivado de procesos de meteorización de sedimentos aluviales y coluviales depositados por la ausencia de aportes de material sedimentario por un cierto período de tiempo (MAG, 2015). En el *Mapa N°3*, se ilustra el gran grupo al que pertenecen los inceptisoles de la microcuenca, los cuales

corresponden al Dystrandept, ubicados en la mayor parte del área la microcuenca, y el Hydrandept, localizados como una franja en la parte media-alta.



Mapa N°3: Microcuenca del río Tibás: Tipo de suelos

El criterio de selección se basó en la consideración de la descripción del uso y manejo del MAG (2015) para el tipo de orden inceptisol el cual presenta una importante aptitud para el desarrollo de actividades agropecuarias que incluyen cultivos permanentes, anuales y plantaciones frutales como también del uso para prácticas ganaderas. Dicho ámbito fue dirigido hacia el establecimiento del gran grupo que sufre mayor presión para la extensión de prácticas agropecuarias considerándose factores como la estabilidad del tipo de suelo frente a la erosión y la capacidad de drenaje.

7.1.3. Uso de la tierra

En cuanto a la variable de uso de la tierra se trabajó a partir de la información cartográfica elaborada por la CNFL para el 2018. La *Tabla N°4* muestra el valor porcentual de cada una de las quince categorías de uso según su proporción por hectáreas dentro del área general.

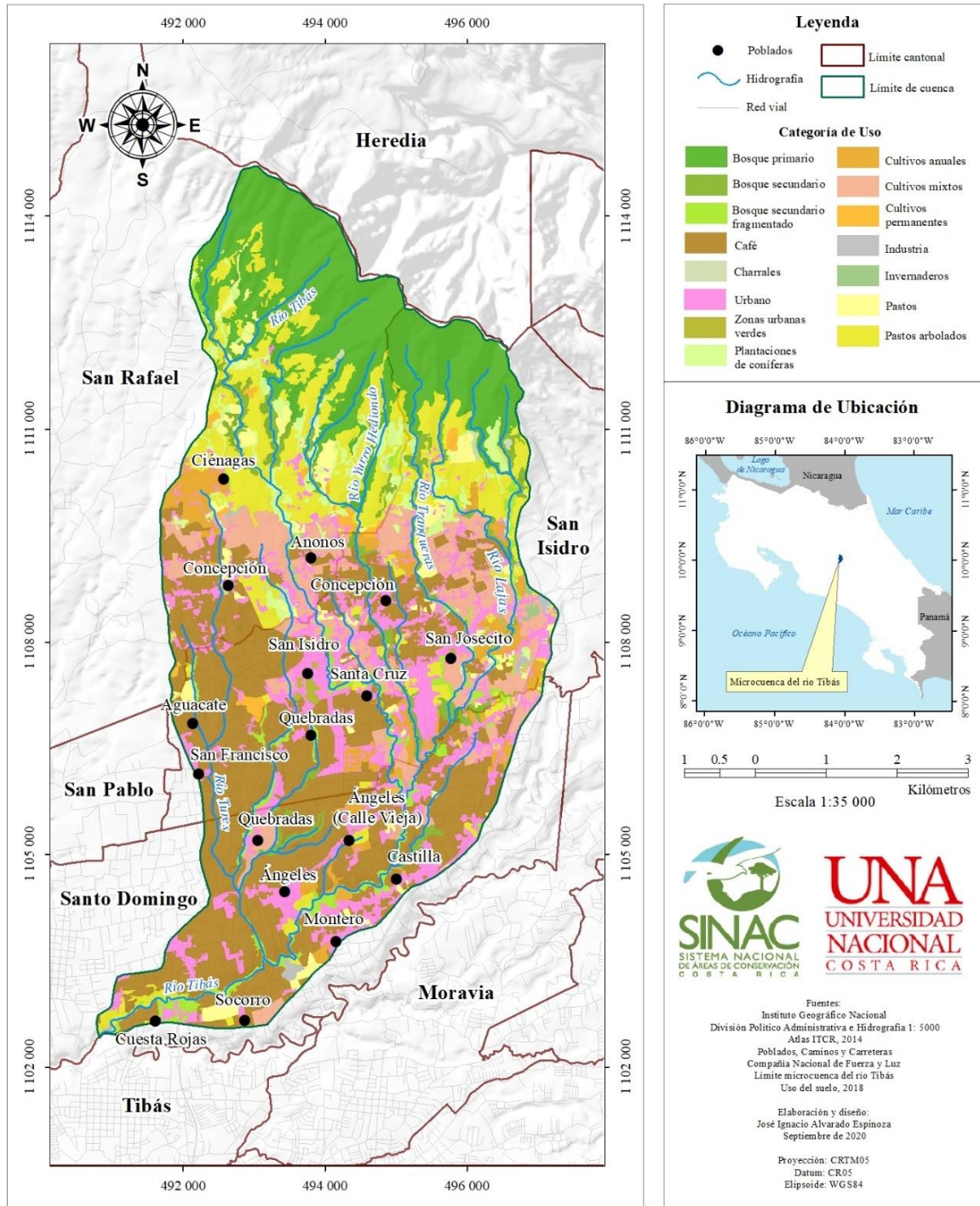
Tabla N° 4:
Porcentaje de usos de la tierra en la microcuenca del río Tibás

Categoría de uso	Hectáreas (ha)	Porcentaje
Urbano	594.90	12.86%
Zonas urbanas verdes	9.56	0.21%
Industria	14.03	0.30%
Cultivos anuales	172.73	3.73%
Cultivos permanentes	34.59	0.75%
Café	1390.65	30.06%
Cultivos mixtos	371.12	8.02%
Invernaderos	5.16	0.11%
Pastos	146.84	3.17%
Pastos arbolados	603.82	13.05%
Bosque primario	777.15	16.80%
Bosque secundario	184.97	4.00%
Bosque secundario fragmentado	154.28	3.33%
Charrales	15.26	0.33%
Plantaciones de coníferas	151.43	3.27%
Total	4626.50	100.00%

Fuente: Elaboración propia a partir de CNFL (2018)

Los mayores porcentajes obtenidos de usos de la tierra muestran una mayor extensión en las tierras destinadas al cultivo del café, el bosque primario, los pastos arbolados y las

áreas urbanas. En menor proporción, los usos de tierras destinadas a los cultivos mixtos, bosques secundarios, cultivos anuales, bosques secundarios fragmentados, plantaciones de coníferas y pastos. Para el resto de usos, se obtuvo un porcentaje de extensión menor al 1%.



Mapa N°4: Microcuenca del río Tibás: uso de la tierra - 2018

En el *Mapa N° 4* se identifica la distribución espacial de las categorías en la que se observa una mayor predominancia de los usos de bosque hacia la parte alta de la microcuenca (borde del Parque Nacional Braulio Carrillo) como también de los pastos y pastos arbolados. Por su parte, para la sección media y baja de la microcuenca se concentran los usos dedicados al cultivo del café y las áreas urbanas con presencia de algunos bosques secundarios fragmentados hacia las riberas de los cauces.

En relación con el criterio de selección de dicha variable se decidió abordar como un indicador de las coberturas que facilitan o dificultan el desplazamiento de la biodiversidad. Así tomaron gran importancia para la conectividad los usos del bosque primario, bosque secundario, bosque secundario fragmentado, charrales y cafetales; mientras que los usos ligados a las edificaciones de infraestructura gris como áreas urbanas, industria e invernaderos, fueron considerados como barreras importantes para el desplazamiento de la biodiversidad.

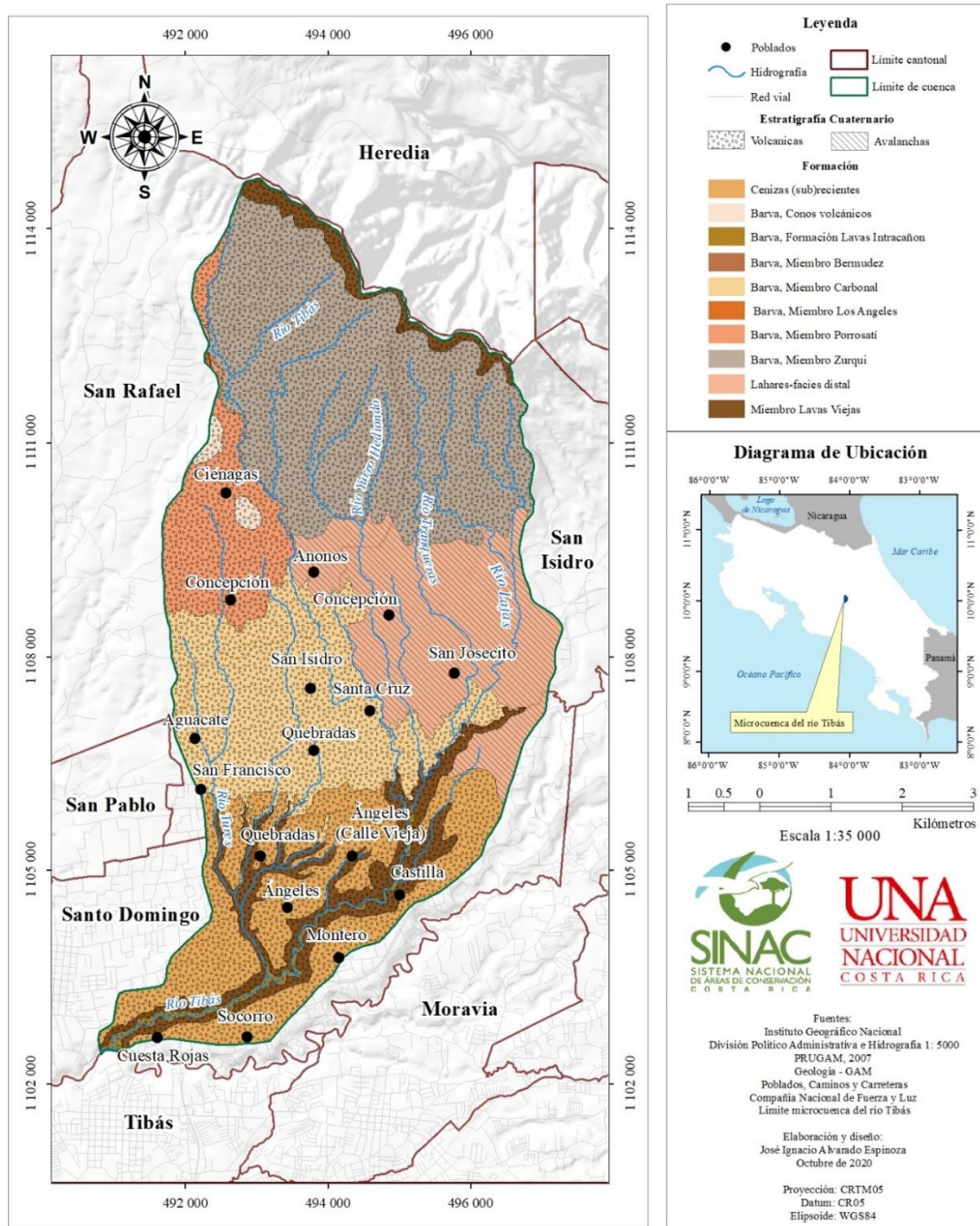
7.1.4. Geología

La información referente a la geología de la microcuenca se basó en los datos del Proyecto PRUGAM – 2007 que considera la variable para el establecimiento del factor Geoaptitud como parte de los estudios en fragilidad ambiental de la GAM.

A partir de ello se obtiene que la microcuenca posee, en su mayoría, un origen volcánico del Cuaternario con una pequeña área de avalanchas hacia la sección oriental. Como se muestra en el *Mapa N°5* las formaciones volcánicas están presentes en la mayor parte del área y abarca el Miembro Lavas Viejas, distribuido en la parte más alta de la microcuenca y en la parte baja de los cauces de los ríos Tures y Tibás; la formación de Cenizas (sub)recientes que está localizada en la parte baja de la microcuenca y los miembros pertenecientes al volcán Barva que incluye el área de conos volcánicos, la Formación Lavas Intracañón, Miembro Bermúdez, Miembro Carbonal, Miembro Los Ángeles, Miembro Porrosatí y el Miembro Zurquí. En el caso de las avalanchas se encuentran localizadas en la zona de lahares ubicada entre los distritos de Concepción, San Isidro, San José y Pará.

El criterio de selección de la geología se basó desde el planteamiento de dos panoramas: la identificación del tipo de formación que facilita el desarrollo de usos urbanos

y agropecuarios por su estructura mineral y el establecimiento del tipo de geología que presenta un mayor potencial para la conservación, vista desde la inestabilidad de la formación que necesita de intervención. De dicho modo, a pesar de no ser una variable directamente vinculada con la conectividad, se utilizó como indicadora del aprovechamiento de la tierra que supone la presión sobre los usos de bosque para el desarrollo de otros usos.



Mapa N°5: Microcuenca del río Tibás: Geología, 2007

7.1.5. Densidad de Población

La variable de densidad poblacional se generó a partir de la información del X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda elaborado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) para el año de 2011. Como la microcuenca es un espacio natural que abarca secciones de los límites políticos distritales se realizó una proporción de la densidad según el porcentaje que representaba el área de los distritos dentro de la microcuenca. En dicho aspecto, es importante destacar que al ser un valor proporcionado, dado por no contar con las unidades mínimas geoestadísticas (UMG) del censo, la distribución espacial de la población es generalizada por lo que pueden existir sobreestimaciones o subestimaciones en el indicador, lo que conlleva a un error asociado al cálculo por proporción en distritos con poco o medio porcentaje dentro de la microcuenca.

Tabla N°5:
Densidad poblacional distrital proporcionada

Cantón	Distrito	Área del Distrito (km ²)	Porcentaje territorial de los distritos dentro de la microcuenca	Población total censo 2011	Densidad Poblacional Total (habitante/km ²)	Densidad poblacional proporcionada a la microcuenca
Santo Domingo	Santo Tomás	3.54	53.11%	6267	1770.34	940.18
	San Vicente	2.88	9.72%	6427	2231.60	216.96
	San Miguel	5.9	54.58%	6363	1078.47	588.59
	Tures	3.88	100.00%	3452	889.69	889.69
	Pará	2.87	70.73%	3333	1161.32	821.42
San Isidro	San Francisco	4.56	89.04%	4438	973.25	866.53
	San Isidro	2.67	100.00%	6113	2289.51	2289.51
	San José	11.37	40.81%	7447	654.97	267.29
	Concepción	8.07	92.81%	2635	326.52	303.05
San Rafael	Concepción	22.81	70.80%	6077	266.42	188.63

Fuente: elaboración propia a partir de INEC, 2011.

Dicho lo anterior, la *Tabla N°5* permite identificar los valores obtenidos para la variable a partir del cálculo de la **densidad poblacional proporcionada (Dpp)**. Dentro de los resultados, el distrito primero de San Isidro y el distrito de Tures de Santo Domingo no presentaron el error de la generalización proporcional dado que sus áreas se encuentran contenidas en su totalidad dentro de la microcuenca lo que indica que para ambas áreas no se aplicó la proporción de su densidad **poblacional total (Dp)**. Bajo dicho panorama, para

los distritos que no poseen la totalidad de su territorio político-administrativo dentro del área de la microcuenca se utilizaron las siguientes expresiones:

$$D_p = \frac{\text{Habitantes en el 2011}}{\text{Km}^2 \text{ del distrito}} \quad (\text{e. 3})$$

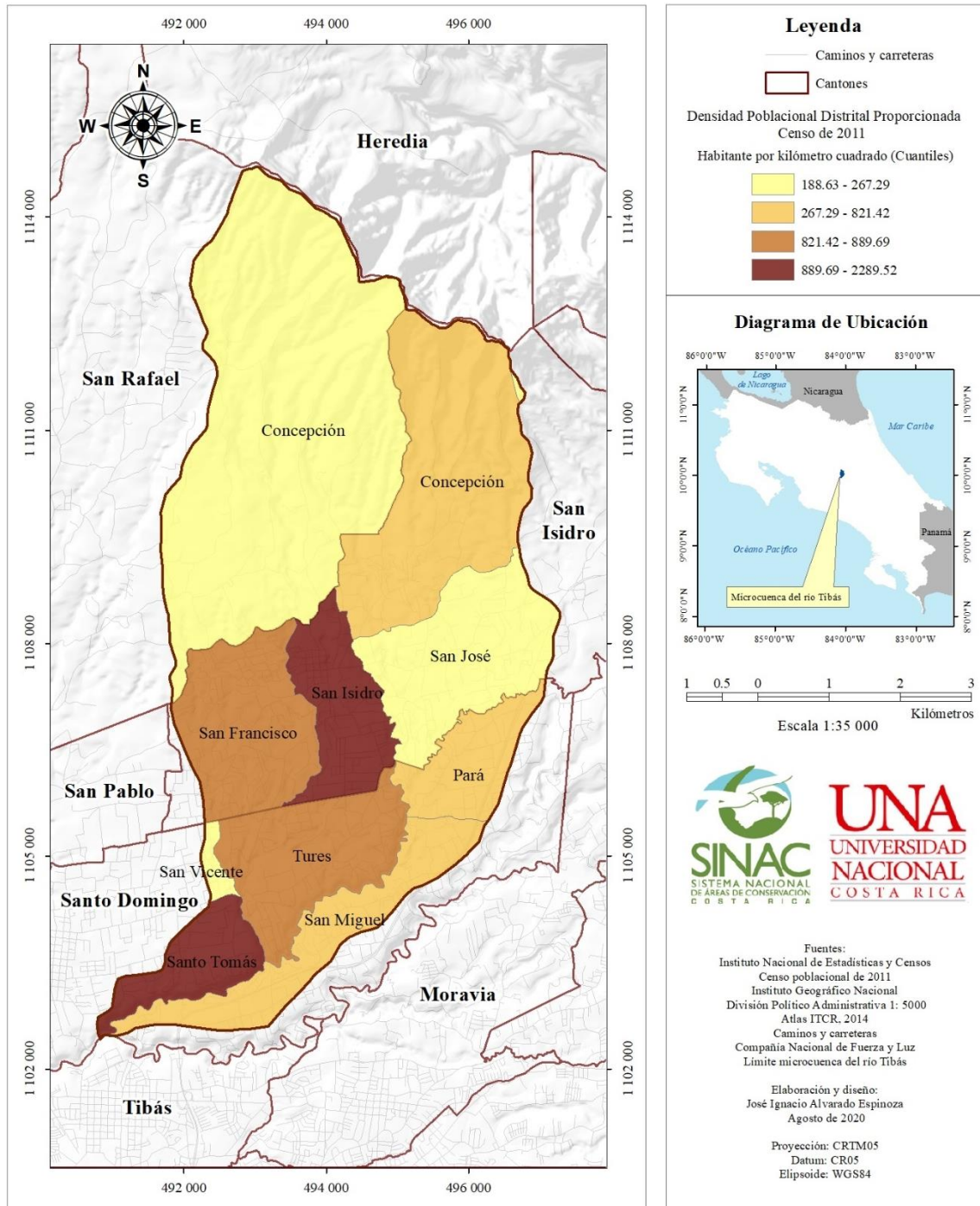
$$D_{pp} = \frac{D_p * \% \text{ territorial distrital en la microcuenca}}{100\%} \quad (\text{e. 4})$$

El contexto de distribución espacial de la variable muestra una tendencia general de la concentración de la población hacia la parte media y baja occidental de la microcuenca mientras que la sección de la parte alta y media oriental presentan los menores valores de densidad poblacional. Como se ilustra en el *Mapa N°6* la clasificación de los datos de la variable se realizó por el método de cuantiles a 4 categorías. El *Anexo N°2* muestra la comparación de clasificación de datos entre el método de intervalos iguales, quiebres naturales y cuantiles. Por su adaptación a las condiciones de la microcuenca, valorados dentro de los criterios del grupo focal, se acogió el método de cuantiles para la representación cartográfica de la variable.

Así, se obtuvo que para el primer cuantil los distritos de Concepción de San Rafael, San José y San Vicente tuvieron una categoría de densidad poblacional baja en comparación con los otros territorios. Para una densidad poblacional media baja se categorizaron los distritos de Concepción de San Isidro, Pará y San Miguel agrupados en el segundo cuantil. En el caso de los distritos de San Francisco y Tures, se obtuvo una categoría media alta de densidad poblacional, agrupados dentro del tercer cuantil. Finalmente, como categoría alta en los valores de la densidad poblacional se obtuvo el cuarto cuantil que refleja en comportamiento de los distritos de Tures y San Isidro.

En cuanto al criterio para la selección de la variable de densidad poblacional se utilizaron los datos como indicadores de la distribución espacial y concentración territorial de los habitantes dentro del área de la microcuenca. En dicho aspecto, se estableció la relación con base en la aglomeración de áreas urbanas que generan una mayor disminución sobre las coberturas forestales y disturbio visto desde la contaminación, el ruido y la permeabilidad

del suelo. De dicho modo, bajo esta condición, se obtiene que la variable es una indicadora de afectación antrópica sobre la conectividad ecológica y la calidad de los ecosistemas.



Mapa N°6: Microcuenca del río Tibás: Densidad de población, 2011

7.1.6. Índice climático

La variable de índice climático fue analizada según la información del Centro Científico Tropical para 2020 que relaciona la caracterización climática con las condiciones de las zonas de vida. Para la variable se obtuvieron 3 categorías de índice asociadas con la biotemperatura y el régimen pluvial presente en la microcuenca. La *Tabla N°6* contiene la información que permite identificar las condiciones del índice climático en función de la zona de vida asociada como también de los parámetros climáticos de cada una de ellas.

Tabla N°6:
Caracterización del Índice climático

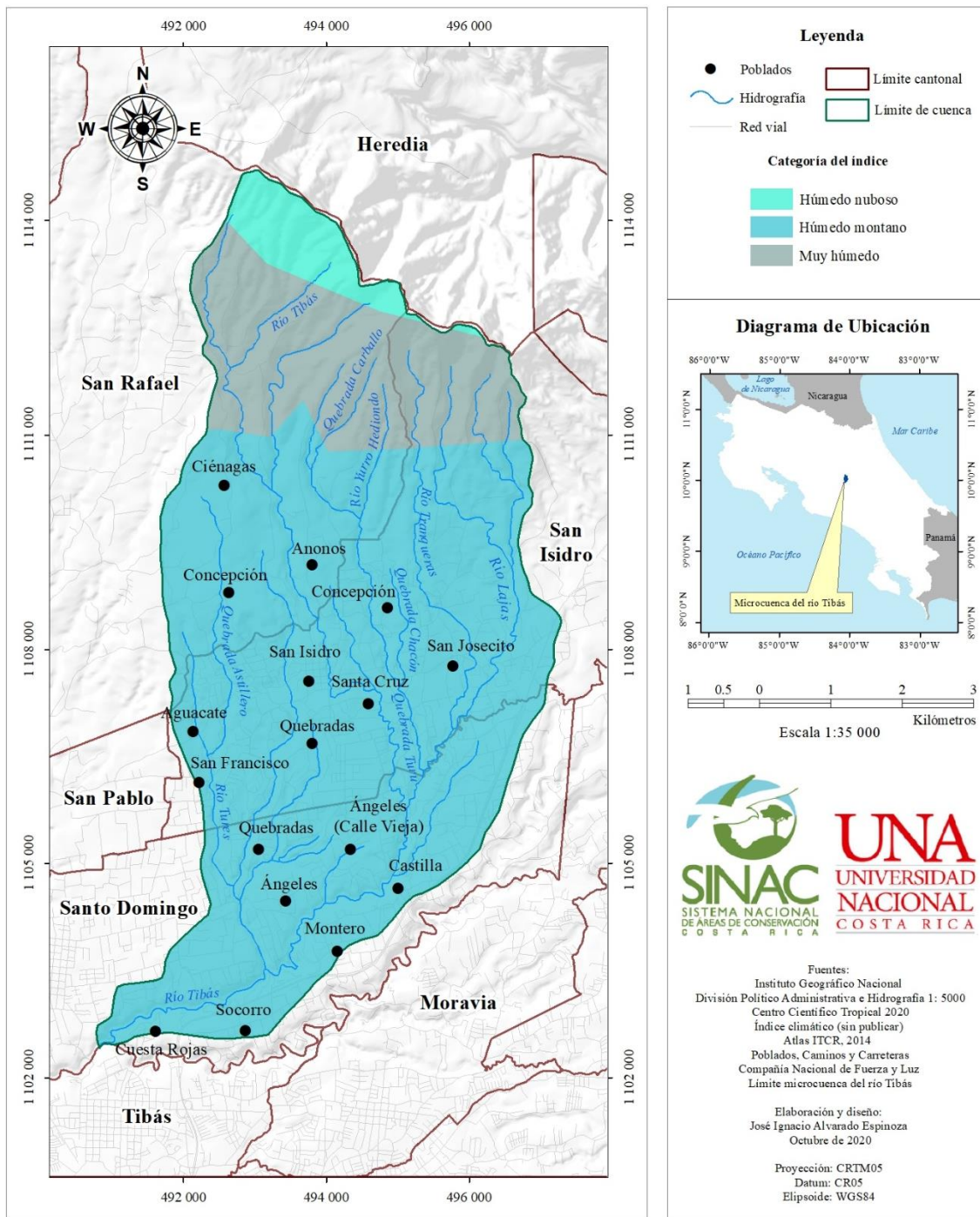
Categoría de Índice	Provincia	Zona de vida asociada	Biotempertaura	Precipitación (mm)	Meses secos
Índice húmedo nuboso	Húmedo	Bosque pluvial montano bajo	12° a 17° C	3600-7500	0 a 3
Índice muy húmedo	Subhúmedo	Bosque muy húmedo montano bajo	12° a 17° C	1850-4000	0 a 4
Índice húmedo montano	Subhúmedo	Bosque muy húmedo premontano tropical	17° a 24° C	2000-4000	0 a 5
Índice húmedo montano	Semiárido	Bosque húmedo premontano tropical	17° a 24° C	1200-2200	3.5 a 5

Fuente: Elaboración propia a partir del Centro Científico Tropical, 2020 (no publicado)

En relación con la distribución espacial de la variable se obtiene que para la parte alta de la microcuenca se obtienen las categorías de índice climático húmedo nuboso y muy húmedo (*Mapa N° 7*). Para el índice nuboso se indica una precipitación anual que varía entre los 3600-7500 mm asociada al bosque pluvial montano bajo que presenta de 0 a 3 meses secos. En el caso del índice muy húmedo la precipitación anual disminuye a un intervalo entre los 1850 – 4000 mm y se asocia con el bosque muy húmedo montano bajo que presenta de 0 a 4 meses secos. Asimismo, es importante destacar que para ambos índices el valor de la biotemperatura varía entre los 12° y los 17°C.

El índice húmedo montano se distribuye tanto para la parte media como la parte baja de la microcuenca. Dentro de esta categoría se asocian las zonas de vida del bosque muy húmedo premontano tropical y bosque húmedo premontano tropical. Las precipitaciones en

el área varían entre los 2000-4000 mm y los 1200 – 2200 mm y un intervalo de 0 a 5 meses y 3.5 a 5 meses secos respectivamente. Para ambas zonas la variación de la biotemperatura se encuentra entre los 17° y 24° C.



Mapa N°7: Microcuenca del río Tibás: Índice climático, 2020

La razón de la incorporación del índice climático dentro de la integración de variables para la conectividad se basó en asociar un indicador climático que se pudiese vincular con la condición de la biodiversidad y los ecosistemas en función de la climatología de las precipitaciones y biotemperatura que inciden especialmente sobre el desarrollo de la cobertura vegetal. Así, se asignaría mayor peso a los índices asociados con zonas de vida que presentan mayor disponibilidad hídrica para los ecosistemas y menores valores de biotemperatura dado que son ecosistemas que pueden poseer una mayor fragilidad al cambio climático debido al aumento de las temperaturas promedio y su incidencia sobre los nichos del gradiente ecológico altitudinal que podrían reducirse afectando la conectividad futura.

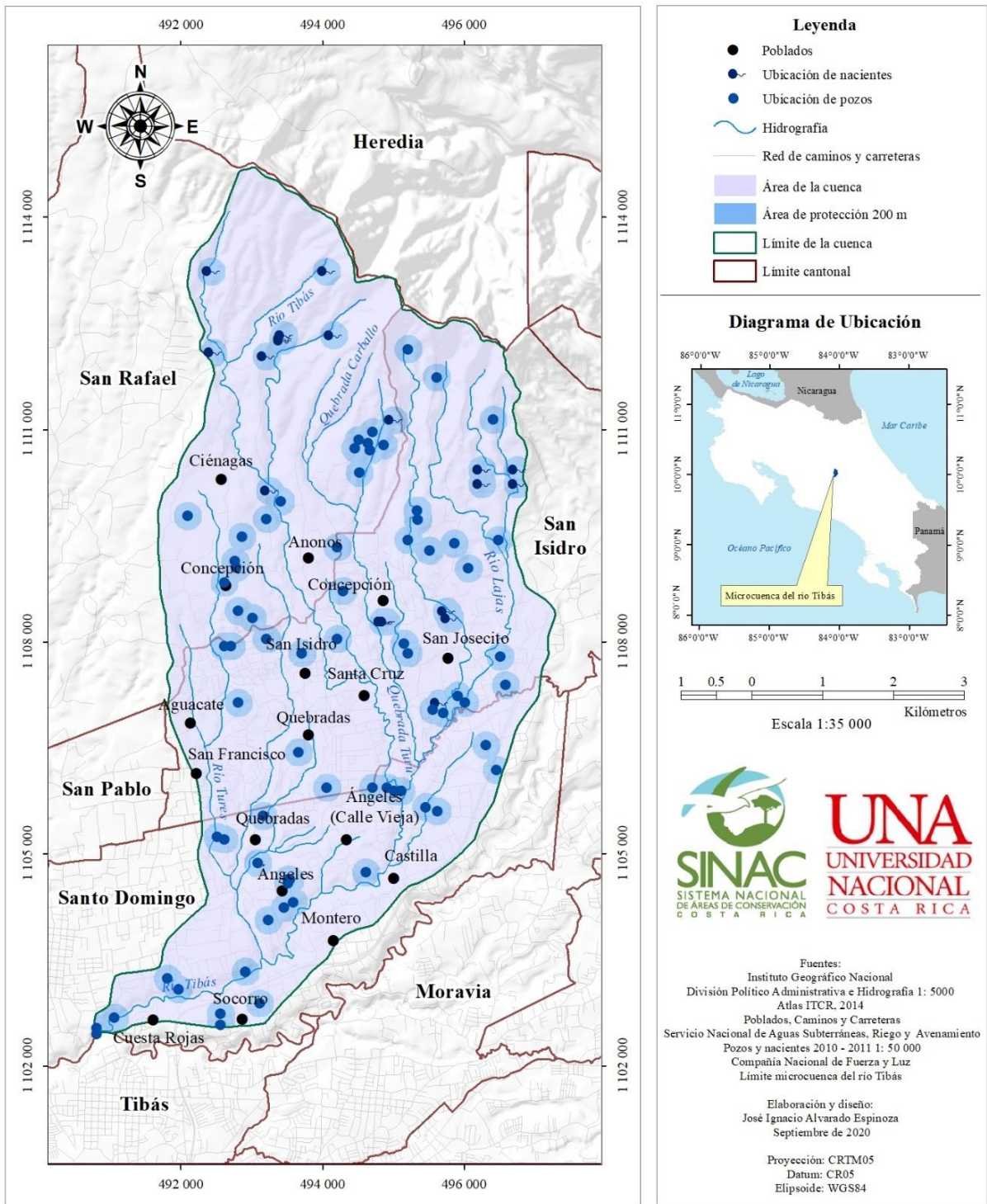
7.1.7. Área de protección de pozos y nacientes

El área de protección de pozos y nacientes considerada en el estudio fue tomada del artículo 31 de la Ley de Aguas N° 276 de 1942. En el inciso se indica que se declara reserva de dominio a favor de la Nación “las tierras que circunden los sitios de captación o tomas surtidoras de agua potable, en un perímetro no menor de doscientos metros de radio” (s.p.). Dentro de dicha área, es declarada también “la zona forestal que protege o debe proteger el conjunto de terrenos en que se produce la infiltración de aguas potables, así como el de los que dan asiento a cuencas hidrográficas y márgenes de depósito, fuentes surtidoras o curso permanente de las mismas aguas” (s.p.).

La información referente a la ubicación de las fuentes de aprovechamiento fue tomada de los datos del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA) para el 2010-2011 y suministrada por la CNFL. En cuanto a las nacientes se contabilizaron un total de 23, distribuidas mayoritariamente en la parte alta de la microcuenca. En el caso de los pozos se contabilizaron 72 pozos repartidos mayoritariamente hacia la parte media y baja. Es importante destacar que por el transcurso de los años, la información ha de tener variaciones con base en la condición del aprovechamiento de agua actual para la microcuenca lo que indica cambios en la localización y cantidad de los puntos.

Dicho lo anterior, el *Mapa N°8* permite identificar la distribución espacial de los sitios en los que se ubican los pozos y nacientes descritos. El criterio de selección de la variable se encuentra relacionado con lo establecido por el artículo 32 de la Ley de Aguas en el que se extrae una doble importancia de los sitios: la captación de agua para consumo poblacional y

del ecosistema (en el caso de las nacientes) y la protección del medio forestal circundante como mecanismo de estabilidad ambiental y preservación del recurso hídrico.



Mapa N°8: Microcuenca del río Tibás: Área de protección de pozos y nacientes

7.1.8. Zonas de vida de Holdridge

Las zonas de vida corresponden a una clasificación de unidades naturales básicas realizada por Holdridge en 1947 que agrupa las diferentes áreas terrestres, asociadas a cubiertas vegetales características, según las condiciones climáticas del medio. Las tres principales componentes que definen la asociación vegetal de la zona de vida son el calor, la precipitación y la humedad (Holdridge, 1982). La información de la variable fue tomada del repositorio del Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA) y el Atlas del Instituto Tecnológico de Costa Rica del 2014

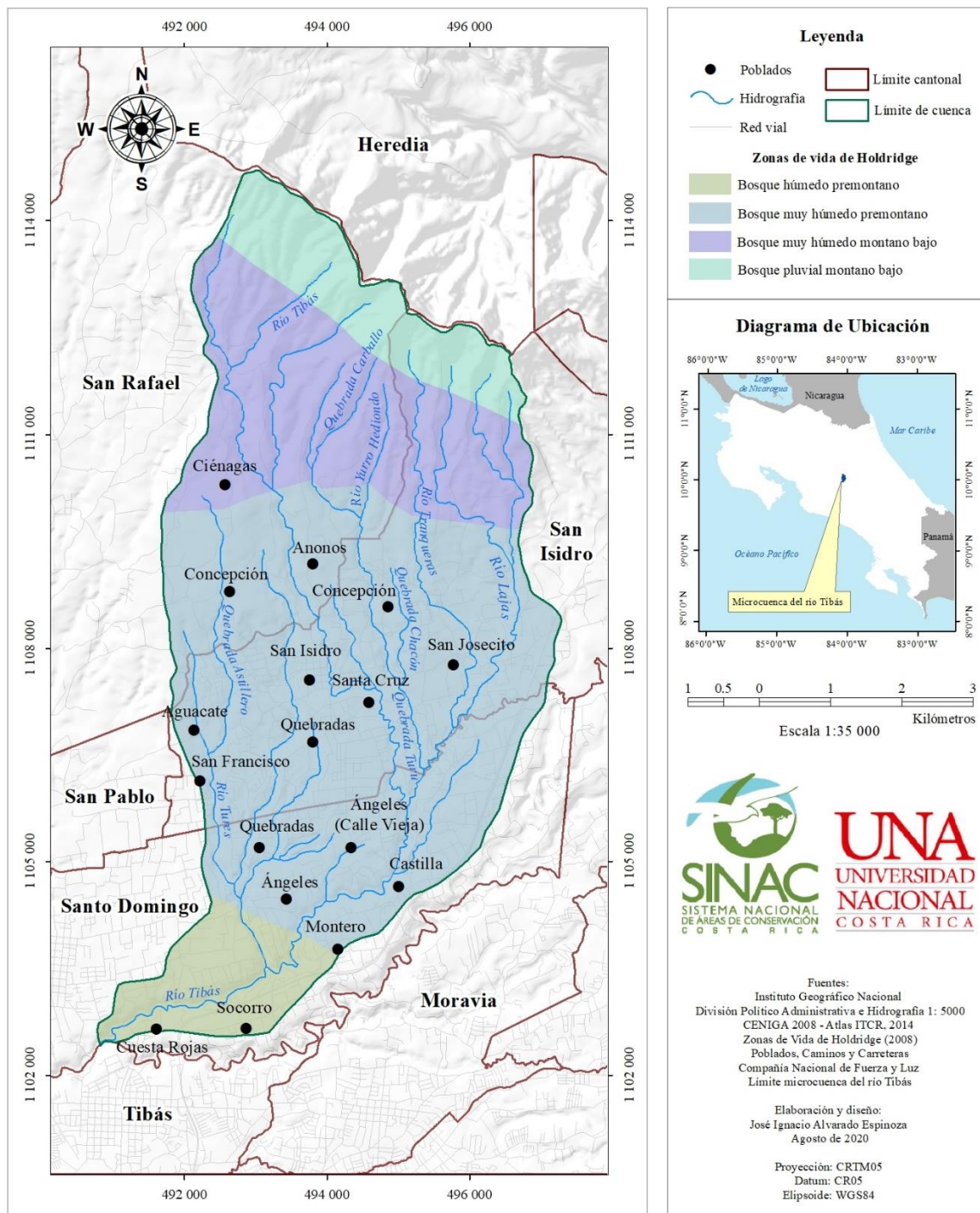
Tabla N°7:
Proporción Zonas de Vida de Holdridge

Zona	Nombre	Piso	Área (km ²)	Porcentaje dentro de la microcuenca
bmh-P	Bosque muy húmedo premontano	Premontano	27.11	58.58%
bp-MB	Bosque pluvial montano bajo	Montano Bajo	4.50	9.73%
bmh-MB	Bosque muy húmedo montano bajo	Montano Bajo	10.90	23.55%
bh-P	Bosque húmedo premontano	Premontano	3.76	8.13%

Fuente: Elaboración propia a partir de CENIGA, 2008 – Atlas ITCR, 2014

Las zonas de vida para la microcuenca del río Tibás se encuentran categorizadas en bosque muy húmedo premontano, bosque pluvial montano bajo, bosque muy húmedo montano bajo y bosque húmedo premontano (*véase Tabla N°7*). En cuanto a su distribución espacial el bp-MB se ubica hacia la zona más alta de la microcuenca y representa el 9.73% de la superficie total del área. En la sección media alta, se ubica el bmh-MB el cual representa un porcentaje del 23.55% de la microcuenca. Seguido de este, el bmh-P abarca toda la parte media de la microcuenca y representa la mayor zona de vida del área con una cobertura del 58.58% del área total. Finalmente, el bh-P es la zona con menor porcentaje de cobertura con

una representación del 8.13% de la superficie total la cual se localiza hacia la parte baja (véase Mapa N° 9).



Mapa N°9: Microcuenca del río Tibás: Zonas de Vida de Holdridge, 2008

La selección de la variable se basó en la importancia que las zonas de vida tienen como indicadores de la variación de la estructura vegetal en función de las condiciones climáticas del medio abiótico definiendo así las categorías de especies que pueden habitar en las zonas. De igual modo, se relacionan con el grado de intervención antrópica dentro de los ecosistemas donde la fragmentación aumenta en las zonas asociadas al piso premontano por desaparición de la cobertura original, según lo señalado por Fournier (1980) citado por Quesada (2007), y tiende a disminuir para las zonas del piso montano bajo que poseen condiciones de topografía muy accidentada, presencia de neblina y exposición a vientos con abundantes cargas de humedad (Quesada, 2007).

7.1.9. Índices de Fragilidad Ambiental (IFAS)

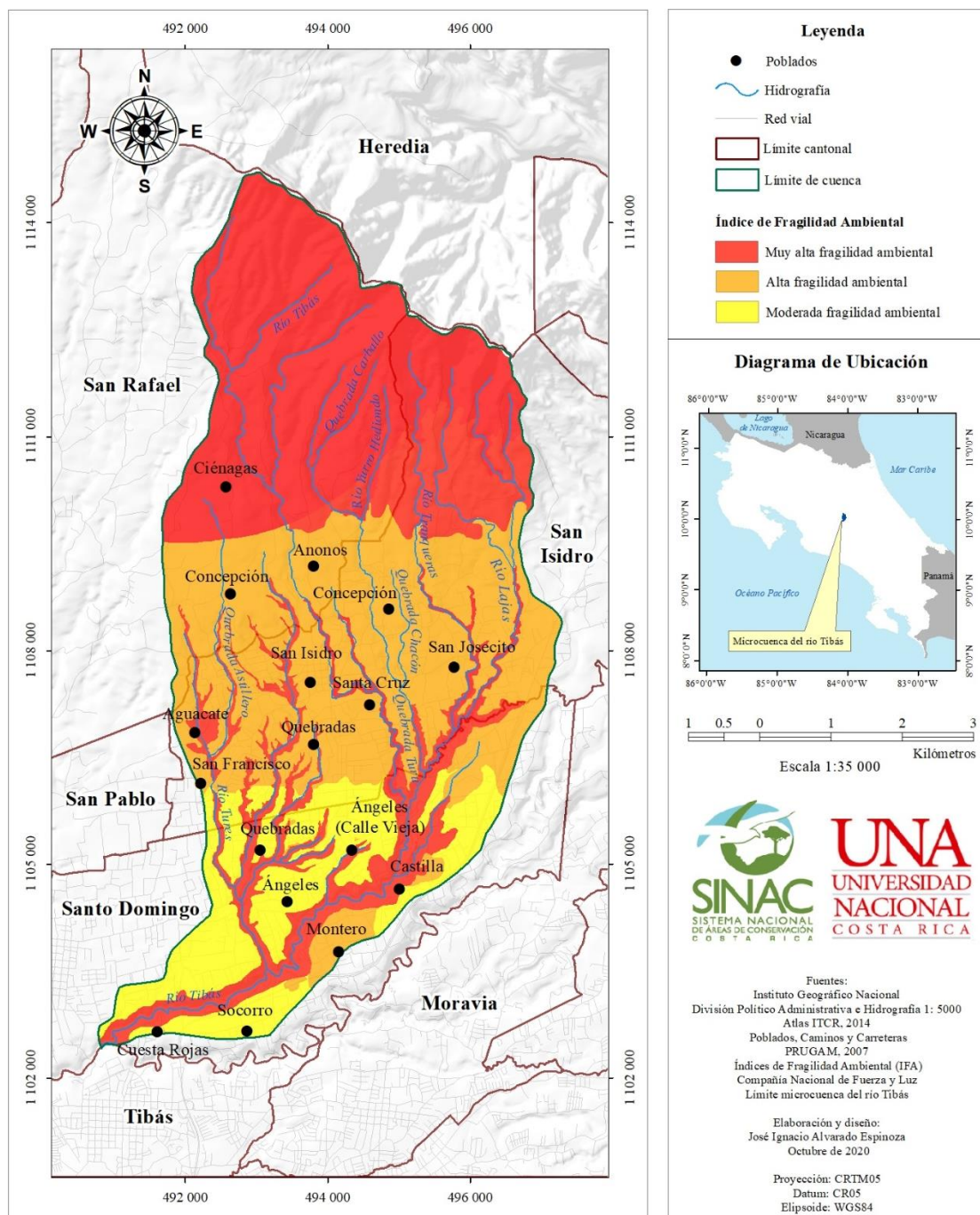
La variable de los IFAS se incorporó en relación con el Decreto N° 32967-MINAE (2006) en el que se establecen los lineamientos para la introducción de la variable ambiental en los planes reguladores u otras planificaciones del uso de la tierra. Según la norma, la metodología de los IFA se basa en la elaboración de zonificaciones que evalúan el grado de fragilidad ambiental necesario de considerar en el momento de implementar proyectos de desarrollo sobre el uso de la tierra como parte de la ordenación viable del territorio.

Tabla N°8:
Porcentaje de extensión de IFA integrado

Fragilidad Ambiental	Área total en la microcuena (km2)	Área porcentual en la microcuena	IFA subclase asociado
Muy alta fragilidad ambiental	22.99	49.69%	I-A
			I-B
			I-C
			I-E
Alta fragilidad ambiental	16.72	36.15%	II-A
			II-C
			II-F
			II-G
Moderada fragilidad ambiental	6.55	14.16%	III-B
Total	46.26	100.00%	-

Fuente: Elaboración propia a partir de PRUGAM (2007)

La información utilizada en el estudio corresponde al IFA integrado del proyecto PRUGAM (2007) que realizó la aplicación metodológica de IFAS para los cantones pertenecientes a la GAM. La *Tabla N° 8* permite identificar que la microcuenca del río Tibás muestra una fragilidad ambiental de moderada a muy alta.



Mapa N°10: Microcuenca del río Tibás: IFA integrado, 2007

La relación porcentual, en función de la distribución espacial de la variable, señala que la categoría de muy alta fragilidad es la que prevalece dentro del área de la microcuenca. Relacionando *la Tabla N°8* y *el Mapa N°10* se identifica que la muy alta fragilidad ambiental representa un 49.69% del área total de la microcuenca que se localiza hacia la parte alta de la microcuenca y las áreas circundantes a los ríos en la parte media y baja.

Esta zona, según los IFA subclase se caracteriza por poseer relieves altos y pronunciados con estabilidad de laderas de moderada a alta vulnerabilidad donde se presentan zonas de importante recarga acuífera. Hacia la sección occidental norte se presenta un alto potencial a erupciones volcánicas y flujos de gravedad con limitaciones para la ocupación humana. Asimismo, existe una vulnerabilidad de moderada a alta por erosión, sedimentación e inundación en la zona de lahares ubicada en algunas áreas que circundan los ríos de la sección oriental de la parte media de la microcuenca.

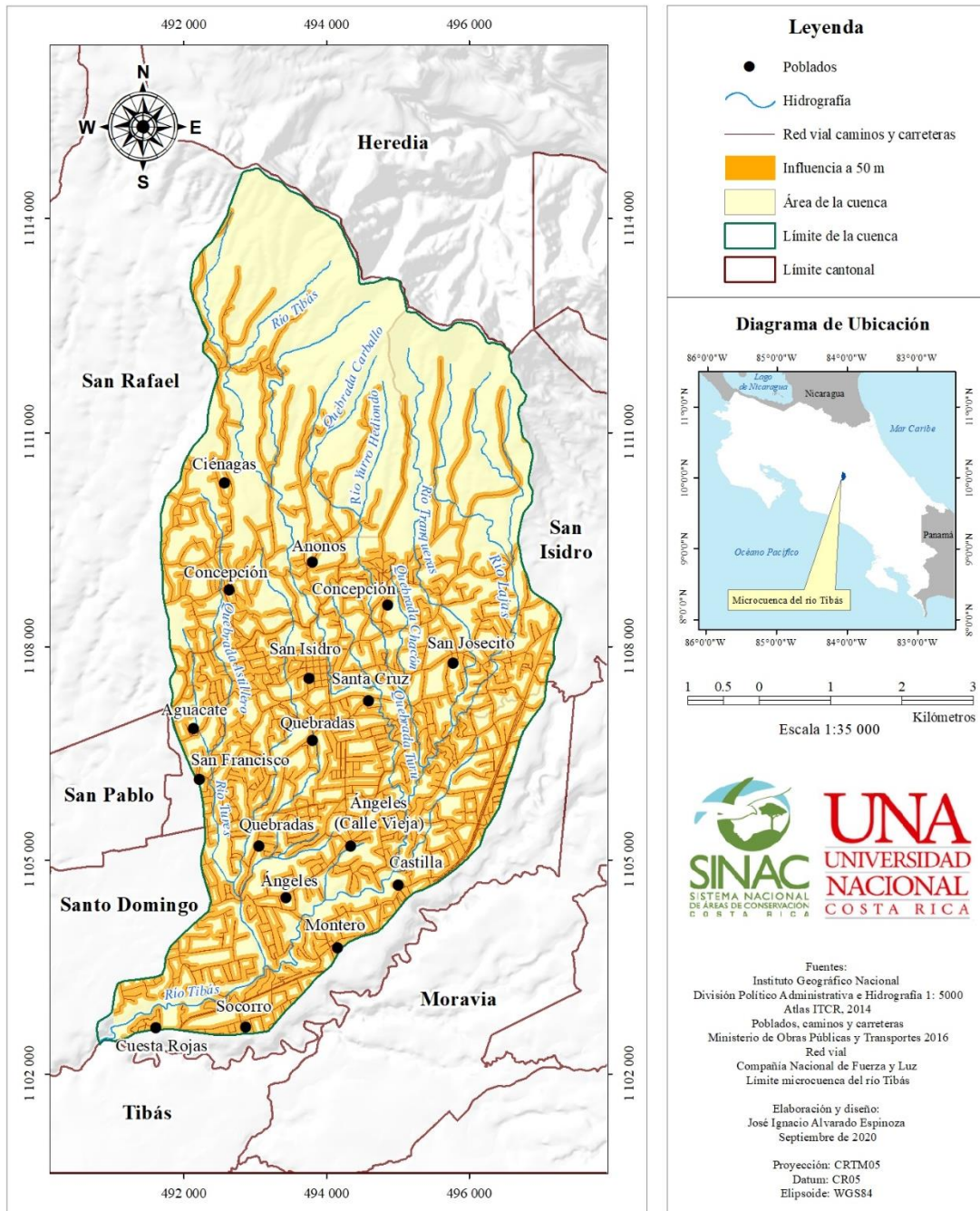
Para el caso de la alta fragilidad ambiental se obtuvo un valor del 36.15% que se concentra mayoritariamente en la parte media de la microcuenca. Los IFA subclase identifican que la zona posee un relieve moderado con algunos procesos de erosión y denudación donde se proyecta infraestructura de baja densidad. Hacia algunas secciones de los cauces de los ríos con pendientes considerables existe una alta vulnerabilidad a procesos de erosión, sedimentación y deslizamientos que requieren de conservación boscosa bajo régimen de protección. El área presenta importantes zonas urbanas verdes que pueden ser consideradas para planes de mantenimiento .

La categoría de moderada fragilidad ambiental representa un 14.16% del área total y se concentra hacia la parte baja de la microcuenca. El IFA subclase asociado identifica que la zona es de alto desarrollo humano con posibilidad de infraestructura vertical y restricciones no significativas para la infraestructura industrial y comercial. Para más detalle de la información expuesta de los IFAS- PRUGAM (2007) véanse los *Anexos N°3* y *N°4* que refieren a los IFA subclase individualmente.

Finalmente, el criterio de selección de los IFAS tomó como consideración la zonificación de fragilidad ambiental en función de identificar las zonas más aptas para fomentar la conectividad en vista de la recuperación forestal, la protección hídrica y la mitigación de riesgos mediante recuperación o protección de hábitats.

7.1.10. Influencia de la red vial (caminos y carreteras)

La variable sobre la influencia de la red vial fue trabajada a partir de la elaboración de un *buffer* realizado a ambos márgenes de las líneas de vía. El *buffer* permitió definir el contorno de la infraestructura de las redes de transporte de la microcuenca para poder medir el impacto de los caminos y carreteras sobre la conectividad del paisaje.



Mapa N°11: Microcuenca del río Tibás: Influencia de la red vial

La información utilizada para la variable fue tomada a partir de una unificación de capas del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), disponible en la plataforma SNIT, y la CNFL dado que no se contenían algunas vías en su totalidad. Así pues, mediante distancia euclidiana se generó el buffer a 50 m a cada lado de la vía que resultó en la visualización del *Mapa N°11*, el cual permite evidenciar una mayor densidad de redes hacia la parte baja y media de la microcuenca y una menor en la parte alta.

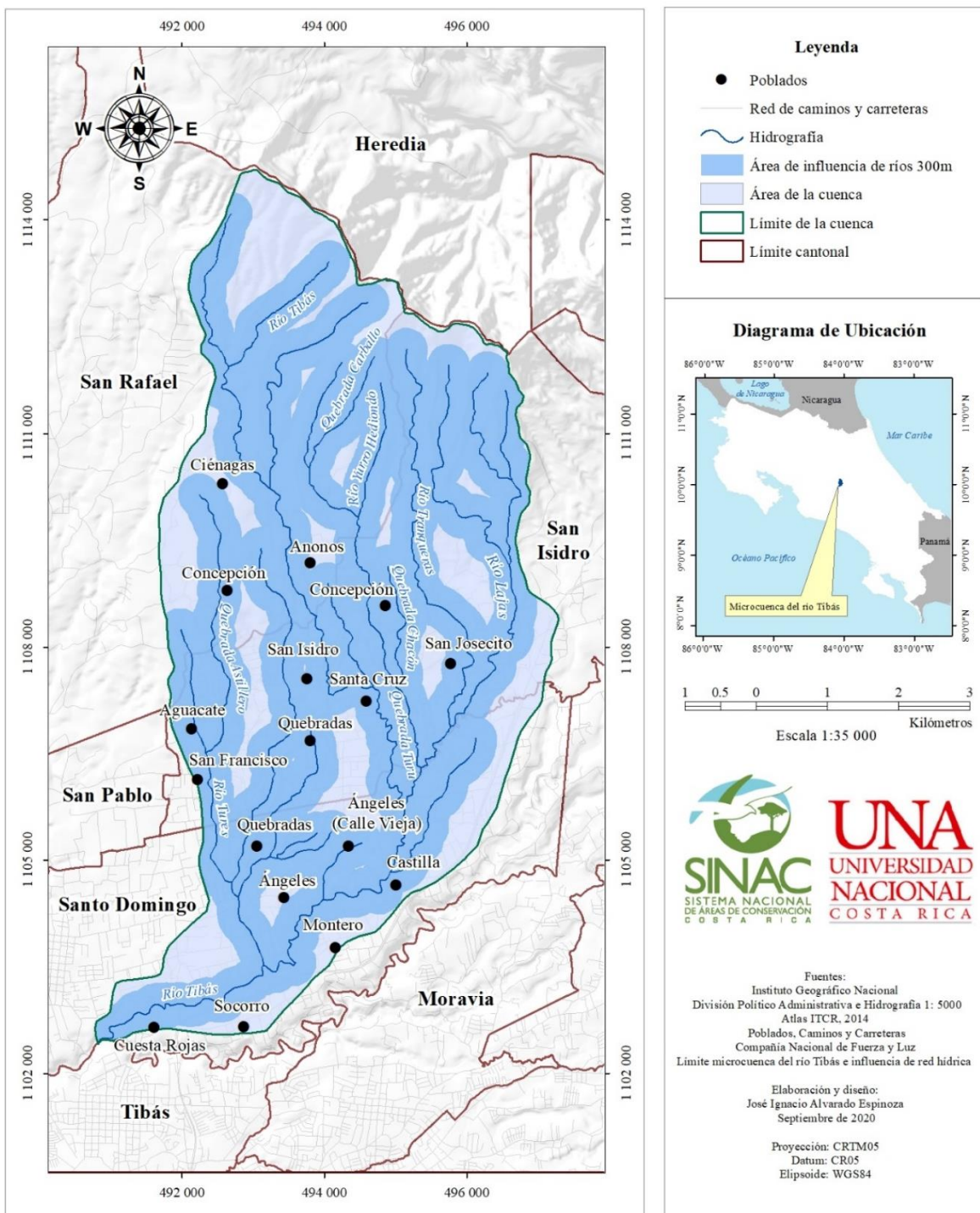
El criterio de selección e interpretación de la influencia de la red vial tomó como referencia los resultados de las investigaciones del proyecto Grúas II para el análisis de vacíos de conservación en Costa Rica que fue publicado en el 2007. Dentro del proyecto se utiliza la variable como una barrera que dificulta el establecimiento de rutas de conectividad biológica. Según se refiere, “las carreteras imponen un obstáculo para el tránsito de especies de un lugar a otro pero además imponen perturbación por generación de ruidos y otro tipo de contaminación que hacen que su efecto vaya más allá del área propiamente dedicada al tránsito vehicular” (SINAC, 2007, p. 79). A partir de ello, se consideró la influencia de la red vial como una de las mayores limitantes de la conectividad ecológica para la microcuenca.

7.1.11. Influencia de la red hídrica (distancia desde los principales cauces)

La influencia de la red hídrica se integró, al igual que para la red vial, mediante la creación de un buffer suministrado por la CNFL. La distancia establecida fue de 300 m que se consideró con base en una interpretación de la información del proyecto Grúas II. Según dicha investigación, “las zonas que se ubican cerca de los sistemas naturales de drenaje (ríos, quebradas, arroyos, acequias o cualquier otro), facilitan o favorecen la conectividad y cuanto más alejados la dificultan” (SINAC, 2017, p.78). La utilidad que tienen estos espacios para la biodiversidad está arraigada al consumo del agua y en el caso de algunas especies de transporte o medio dispersor (SINAC, 2017).

El *Mapa N°12* ilustra la distribución espacial de la influencia de los principales cauces seleccionados para el estudio. Para extraer la toponimia de la red se utilizó la información de la capa hidrográfica 1: 5000 del IGN. Dicho lo anterior, en el caso de los ríos principales el buffer representa el área de influencia de los ríos Tibás, Yurro Hediondo, Tranqueras, Lajas

y Tures. Por el lado de las quebradas, el área de influencia se estableció para los cauces de las quebradas Carballo, Chacón, Turu y Astillero.



Mapa N°12: Microcuenca del río Tibás: Influencia de la red hídrica

7.1.12. Áreas de recarga

Las áreas de recarga se abordaron según el grado de vulnerabilidad por contaminación de aguas subterráneas. La información utilizada pertenece al proyecto PRUGAM (2007), específicamente el factor hidrogeológico. De acuerdo con el Decreto N° 32967-MINAE (2006), para la metodología de IFAS, el factor de hidrogeología permite evaluar la fragilidad ambiental según el grado de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas. Dicha evaluación se realiza mediante el uso del Método GOD y se consideran indicadores sobre la condición estructural de las aguas subterráneas, el contexto litopetrofísico, la geomorfología y la dinámica externa del área de estudio.

En la *Tabla N°9* se identifica que la mayor parte de la microcuenca posee una vulnerabilidad por contaminación de aguas subterráneas de moderada a alta. Si se compara con el *Mapa N°13* se obtiene que la muy alta vulnerabilidad únicamente representa un 1.81% del área total de la microcuenca localizándose hacia la formación de conos volcánicos del volcán Barva, el Miembro los Ángeles, Miembro Bermúdez y la formación de lavas intracañón en la parte baja del cauce del río principal. En el caso de la alta vulnerabilidad, la categoría representa el 50.29% de la microcuenca y abarca la formación de lavas viejas en la sección alta de la microcuenca, el Miembro Zurquí y la unidad de lahares. Para la media vulnerabilidad, se obtuvo una representación del 47.89% y abarca el Miembro Porrosatí, Miembro Carbonal, cenizas subrecientes y lavas viejas de la sección baja de la microcuenca.

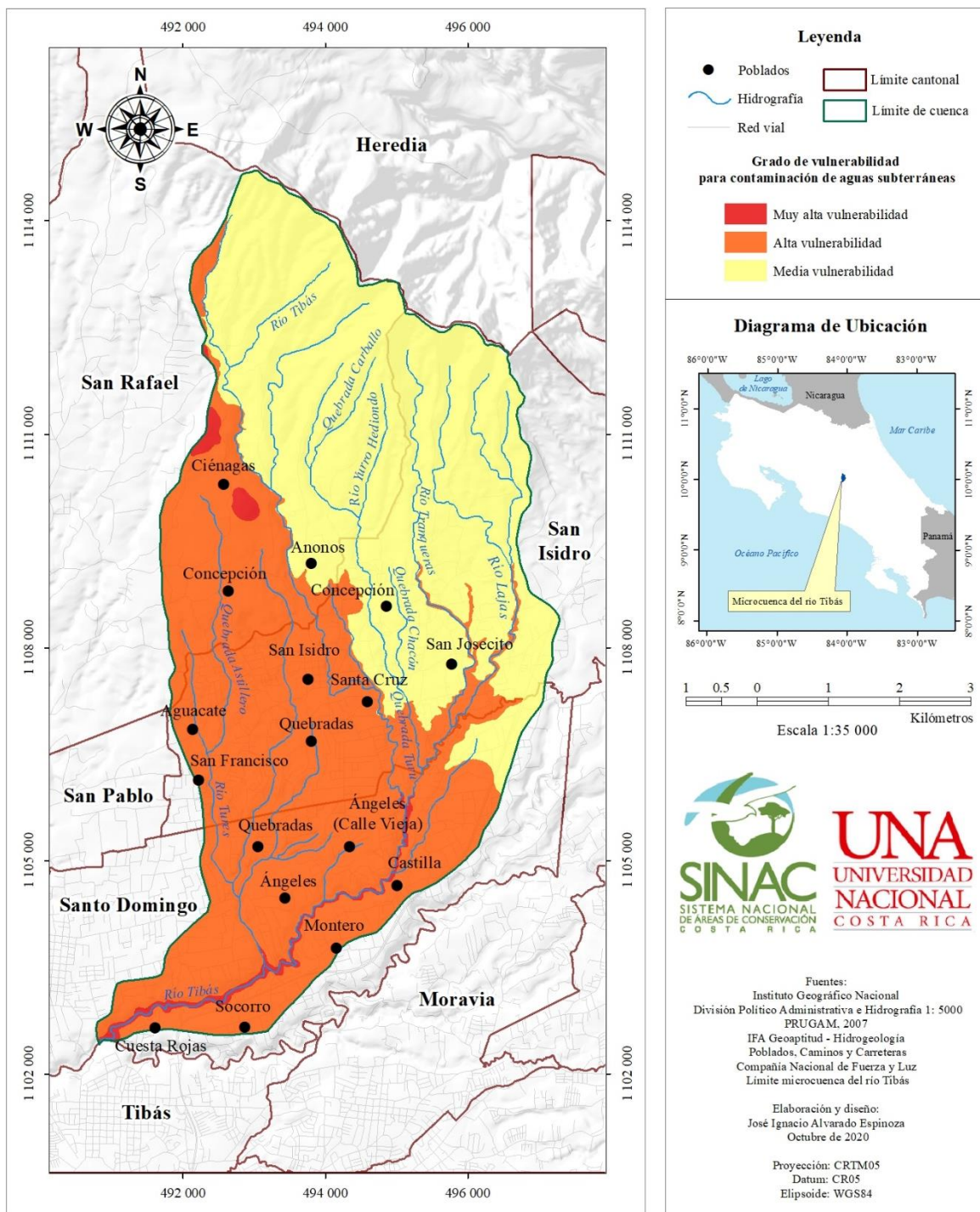
Tabla N° 9:
Porcentaje de vulnerabilidad de áreas de recarga

Vulnerabilidad por contaminación de aguas subterráneas	Área (km ²)	Porcentaje del área en la microcuenca
Muy alta vulnerabilidad	0.84	1.81%
Alta vulnerabilidad	23.27	50.29%
Media vulnerabilidad	22.16	47.89%
Total	46.27	100.00%

Fuente: Elaboración propia a partir de PRUGAM (2007)

En relación con el criterio de selección se decidió integrar la vulnerabilidad de las áreas de recarga debido a la importancia de la conservación de las fuentes de agua subterránea

para la generación de recurso hídrico tanto de la flora y la fauna como de la sociedad. En este aspecto, se relacionó la conservación de la calidad de los ecosistemas con la disminución en la vulnerabilidad por contaminación.



Mapa N°13: Microcuenca del río Tibás: Vulnerabilidad áreas de recarga, 2007

7.1.13. Tamaño de parche boscoso

El tamaño de parche boscoso se estableció a partir de la información del uso de la tierra. Para generar la variable, se decidió extraer las categorías de coberturas forestales que estuvieran relacionadas con el desplazamiento de la biodiversidad a lo largo de la microcuenca. Así, se seleccionaron las coberturas del bosque primario, bosque secundario, bosque secundario fragmentado y los charrales dada su importancia como hábitat y medio de comunicación para la conectividad. Otras coberturas como los pastos arbolados, las plantaciones de coníferas y los cafetales fueron valorados, no obstante, se decidió dar mayor importancia a las anteriores por su estructura forestal. Seguido de la selección se calculó el área de cada polígono o parche para obtener las métricas de paisaje por categoría.

Tabla N° 10:
Métricas de paisaje sobre categoría de bosques

Cobertura de bosque	Tamaño promedio de parches (km ²)	Número de parches	Mediana de parches (km ²)	Área total de parches (km ²)
Bosque primario	3.89	2	3.89	7.77
Bosque secundario	0.08	22	0.07	1.85
Bosque secundario fragmentado	0.04	35	0.02	1.54
Charrales	0.01	15	0.01	0.15

Fuente: Elaboración propia a partir de CNFL (2018)

La *Tabla N°10* muestra los resultados que fueron obtenidos con la extensión *Patch Analyst* de ArcGIS. Para el bosque primario se obtuvieron 2 parches con un área total de 7.77 km² y un tamaño promedio del parche de 3.89 km². Sobre este dato es importante señalar que el promedio está sobrevalorado dado que la diferencia de áreas entre los dos parches es considerable y al existir únicamente dos polígonos el valor se ve afectado. Para el bosque secundario se obtuvieron 22 parches con un tamaño promedio de 0.08 km² y una extensión total del 1.85 km². El bosque secundario fragmentado muestra 35 parches con una extensión promedio de 0.04 km² y una cobertura de área de 1.54km². Finalmente, en el caso de los charrales, se obtuvieron un total de 15 parches con un valor promedio de 0.01 km² y una extensión total de 0.15 km².

Una vez obtenidas las métricas de paisaje se procedió a realizar una clasificación por cuantiles de los valores del área de los parches. Es importante destacar que el manejo de los datos se realizó en unidades de m², no obstante para una mejor visualización de la *Tabla N° 10* se convirtieron a unidades de km². Dicho lo anterior el *Mapa N°14* ilustra la clasificación realizada para las áreas, en donde, se definen las categorías del tamaño de parche en fragmento grande, mediano y pequeño de modo que evidencia las mayores y menores extensiones forestales.

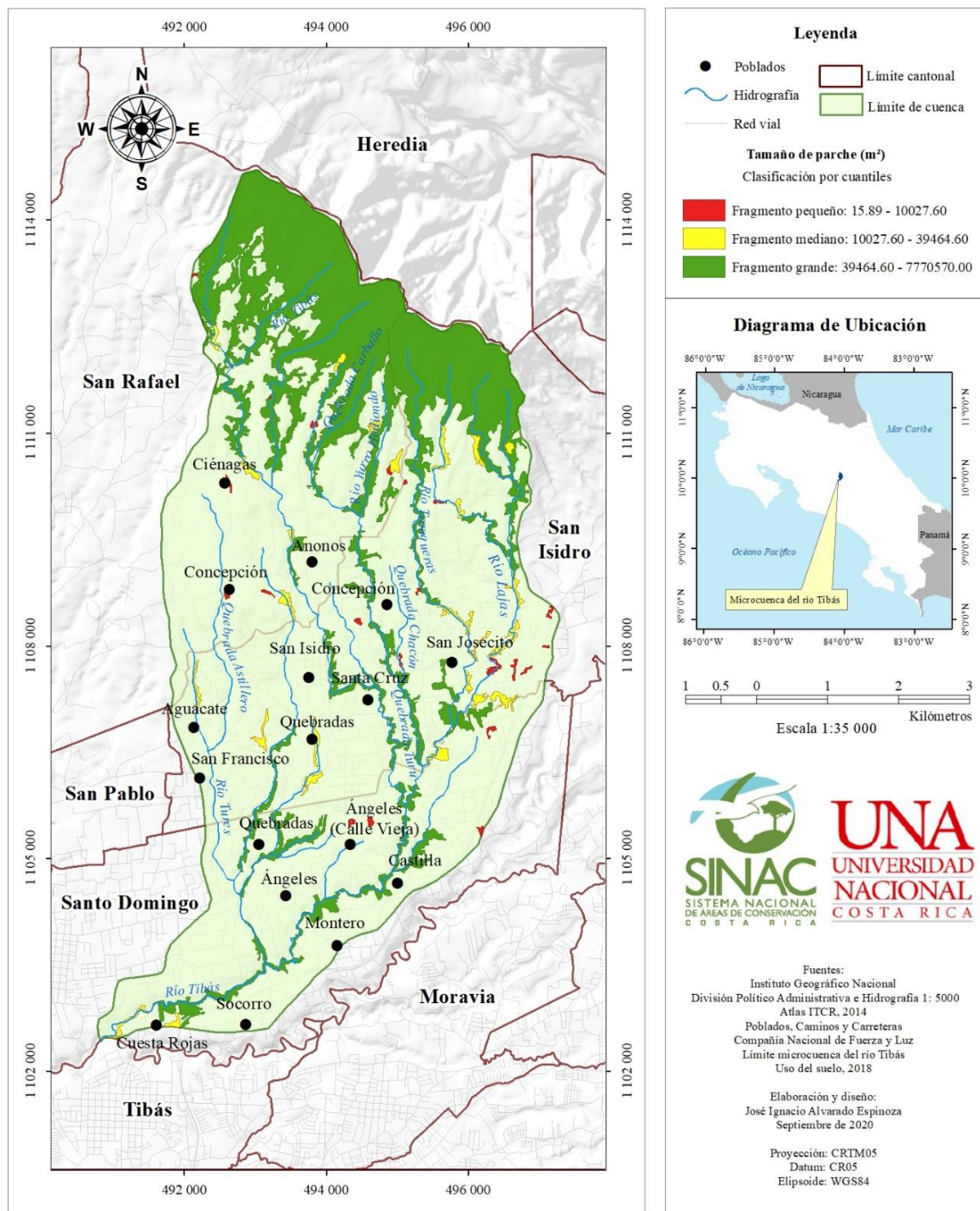
En cuanto a la distribución espacial, se identifica que los fragmentos grandes se localizan hacia la parte alta de la microcuenca donde se ubica el Parque Nacional Braulio Carrillo y hacia los cauces de los ríos y quebradas principales. En el caso de los fragmentos medianos se encuentran bordeando algunos de los fragmentos grandes, principalmente los cercanos a los cauces. Por su parte, los pequeños se ubican de manera dispersa distribuyéndose mayoritariamente en la parte oriental de la microcuenca. La *Tabla N°11*, muestra la cantidad de parches o fragmentos por categoría de bosque y tamaño según la clasificación realizada. Según los datos, para la categoría de parche grande dominan el bosque secundario y el bosque secundario fragmentado, en la categoría media destaca el bosque secundario fragmentado y finalmente para los parches pequeños predominan el bosque secundario fragmentado y los charrales.

Tabla N° 11:
Cantidad de parches por tamaño y categoría de bosque

Cobertura de bosque	Parche grande	Parche mediano	Parche pequeño
Bosque primario	1	0	1
Bosque secundario	13	6	3
Bosque secundario fragmentado	10	14	11
Charrales	0	5	10
Total	24	25	25

Fuente: Elaboración propia a partir de CNFL (2018)

El criterio de selección del tamaño de parche o fragmento se basó en la identificación de los espacios boscosos que podrían albergar el desplazamiento de la biodiversidad lo que permitiría identificar posibles rutas de conectividad.



Mapa N°14: Microcuenca del río Tibás: Tamaño de parche boscoso

7.1.14. Índice de fragmentación de bosque

Para el cálculo del índice de fragmentación de bosque se utilizaron las categorías de coberturas seleccionadas para la variable tamaño de parche. En dicho aspecto, se calculó el índice de fragmentación para cada una de las clases mediante el uso de la metodología expuesta en Larrea, Sáenz, Cervantes y Chiriboga (s.f.). El cálculo del indicador permite realizar una analogía entre el área total de la vegetación y su borde para determinar zonas intervenidas y su grado de fragmentación asociado. La siguiente forma expresa la relación:

$$\text{Indfrag} = \frac{\text{Área total de la cobertura (km}^2\text{)}}{\text{Perímetro total de la cobertura (km)}} \quad (\text{e. 5})$$

Con el resultado de la proporción se procedió a expresar los resultados en una escala de 0 a 1, siendo 1 el valor máximo obtenido entre todos los resultados (Infrag). En su interpretación los valores más cercanos a 1 representan un menor grado de fragmentación y los más cercanos a 0, el mayor. Para el estudio el máximo valor del (Infrag) fue de 120.62.

$$\text{Indfrag}_{0-1} = \frac{\text{Infrag}}{n \text{ max}} \quad (\text{e. 6})$$

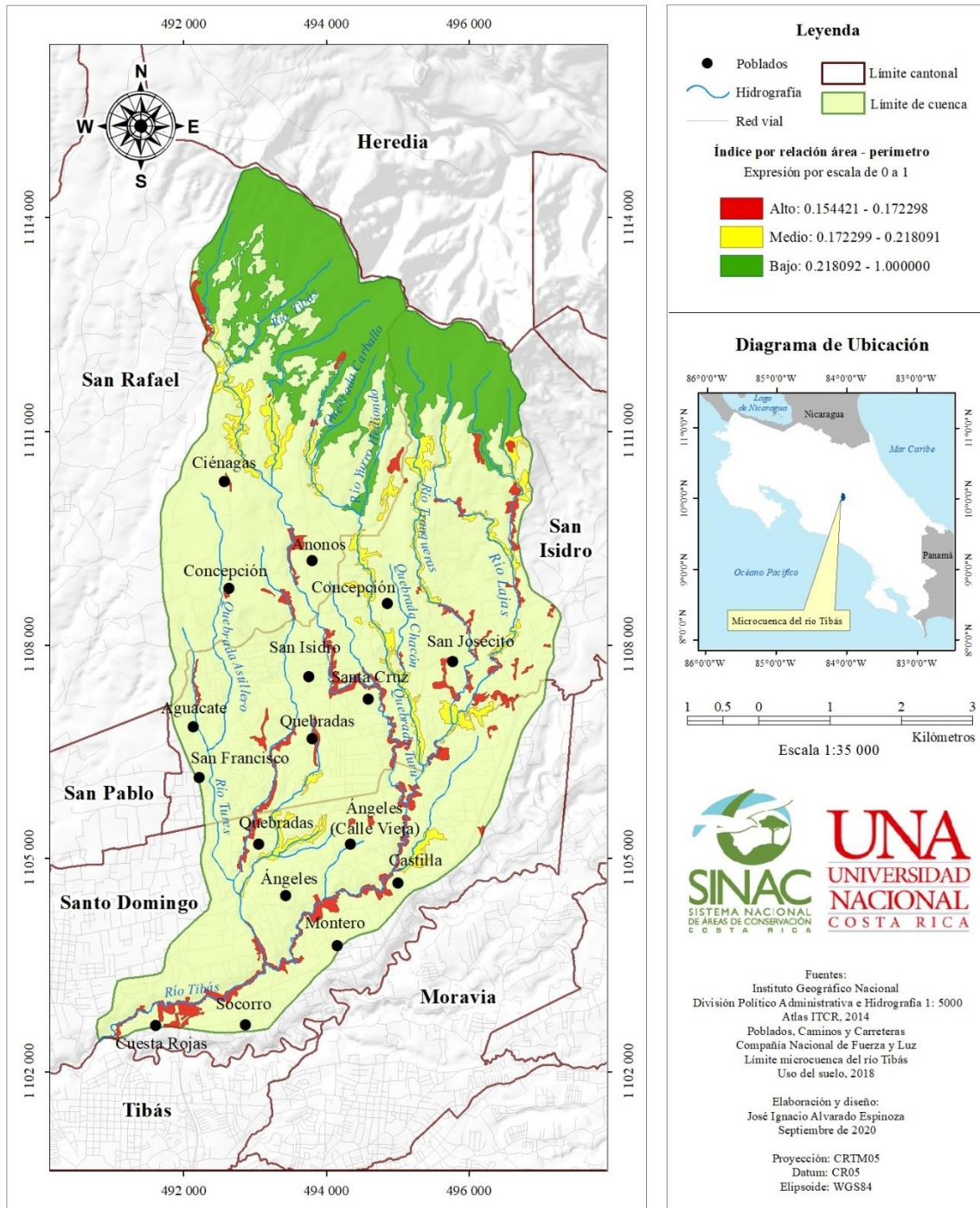
La *Tabla N°12* contiene los datos obtenidos para la determinación del índice de fragmentación. De acuerdo con los resultados, clasificados por cuantiles dentro del Mapa N°15, el bosque primario es la cobertura con menor grado de fragmentación, siendo así la

Tabla N°12:
Determinación del Índice de fragmentación

Cobertura de bosque	Área (m²)	Perímetro (m)	Infrag	Infrag (0-1)
Bosque primario	7 771 450	64 431	120.62	1.00
Bosque secundario	1 849 690	70 316	26.31	0.22
Bosque secundario fragmentado	1 542 760	74 236	20.78	0.17
Charrales	152 640	8 195	18.63	0.15

Fuente: Elaboración propia a partir de CNFL (2018)

cobertura que presenta una mayor condición de conectividad. Seguido del bosque primario, el bosque secundario presenta un grado medio de fragmentación y el bosque secundario fragmentado junto con los charrales las coberturas que poseen los mayores valores de fragmentación.



Mapa N°15: Microcuenca del río Tibás: Índice de Fragmentación boscosa

El criterio de selección del índice de fragmentación se basó en la utilización de la variable como indicadora del grado de conectividad/fragmentación dentro de las coberturas boscosas seleccionadas de modo que permite establecer la importancia de los parches según sus características de forma.

7.1.15. Asignación de los pesos de valor

A partir de la descripción de las variables y la valoración de su distribución espacial dentro del área de la microcuenca se realizó la segunda parte de la Fase I la cual corresponde con la asignación de los pesos de valor para cada elemento de las variables. La asignación de los pesos permite establecer un grado de importancia para cada uno de los elementos que contiene la variable de manera que jerarquiza la representatividad de cada uno en función de la conectividad ecológica estructural.

La asignación de los pesos de valor se realizó mediante una discusión del grupo focal, por criterio de experto, considerando los criterios expuestos en cada una de las secciones que describen las variables. Dicho lo anterior, la asignación categorizó los elementos en cinco grados de importancia siendo (1) un elemento poco importante, (2) moderadamente importante, (3) importante, (4) muy importante y (5) sobresaliente. La *Figura N°4* resume la asignación realizada por el grupo focal que para más detalle se puede comparar con el *Anexo N°5* en el que se identifican los valores por cada elemento. A continuación se realiza una descripción de la valoración de cada variable y la asignación de pesos a cada uno de sus elementos.

Para la variable de **porcentaje de pendientes** los valores se establecieron de poco importante a sobresaliente debido a que las pendientes definen la capacidad del uso de la tierra y los espacios destinados a la conservación. En el caso de las pendientes que corresponden a los relieves plano a casi plano y ligeramente ondulado se les asignaron pesos bajos, (1) y (2) respectivamente. A partir del relieve moderadamente ondulado se asignaron pesos más representativos donde moderadamente ondulado tuvo un valor de (3), ondulado (4) y fuertemente ondulado, escarpado y fuertemente escarpado de (5). La importancia que tienen estas últimas categorías está relacionada con las capacidades de usos ligados a la conservación dada la inestabilidad de terrenos que limitan el desarrollo de actividades.

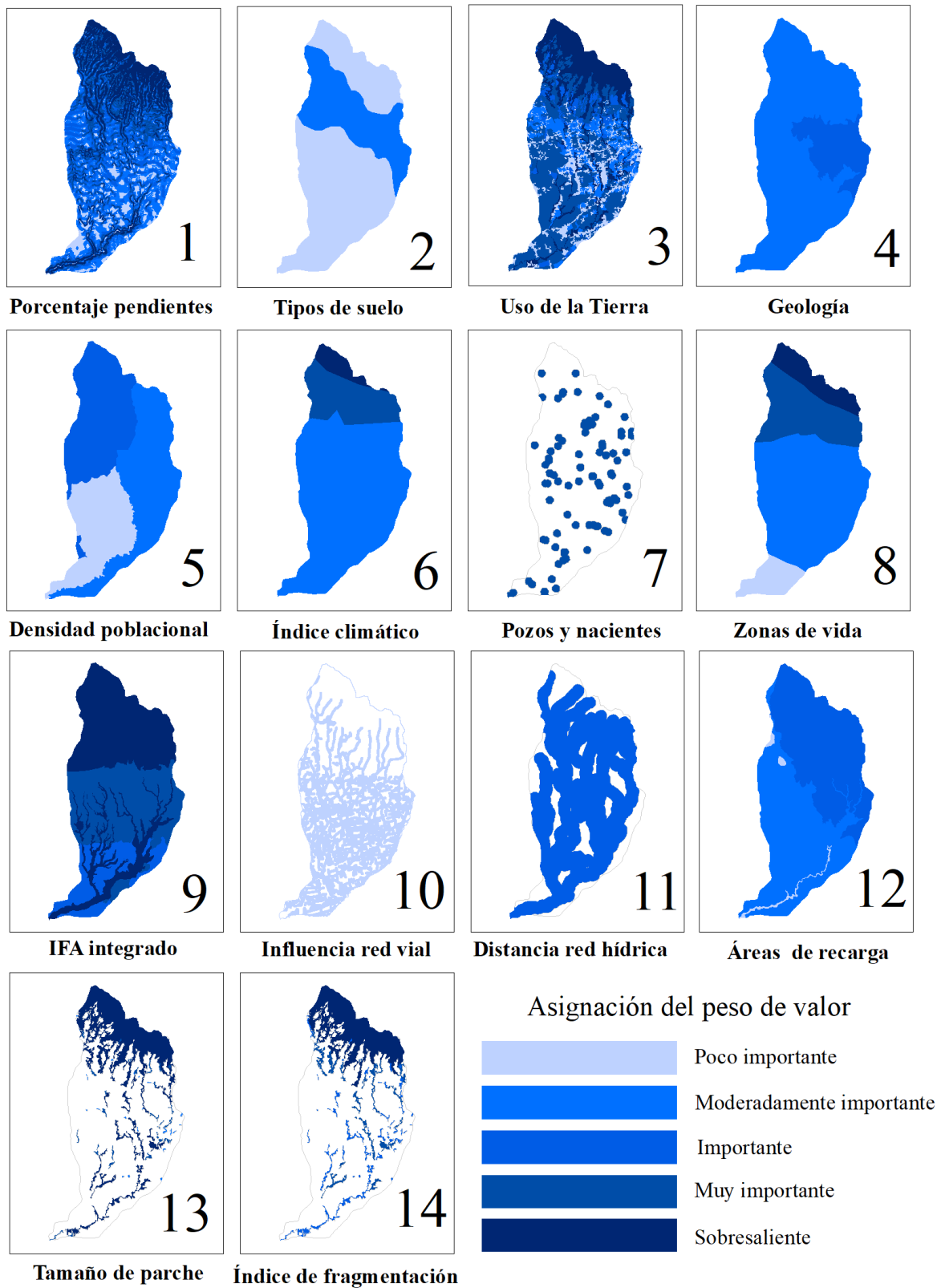


Figura N°4: Asignación de pesos de valor por variable

Para los elementos de la variable de **tipo de suelos** se asignaron valores bajos dado que su vínculo con la conectividad expresa más una relación indicadora que directa. Al gran grupo Dystrandept se le asignó un peso de (1) mientras que al Hydrandept de (2). La razón de la diferencia entre ambos está en que los inceptisoles Hydrandept poseen una condición de drenaje distinta que los Dystrandept.

En el caso de la variable del **uso de la tierra** los pesos se asignaron según se consideraran barreras o facilitadores de conectividad. Con un valor de (1) se agruparon los usos de la tierra ligados a la infraestructura urbana, industrial e invernaderos. Los cultivos anuales y mixtos se agruparon con un valor de (2) dado que la cobertura vegetal no es totalmente permanente y depende de los tiempos de cosecha. El valor de (3) se asignó para los usos de zonas verdes urbanas, cultivos permanentes, pastos y plantaciones de coníferas. Estas categorías presentan una mejor condición de cobertura vegetal que puede beneficiar a la biodiversidad dado que son más estables que las anteriores en cuanto a la permanencia de la vegetación. La categoría de (4) se asignó a los cafetales y pastos arbolados dado que sirven de espacios que facilitan desplazamientos a través de sus unidades arbóreas. Por su parte, el valor de (5) fue designado para las categorías de bosque, dada su función de hábitat por excelencia, las cuales integran el bosque primario, secundario, secundario fragmentado y charrales.

Con base en la variable sobre la **geología** los pesos se asignaron dentro de una mediana categoría dado que, al igual que el tipo de suelos, su condición es de indicadora indirecta. Así, las formaciones con origen volcánico tuvieron un peso de (2), mientras que las avalanchas, por estar vinculadas con las zonas de lahares obtuvieron un peso de (3). La consideración sobre los lahares está dada 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.

Para la variable de **densidad poblacional**, la asignación de pesos se realizó mediante una agrupación de los distritos, según el cuantil al que pertenecen, con el fin de reducir el error asociado a la sobreestimación y subestimación de las densidades proporcionadas. Dicha agrupación se basó en considerar las tendencias de ubicación de la población interpretándose zonas de concentración con características similares según los resultados.

La agrupación permitió definir 3 grupos identificados como baja densidad, mediana densidad y alta densidad. Así, para la categoría N°1, que representa la baja densidad, se agruparon los distritos de Concepción de San Rafael y San Vicente a los que se les asignó un valor de (3). El grupo N° 2 , comprendido por los distritos de Concepción de San Isidro, San José, Pará y San Miguel, se les asignó un valor de (2) siendo catalogados de mediana densidad. Se debe resaltar que el distrito de San José se integró dentro de esta categoría dado que su área fuera de la microcuenca es considerable pero las zonas urbano-residenciales prevalecen dentro de la microcuenca por lo que se consideró como una subestimación integrarlo con los distritos anteriores que pertenecen al I cuantil. Para el Grupo N°3, se agruparon los distritos pertenecientes al III y IV cuantil, estos son el distrito de San Isidro, San Francisco, Santo Tomás y Tures. Los cuatro fueron valorados con un peso (1) debido a la concentración de alta densidad poblacional.

En el caso de la variable del **índice climático** los valores se asignaron según las condiciones climáticas que pueden presentar mayores variaciones frente al cambio climático y en las cuales se sufrirían importantes cambios en los hábitats. Asimismo, se dio peso a las zonas con mejores disponibilidades hídricas valorando su importancia para el desarrollo de las unidades boscosas y los cultivos. Los valores más destacables se asignaron al índice húmedo nuboso y muy húmedo con valores de (5) y (4) respectivamente. Para el índice húmedo montano el peso fue de (2) considerándose las diferencias sobre precipitación que presenta en relación con los otros dos y el grado de intervención antrópica sobre las zonas de vida que comprende.

Relacionado con la variable anterior, la valoración de las **zonas de vida** se estableció en función de las áreas que presentan hábitats con mayor vulnerabilidad frente al cambio climático; visto desde la disminución de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas. Asimismo, se valoró el grado de intervención antrópica sobre las zonas con el fin de identificar aquellas en las que la conectividad ecológica se ha reducido como respuesta de la disminución de las coberturas originarias. Los valores más altos fueron asignados al bosque pluvial montano bajo (5) y al bosque muy húmedo montano bajo (4) mientras que los más bajos se designaron para el bosque muy húmedo premontano (2) y el bosque húmedo premontano (1).

La valoración para la variable de **IFAS integrado** se realizó con base en la criticidad de la fragilidad ambiental considerando aspectos como la conservación y la recuperación de ecosistemas para la planificación territorial. Dicho lo anterior, la muy alta fragilidad tuvo un peso de (5), la alta fragilidad (4) y la moderada fragilidad (3). Para las tres 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.

Para el grado de **vulnerabilidad sobre las áreas de recarga** se consideró dar peso a los menores grados de vulnerabilidad, dado que presentan menor condición de presión antrópica que las mayores, lo que supone que se deben plantear estrategias para conservar y mantener aquellas zonas con menor condición de disturbio por contaminación de las aguas subterráneas. Así, para la muy alta vulnerabilidad se asignó un peso de (1), en el caso de la alta vulnerabilidad (2) y la media vulnerabilidad (3).

La asignación de pesos para las variables que fueron establecidas a partir de áreas de influencia o *buffer* se basó en el grado de importancia de los elementos según facilitarían o dificultarían el desplazamiento de las especies dentro de los ecosistemas. Para el **área de protección de pozos y nacientes** el peso asignado fue de (4) debido a su condición de conservación de hábitat e importancia para la preservación del recursos hídrico. El peso asignado para **la influencia de la red hídrica** tomó un valor de (3) dado que muchas de las áreas que comprenden la cercanía de los ríos poseen una marcada fragmentación del bosque consecuencia del desarrollo agrícola y urbano. En último caso, el peso designado a **la influencia de la red vial** fue de (1) dado que las condiciones asociadas al tránsito de vehículos, permeabilización de los caminos y contaminación tienen un alto grado de dificultad para el desplazamiento de las especies.

Finalmente, se valoraron las variables del **tamaño de parche boscoso** y el **índice de fragmentación de bosque**. El análisis realizado sobre los parches consideró dar valores importantes a los fragmentos grandes y moderados a los pequeños; basados en la disponibilidad de cobertura para la biodiversidad. Para dicho aspecto, se asignó un valor de (5) a los parches grandes, (4) a los medianos y (2) a los pequeños. Para el índice de fragmentación se siguió el mismo criterio donde la baja fragmentación obtuvo un valor de

(5), la media fragmentación de (4) y la alta fragmentación de (3). Este último caso, tuvo un peso considerado como importante dado que varios fragmentos o parches incluidos dentro de la categoría de alta fragmentación corresponden a bosques riparios dispersos que necesitarían de estrategias de recuperación para permitir vías de conectividad ecológica.

7.2. Fase II: Generación de la Matriz de Saaty

En la segunda fase del estudio se generó la matriz multivariable de Saaty. Este proceso se realiza con el fin de jerarquizar la representatividad de las variables con base en el grado de importancia para la conectividad ecológica estructural. En dicho aspecto, esta fase permite identificar, mediante pesos estadísticos, las variables más influyentes para el establecimiento de las áreas críticas de conectividad. Los resultados de los pesos estadísticos se multiplicarán con los pesos de valor asignados en la Fase I de manera que se puedan identificar tanto las variables más importantes como sus respectivos elementos más sobresalientes.

Para la generación de la matriz se utilizó la estructura mostrada en la *Tabla N°13* la cual ilustra la Matriz A de Saaty. En esta se asignaron valores numéricos para establecer los grados de relación entre todas las variables. La asignación se llevó a cabo mediante una agrupación o clasificación de las variables de acuerdo con su grado de relación con la conectividad ecológica. Es importante señalar que el criterio asumido para dicha agrupación fue de carácter cartográfico considerándose las distribuciones espaciales de las variables y sus elementos descritos en la Fase I.

Cuadro N°1:
Agrupación de las variables de estudio

Descripción	Conectividad	Variable
Espacialmente las variables definen directamente la condición del paisaje para la conectividad	Conectividad directa	Uso de la Tierra
		Tamaño de parche
		Índice de fragmentación
		Influencia red vial, pozos y nacientes
Espacialmente la variable podría definir la condición del paisaje para la conectividad	Conectividad probable	Influencia red hídrica, porcentaje pendientes
		Zonas de vida = Índice climático
		IFAS integrado , Densidad poblacional
Espacialmente la variable no define una condición del paisaje para la conectividad pero se utiliza como indicadora	No vinculado con la conectividad	Tipo de suelo = Geología = Áreas recarga

Tabla N° 13: Matriz A de Saaty

Matriz A

Criterios	1. Pendientes	Tipo suelos	3. Uso tierra	4. Geología	5. Densidad pob.	6. índice climático	7. Pozos nacientes	8. Zonas de vida	9. IFAS	10. Caminos	11. Ríos	12. Áreas recarga	13. Tamaño parche	14. Fragmentación
1. Porcentaje pendientes	1	4	2/5	4	3 1/3	2 1/2	1/2	2 1/2	3 1/3	1/2	2	4	1/2	1/2
2. Tipo suelos	1/4	1	2/7	1	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	4/9	1	1/3	1/3
3. Uso de la tierra	2 1/2	3 1/2	1	6 2/3	4	4	3 1/3	4	4	3 1/3	4	6 2/3	2 2/9	1/3
4. Geología	1/4	1	1/7	1	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	4/9	1	1/3	1/2
5. Densidad poblacional	2/7	2	1/4	2	1	1 2/3	1/2	1 2/3	2	1/2	1 1/3	4	4/9	1/2
6. Índice climático	2/5	2	1/4	2	3/5	1	1/2	1	2 1/2	1/2	1 2/3	5	1/2	1 2/3
7. Pozos y nacientes	2	3	2/7	3	2	2	1	3 1/3	4	2	2 1/2	5	1 3/7	1/2
8. Zonas de vida	2/5	2	1/4	2	3/5	1	2/7	1	2 1/2	1/2	1 2/3	3 1/3	1/2	1/2
9. IFAS	2/7	2	1/4	2	1/2	2/5	1/4	2/5	1	1/2	1 1/3	2 1/2	4/9	1 2/3
10. Caminos y carreteras	2	3	2/7	3	2	2	1/2	2	2	1	2 1/2	4	1 1/3	1/2
11. Influencia ríos	1/2	2 1/4	1/4	2 1/4	3/4	3/5	2/5	3/5	3/4	2/5	1	5	1/2	1 1/3
12. Áreas de recarga	1/4	1	1/7	1	1/4	1/5	1/5	2/7	2/5	1/4	1/5	1	1/3	1 2/3
13. Tamaño de parche	2	3	4/9	3	2 1/4	2	2/3	2	2 1/4	3/4	2	3	1	1
14. Fragmentación bosque	2	3	2/5	3	2	2	3/5	2	2	3/5	2	3	3/5	1

Tabla N° 14: Obtención de los Eigenvector

Matriz A

Criterios	1. Pendientes	Tipo suelos	3. Uso tierra	4. Geología	5. Densidad pob.	6. índice climático	7. Pozos nacientes	8. Zonas de vida	9. IFAS	10. Caminos	11. Ríos	12. Áreas recarga	13. Tamaño parche	14. Fragmentación
1. Porcentaje pendientes	1.000	4.000	0.400	4.000	3.333	2.500	0.500	2.500	3.333	0.500	2.000	4.000	0.500	0.500
2. Tipo suelos	0.250	1.000	0.286	1.000	0.500	0.500	0.333	0.500	0.500	0.333	0.444	1.000	0.333	0.333
3. Uso de la tierra	2.500	3.500	1.000	6.667	4.000	4.000	3.333	4.000	4.000	3.333	4.000	6.667	2.222	0.333
4. Geología	0.250	1.000	0.150	1.000	0.500	0.500	0.333	0.500	0.500	0.333	0.444	1.000	0.333	0.500
5. Densidad poblacional	0.300	2.000	0.250	2.000	1.000	1.667	0.500	1.667	2.000	0.500	1.333	4.000	0.444	0.500
6. Índice climático	0.400	2.000	0.250	2.000	0.600	1.000	0.500	1.000	2.500	0.500	1.667	5.000	0.500	1.667
7. Pozos y nacientes	2.000	3.000	0.300	3.000	2.000	2.000	1.000	3.333	4.000	2.000	2.500	5.000	1.429	0.500
8. Zonas de vida	0.400	2.000	0.250	2.000	0.600	1.000	0.300	1.000	2.500	0.500	1.667	3.333	0.500	0.500
9. IFAS	0.300	2.000	0.250	2.000	0.500	0.400	0.250	0.400	1.000	0.500	1.333	2.500	0.444	1.667
10. Caminos y carreteras	2.000	3.000	0.300	3.000	2.000	2.000	0.500	2.000	2.000	1.000	2.500	4.000	1.333	0.500
11. Influencia ríos	0.500	2.250	0.250	2.250	0.750	0.600	0.400	0.600	0.750	0.400	1.000	5.000	0.500	0.333
12. Áreas de recarga	0.250	1.000	0.150	1.000	0.200	0.200	0.200	0.300	0.400	0.250	0.200	1.000	0.333	1.667
13. Tamaño de parche	2.000	3.000	0.450	3.000	2.250	2.000	0.700	2.000	2.250	0.750	2.000	3.000	1.000	1.000
14. Fragmentación bosque	2.000	3.000	0.400	3.000	2.000	2.000	0.600	2.000	2.000	0.600	2.000	3.000	0.600	1.000
Eigenvector	14.150	32.750	4.686	35.917	20.283	20.367	9.450	21.800	27.733	11.500	23.089	48.500	10.473	11.000

Tabla N°15: Matriz A1 de Saaty

Matriz A1

Criterios	1. Pendientes	Tipo suelos	3. Uso tierra	4. Geología	5. Densidad pob.	6. índice climático	7. Pozos nacientes	8. Zonas de vida	9. IFAS	10. Caminos	11. Ríos	12. Áreas recarga	13. Tamaño parche	14. Fragmentación
1. Porcentaje pendientes	0.071	0.122	0.085	0.111	0.164	0.123	0.053	0.115	0.120	0.043	0.087	0.082	0.048	0.045
2. Tipo suelos	0.018	0.031	0.061	0.028	0.025	0.025	0.035	0.023	0.018	0.029	0.019	0.021	0.032	0.030
3. Uso de la tierra	0.177	0.107	0.213	0.186	0.197	0.196	0.353	0.183	0.144	0.290	0.173	0.137	0.212	0.030
4. Geología	0.018	0.031	0.032	0.028	0.025	0.025	0.035	0.023	0.018	0.029	0.019	0.021	0.032	0.045
5. Densidad poblacional	0.021	0.061	0.053	0.056	0.049	0.082	0.053	0.076	0.072	0.043	0.058	0.082	0.042	0.045
6. Índice climático	0.028	0.061	0.053	0.056	0.030	0.049	0.053	0.046	0.090	0.043	0.072	0.103	0.048	0.152
7. Pozos y nacientes	0.141	0.092	0.064	0.084	0.099	0.098	0.106	0.153	0.144	0.174	0.108	0.103	0.136	0.045
8. Zonas de vida	0.028	0.061	0.053	0.056	0.030	0.049	0.032	0.046	0.090	0.043	0.072	0.069	0.048	0.045
9. IFAS	0.021	0.061	0.053	0.056	0.025	0.020	0.026	0.018	0.036	0.043	0.058	0.052	0.042	0.152
10. Caminos y carreteras	0.141	0.092	0.064	0.084	0.099	0.098	0.053	0.092	0.072	0.087	0.108	0.082	0.127	0.045
11. Influencia ríos	0.035	0.069	0.053	0.063	0.037	0.029	0.042	0.028	0.027	0.035	0.043	0.103	0.048	0.030
12. Áreas de recarga	0.018	0.031	0.032	0.028	0.012	0.010	0.021	0.014	0.014	0.022	0.009	0.021	0.032	0.152
13. Tamaño de parche	0.141	0.092	0.096	0.084	0.111	0.098	0.074	0.092	0.081	0.065	0.087	0.062	0.095	0.091
14. Fragmentación bosque	0.141	0.092	0.085	0.084	0.099	0.098	0.063	0.092	0.072	0.052	0.087	0.062	0.057	0.091

En dicho aspecto como lo identifica el *Cuadro N°1* se realizaron 3 agrupaciones las cuales están definidas por las variables que integran una relación de conectividad directa, probable o no vinculada. La clase de conectividad directa comprende a las variables que especialmente definen la condición directa del paisaje. Esta categoría permite identificar barreras y “puentes” que facilitan o dificultan el desplazamiento de las especies. En ella se incluye a las variables del uso de la tierra, tamaño de parche boscoso, índice de fragmentación de bosque, área de influencia de la red vial y área de protección de pozos y nacientes.

En el caso de las variables agrupadas dentro de la conectividad probable se integraron aquellas que espacialmente podrían definir la condición del paisaje para la conectividad, esto quiere decir que son criterios que no identifican precisamente barreras o “puentes” para el tránsito de la biodiversidad sino que evalúan las características generales de los hábitats y su aprovechamiento para definir espacios que pueden valorarse para la conectividad. En el grupo se integran la distancia a la red hídrica, el porcentaje de pendientes, zonas de vida, índice climático, IFAS integrado y densidad poblacional.

La última agrupación comprende a las variables que espacialmente no están vinculadas con la condición del paisaje para la conectividad sino que se utilizan como indicadores ya sea de conservación para la conectividad o bien el desarrollo de actividades productivas que la afecten. Dentro de esta categoría se integran la variable del tipo de suelo, geología y vulnerabilidad de áreas de recarga.

La estructura del *Cuadro N°1* permitió definir el establecimiento de los valores numéricos para completar la matriz A. Además de mostrar las 3 agrupaciones, con sus respectivas descripciones, el cuadro identifica las variables ordenadas de mayor a menor importancia. Cada variable se encuentra posicionada en un “escalón” dentro de la agrupación a la que pertenece indicándose así su grado de relevancia sobre las otras. Se debe destacar que hubo casos en los que se incorporaron dos o más variables dentro del mismo escalón, situación que se debe a la consideración de semejanzas entre el comportamiento de las variables y la valoración de su importancia.

De esta manera se generó el *Cuadro N°2* en el que se establece la asignación de valores según la organización e interpretación del *Cuadro N°1*. Así, según la valoración, para

las variables ubicadas dentro de la misma agrupación (conectividad directa, probable o no vinculada) que se ubicaban en distintos escalones se asignaron valores decimales para expresar su grado de relación. Por ejemplo, si se compara la variable de influencia de la red hídrica contra zonas de vida, las zonas de vida tendrían un valor decimal menor que la red hídrica y en viceversa la red hídrica por sobre las zonas de vida, dado que ambas pertenecen a la misma agrupación: conectividad probable.

Cuadro N°2:
Interpretación de asignación de 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: elaboración propia

En el caso de que las variables se encontrasen en el mismo escalón de la forma (a,b) se asignaría un valor decimal de 0.5 a ambas dado que se consideran con pesos similares. Tal es el caso de comparar IFAS integrado con Densidad Poblacional. Ambas son valoradas con 0.5 debido a que sus condiciones para definir la conectividad se consideraron similares.

Para las variables dentro del mismo escalón de la forma (a=b) se asigna un valor de 1 el cual refiere a que poseen criterios iguales que fueron considerados por su distribución espacial, ser la intersección de la misma variable o bien que sus componentes se consideraron casi iguales. Ejemplo de ello, es la última agrupación en la que las variables del uso del suelo, la geología y las áreas de recarga se consideraron como iguales debido a que cartográficamente son indicadoras de asociaciones de conectividad.

Los valores 2 y 3 se asignaron según la posición de la variable analizada en relación con la agrupación de la otra. El valor de 2 se asignó para el caso de análisis de una variable que se encontrara una agrupación arriba. Así, por ejemplo, si se compraba índice climático contra geología, el índice climático tendría una valoración de 2 dado que se encuentra en la agrupación de “conectividad probable” que está sobre la agrupación de “no vinculada con la conectividad” a la cual pertenece la variable de geología. La asignación de 3 sigue una dinámica similar donde si se compara índice de fragmentación contra áreas de recarga, el índice de fragmentación tendría un valor de 3 dado que está dos agrupaciones sobre la agrupación de áreas de recarga.

El valor de 3.5 fue asignado únicamente si se comparaba la variable del uso de la tierra contra las variables del tercer grupo dado que se consideró el uso de la tierra como una variable predominante sobre el resto dada la información directa que se puede extraer sobre las barreras y “puentes” de conectividad. Es importante resaltar que esta analogía es de carácter subjetivo por lo que los valores numéricos son únicamente expresiones de interpretación del grado de importancia de las variables y el resultado jerárquico de la matriz dará los pesos estadísticos por utilizar dentro del mapa de áreas críticas de conectividad.

De acuerdo con lo anterior se colocaron los valores numéricos de la matriz A. Seguido de ello se convirtieron a expresión decimal no fraccionaria y se calcularon los Eigenvector de cada columna (véase *Tabla N° 14*). Con los valores obtenidos se dividieron cada una de las celdas por su respectivo valor generándose la matriz A1 identificada en la *Tabla N° 15*.

Los procedimientos restantes comprendieron las operaciones matriciales necesarias para poder determinar los pesos estadísticos y la Razón de Inconsistencia RI (véase *Tabla N° 16*). En dicho aspecto, a partir de la matriz A1, se calculó la matriz W la cual correspondió a la sumatoria de las filas de A1. De igual modo, se calcularon los pesos estadísticos obtenidos del promedio de las filas. A partir de la matriz W se calculó la matriz AW que permitió obtener el valor $\gamma_{max}W$ el cual resultó de la multiplicación de la matriz A con la matriz W. Asimismo se calculó su respectivo promedio, el cual se representa en la *Tabla N° 16* con un asterisco. Seguido de ello se determinaron los valores γ_{max} a partir de la división de la matriz AW entre la matriz W.

Tabla N°16:
Resumen de operaciones matriciales

Variables	Matriz W	AW $\gamma_{\max}W$	γ_{\max}	Peso estadístico	Expresión procentual
1. Porcentaje pendientes	1.270	21.29	16.76	0.091	9.07%
2. Tipo suelos	0.393	5.86	14.89	0.028	2.81%
3. Uso de la tierra	2.600	39.92	15.35	0.186	18.57%
4. Geología	0.380	5.72	15.06	0.027	2.71%
5. Densidad poblacional	0.796	13.53	17.01	0.057	5.68%
6. Índice climático	0.884	15.16	17.15	0.063	6.31%
7. Pozos y nacientes	1.547	24.48	15.82	0.111	11.05%
8. Zonas de vida	0.722	12.30	17.03	0.052	5.16%
9. IFAS	0.663	10.56	15.93	0.047	4.74%
10. Caminos y carreteras	0.663	20.07	30.27	0.089	8.89%
11. Influencia ríos	1.245	11.05	8.88	0.046	4.59%
12. Áreas de recarga	0.643	5.96	9.27	0.030	2.96%
13. Tamaño de parche	0.414	20.20	48.81	0.091	9.06%
14. Fragmentación bosque	1.269	19.29	15.20	0.084	8.39%
	13.488	*16.01	-	1.000	100.00%

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al cálculo de la RI, peso de Saaty o prueba de corrección estadística se tomó el valor promedio de $\gamma_{\max}W$ para calcular el Índice de Consistencia (IC) el cual tuvo un valor de 0.16. Seguido de ello, se tomó el valor del Índice de Consistencia Aleatoria (CA) de la tabla de Saaty el cual, para 14 variables, tiene un valor de 1.57. A partir de ellos, se calculó la RI la cual tuvo un valor de 0.1029. Según la teoría citada, el error debería de ser menor a 1, no obstante, se aceptará el resultado obtenido dada la naturaleza diferenciada de las variables la cual se valoró en función de los criterios de agrupación. Además, se consideró que al realizarse pruebas de la matriz sin el criterio de agrupación se obtuvieron valores superiores a 1.15 por lo que la agrupación permite expresar un grado de error menor.

Con base a ello se podría interpretar que existe algún ruido estadístico en las variables que tiende a elevar la inconsistencia. Este aspecto puede estar vinculado con la consideración de variables similares o iguales que pueden afectar el principio de parsimonia estadística y la jerarquización de valores. No obstante, esta propuesta debe de ser revisada y comprobada mediante nuevas investigaciones.

Aceptado el criterio de asignación mediante la prueba de RI se definen los promedios obtenidos como pesos estadísticos indicados en *la Tabla N°16*. En sus resultados se puede identificar que las variables designadas con mayor importancia, según el método de Saaty, corresponden al uso de la tierra (18,57%), el área de protección de pozos y nacientes (11.05%), el porcentaje de pendientes (9.07%), tamaño del parche boscoso (9.06%), influencia de la red vial (8.89%) e Índice de fragmentación de bosque (8.39%).

7.3. Fase III: Aplicación de álgebra de mapas y comparación cartográfica

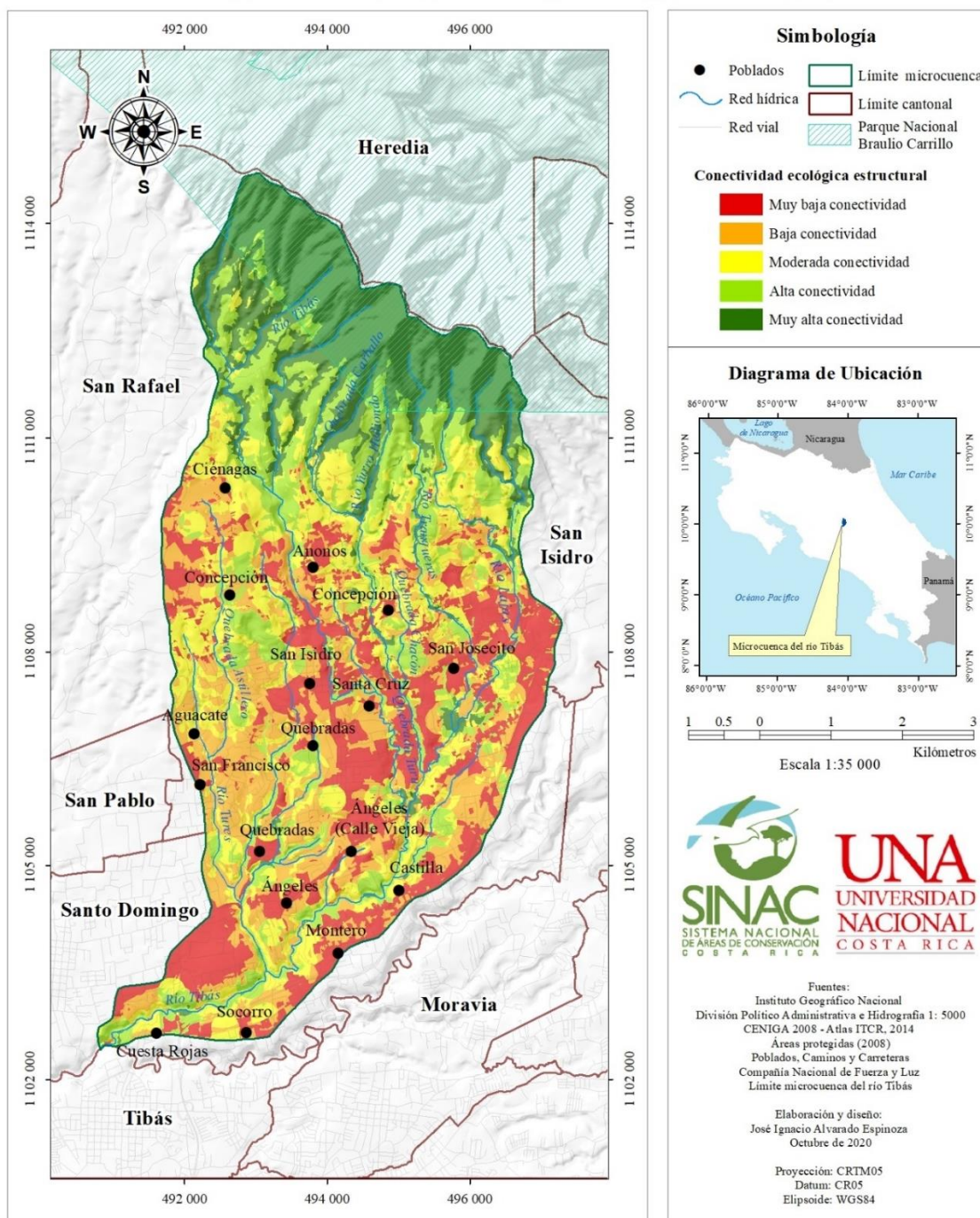
7.3.1. Álgebra de mapas y áreas críticas

La Fase III del estudio comprendió la integración de los pesos de valor de la Fase I y los pesos estadísticos obtenidos de la matriz de Saaty en la Fase II. A partir de dicha integración, mediante el método de álgebra de mapas, se definieron las áreas críticas de conectividad ecológica estructural para la microcuenca del río Tibás que se compararon con la zonificación existente del CBIPT.

Para la aplicación del álgebra de mapas se multiplicaron los pesos estadísticos con los pesos de valor asignados en las tablas de atributos de cada una de las variables. Seguido de ello, se convirtieron las capas de formato *shpapefile* a formato *ráster* manteniendo como unidad mínima cartografiable $5m^2$ establecidos en la propuesta inicial del CBIPT. Con cada una de las variables en formato *ráster* y su respectivo valor, según los pesos, se sumaron las variables mediante la herramienta *Map Algebra* de ArcGIS.

La suma dio como resultado un área con polígonos seccionados por lo que se aplicó una reclasificación por quintiles para obtener una clasificación de los valores en cinco categorías que pudiesen expresar el grado de conectividad en muy baja, baja, moderada, alta y muy alta. Para el primer cuantil (muy baja conectividad) se agruparon los valores entre 0.795 y 1.585. En el segundo cuantil (baja conectividad) se comprendieron los polígonos con valores entre 1.585 y 1.861. El tercer cuantil (moderada conectividad) tuvo un rango de 1.861 a 2.159. En la cuarta categoría (alta conectividad) el rango fue de 2.159 a 3.533 y la quinta (muy alta conectividad) tuvo un rango entre 3.533 y 4.452.

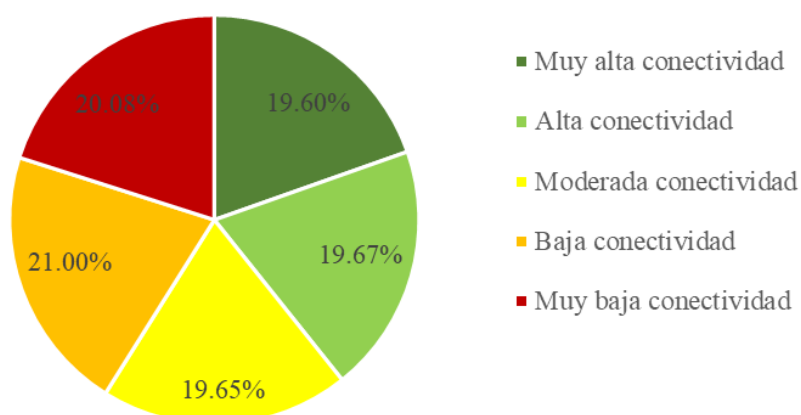
A partir de los resultados anteriores se obtuvo la zonificación final que se convirtió de formato ráster a formato vectorial de modo que se pudiese obtener en archivo *shapefile*. De dicha manera se obtuvo el *Mapa N°16* en el cual se identifican las áreas críticas de conectividad ecológica estructural para la microcuenca del río Tibás.



Mapa N°16: Microcuenca del río Tibás: Áreas críticas de conectividad ecológica estructural

EL grado de criticidad de los resultados de la zonificación está definido por la condición que las áreas presentan en relación con la conectividad ecológica estructural. Los mayores grados de criticidad responden a menores grados de conectividad ecológica dado que existen mayor niveles de fragmentación y degradación de las condiciones del medio. Como lo muestra el *Gráfico N°1* la distribución porcentual de las áreas críticas de conectividad ecológica estructural para la microcuenca muestran porcentajes muy similares en su distribución. Las áreas que presentan una leve mayoría en su porcentaje son las que pertenecen a las categorías de baja conectividad y muy baja conectividad, mientras que de moderada a muy alta conectividad poseen porcentaje muy cercanos.

Gráfico N°1: Proporción de extensión de las categorías de conectividad ecológica estructural microcuenca del río Tibás



Fuente: Elaboración propia

En el caso de las **áreas con muy baja conectividad** ecológica se presentan características ligadas a un alto grado de intervención antrópica relacionada espacialmente con áreas urbanas, ecosistemas intervenidos y alta densidad vial. Las principales zonas de vida asociadas son el bosque muy húmedo premontano y el bosque húmedo premontano, con un índice climático húmedo montano. Se destacan los usos de la tierra destinados a lo urbano de alta a media densidad poblacional, cultivos de café, anuales y mixtos. El porcentaje de pendientes es mayoritariamente de bajas a medias. En relación con los IFAS se hayan zonas con muy alta, alta y moderada fragilidad ambiental. Asimismo, predomina el grado de

vulnerabilidad en áreas de recarga de moderada y alta vulnerabilidad por contaminación de las aguas subterráneas.

Para la categoría de **baja conectividad** ecológica se destaca la producción agrícola de cultivos y algunas tierras destinadas a los pastos relacionadas a espacios con menor grado de intervención de áreas urbanas. Las principales zonas de vida asociadas son el bosque muy húmedo premontano y el bosque húmedo premontano con índice climático muy húmedo . Destacan los usos de la tierra destinados al cultivo del café, los cultivos anuales, mixtos y permanentes. El uso urbano se encuentra dentro de las zonas pero en menor relación y densidad poblacional variada que la categoría anterior. Al igual que la categoría anterior destacan los porcentajes de pendientes bajos y medios. Los IFAS indican que hay zonas de moderada a muy alta fragilidad ambiental. En relación con las áreas de recarga las zonas van desde la moderada a la muy alta fragilidad ambiental por contaminación de aguas subterráneas, predominando la categoría de alta.

En el caso de la **moderada conectividad** destaca mayoritariamente el uso de las tierras para el cultivo del café y los pastizales. Las zonas de vida asociadas con el bosque húmedo premontano, bosque muy húmedo premontano, bosque muy húmedo montano bajo y en menor grado el bosque pluvial montano bajo. Se presentan índices climáticos muy húmedo y húmedo montano. Los usos de la tierra más destacables son el cultivo de café, la agricultura de cultivos anuales, permanentes, mixtos y algunas plantaciones de coníferas. Asimismo toman importancia los pastos, principalmente, los pastos arbolados. Existe variedad en las pendientes, destacándose las pendientes medias. Existen áreas ubicadas en suelos del gran grupo Hydrandept. Las categorías de los IFAS señalan que existe un panorama de moderada a muy alta fragilidad ambiental, condición que es similar a la de vulnerabilidad de las áreas de recarga donde tiende a predominar la alta vulnerabilidad por contaminación de aguas subterráneas.

Las características para la categoría de **alta conectividad** se destaca la existencia de los bosques secundarios y secundarios fragmentados además de la localización del área de influencia de pozos y nacientes e importantes pastos. Destacan las zonas de vida asociadas al bosque muy húmedo premontano y bosque muy húmedo montano con índice climático muy húmedo y húmedo montano. El bosque húmedo premontano y el bosque pluvial

montano bajo se encuentran en menor proporción. En cuanto al uso de la tierra existe una importante asociación con los bosques secundarios y bosques secundarios fragmentados ubicados hacia las riberas de los cauces principales. Además de ello, se incluyen zonas con localización e influencia de pozos y nacientes, plantaciones de coníferas y pastos, tanto limpios como arbolados. Predominan las pendientes medias y altas donde hay áreas localizadas sobre suelos Hydrandept. Al igual que las categorías anteriores, los IFAS indican que se poseen zonas de moderada a muy alta fragilidad ambiental destacándose la muy alta fragilidad ambiental. En cuanto a las áreas de recarga predominan la moderada y alta vulnerabilidad por contaminación de aguas subterráneas.

En última categoría, la **muy alta conectividad** está determinada por la influencia del límite del Parque Nacional Braulio Carrillo y la menor intervención de la red vial de toda la microcuenca. Las principales zonas de vida asociadas son el bosque muy húmedo montano bajo y el bosque pluvial montano bajo con índices climáticos mayoritariamente húmedo nuboso y húmedo montano. El mayor uso de la tierra está comprendido por el bosque primario y secundario tanto continuo como fragmentado (hacia los cauces de los ríos Tibás, Tranqueras y Lajas) con importantes puntos de nacientes. Existen áreas con plantaciones de coníferas y pastos arbolados. Según la información de los IFAS destaca una muy alta fragilidad ambiental por riesgo volcánico y áreas de deslizamientos por las altas pendientes en las que se ubica la mayor parte de la categoría. En relación con las áreas de recarga la mayor parte del área se encuentra en la zona de moderada vulnerabilidad por contaminación siendo las zonas cercanas a los cauces las que presentan una mayor fragilidad.

La distribución espacial de la conectividad ecológica estructural de la microcuenca por distrito se ilustra con la *Tabla N°17*. De ella se identifica que en el caso de la muy baja conectividad ecológica el distrito de San José es el que posee un mayor porcentaje del área (22.73%), seguido está el distrito de Concepción de San Rafael (13.39%) y los distritos de San Isidro (12.98%) y San Miguel (11.98%). En la categoría de baja conectividad destacan principalmente los distritos de San Francisco (20.76%), Concepción de San Rafael (17.15%) y Tures (14.20%). Dentro de la moderada conectividad los mayores porcentajes los presentan los distritos de Concepción de San Rafael (33.65%), Concepción de San Isidro (19.56%), San Francisco (10.83%) y Tures (10.28%). Finalmente para las categorías de alta y muy alta

conectividad los mayores porcentajes los poseen los distritos de Concepción de San Rafael y Concepción de San Isidro.

Tabla N°17:
Distribución del grado de conectividad de la microcuenca por área distrital

Cantón	Distrito	Muy baja conectividad		Baja conectividad		Moderada conectividad		Alta conectividad		Muy alta conectividad	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Santo Domingo	Santo Tomás	96.63	10.41%	36.50	3.76%	23.67	2.61%	29.65	3.26%	0.87	0.10%
	San Vicente	1.76	0.19%	15.25	1.57%	6.24	0.69%	4.49	0.49%	*	*
	San Miguel	111.18	11.98%	74.95	7.72%	75.91	8.36%	53.11	5.84%	5.57	0.61%
	Tures	86.15	9.29%	137.87	14.20%	93.39	10.28%	64.67	7.11%	5.89	0.65%
	Pará	61.08	6.58%	74.83	7.71%	38.00	4.18%	22.39	2.46%	6.17	0.68%
San Isidro	San Francisco	55.94	6.03%	201.48	20.76%	98.37	10.83%	49.16	5.41%	0.46	0.05%
	San Isidro	120.47	12.98%	90.55	9.33%	29.33	3.23%	25.51	2.81%	0.84	0.09%
	San José	210.89	22.73%	94.85	9.77%	60.06	6.61%	78.73	8.66%	18.97	2.09%
	Concepción	59.49	6.41%	77.99	8.03%	177.61	19.56%	167.42	18.42%	265.27	29.29%
San Rafael	Concepción	124.22	13.39%	166.43	17.15%	305.59	33.65%	413.89	45.53%	601.69	66.43%
Total		927.81	100.00%	970.70	100.00%	908.17	100.00%	909.02	100.00%	905.73	100.00%

* No existe la categoría para el distrito

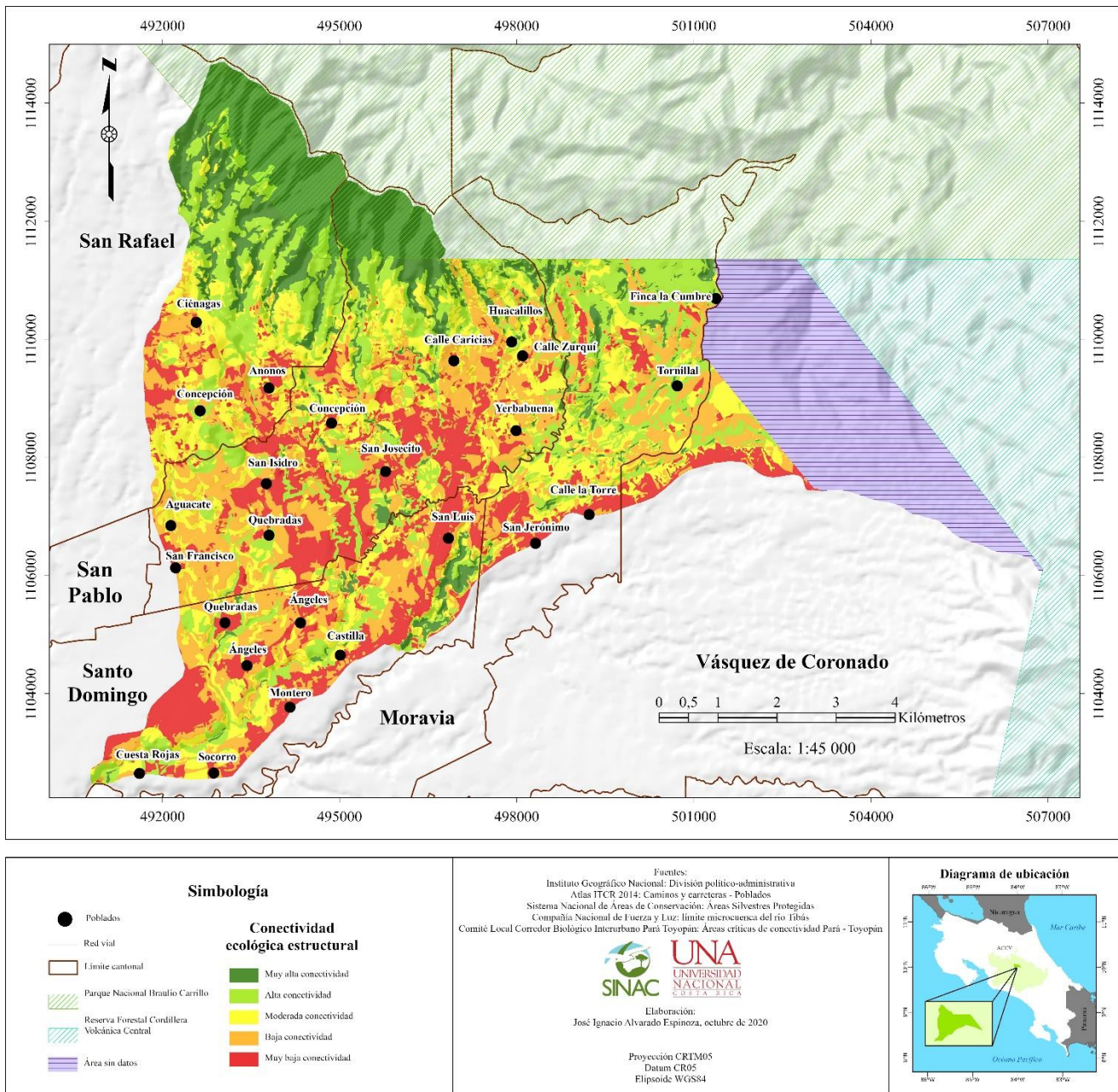
Fuente: elaboración propia

7.3.2. Comparación cartográfica con el CBIPT

Los resultados de comparar la cartografía de áreas críticas de conectividad ecológica estructural de la microcuenca del río Tibás con el CBIPT muestran un buen grado de concordancia entre ambas zonificaciones. Dentro de los aspectos que comparten ambas áreas se destaca la importancia de las áreas de protección para fomentar áreas de muy alta conectividad ecológica; la disponibilidad hídrica asociada a los usos de la tierra y climatología local y la relación entre bajos y muy bajos grados de conectividad con el emplazamiento de infraestructura urbana.

Como se observa en el *Mapa N°17*, para ambas áreas la influencia del Parque Nacional Braulio Carrillo permite que en la sección norte se experimente un panorama de alta a muy alta conectividad, ligada a coberturas forestales que sirven de zonas núcleo para el desplazamiento de la biodiversidad. Además de ello es importante destacar que las áreas cercanas a los cauces de los ríos principales poseen, para ambas zonas, una condición de “puentes” que permiten la conectividad a través de los parches boscosos que los comprenden. En el caso del CBIPT se experimenta, además de la influencia del Parque Nacional Braulio

Carrillo, la relación con la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central cercana a la sección del corredor que comprende las quebradas de la cuenca del río Chirripó.



Mapa N°17: Conectividad ecológica estructural microcuenca del río Tibás y Corredor Biológico Interurbano Pará – Toyopán

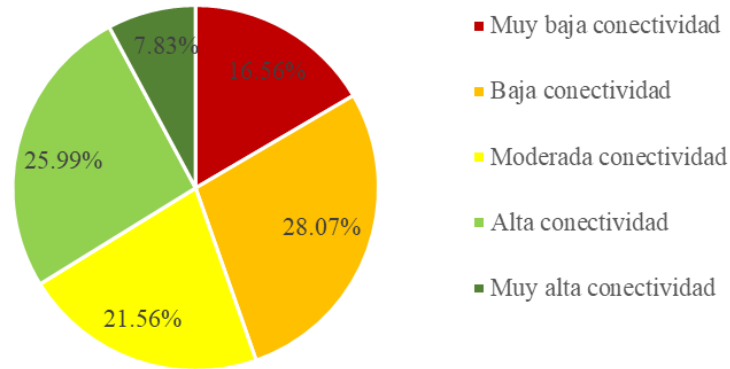
Por el lado de la disponibilidad hídrica existe una importante relación entre el recurso con los usos de la tierra y la climatología local. En el caso de la microcuenca del río Tibás,

la importancia que tienen las áreas de recarga acuífera de la parte alta debe de ser vista en aras de la promoción de estrategias que vinculen la protección y conservación del recurso dado el bajo grado de vulnerabilidad por contaminación y la disponibilidad del agua para la población (Leandro, Coto y Salgado, 2010), situación asociada a la predominancia de áreas de bosque y pastizales que reciben considerables aportes de precipitación. Esta dinámica, se encuentra también para la microcuenca del río Pará. Según el estudio de Hernando (2017), la climatología determina importantes excesos hídricos que benefician la disponibilidad del recurso para la microcuenca, aspecto que debe de ser visto desde el fomento de estrategias para la conservación en aras de la aplicación de planes de manejo sobre el uso de la tierra, principalmente aquellos asociados al crecimiento urbano y la permeabilización del suelo.

En el caso de los menores grados de conectividad se logró identificar la influencia que las áreas urbanas y carreteras poseen sobre el grado de conectividad ecológica estructural de ambas áreas. Los valores se ubicaron hacia centros urbanos y usos agrícolas con potencial de cambio considerable según la integración de las variables. Para la microcuenca del río Tibás destacan sectores del distrito primero de San Isidro y San José que inciden sobre la fragmentación del bosque ripario del río Tibás; panorama que es descrito en la investigación de Calvo, Bermúdez y Vega (2018) al analizar la tasa de cambio en el uso de la tierra y disminución de la cobertura arbórea cerca del cauce del río. Para la microcuenca del río Pará, cabe destacarse la influencia de la Carretera Nacional Braulio Carrillo (Ruta N° 32) que está asociada a zonas de muy baja conectividad por disturbio antrópico y zonas industriales.

Con base en la comparación por proporción de áreas críticas de conectividad se obtuvo como resultado cierta concordancia en la distribución espacial. *El Gráfico N° 2* identifica la proporción de áreas críticas de conectividad para el área datada del CBIPT. Si se compara con los resultados del *Gráfico N°1* sobre la variable para la microcuenca del río Tibás se encuentra que para las categorías de baja conectividad, moderada conectividad y alta conectividad la relación porcentual cercana es muy similar, no así para las categorías de muy baja conectividad y muy alta conectividad. En el caso de la muy alta conectividad debe de interpretarse que el CBIPT no contempla el área incluida dentro del Parque Nacional Braulio Carrillo por lo que de incluirse podría generar una tendencia similar a la experimentada en la microcuenca del río Tibás.

Gráfico N°2: Proporción de extensión de las categorías de conectividad ecológica estructural Corredor Biológico Interurbano Pará-Toyopán



Fuente: Elaboración propia

Para finalizar el apartado comparativo se realizó una unificación de las áreas con el fin de determinar la extensión total integrada y su relación porcentual. Es importante destacar que los datos pueden variar en función de la delimitación de la propuesta de ampliación dado el efecto de las diferencias en la delimitación de las divisorias de aguas de las microcuencas, la obtención de datos para el área de las quebradas de la cuenca del río Chirripó en el CBIPT y la consideración de incluir el área del Parque Nacional Braulio Carrillo perteneciente a la microcuenca del río Tibás. Asimismo, pueden existir áreas con discordancia debido a la utilización de cartografía oficial disponible en distintas fechas y escalas.

Dicho lo anterior, se obtuvo la *Tabla N°18*, la cual permite identificar la sumatoria de las áreas por categoría vinculada con el grado de conectividad ecológica estructural. Se obtuvo que la relación porcentual muestra una distribución territorial de las áreas con cierto grado de uniformidad. Se puede destacar que la muy baja y muy alta conectividad presentan porcentajes menores que las categorías medias. Dicha condición permite identificar que se podrían plantear propuestas de desarrollo territorial ligadas a reponer coberturas necesarias para la conectividad al lado de zonificar áreas con potencial de desarrollo urbano de modo que se pueda alcanzar un grado de uniformidad para la zonificación.

Tabla N° 18:
Relación porcentual de área unificada

Categoría de conectividad	Microcuenca del río Tibás (km2)	Corredor Biológico Interurbano Pará - Toyopán (km2)	Área integrada (km2)	Relación porcentual
Muy baja conectividad	9.28	3.64	12.92	18.94%
Baja conectividad	9.71	6.17	15.88	23.28%
Moderada conectividad	9.08	4.74	13.82	20.26%
Alta conectividad	9.09	5.71	14.80	21.71%
Muy alta conectividad	9.06	1.72	10.78	15.81%
Total	46.22	21.98	68.20	100.00%

Fuente elaboración propia y datos del CCBIPT

El panorama anterior permite identificar la importancia de la evaluación o realización de estudios en conectividad ecológica estructural. Al ser un análisis territorial multivariable se permite hacer una profundización detallada de la condición de los espacios naturales para poder tomar decisiones en materia de conservación sea desde la rehabilitación de trama verde urbana o protección de los ecosistemas. A partir de ello, se obtiene una visión integral del medio que es fundamental para la toma de decisiones en materia de ordenación y planificación sostenible del territorio. Dicho aporte permitiría mejorar las condiciones de los ecosistemas urbanos los cuales, a partir de la información anterior, muestran importantes asociaciones con la pérdida de conectividad y fragmentación de coberturas boscosas.

8. Conclusiones

El estudio permitió valorar la importancia de la zonificación de la conectividad ecológica estructural como variable trascendental para conocer el grado de facilidad o dificultad que un espacio natural posee para albergar las interrelaciones de la biodiversidad. En este aspecto, los estudios de la Ecología del Paisaje, a través de la cartografía ecológica y la valoración interpretativa de variables desde las ciencias geográficas, permiten valorar el estado de fragmentación/conectividad del espacio geográfico de modo que sirven de herramienta fundamental para definir marcos de acción de ordenación territorial vistas desde la conservación y el planteamiento de estrategias de recuperación del medio intervenido.

La metodología empleada permitió definir las áreas críticas de conectividad ecológica estructural de la microcuenca del río Tibás y su distribución espacial según las variables asociadas. En dicho aspecto se obtuvo un mayor grado de conectividad asociado al área de influencia del Parque Nacional Braulio Carrillo y los cauces de los ríos principales donde destaca el río Tibás. Por su parte, las áreas que presentaron menor grado de conectividad estuvieron ligadas a espacios antrópicamente intervenidos e influenciados por usos de la tierra urbanos asociados a fragilidades ambientales considerables.

En dicho aspecto, de acuerdo con los resultados de la matriz de Saaty, las variables estadísticamente más representativas para el análisis fueron: el uso de la tierra, el área de protección de pozos y nacientes, el tamaño de parche boscoso, porcentaje de pendientes, influencia de la red vial e índice de fragmentación de bosque. Para llegar a dicho resultado se realizó una agrupación de variables con el fin de establecer criterios de asignación de valores numéricos al carácter subjetivo de interpretación. La agrupación de variables sirvió para alcanzar un considerable error en la razón de inconsistencia que permitió validar el criterio interpretativo de la jerarquía de variables.

El resultado de la comparación cartográfica entre las áreas críticas de conectividad de la microcuenca del río Tibás y el Corredor Biológico Interurbano Pará-Toyopán permitió establecer la relación de conectividad entre ambas áreas. En dicho aspecto, se obtuvieron similitudes entre ambos espacios ligados a la influencia de las áreas protegidas, los cauces de los ríos y bosques riparios y la importancia de disponibilidad hídrica de ambos territorios en

función de los usos de la tierra y la climatología local. Dentro de dicha condición la microcuenca del río Tibás mostró un mayor porcentaje de áreas con muy baja conectividad debido a la intervención de las áreas urbanas y prácticas agrícolas. En el caso del corredor se obtuvieron importantes porcentajes en las categorías medias de conectividad que espacialmente se tienden a distribuir semejantes a la zonificación generada para la microcuenca.

Finalmente, en cuanto al tratamiento de la información, se debe considerar que se encontraron limitaciones en la elaboración de la zonificación, principalmente dadas por la naturaleza de los datos. En dicho panorama, se debe destacar que se utilizaron distintas fechas y escalas de capas dada la disponibilidad de información cartográfica oficial existente hasta el momento. Dicho aspecto permite identificar que hay zonas con información que en años recientes podría tener una distribución variable que puede incidir con que algunas áreas de la zonificación no concuerden en el panorama actual.

9. Referencias Bibliográficas

- Alonso, A; Finegan, B; Brenes, C, Günter, S & Palomeque, X. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi- Ecuador. En: *Caldasia* 39 (1), pp. 140 – 156.
- Calderón, E. (octubre-diciembre, 2019). Participación ciudadana en la gestión sostenible de la biodiversidad. En: *Ambientico*, 272, pp. 28-34.
- Calvo, J; Bermúdez, T & Vega, H. (2018). Dinámica de uso de suelo y sitios prioritarios para la restauración forestal del Corredor Biológico Río Tibás, Costa Rica. En: *Revista Geográfica de América Central*, 1 (62), 128-151.
- Calvo, J; Bermúdez, T & Vega, H. (diciembre, 2017). Composición y estructura forestal del Corredor Biológico Interurbano Río Tibás, Heredia, Costa Rica. En: *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 36 (15), 09-19.
- Castrillo, M; Feoli, S; Mora, R & Villalobos, K. (2017). *Perfil Técnico del Corredor Biológico Interurbano del río Pará*. Comisión Local.
- Castro, M. (octubre – diciembre, 2019). Área de Conservación Central: promoviendo conectividad estructural y funcional a través de corredores biológicos interurbanos en Costa Rica. En: *Ambientico*, 272, pp. 19 – 27.
- Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación – UNNCCD. (2017). *Perspectiva global de la tierra*. Bonn: Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.
- Decreto Ejecutivo N°23214-MAG-MIRENEM. Diario Oficial la Gaceta, San José, Costa Rica, 6 de junio de 1994. <http://www.mag.go.cr/informacion/imagenes-nama-cafe-taller/Decreto-Ejecutivo-23214-MAG-MIRENEM.pdf>
- Decreto Ejecutivo N°32967 - MINAE. Diario Oficial la Gaceta N°85, San José, Costa Rica, 4 de mayo de 2006. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cos77515.pdf>
- Decreto Ejecutivo N°40043 - MINAE. Diario Oficial la Gaceta, San José, Costa Rica, 27 de enero de 2017.

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83424&nValor3=107128&strTipM=TC

- Fallas, N. (2015). *Mapas de susceptibilidad al deslizamiento en las microcuencas de los ríos Torres y Tibás, Costa Rica* [Tesis de licenciatura]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Feoli, S. (abril-mayo, 2013). Corredor Biológico Interurbano del Río Torres en el cantón de San José. En *Ambientico*, n°232-233, pp. 51-55.
- Feoli, S. (noviembre, 2019). Gobernanza en corredores biológicos interurbanos. Los casos del Corredor Interurbano río Torres y del Corredor Interurbano Pará Toyopán, Escuela de Ciencias Geográficas *Simposio Corredores Biológicos*. Simposio llevado a cabo en la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Gurrutxaga, M. (2004). *Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad – Nuevas perspectivas en Ecología del Paisaje y Ordenación Territorial*. Vitoria-Gasteiz: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Gurrutxaga, S & Lozano, P. (2006). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. En: *Revista de Geografía*, n° 16, pp. 35-54.
- Gurrutxaga, S & Lozano, P. (julio – diciembre, 2008). Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. En: *Estudios Geográficos* 69 (265), pp. 519-543.
- Hernando, L. (2017). *Oferta hídrica en la microcuenca del río Pará, Región Central de Costa Rica*. [Tesis de maestría]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Herrera, W & Hernández, G. (I semestre, 1993). Análisis de los recursos hídricos en la cuenca del río Tibás. En: *Revista Geográfica de América Central*, n° 27, 33-52.
- Holdridge, L. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Isaacs, P & Ariza, A. (2015). Monitoreo a la restauración ecológica desde la escala del paisaje. En M. Aguilar y Ramírez. W. (Eds), *Monitoreo a procesos de restauración ecológica*

- aplicado a ecosistemas terrestres*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Isaacs, P; Trujillo, L & Jaime, V. (2017). Zonificación de alternativas de conectividad ecológica, restauración y conservación en las microcuencas Curubital, Mugroso, Chisacá y Regadera, cuenca del río Tanjuelo (Distrito Capital de Bogotá), Colombia. En: *Biota Colombiana* 18 (1), 70 - 87.
- Jankilevich, C. (octubre – diciembre, 2019). Puesta en valor del paisaje y regeneración del bosque en los corredores biológicos interurbanos del área metropolitana de Costa Rica. En: *Ambientico*, 272, 45 – 53.
- Larrea, C; Sáenz, M; Cervantes, J & Carolina, C. (s.f.). Métodos utilizados para la creación de la información geográfica y bases de datos. <https://docplayer.es/2722118-Metodos-utilizados-para-la-creacion-de-la-informacion-geografica-y-de-base-de-datos-carlos-larrea-malki-saenz-javier-cervantes-y-carolina-chiriboga.html>
- Leandro, H; Coto, J & Salgado, V. (2010). Calidad del agua de los ríos de la microcuenca IV del río Virilla. En: *Uniciencia*, n° 24, 69-74.
- Ley N° 276. Diario Oficial la Gaceta, San José, Costa Rica, 27 de agosto de 1942.
<http://www.sinac.go.cr/ES/normativa/Leyes/Ley%20de%20Aguas%20N%C2%BA%20276.pdf>
- Ley N° 7788. Diario Oficial la Gaceta, San José, Costa Rica, 27 de mayo de 1988.
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param2=NRTC&nValor1=1&nValor2=39796&strTipM=TC
- MAG. (2015). *Suelos de Costa Rica, orden inceptisol. Boletín técnico n°5*. San José: INTA.
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1825.PDF>
- Márquez, L & Baltierra, E. (2017). El proceso analítico jerárquico como metodología para seleccionar revistas científicas en el área de biotecnología. En: *e-Ciencias de la Información*, 2 (7), pp. 1-20.
- Martínez, A. (2017). Zonificación Geoecológica, un criterio para la interpretación y el análisis espacial del paisaje urbano de la Ciudad de Morelia. En: *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, n° 73, pp. 343-367.

- Morera, C & Sandoval, L. (2017). Aplicabilidad de indicadores de estructura de paisaje para evaluar transformaciones en escenarios tropicales. En Morera. C y Reyes. O. (Eds). *Geografía ambiental: métodos y técnicas desde América Latina*. Heredia: EUNA.
- Morera, C; Pintó, J & Romero, M. (2007). Paisaje, procesos de fragmentación y redes ecológicas: aproximación conceptual. En Chassot. O y Morera. C (Eds). *Corredores biológicos acercamiento conceptual y experiencias en América*.
- Morera, C; Pintó, J & Romero, M. (2008). Procesos de Fragmentación Corredores Biológicos: una introducción. En: *Journal of Latin American Geography*, 2 (7), pp. 163-166.
- Navarro, A. (2015). *Propuesta preliminar para la zonificación del corredor biológico de la microcuenca de del río Tibás*. Editorial Universidad Nacional.
- Proyecto para la Consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano (2002). *El corredor Biológico Mesoamericano*. Managua: Proyecto Corredor Biológico Mesoamericano. <https://ccp.ucr.ac.cr/bvp/pdf/medioambiente/CBM-Costa-Rica.pdf>
- Quesada, R. (2007). *Los Bosques de Costa Rica – IX Congreso Nacional de Ciencias Exploraciones fuera y dentro del aula*. <https://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/RupertoQuesada.pdf>
- Rico, Y. (julio-agosto, 2017). La conectividad del paisaje y su importancia para la biodiversidad. En: *Saber más*. n° 34, pp. 28-30.
- Rodríguez, A & Vega, H. (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* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Rodríguez, K. (noviembre, 2019). Estrategias de recuperación de la trama verde en espacios urbanos desde una comunidad urbana, Escuela de Ciencias Geográficas. *Simposio Corredores Biológicos*. Simposio llevado a cabo en la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Romero, M; Bermúdez, T; Alfaro, M & Durán, A. (octubre-diciembre, 2019). Corredor Biológico Interurbano Río Bermúdez para las comunidades de Heredia: Una propuesta de la Universidad Nacional. En: *Ambientico*, 272, 60 – 66.

- Schlönvoigt, M. (diciembre, 2019). La importancia de los corredores biológicos como estrategia de conservación de la biodiversidad y adaptación al cambio climático. En *Ambientico*, n° 272, pp. 13-18.
- SINAC. (2007). *Grúas II. Análisis de vacíos de conservación en Costa Rica. Volumen I: Análisis de vacíos en la representatividad e integridad de la biodiversidad terrestre*. San José: Asociación Conservación de la Naturaleza.
- SINAC. (2017). *Sistematización del proceso de creación y desarrollo del SINAC: una práctica de innovación social... cargada de lecciones*: <http://www.sinac.go.cr/ES/partciudygober/Libros%20Sistematizacion/Creacion%20y%20Desarrollo%20del%20SINAC.pdf>
- SINAC. (2018). *Plan Estratégico 2018 – 2025 Programa Nacional de Corredores Biológicos de Costa Rica*. San José, Costa Rica: SINAC.
- Solano, F. (enero – junio, 2017). Propuesta de zonificación ambiental del corredor biológico interurbano río María Aguilar, Costa Rica. En: *Tropical Journal of Environmental Sciences*, 51 (1), 33-50.
- Taylor, P; Fahrig, L; Henein, K & Merriam, G. (diciembre, 1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 3 (68), pp. 571-573.
- Useche, D. (2006). *Diseño de redes ecológicas de conectividad para la conservación y restauración del paisaje en Nicaragua, Centroamérica*. [Tesis de maestría]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Vargas, G. (2008). Fragmentación y conectividad de ecosistemas en el sector del proyecto Geotérmico Miravalles y sus alrededores 1975 – 2007. En: *Revista Reflexiones*, 87 (2), pp. 9-38.
- World Wildlife Fund. (2002). *Conectividad ecológica: importancia, situación en España y criterios para identificar redes ecológicas*. http://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_para_la_definicion_de_redes_ecologicas_en_espana_gr.pdf

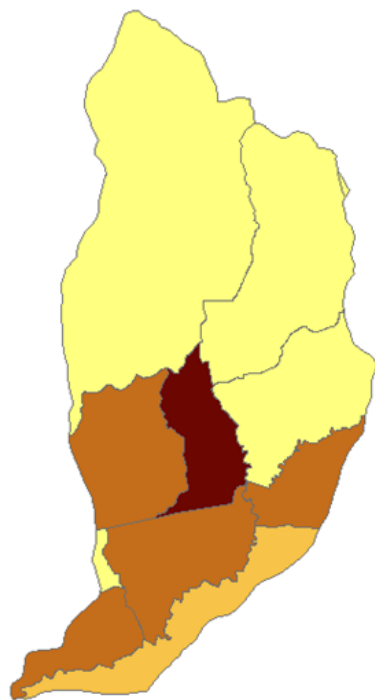
10. Anexos

Anexo N°1: Estructura Matriz de Saaty y Matriz A1

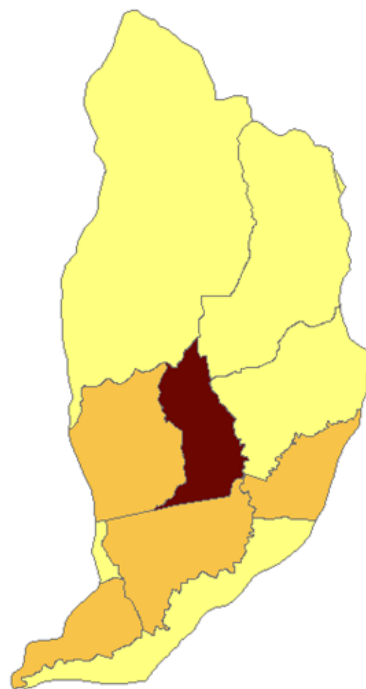
Criterios	1. Pendientes	2. Tipo suelos	3. Uso tierra	4. Geología	5. Densidad pob.	6. Índice climático	7. Pozos nacientes	8. Zonas de vida	9. IFAS	10. Caminos	11. Ríos	12. Áreas recarga	13. Tamaño parche	14. Fragmentación
1. Porcentaje pendientes														
2. Tipo suelos														
3. Uso de la tierra														
4. Geología														
5. Densidad poblacional														
6. Índice climático														
7. Pozos y nacientes														
8. Zonas de vida														
9. IFAS														
10. Caminos y carreteras														
11. Influencia ríos														
12. Áreas de recarga														
13. Tamaño de parche														
14. Fragmentación bosque														

Criterios	1. Pendientes	2. Tipo suelos	3. Uso tierra	4. Geología	5. Densidad pob.	6. Índice climático	7. Pozos nacientes	8. Zonas de vida	9. IFAS	10. Caminos	11. Ríos	12. Áreas recarga	13. Tamaño parche	14. Fragmentación
1. Porcentaje pendientes	1	4	2/5	4	3 1/3	2 1/2	1/2	2 1/2	3 1/3	1/2	2	4	1/2	1/2
2. Tipo suelos	1/4	1	2/7	1	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	4/9	1	1/3	1/3
3. Uso de la tierra	2 1/2	3 1/2	1	6 2/3	4	4	3 1/3	4	4	3 1/3	4	6 2/3	2 2/9	1/3
4. Geología	1/4	1	1/7	1	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	4/9	1	1/3	1/2
5. Densidad poblacional	2/7	2	1/4	2	1	1 2/3	1/2	1 2/3	2	1/2	1 1/3	4	4/9	1/2
6. Índice climático	2/5	2	1/4	2	3/5	1	1/2	1	2 1/2	1/2	1 2/3	5	1/2	1 2/3
7. Pozos y nacientes	2	3	2/7	3	2	2	1	3 1/3	4	2	2 1/2	5	1 3/7	1/2
8. Zonas de vida	2/5	2	1/4	2	3/5	1	2/7	1	2 1/2	1/2	1 2/3	3 1/3	1/2	1/2
9. IFAS	2/7	2	1/4	2	1/2	2/5	1/4	2/5	1	1/2	1 1/3	2 1/2	4/9	1 2/3
10. Caminos y carreteras	2	3	2/7	3	2	2	1/2	2	2	1	2 1/2	4	1 1/3	1/2
11. Influencia ríos	1/2	2 1/4	1/4	2 1/4	3/4	3/5	2/5	3/5	3/4	2/5	1	5	1/2	1/3
12. Áreas de recarga	1/4	1	1/7	1	1/4	1/5	1/5	2/7	2/5	1/4	1/5	1	1/3	1 2/3
13. Tamaño de parche	2	3	4/9	3	2 1/4	2	2/3	2	2 1/4	3/4	2	3	1	1
14. Fragmentación bosque	2	3	2/5	3	2	2	3/5	2	2	3/5	2	3	3/5	1

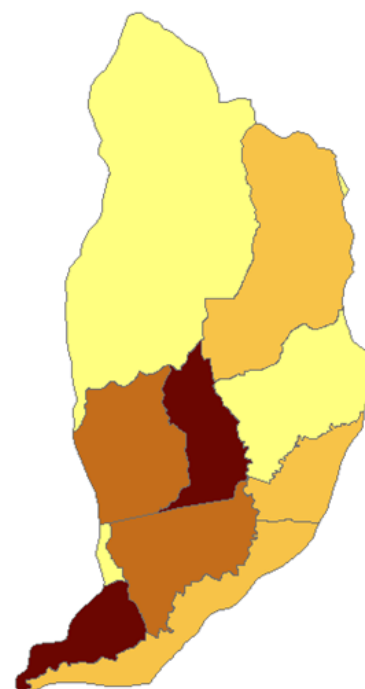
Anexo N°2: Comparación de distribución estadística para la densidad poblacional



Densidad poblacional proporcionada
Método: Quiebres naturales 4 categorías



Densidad poblacional proporcionada
Método: Intervalos iguales 4 categorías



Densidad poblacional proporcionada
Método: Cuantiles 4 categorías

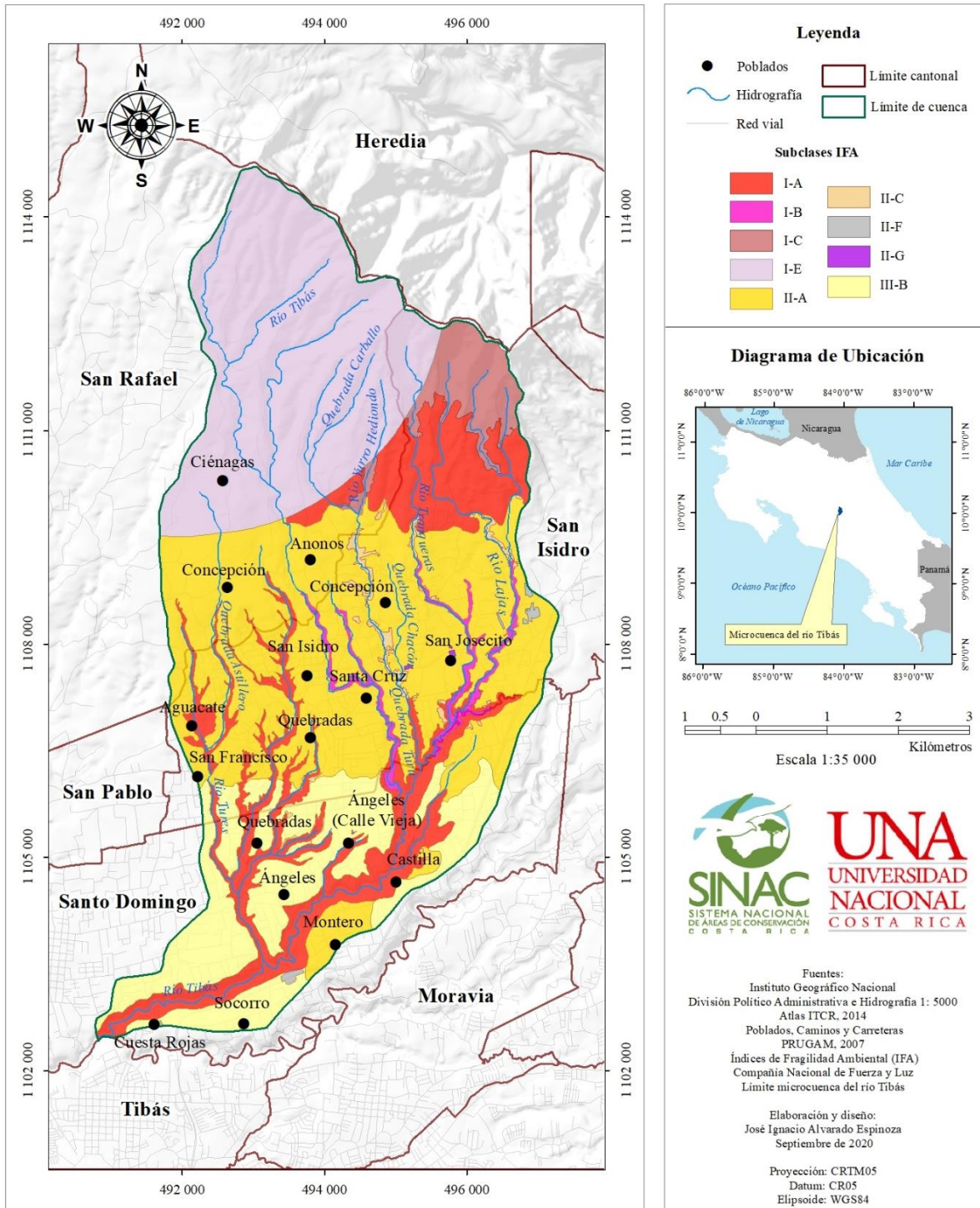
Anexo N°3:
Caracterización IFA por subclase

Fragilidad	Subclase	Descripción
Muy alta fragilidad	I-A	Relieves altos-muy pronunciados Estabilidad de laderas reducidas y zona de recarga acuífera Desarrollar cobertura boscosa y proyectos de reforestación ocupación humana baja densidad > 10% y edificaciones > 2 pisos altura Área protección manantiales 500m
	I-B	Moderada-alta vulnerabilidad a procesos erosión/sedimentación, inundación, lahares/avalanchas, y contaminación aguas subterráneas. Potencial de uso agropecuario (agricultura orgánica). Desarrollar obras contención/protección y corredores verdes en cauces
	I-C	Alta vulnerabilidad a procesos erosión/sedimentación, deslizamientos/avalanchas. Importante conservar cobertura boscosa bajo un régimen de protección. Zonas de recarga acuífera de valor estratégico. Actividad humana en usos de investigación, educación y ecoturismo.
	I-E	Alto peligro a erupciones volcánicas y flujos de gravedad. Limitaciones para ocupación humana, dirigirlas con fines de investigación, educación y ecoturismo. Zona de recarga acuífera de valor estratégico. Cobertura boscosa debe ser protegida al máximo.
Alta fragilidad	II-A	Relieve moderado, procesos de erosión/denudación. Limitaciones para ocupación humana permanente. Infraestructura de baja densidad > 20% y > 4 pisos altura. Instalar tanques sépticos modificados para no contaminar el suelo y aguas subterráneas.
	II-C	Alta vulnerabilidad a procesos erosión/sedimentación, deslizamientos/avalanchas. Importante conservar cobertura boscosa bajo un régimen de protección y extenderlas con proyectos de reforestación. Zonas de recarga acuífera de valor intermedio.

	II-F	Reglamentar prácticas de manejo para las diferentes actividades con alto impacto o riesgo ambiental. Establecer un sistema de control y seguimiento a estas actividades, que pueda ser fiscalizado. Considerar certificaciones ambientales por CIA no gubernamentales.
	II-G	Representa áreas verdes dentro de zonas urbanizadas. Establecer planes de mantenimiento permanente con el fin de salvar estas zonas a largo plazo de forma atractiva para los ciudadanos y las partes residuales de la flora y fauna silvestre.
Moderada Fragilidad	III-B	Posible el desarrollo urbanístico de diverso tipo. Alta densidad de ocupación humana hasta 60% y 70% y desarrollo vertical, con plantas de tratamiento de aguas. Limitantes para infraestructura industrial y comercial no significativa. Establecer agricultura orgánica.

Fuente: PRUGAM, 2007

Anexo N°4: Microcuenca del río Tibás: IFAS subclase



Anexo N°5:
Asignación de pesos de valor por características de las variables

Variable	Elemento	Peso de valor	Importancia para la conectividad
1. Porcentaje de pendientes	Plano a casi plano 0-3%	1	Poco importante
	Ligeramente ondulado 3-8%	2	Moderadamente Importante
	Moderadamente ondulado 8-15%	3	Importante
	Ondulado 15-30%	4	Muy importante
	Fuertemente ondulado 30-60%	5	Sobresaliente
	Escarpado 60-75%	5	Sobresaliente
	Fuertemente escarpado +75%	5	Sobresaliente
2. Tipo de suelos	Inceptisol - Dystrandept	1	Poco importante
	Inceptisol - Hydrandept	2	Moderadamente Importante
3. Uso de la tierra	Urbano	1	Poco importante
	Zonas verdes urbanas	3	Importante
	Industria	1	Poco importante
	Cultivos anuales	2	Moderadamente Importante
	Cultivos permanentes	3	Importante
	Café	4	Muy importante
	Cultivos mixtos	2	Moderadamente Importante
	Invernaderos	1	Poco importante
	Pastos	3	Importante
	Pastos arbolados	4	Muy importante
	Bosque primario	5	Sobresaliente
	Bosque secundario	5	Sobresaliente
	Bosque secundario fragmentado	5	Sobresaliente
	Charrales	5	Sobresaliente
	Plantaciones de coníferas	3	Importante
5. Geología	Volcánico	2	Moderadamente importante
	Avalanchas	3	Importante
6. Densidad de población proporcionada	Grupo N°1: Concepción San Rafael y San Vicente	3	Importante
	Grupo N°2: Concepción San Isidro, San José, Pará y San Miguel	2	Moderadamente Importante
	Grupo N°3: San Isidro, San Francisco, Santo Tomás y Tures	1	Poco importante
7. Índice climático	Húmedo nuboso	5	Sobresaliente
	Húmedo montano	2	Moderadamente Importante

	Muy húmedo	4	Muy importante
8. Pozos y nacientes	Buffer	4	Muy importante
	Residuo	0	Nulo
	Bosque muy húmedo premontano	2	Moderadamente Importante
9. Zonas de vida	Bosque pluvial montano bajo	5	Sobresaliente
	Bosque muy húmedo montano bajo	4	Muy importante
	Bosque húmedo premontano	1	Poco importante
	Muy alta fragilidad	5	Sobresaliente
10. IFAS integrado	Alta fragilidad	4	Muy importante
	Moderada fragilidad	3	Importante
	Buffer	1	Poco importante
11. Influencia de caminos	Residuo	0	Nulo
	Buffer	3	Importante
12. Influencia de ríos	Residuo	0	Nulo
	Muy alta vulnerabilidad	1	Poco importante
13. Áreas de recarga	Alta vulnerabilidad	2	Moderadamente Importante
	Medía vulnerabilidad	3	Importante
	Pequeño	2	Moderadamente Importante
14. Tamaño de parche	Mediano	4	Muy importante
	Grande	5	Sobresaliente
	Alta	3	Importante
15. Fragmentación	Medía	4	Muy importante
	Baja	5	Sobresaliente