

JOHN FREDY JIMÉNEZ VIASÚS  

## Conectividad ecológica estructural en el municipio de Valparaíso (Caquetá, Colombia): propuesta de corredores y núcleos de conectividad a escala semidetallada<sup>o</sup>

**Recepción:** 30 de junio de 2021 ▶ **Evaluación:** 29 de diciembre de 2021 ▶ **Aprobación:** 20 de enero de 2022

**Resumen:** Los servicios ecosistémicos son los beneficios que la humanidad recibe de los ecosistemas: desde la provisión de alimentos, agua, madera y fibras hasta la regulación hídrica y climática, entre muchos otros. Para mantener esta oferta ambiental es preciso conocer la ubicación, el estado y el grado de conexión de las áreas naturales presentes en un territorio. Teniendo en cuenta la interpretación de coberturas de la tierra a escala 1:25.000, la delimitación de subcuencas dentro del municipio, la consulta de información secundaria, el uso de la herramienta Linkage Mapper y una posterior verificación con imágenes satelitales del año 2020, se proponen corredores y núcleos de conectividad estructural para las áreas naturales presentes en el municipio de Valparaíso (Caquetá) en Colombia, con el fin de ofrecer a los tomadores de decisiones insumos para la ordenación del territorio en procura de mantener la calidad y la oferta de servicios ecosistémicos. Como resultado, se obtuvieron 48 núcleos de conectividad correspondientes a bosques de tierra firme e inundables y alrededor de 7% del área municipal en corredores que están representados principalmente por bosques de galería remanentes en el área de estudio.

**Palabras clave:** *conectividad ecológica estructural, corredores ecológicos, servicios ecosistémicos.*

**Para citar:** Jiménez Viasús, J. F. (2022). Conectividad ecológica estructural en el municipio de Valparaíso (Caquetá, Colombia): propuesta de corredores y núcleos de conectividad a escala semidetallada. *Perspectiva Geográfica*, 27(1), 106-124, 106-124. <https://doi.org/10.19053/01233769.13087>

- 1 Este artículo muestra parte de los resultados obtenidos en el trabajo de investigación titulado: “Conectividad Ecológica Estructural como herramienta para el mantenimiento de Servicios Ecosistémicos y Conservación, municipio Valparaíso, departamento del Caquetá”.
- 2 John Fredy Jiménez Viasús, biólogo de la Universidad Nacional de Colombia, candidato a magíster en Geografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Bogotá, Colombia. Correo: jfximenezv@gmail.com; jfjimenezv@unal.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1611-3152>

## Structural ecological connectivity in the municipality of Valparaíso (Caquetá, Colombia): A proposal for linkages and connectivity nuclei at a semi-detailed scale

**Abstract:** Ecosystem services are the benefits that humanity receives from ecosystems: from the provision of food, water, wood and fiber to water and climate regulation, among many others. In order to maintain this environmental supply, it is necessary to know the location, state and degree of connection of the natural areas present in a territory. Taking into account the interpretation of land cover at a scale of 1:25,000, the delimitation of sub-basins within the municipality, the consultation of secondary information, the use of the Linkage Mapper tool and a subsequent verification with satellite images of the year 2020, a set of linkages and structural connectivity cores are proposed for the natural areas present in the municipality of Valparaíso (Caquetá) in Colombia, in order to provide decision-makers with inputs for land management in order to maintain the quality and supply of ecosystem services. As a result, 48 connectivity cores were obtained corresponding to inland and floodable forests and about 7% of the municipal area in linkages that are mainly represented by remaining gallery forests in the study area.

**Keywords:** *structural ecological connectivity, ecological linkages, ecosystem services.*

## Conectividade ecológica estrutural no município de Valparaíso (Caquetá, Colômbia): proposta de corredores e núcleos de conectividade em escala semidetalhada

**Resumo:** Os serviços ecossistêmicos são os benefícios que a humanidade recebe dos ecossistemas: desde a provisão de alimentos, água, madeira e fibras até a regulação hídrica e climática, entre muitos outros. Para manter esta oferta ambiental é preciso conhecer a localização, o estado e o grau de conexão das áreas naturais presentes em um território. Tendo em conta a interpretação das coberturas da terra à escala de 1:25.000, a delimitação de sub-contas dentro do município, a consulta de informações secundárias, a utilização da ferramenta *Linkage Mapper* e uma posterior verificação com imagens de satélite do ano de 2020, são propostos corredores e núcleos de conectividade estrutural para as áreas naturais presentes no município de Valparaíso (Caquetá) na Colômbia, com o fim de oferecer aos tomadores de decisão insumos para o ordenamento do território em busca de manter a qualidade e a oferta de serviços ecossistêmicos. Como resultado, foram obtidos 48 núcleos de conectividade correspondentes a florestas de terra firme e inundáveis e cerca de 7% da área municipal em corredores que estão representados principalmente por florestas de galeria remanescentes na área de estudo.

**Palavras-chave:** *conectividade ecológica estrutural, corredores ecológicos, serviços ecossistêmicos*

## 1. Introducción

Los servicios ecosistémicos (SE) son los beneficios que los humanos obtienen de los ecosistemas (Muñoz et al., 2013; Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Estos SE pueden agruparse en servicios de abastecimiento, de regulación, de apoyo o soporte y culturales<sup>3</sup> (Food And Agriculture Organization [FAO], 2020). A nivel mundial, se estima que estos bienes y servicios tienen un valor de 125 billones de dólares al año, sin embargo, no reciben la atención adecuada en las políticas y las normativas económicas, lo que significa que no se invierte lo suficiente en su protección y ordenación (FAO, 2020). Según el reporte 2019 de la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, por su sigla en inglés), organismo multidisciplinario de carácter mundial, “el 78% (14 de 18) de los beneficios que los humanos obtienen de la naturaleza están rápidamente descendiendo debido a la intensificación de las actividades antrópicas tales como el cambio de uso de la tierra, el crecimiento poblacional, el desarrollo económico y el progreso técnico” (IPBES, 2019, p. 11). Esta situación no es desconocida en Colombia, donde

La mayoría de los ecosistemas en estado crítico deben su condición a su desaparición física por su remplazo por coberturas antropogénicas, es decir la reducción en la extensión —y distribución— geográfica, que termina reforzándose por la pérdida de procesos ecológicos debido al mismo proceso de transformación (Etter et al., 2017, p. 61).

En este mismo estudio se considera que “casi la mitad<sup>4</sup> de los ecosistemas colombianos presentan condiciones que amenazan su integridad, y por consiguiente también su capacidad de proveer servicios a la sociedad” (Etter et al., 2017, p. 4).

El departamento del Caquetá comparte un sector de la Amazonia colombiana y de acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2020) mantiene una de las tasas más altas de deforestación en el país, situación relevante teniendo en cuenta que la principal causa de pérdida de especies y de servicios ambientales se debe a la reducción de las áreas naturales. En este sentido, las redes de conectividad ecológica estructural (CEE) son fundamentales para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (SE) en ecosistemas periurbanos, rurales y metropolitanos (Colorado et al., 2017, p. 11). Así mismo, el grado de intervención que hemos generado en los ecosistemas trae como consecuencia cambios en la oferta de estos servicios (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt [IAVH], 2018).

El municipio de Valparaíso, objeto del presente trabajo, se ubica al occidente del departamento de Caquetá (Figura 1) y se encuentra en un paisaje transicional hacia la selva amazónica colombiana donde el proceso de colonización incentivado a mediados del siglo XX ha transformado las áreas naturales por la presencia de grandes extensiones de pastizales y cultivos de pancoger en su mayoría. En estas zonas quedan solo algunos remanentes de bosques, principalmente los asociados a las quebradas y ríos representativos. Dado que el proceso de colonización de Valparaíso no ha seguido un orden concordante con las características biofísicas del territorio, se presentan situaciones como inundaciones que afectan las viviendas y encharcamientos en cultivos y demás áreas productivas que se encuentran en los

3 Abastecimiento, por ej.: suministro de alimentos, agua, fibras, madera y combustibles. Regulación: por ej., la regulación de la calidad del aire y fertilidad de los suelos, control de las inundaciones, enfermedades y la polinización de cultivos. Apoyo o soporte: necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos; por ej.: ofreciendo espacios en los que viven las plantas y los animales, permitiendo la diversidad de especies y manteniendo la diversidad genética. Culturales: beneficios inmateriales, por ej.: fuente de inspiración para las manifestaciones estéticas y las obras de ingeniería, la identidad cultural y el bienestar espiritual.

4 Del total de los ecosistemas colombianos, 22 ecosistemas (27%) se encuentran en estado *crítico* (CR) y 14 ecosistemas (17%) quedaron catalogados como *en peligro* (EN), de acuerdo con este estudio.







más afectadas se encuentran en área rural de las veredas Santa Fe, Andalucía, Los Ángeles, Puerto Bolivia, Miravalle, Delicias, La Florida, El Cedral, Golondrinas, La Esmeralda, Las Acacias y Las Mercedes (Figura 2). El resto del municipio tiene una afectación parcial progresiva debido a la deforestación (Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018, p. 26).

Asimismo, los municipios tienen la tarea de identificar la estructura ecológica en sus procesos de ordenamiento territorial e incluirla como uno de los sistemas estructurantes dentro de la formulación de planes de ordenamiento territorial (POT), es decir, deben involucrarla como sistema de soporte ambiental del territorio (IAVH, 2020). Actualmente, el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Valparaíso se encuentra en proceso de aprobación por parte del Concejo Municipal (Departamento de Caquetá, municipio de Valparaíso, 2021) y aunque en este documento solo se realiza una descripción de la normatividad de la estructura ecológica principal (EEP) en el sector urbano, no se detalla en el área rural ni se espacializa la mencionada EEP. A esto se añade la falta de información técnica reciente para evaluar el estado general de la configuración del espacio físico del municipio, además de que no se encuentran referencias, documentos, indicadores ni menciones al respecto en la página web de la municipalidad. Adicionalmente, se debe contar con herramientas encaminadas a cumplir la sentencia 4360 de 2018 de la Corte Suprema de Justicia que ordena a todos los municipios de la Amazonia colombiana ajustar en el corto, mediano y largo plazo los instrumentos de ordenamiento territorial para incluir un plan de acción frente a la deforestación en su territorio que esté enfocado a la adaptación al cambio climático (Corporación de Desarrollo del Sur de la Amazonía [Corpoamazonia], 2020b).

Para poder estimar las transformaciones y la condición dentro de los ecosistemas, una de las variables fundamentales son las coberturas de la tierra (IDEAM,

2010; 2011; Etter et al., 2017), ya que permiten hacer una aproximación al estado de la estructura ecológica principal (EEP), además de facilitar la evaluación del estado de conectividad estructural de áreas naturales, las cuales se ubican principalmente en las zonas rurales de los municipios y son esenciales para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, además de estar asociadas a la producción de alimento y, en la mayoría de los casos, a la provisión de agua para los cascos urbanos o asentamientos, lo cual significa que en las zonas rurales se concentra buena parte la producción de bienes y servicios ambientales.

La conectividad puede definirse como la característica del paisaje que facilita los flujos ecológicos y el movimiento de los organismos a través de este (Calabrese & Fagan, 2004) o como el grado en el cual el paisaje facilita o impide el movimiento entre fragmentos y se considera como un factor clave en la conservación de la biodiversidad para el mantenimiento de la estabilidad e integridad de los ecosistemas naturales (Vergara et al., 2019). Para reconocer el estado de esta conectividad es fundamental identificar áreas que permitan la articulación de la EEP, las cuales son normalmente descritas como núcleos y corredores. Los núcleos son básicamente áreas naturales con un bajo grado de intervención que se asemejan a nodos y los corredores son franjas boscosas que permiten la interconexión de estos nodos. En el presente artículo se aborda la conectividad ecológica en el sentido estructural, que hace referencia a las relaciones de continuidad y adyacencia entre los fragmentos de un tipo de cobertura (Taylor et al., 2006). Esta conectividad aumenta cuando los fragmentos de un tipo de cobertura están más cercanos entre sí (Correa et al., 2014).

## 2. Estructura ecológica principal y conectividad ecológica estructural

De acuerdo con el IDEAM (2003, p. 17), la estructura ecológica principal (EEP) se define como:

El conjunto de ecosistemas naturales y seminaturales que tienen una localización, extensión, conexiones y estado de salud, tales que garantizan el mantenimiento de la integridad de la biodiversidad, la provisión de servicios ambientales (agua, suelos, recursos biológicos y clima), como medida para garantizar la satisfacción de las necesidades básicas de los habitantes y la perpetuación de la vida.

La EEP básicamente es la columna vertebral que sostiene la oferta de servicios ecosistémicos (SE) dentro de un territorio. En este sentido, el conocimiento de la estructura ecológica es una herramienta para que diferentes tomadores de decisiones incorporen y gestionen las dinámicas ecosistémicas que dan sustento al desarrollo de los territorios en los procesos de monitoreo, gestión, planificación de los recursos naturales y ordenamiento territorial. Por lo anterior, no es un instrumento de ordenamiento más y como herramienta técnica tendrá alcances diferentes de acuerdo con las competencias de quien la usa (IAVH, 2020), ya que permite orientar modelos de ocupación locales y prioridades de inversión, así como portafolios de conservación y de compensación, entre otros.

Como se mencionó, para que esta EEP se articule es fundamental que exista una conectividad entre sus elementos constitutivos. En este sentido, la conectividad tiene dos componentes principales: 1) el aspecto estructural relacionado directamente con la configuración espacial del paisaje y 2) el aspecto funcional que se relaciona con la capacidad de dispersión de las especies o flujos ecológicos, razón por la cual depende del grupo biológico o procesos ecológicos considerados (Vergara et al., 2019). El presente trabajo abordará la conectividad desde el primer componente.

Teniendo en cuenta que el municipio de Valparaíso pertenece a uno de los departamentos con las mayores tasas de deforestación de Colombia, que el proceso de colonización no ha tenido en cuenta las características biofísicas del territorio, que se presentan efectos por la pérdida de áreas naturales (inundaciones, erosión, vendavales y disminución en la

calidad de agua, entre otras) y que el Esquema de Ordenamiento Territorial en proceso de aprobación por el Concejo Municipal no considera en detalle la estructura ecológica principal (EEP) en el área rural del municipio, en el presente trabajo se proponen núcleos y corredores de conectividad ecológica estructural a escala 1:25.000<sup>5</sup> con el fin de facilitar la articulación de la EEP y el mantenimiento de servicios ecosistémicos para la comunidad. De esta manera, se busca un puente de comunicación entre procesos ecológicos y sociales que son compatibles con la geografía ambiental, teniendo en cuenta que esta

Examina la diferenciación territorial de la calidad del medio ambiente, así como los riesgos naturales y antrópicos ante la aparición de factores de tensión ecológica y la conservación y recuperación de los recursos naturales, como condición indispensable para el desarrollo humano sostenible (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [UPTC], 2021).

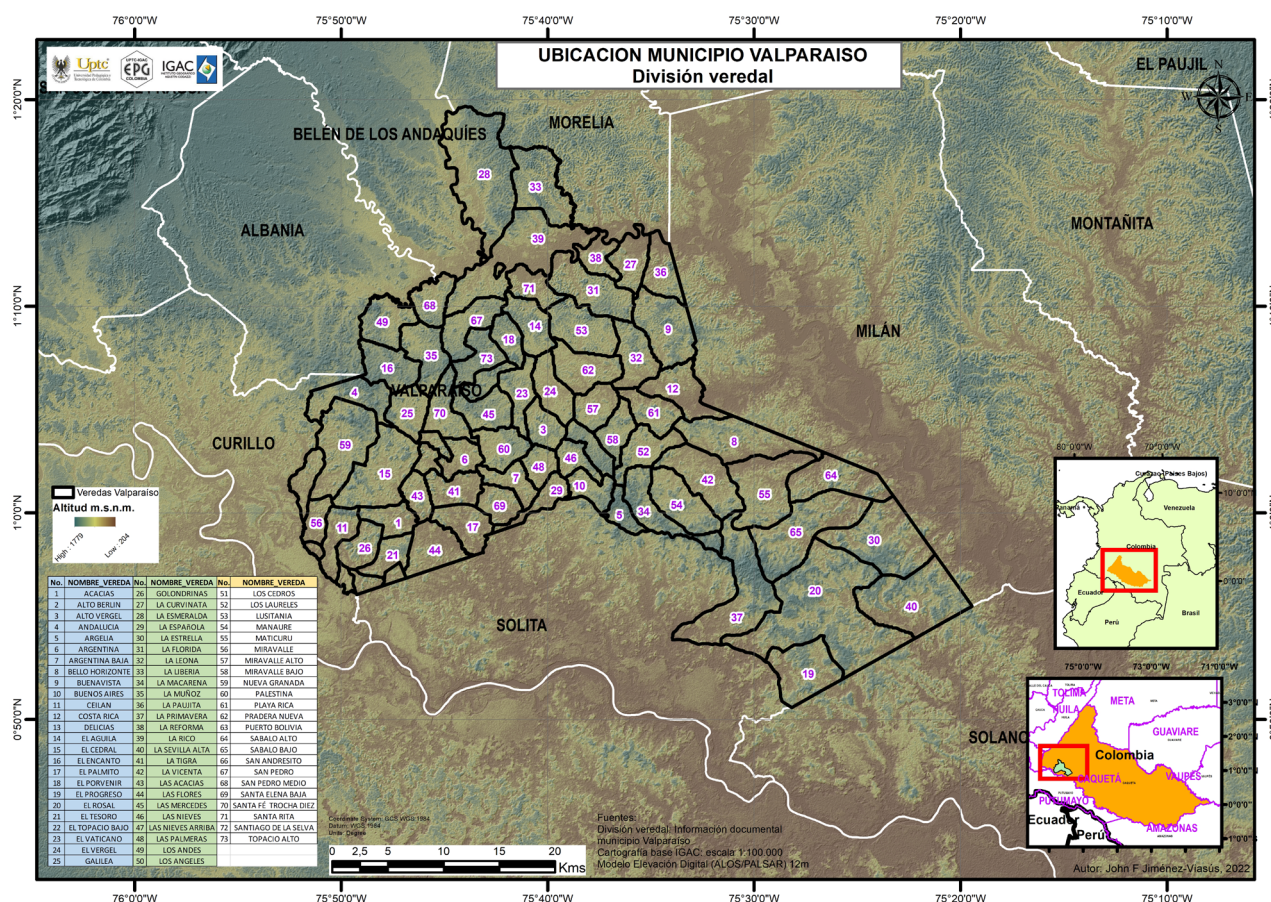
### 3. Área de estudio

El municipio de Valparaíso, departamento del Caquetá, tiene una superficie de 133.006 ha (1.330 km<sup>2</sup>) y dista aproximadamente 65 km de Florencia por vía terrestre. Geomorfológicamente presenta paisajes de valle y lomerío, donde este último es el de mayor extensión (Figura 2). Sus suelos se caracterizan por tener baja fertilidad, extrema acidez, alta saturación de aluminio y fertilidad muy baja (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2010). El clima en Valparaíso es cálido húmedo a muy húmedo, con altitudes que oscilan entre los 200 y los 300 m. s. n. m. (Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018). La infraestructura vial cuenta con un sistema de vías secundarias representadas por los tramos Morelia-Valparaíso con una longitud de 37 km y Valparaíso-Solita con una longitud de 42 km, además de 99 km de vías terciarias en regular estado asociadas con el río Caquetá que comunican la cabecera con

<sup>5</sup> Ya que la mayoría de los insumos y análisis para esta zona del país han sido a escala 1:100.000.

los principales asentamientos rurales del municipio (Corpoamazonia, 2020a). La base de la economía de Valparaíso es la ganadería de doble propósito y la leche es vendida principalmente a la procesadora de lácteos Nestlé. Se agrega el ganado porcino que es igualmente representativo en la economía municipal, cuya producción, además de suplir necesidades

al interior del municipio, se exporta hacia la capital del departamento y otras ciudades (Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018, p. 18). Valparaíso se encuentra dividido en 74 unidades administrativas denominadas *veredas* y las que están ubicadas en la periferia aún no cuentan con límites definidos oficialmente (Figura 2).



**FIGURA 2.** Municipio Valparaíso con división veredal: se encuentra en el interfluvio de los ríos Caquetá y Orteguzá

FUENTE: elaboración propia.

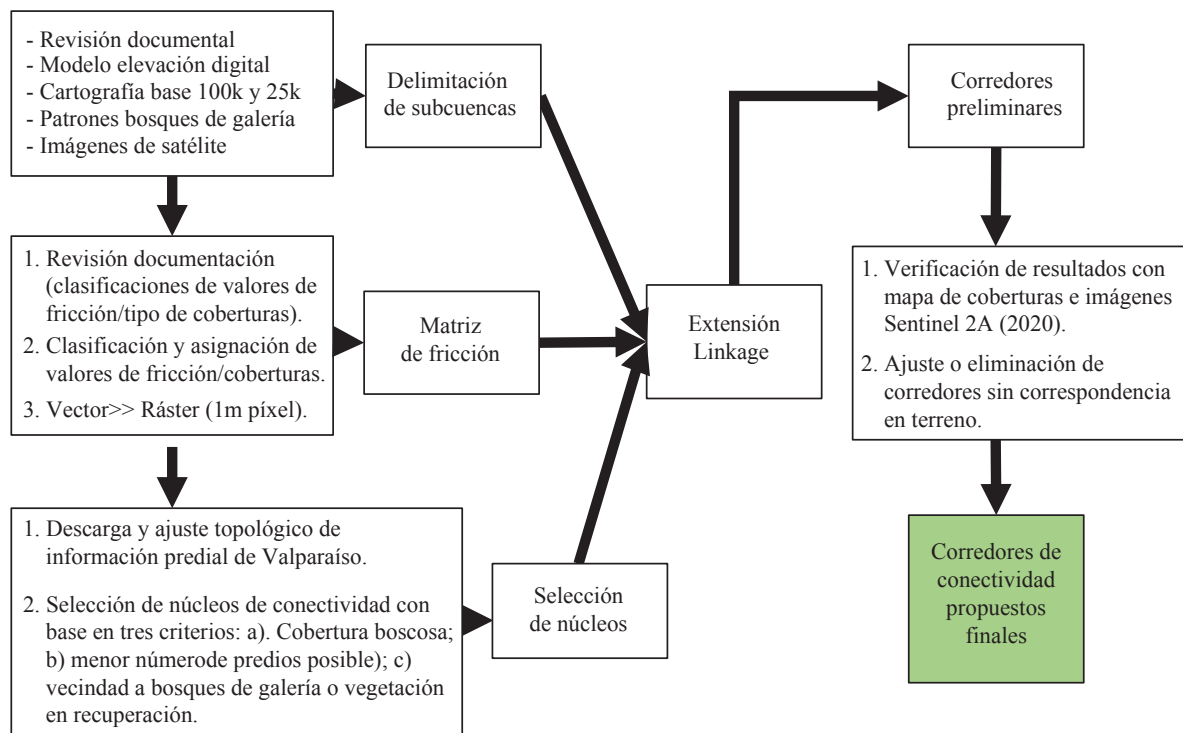
Vale la pena mencionar que dentro del municipio se encuentra el mono bonito del Caquetá (*Plecturocebus caquetensis*), especie endémica que, según la lista de la International Union for Conservation of Nature (IUCN), se encuentra en peligro crítico (CR). Se distribuye en Valparaíso y junto con otras especies ha experimentado una reducción constante de su hábitat, que es una de las principales causas de pérdida de biodiversidad a nivel mundial. Con la información

aportada en este trabajo también se ofrecen algunas herramientas para iniciativas de priorización en conservación.

## 4. Metodología

En la Figura 3 se ilustra la metodología llevada a cabo para la generación de los corredores y núcleos de conectividad estructural.





**FIGURA 3.** Metodología llevada a cabo para la generación de corredores de conectividad

FUENTE: elaboración propia.

Con base en la interpretación de coberturas a escala 1:25.000 realizada para el municipio de Valparaíso siguiendo las metodologías señaladas por el IDEAM (2010) y el IGAC (2020), las cuales básicamente hacen referencia a la identificación, delimitación y codificación de polígonos mediante el análisis de aspectos morfopictográficos presentes en las imágenes de sensores remotos (imágenes de satélite, aerofotografías, drones, etc.), junto con el apoyo de otras fuentes de información secundaria local y de campo, se buscó que cada uno de los polígonos interpretados tuvieran una correspondencia con una cobertura en el terreno.

Para lo anterior, se tuvo como base la interpretación de coberturas de la tierra realizada con imágenes Sentinel 2A del año 2019 (abril y septiembre) a escala 1:25.000, a partir la cual se produjo una matriz de fricción y se seleccionaron varios núcleos de conectividad. Posteriormente, por medio de la herramienta Linkage Mapper, se generaron varios corredores automatizados, los cuales fueron ajustados y actualizados con base en imágenes Sentinel 2A del año 2020

(junio y octubre) y su congruencia de conectividad de acuerdo con la cobertura de la tierra.

#### 4.1. Delimitación de subcuencas

Dado que el agua es un servicio ecosistémico fundamental y a la vez es un determinante del ordenamiento territorial, se llevó a cabo un ejercicio previo de delimitación de cuencas hidrográficas principales dentro del municipio mediante el módulo Hydrology de ArcGIS. Sin embargo, dado el reducido rango altitudinal presente en Valparaíso y el *ruido* generado por la cobertura vegetal en varios sectores<sup>6</sup>, el resultado de este proceso de delimitación automático de cuencas mostró algunas inconsistencias. Por lo anterior, se realizó una delimitación visual teniendo en cuenta el

<sup>6</sup> Esto fue evidenciado en los recorridos en campo, donde se apreciaba que sectores “altos”, según el modelo de elevación digital (DEM, por su sigla en inglés), en realidad eran terrenos “bajos” cubiertos con vegetación que corresponden a bosques con alturas que superaban el terreno circundante. Esto se debe a que no se cuenta con un modelo digital del terreno que filtre la cobertura vegetal en un paisaje de lomerío.

modelo de elevación digital de 12 m (Alos-Palsar) y la cartografía base digital del IGAC a escala 1:100.000 y 25.000 (sectores disponibles), junto con información documental y la interpretación de coberturas previamente realizada, considerando los patrones de bosques de galería y zonas pantanosas.

## 4.2 Matriz de fricción

La matriz de fricción se refiere a una capa ráster (imagen) con un valor numérico asignado de acuerdo con el grado de “resistencia” de una cobertura al desplazamiento de fauna silvestre. Actualmente se han desarrollado diferentes métodos para cuantificar las superficies de resistencia y no existe consenso sobre la forma apropiada de escoger las variables que se tienen en cuenta o las aproximaciones de análisis para su construcción (Vergara et al. 2019). Por lo anterior, teniendo en cuenta la información reunida e interpretada y algunos estudios de caso (Colorado et al., 2017; Ciontescu et al., 2019), junto con lo evidenciado en un trabajo de campo realizado en tres veredas del

municipio de Valparaíso en el año 2013 (García & De-fler, 2013), se dio una calificación de acuerdo con la cobertura y su potencial de ofrecer un refugio o tránsito a fauna y flora local. Como resultado, se generó una imagen que contiene valores entre uno y diez en la cual una calificación de 10 (máxima fricción) corresponde a zonas antrópicas (vías, centros poblados, infraestructura, etc.) y un valor de 1 a las coberturas menos intervenidas (bosques densos de tierra firme e inundables); dentro de estos valores extremos se otorgó una calificación gradual según el estado general de las coberturas naturales, por ejemplo, los pastos enmalezados tienen mayor fricción que una vegetación secundaria alta<sup>7</sup> (Tabla 1).

Esta calificación se asignó teniendo en cuenta que las coberturas boscosas ofrecen áreas de provisión (agua, fibras, madera, caza silvestre) y regulación (protección del suelo, regulación hídrica y microclimática, etc.), además de proporcionar hábitat y refugio a especies silvestres que con el paso del tiempo siguen reduciendo sus poblaciones por pérdida de áreas naturales.

**TABLA 1. Valores de fricción asignados a las coberturas**

| Cobertura                                 | Fricción | Cobertura                                | Fricción |
|-------------------------------------------|----------|------------------------------------------|----------|
| Bosque denso alto de tierra firme         | 1        | Lagunas, lagos y ciénagas naturales      | 6        |
| Bosque denso alto inundable               | 1        | Mosaico de pastos con espacios naturales | 7        |
| Bosque denso bajo inundable               | 1        | Pastos enmalezados                       | 8        |
| Bosque abierto alto de tierra firme       | 1        | Arenales                                 | 8        |
| Bosque abierto alto inundable             | 1        | Cuerpos de agua artificiales             | 8        |
| Bosque abierto bajo de tierra firme       | 1        | Pastos limpios                           | 9        |
| Bosque abierto bajo inundable             | 1        | Mosaico de pastos con cultivos           | 9        |
| Bosque de galería arbolado                | 2        | Tejido urbano continuo                   | 10       |
| Bosque de galería con arbustal y herbazal | 3        | Vivienda rural dispersa                  | 10       |
| Vegetación secundaria alta                | 3        | Vivienda rural nucleada                  | 10       |
| Bosque de galería mixto                   | 4        | Vía sin pavimentar                       | 10       |
| Vegetación secundaria baja                | 4        | Cultivo en preparación                   | 10       |
| Zonas pantanosas                          | 5        | Zonas quemadas antrópicas                | 10       |
| Ríos, caños y quebradas                   | 5        |                                          |          |

FUENTE: elaboración propia con base en Colorado et al. (2017) y Vergara et al. (2019).

<sup>7</sup> Por ejemplo, para mamíferos como un armadillo (*Dasypus novemcinctus*), una guartinaja (*Cuniculus paca*) o un mono (*Alouatta seniculus*) es más fácil desplazarse y refugiarse en una zona de vegetación secundaria alta (árboles y arbustos superiores a los 5 metros de altura) que en un pasto enmalezado que no supera la altura de una persona promedio.

### 4.3. Selección de núcleos

Los núcleos son parches de vegetación natural con reducida intervención que ofrecen potenciales nodos o pasos para la conectividad de los corredores naturales. Localmente se conocen como *matas de monte* y son principalmente remanentes de bosque que con el aumento de la frontera agrícola han reducido progresivamente su área.

Para la selección de núcleos se consideraron tres elementos principales: 1) que tuviesen cobertura boscosa (vegetación secundaria alta o bosques) (Vergara et al., 2019); 2) número de predios: como el espacio físico está delimitado por propiedades, se consultó y se realizó un control topológico<sup>8</sup> de la información catastral del IGAC disponible sobre municipio con el fin de seleccionar núcleos que se intersectaran con el menor número de predios posible; y 3) ubicación: se procuró que los núcleos fueran colindantes con bosques de galería o vegetación secundaria con el fin de facilitar la conexión con coberturas con menor fricción a la conectividad natural. Esta selección se realizó de manera visual teniendo como base la interpretación de coberturas e imágenes Sentinel 2A del año 2020 (junio y octubre).

### 4.4. Generación de corredores de conectividad

Una vez se tuvo la matriz de fricción, los núcleos de conectividad y el contexto geográfico de la interpretación, se usó la herramienta Linkage Mapper (McRae et al., 2020) que se basa en la teoría de grafos, según la cual el paisaje es concebido como un conjunto de parches o fragmentos de hábitat (denominados nodos) y elementos o posibles conexiones (enlaces), lo cual permite aplicar la teoría y matemática correspondiente a los grafos para el estudio de la conectividad y el hábitat disponible para las especies (Vergara et

al. 2019); de esta forma, los núcleos de conectividad (nodos) interactúan entre sí por medio de corredores (enlaces). La potencialidad de utilizar estructuras de grafos para estudios de conectividad radica en la capacidad de simplificar la representación de patrones de paisaje, de almacenar la información de las propiedades o atributos de los elementos considerados relevantes para el análisis de la conectividad y, sobre todo, de implementar algoritmos de cálculo complejos y eficientes (Pascual et al., 2006). Linkage Mapper admite análisis regionales de conectividad de hábitats de vida silvestre y está compuesto por *scripts* de Python de código abierto compatibles con la caja de herramientas de ArcGIS (McRae et al., 2020).

Dado que este es un proceso automatizado, se realizó una verificación y validación visual de la correspondencia de cada corredor *versus* imágenes Sentinel 2A de junio y octubre de 2020 y se ajustaron para corroborar que las coberturas que comprenden ese corredor fueran boscosas o vegetación secundaria (regeneración).

## 5. Resultados y discusión

### 5.1. Delimitación de subcuencas

Se delimitaron cinco subcuencas en total (Tabla 2 y Figura 4). Con el 46% de la superficie del municipio, la subcuenca Orteguaza es la de mayor extensión y contiene los nacimientos de quebradas como Agua Negra, Maticurú y Sevilla, las cuales son importantes afluentes de la cuenca media-baja del río Orteguaza. Con el 17%, la segunda subcuenca pertenece al río Solita y contiene la quebrada del mismo nombre junto con la quebrada La Canelo. Se destaca que el río Solita cuenta con un Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográfica (POMCA), declarado mediante resolución 0446 del 30 de abril de 2010, según el cual tiene un área total de 38.831 ha y es fuente de abastecimiento de agua para el acueducto municipal de Solita. Por lo anterior, con la delimitación actualizada de las áreas naturales es posible realizar un

<sup>8</sup> Consiste principalmente en la eliminación de polígonos superpuestos y "huecos" dentro de la capa predial con el fin de evitar errores en el cálculo de áreas o superposición entre predios.



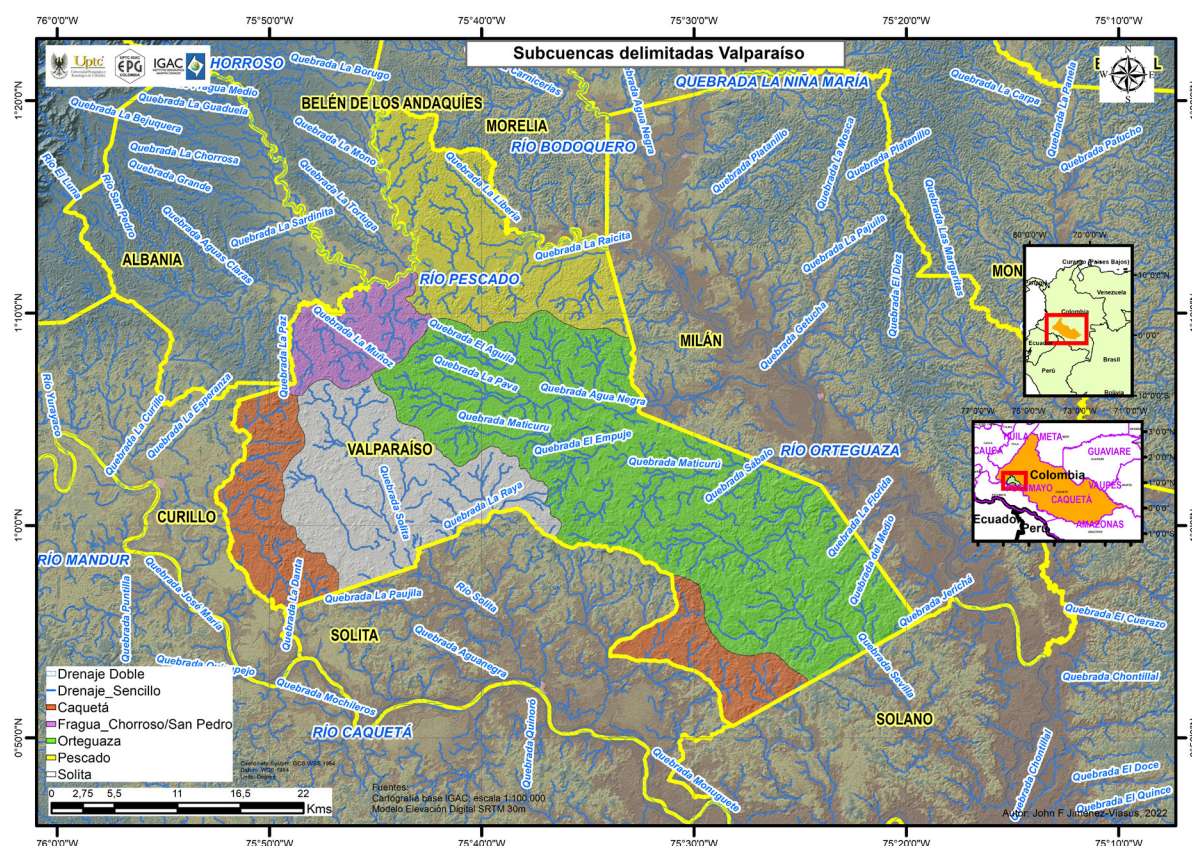
monitoreo del estado de intervención o recuperación de estas zonas que protegen el río y, por ende, reducir su afectación. Respecto a la subcuenca Pescado, se ubica en la zona norte del municipio y recibe aportes principalmente de las quebradas La Rico, La Liberia, El Cacho, Paujilla y Raicita. Se destaca que en este sector se encuentra el casco urbano de Valparaíso, por lo que la infraestructura vial y el intercambio comercial son algunos de los principales motores de transformación. La subcuenca Caquetá se ubica en el occidente y el sur

del municipio y contiene a las quebradas Los Canelos, La Nutria, La Danta y Chontillosa. Se destaca que en el sector occidental se hallan relictos de bosques inundables y de tierra firme, los cuales, por sus dinámicas, aún no tienen un grado de intervención como los que se encuentran en los alrededores de la cuenca Pescado. Respecto a la subcuenca Fragua Chorroso/San Pedro, las quebradas La Muñoz, La Lucero y la Paz son los cuerpos de agua más representativos y comprenden la vertiente sur de estos ríos.

**TABLA 2. Área de las subcuencas delimitadas en el municipio de Valparaíso**

| Subcuencas Valparaíso     | Área en (ha) | Km <sup>2</sup> | % área municipal |
|---------------------------|--------------|-----------------|------------------|
| Orteguaza                 | 61.268,45    | 612,68          | 46,06            |
| Solita                    | 23.669,87    | 236,70          | 17,80            |
| Pescado                   | 21.940,78    | 219,41          | 16,50            |
| Caquetá                   | 17.916,19    | 179,16          | 13,47            |
| Fragua Chorroso/San Pedro | 8.213,29     | 82,13           | 6,18             |
| Total                     | 133.005,76   | 1.330,06        | 100              |

FUENTE: elaboración propia.



**FIGURA 4. Subcuencas delimitadas en Valparaíso**

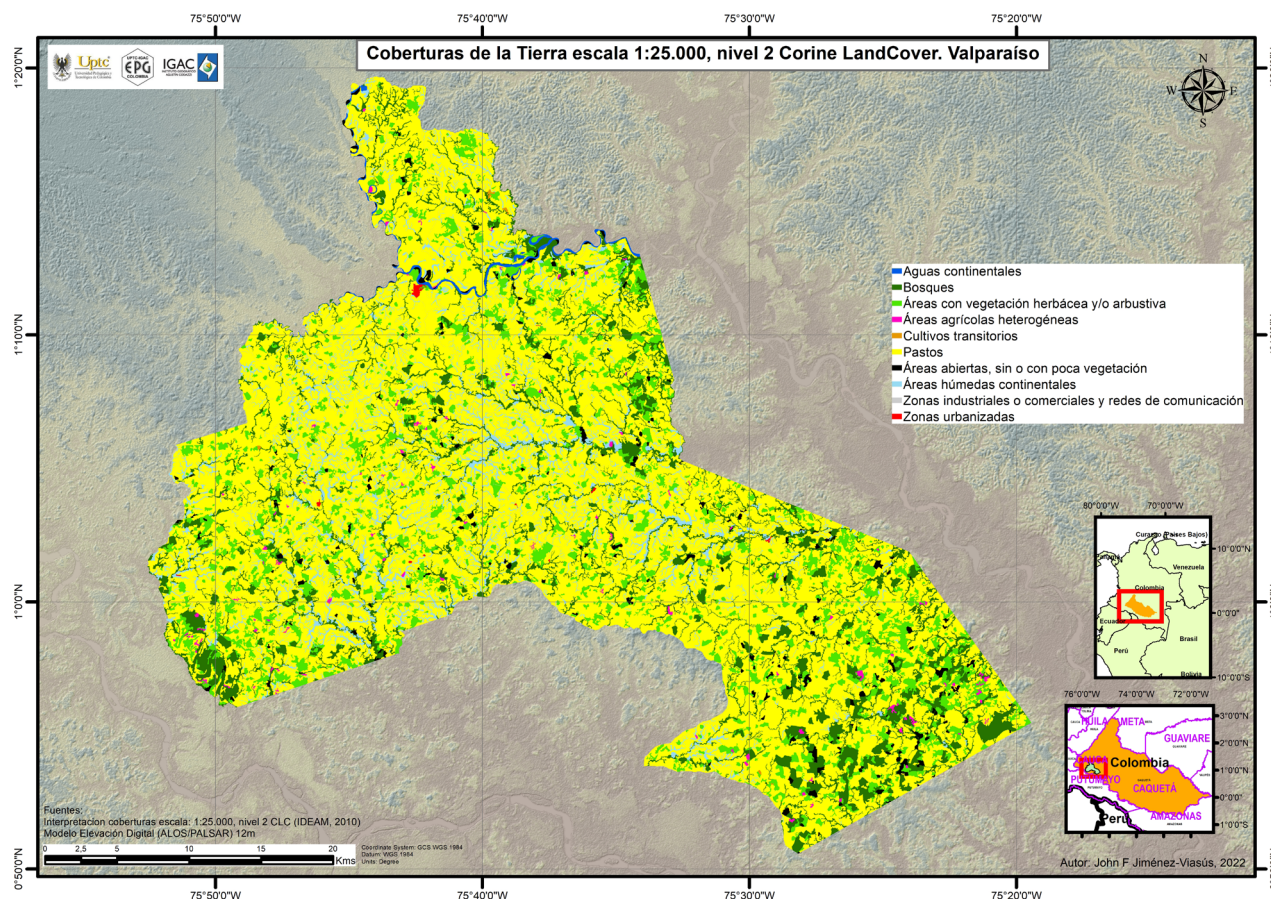
FUENTE: elaboración propia.



## 5.2 Matriz de fricción

Alrededor del 64% del municipio presenta alta fricción a la conectividad natural y cerca del 15% (niveles de fricción 1, 2 y 3) favorece el ensamble o conexión

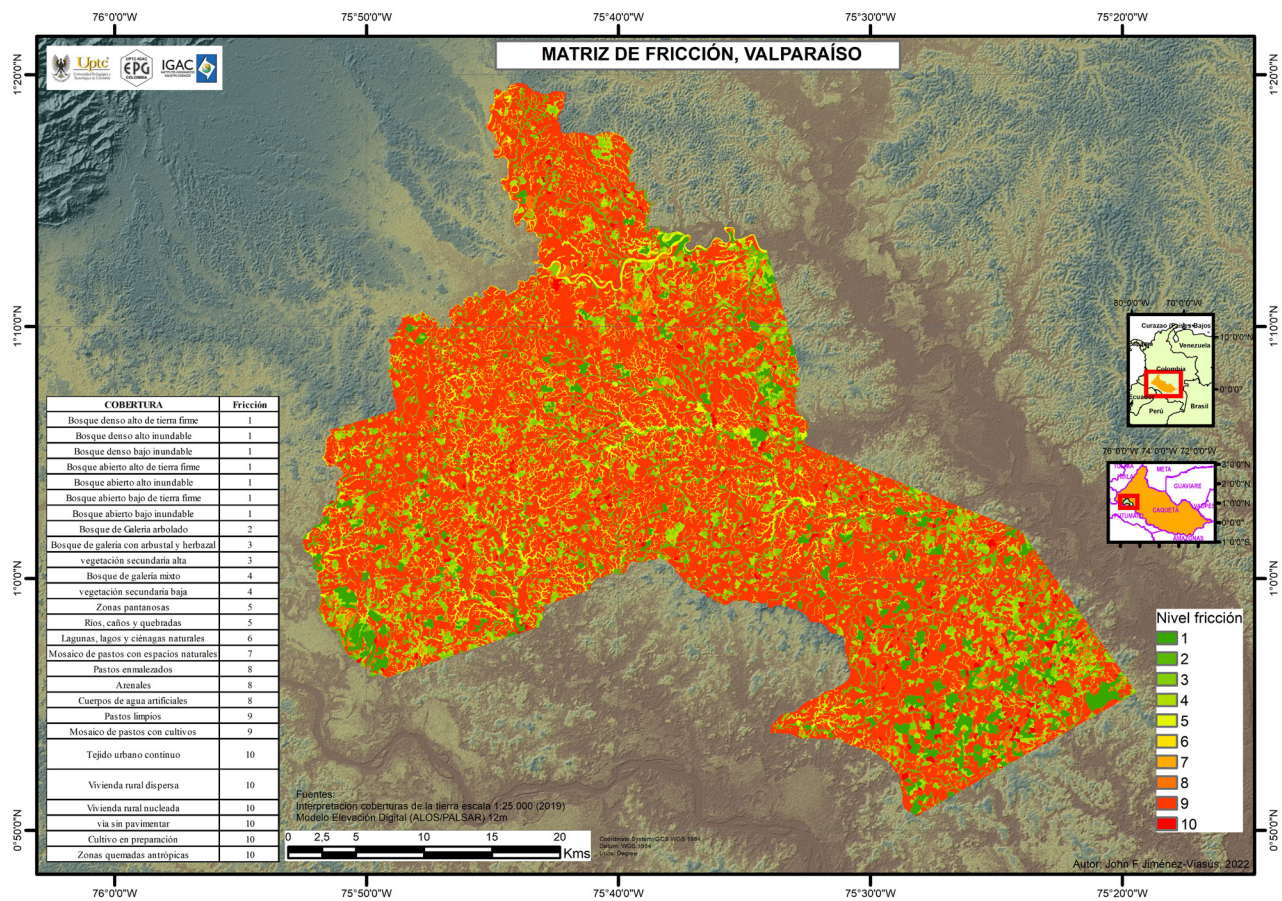
de las áreas boscosas en Valparaíso. Esto sugiere una alta fragmentación del paisaje natural que se debe al predominio de los pastos en la superficie municipal (Figura 5, Figura 6 y Tabla 3)



**FIGURA 5.** Coberturas de la tierra escala 1:25.000, nivel 2 Corine Land Cover y división de subcuencas: se aprecia que los pastos son predominantes en Valparaíso y las áreas de bosques se encuentran dispersas y concentradas en extremos del municipio donde la infraestructura vial es incipiente o de baja consolidación

FUENTE: elaboración propia con base en IDEAM (2010).





**FIGURA 6.** Matriz de fricción en Valparaíso: se aprecia la dominancia de áreas con alta fricción (naranja-rojizas) a la conectividad de áreas naturales (tonos verdes), esto se debe a la prevalencia de pastos limpios dentro del municipio

FUENTE: elaboración propia.

| TABLA 3. Distribución porcentual y de área de acuerdo con el grado de fricción: una mayor fricción representa mayor resistencia a la movilidad de especies entre áreas naturales que reduce la capacidad de conectividad estructural |           |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|
| Nivel de fricción                                                                                                                                                                                                                    | Área (ha) | %     |
| 9                                                                                                                                                                                                                                    | 85.675,4  | 64,41 |
| 4                                                                                                                                                                                                                                    | 10.678,5  | 8,03  |
| 5                                                                                                                                                                                                                                    | 8.245,8   | 6,20  |
| 3                                                                                                                                                                                                                                    | 7.905,5   | 5,94  |
| 2                                                                                                                                                                                                                                    | 7.666,1   | 5,76  |
| 1                                                                                                                                                                                                                                    | 6.257,1   | 4,70  |
| 8                                                                                                                                                                                                                                    | 4.115,2   | 3,09  |
| 10                                                                                                                                                                                                                                   | 2.215,3   | 1,67  |
| 7                                                                                                                                                                                                                                    | 222,8     | 0,17  |
| 6                                                                                                                                                                                                                                    | 23,6      | 0,02  |
| Total                                                                                                                                                                                                                                | 13.3005,7 | 100   |

FUENTE: elaboración propia.



### 5.3. Selección y delimitación de núcleos de conectividad

Se delimitaron 48 núcleos para todo el municipio (Tabla 4), la mayoría de ellos en la subcuenca Ortegua, seguida por la subcuenca Pescado. Se debe recordar que este número dependió de la cantidad de parches de vegetación natural boscosa presentes en cada una de las subcuencas y el número de predios traslapados para cada uno de estos núcleos.

Cerca del 92% de los núcleos seleccionados corresponden a bosques densos y abiertos de tierra firme y el porcentaje restante pertenece a vegetación secundaria alta y bosques inundables. Gran parte de estos núcleos se ubicaron en la subcuenca del río Ortegua, teniendo en cuenta que es la de mayor superficie (46%) y concentra un área representativa de

bosques naturales remanentes dentro del municipio. La subcuenca con menos núcleos fue la de Fragua Chorroso, la cual contiene una vía de conexión con el corregimiento de Santiago de la Selva, que es uno de los principales corredores de comunicación con el casco urbano del municipio de Curillo y, a su vez, es uno de los más dinámicos. Cabe destacar que la subcuenca del río Pescado ubicada en el norte, en la cual se enmarca la cabecera municipal de Valparaíso, cuenta con 12 núcleos y esto se debe en parte a que este río tiene varios meandros y planos de inundación que contienen algunos remanentes de vegetación natural. El total de los 48 núcleos de conectividad seleccionados cubren 148 predios de acuerdo con la información consultada, lo cual corresponde a un promedio de 3 predios por núcleo propuesto para conectividad.

**TABLA 4. Núcleos delimitados por subcuenca**

| Subcuenca                 | Nº de núcleos | Área núcleos (ha) |
|---------------------------|---------------|-------------------|
| Pescado                   | 12            | 785,67            |
| Solita                    | 7             | 468,68            |
| Ortegua                   | 17            | 2.508,82          |
| Caquetá                   | 9             | 1.314,06          |
| Fragua Chorroso/San Pedro | 3             | 82,5              |
| Total                     | 48            | 5.159,73          |

FUENTE: elaboración propia.

### 5.4. Corredores de conectividad

Dado que el paisaje predominante en el municipio de Valparaíso es el lomerío y buena parte de las áreas naturales han sido reemplazadas por pastos, los principales corredores ecológicos encontrados son los bosques de galería (o riparios) con algunos parches espaciados de bosques abiertos y densos. Geomorfológicamente estos bosques de galería se encuentran predominantemente en las zonas planocóncavas del paisaje de lomerío<sup>9</sup> (*vallecitos*). Si bien la reducción de

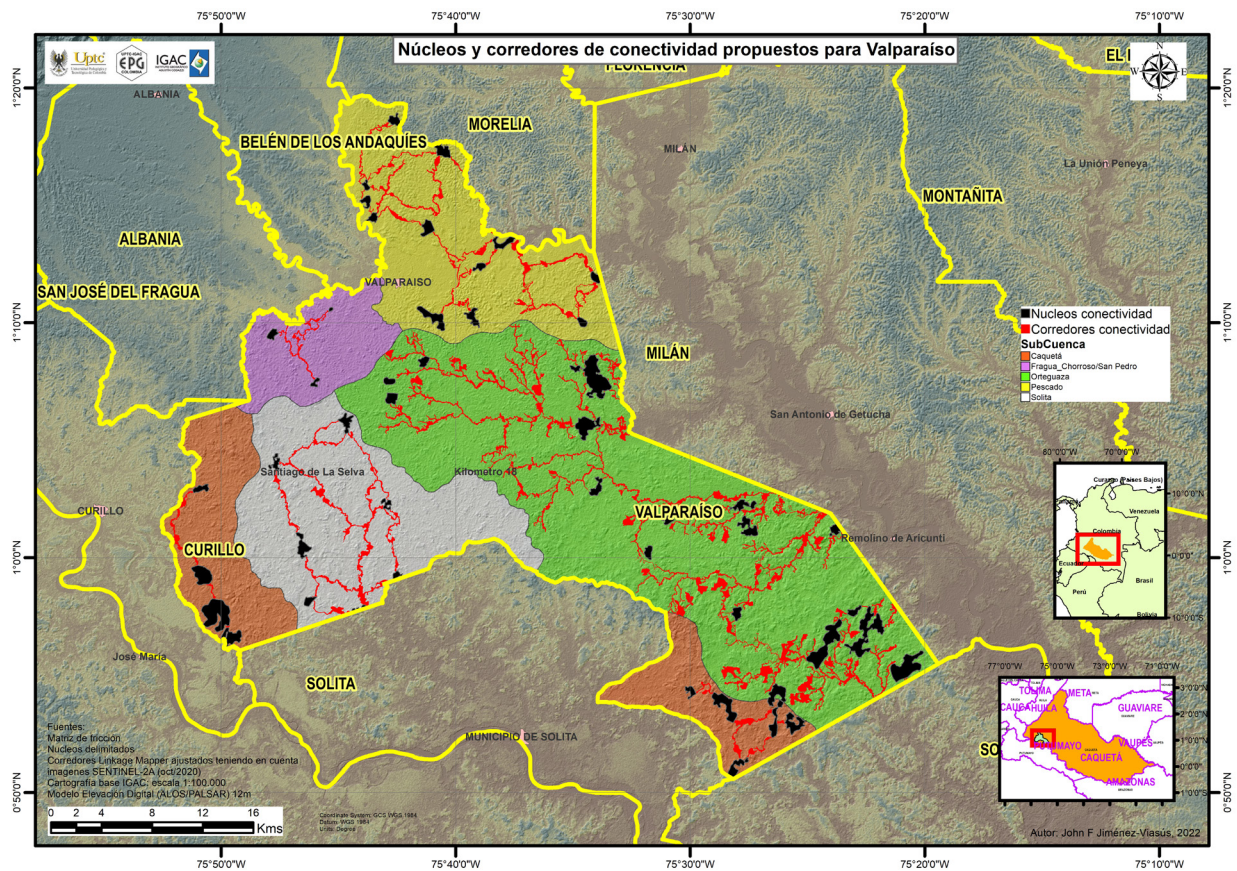
las áreas naturales es sostenida, son los principales remanentes naturales y los principales corredores de la fauna y flora local. Después de realizar la generación y filtrado de los corredores de conectividad, se encontró que el área propuesta para la conectividad es cerca del 7% de la superficie total del municipio (Tabla 5).

En la Figura 6 se ilustran en color rojo los corredores de conectividad generados y ajustados. Estos se encuentran estrechamente relacionados con los bosques de galería y algunos parches de bosque cercanos que permiten la continuidad entre los núcleos propuestos, los cuales corresponden principalmente a bosques de tierra firme e inundables que en general han sido fragmentados o intervenidos y han quedado como islas en el paisaje de lomerío.

9 "Es aquella superficie terrestre de topografía accidentada de altura media, no confinada, que se caracteriza por la repetición de colinas, lomas y cerros estructurales, generalmente de formas alargadas y cimas dispuestas a diferentes alturas, separadas por una red de drenaje moderadamente densa con patrón que varía de dendrítico a rectangular" (IGAC, 2018, p. 192).

| TABLA 5. Representatividad en área de los corredores de conectividad obtenidos |                      |                     |                                 |                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|
| Subcuenca                                                                      | Área corredores (ha) | Área subcuenca (ha) | % área corredores por subcuenca | % área corredores en el total municipio |
| Caquetá                                                                        | 480,12               | 17.916,19           | 2,68                            | 0,36                                    |
| Fragua Chorroso/San Pedro                                                      | 183,21               | 8.213,29            | 2,23                            | 0,14                                    |
| Pescado                                                                        | 1.351,39             | 21.940,78           | 6,16                            | 1,02                                    |
| Solita                                                                         | 1.129,41             | 23.669,87           | 4,77                            | 0,85                                    |
| Orteguaza                                                                      | 6.210,83             | 61.268,45           | 10,14                           | 4,67                                    |
| Total                                                                          | 9.354,96             | 133.005,76          | N. A.                           | 7,03                                    |

FUENTE: elaboración propia.



**FIGURA 7.** Núcleos (negro) y corredores de conectividad (rojo) resultado del procesamiento realizado y ajustado

FUENTE: elaboración propia.

Si bien los corredores y los núcleos se encuentran por cada subcuenca, se debe destacar que no se desconoce la existencia de otras áreas naturales presentes en el municipio, las cuales se relacionan con el mapa de coberturas y pueden ser un insumo para llevar a cabo potenciales trabajos posteriores. El análisis realizado en este documento mediante la delimitación de

subcuencas se sustenta en el hecho de que el agua es un recurso fundamental para la fauna y flora silvestre, así como para la población humana asentada en el territorio, aunado al hecho de que facilita la articulación de análisis con municipios vecinos que comparten dinámicas de transformación del paisaje similares a Valparaíso.

Con la generación de esta información se procura que las autoridades ambientales y municipales tengan herramientas técnicas para actualizar sus instrumentos de ordenamiento y planeación en pro de la naturaleza y la comunidad del municipio de Valparaíso, apoyar el seguimiento y evaluación del Documento de Formulación del EOT de Valparaíso (Departamento de Caquetá, municipio de Valparaíso, 2021) en proceso de aprobación y las políticas o lineamientos para el cumplimiento de metas por parte de Corpoamazonia.

Al identificar la ubicación y el área estimada de potenciales zonas de conservación y manejo integral, se facilitan los procesos de conectividad ecológica estructural (CEE) y se fortalece a su vez la estructura ecológica principal (EEP), que es la columna vertebral para mantener la oferta de servicios ecosistémicos (SE) de provisión y regulación<sup>10</sup>, además de ser estructurante de los determinantes ambientales que son fundamentales en el ordenamiento territorial del municipio.

Al respecto, vale la pena mencionar que si bien el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI realiza periódicamente la interpretación de coberturas de la tierra en el municipio, la escala de interpretación es 1:100.000, lo que significa que la unidad mínima cartografiada<sup>11</sup> es de 25 ha, mientras que a escala semidetallada (1:25.000 para el presente trabajo) es de 1,56 ha, lo cual tiene connotaciones relevantes en la resolución y la discriminación de coberturas de la tierra especialmente en el municipio de Valparaíso, donde las áreas naturales boscosas remanentes son reducidas y a escala 1:100.000 pueden incluirse dentro de mosaicos con áreas agrícolas.

Las subcuencas Orteguaza y Solita, si bien han sido afectadas por las dinámicas de uso del suelo, son representativas en área de corredores y núcleos y esto

.....

<sup>10</sup> Provisión de agua, fibras y madera, entre otros, y regulación hídrica, microclimática y ciclaje de nutrientes, entre otros.

<sup>11</sup> Es el área mínima en la cual se puede discriminar un polígono de una determinada cobertura.

se debe en parte a que mantienen remanentes de vegetación natural que se han conservado debido a la poca conectividad con otros centros poblados, lo cual ha facilitado su conservación. Las subcuencas Fragua Chorroso/San Pedro y Pescado son las que menor proporción de bosques y áreas naturales poseen para la conectividad, probablemente porque el casco urbano de Valparaíso y las principales vías de comunicación se encuentran en esta área.

Con la delimitación de las subcuencas presentes en el municipio y su análisis particular, se procura enmarcar la conectividad ecológica estructural dentro del recurso hídrico, que es un determinante ambiental para el ordenamiento territorial a la vez que facilita la articulación con municipios vecinos, y las políticas de la autoridad ambiental, que son relevantes para la caracterización de la estructura ecológica principal municipal y regional.

Por otro lado, la reducción de las áreas boscosas disminuye la captación de humedad atmosférica en verano y aumenta la exposición del suelo a la radiación solar mientras que en épocas de lluvia fomenta el lavado de los nutrientes del suelo, lo cual potencia el aporte de sedimentos a las quebradas y reduce su cauce, así como la disponibilidad de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua. Con la fragmentación de los bosques aumenta el efecto de borde sobre áreas naturales, lo cual restringe la posibilidad de recuperación o conectividad entre los corredores naturales remanentes y afecta las redes tróficas y, por ende, la capacidad de resiliencia de los ecosistemas afectados. Esto trae un deterioro progresivo de la oferta de servicios ambientales como la captura y fijación de dióxido de carbono atmosférico, uno de los principales gases de efecto invernadero, la protección del suelo, la regulación hídrica y climática y la polinización, entre otros. Lo anterior cobra relevancia en el escenario de cambio climático en que nos hallamos actualmente, donde la conservación de las áreas naturales es fundamental para la amortiguación de los efectos de esta variación acelerada de las variables climáticas.



La mayor superficie de Valparaíso se encuentra dominada por pastos. Los bosques naturales y las áreas seminaturales ocupan alrededor de un cuarto del área de estudio y en tercer lugar están las áreas con influencia hídrica (zonas pantanosas, ríos). Esto destaca que la principal actividad económica del municipio se concentra en la ganadería y dificulta la conectividad de áreas naturales.

Objetivos como garantizar la disponibilidad y la gestión sustentable del agua, mientras que el uso productivo del suelo junto con la creciente demanda de recursos naturales comprometen la oferta y provisión de servicios ambientales en el futuro, implican que debe existir una articulación entre las entidades y la comunidad para llegar a acuerdos que busquen la estabilidad de todo el sistema socioambiental para alcanzar metas de desarrollo sustentable a mediano y largo plazo. Figuras de conservación como las Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC), con el apoyo de las autoridades locales civiles y ambientales, pueden ser una alternativa para realizar procesos de conservación que permitan fortalecer la EEP del municipio. Las RNSC básicamente son predios que contienen una muestra de ecosistema representativo local y cuyos propietarios voluntariamente consideran protegerla y realizar procesos productivos compatibles con la figura de conservación. Una RNSC, después de haber sido registrada, entra al Registro Único de Áreas Protegidas (RUNAP).

## 6. Conclusiones y recomendaciones

- Con el enfoque metodológico del presente trabajo se aporta a la identificación de áreas de importancia ecológica proveedoras de servicios ecosistémicos y se ofrece un panorama de la estructura ecológica principal del municipio.
- Los corredores de conectividad propuestos corresponden principalmente a bosques de galería y los núcleos de conectividad son remanentes de bosques inundables y de tierra firme.
- Con los corredores y núcleos de conectividad generados se pueden identificar sectores prioritarios para realizar la delimitación de rondas hídricas y para ofrecer herramientas a los actores comunitarios, la municipalidad y Corpoamazonia para el manejo de los recursos naturales y los servicios ambientales asociados en el territorio.
- Mediante la interpretación de imágenes, el uso de herramientas como el Linkage Mapper y el apoyo en información tomada en campo es posible identificar potenciales áreas de conservación enfocadas en el mantenimiento de la conectividad ecológica estructural.
- Teniendo en cuenta las características de los suelos en Valparaíso —como baja fertilidad, extrema acidez, alta saturación de aluminio y fertilidad muy baja— y la ganadería como principal actividad económica, los sistemas silvopastoriles y los cultivos agroforestales pueden ser alternativas productivas que promuevan la conservación de áreas naturales que generen dinámicas económicas acordes con las características socioambientales locales, por lo cual resulta importante estimular su creación.
- La protección de áreas y coberturas naturales que son proveedoras de servicios ecosistémicos (SE) es una obligación compartida entre la sociedad civil y el Estado. Figuras de conservación privada como las Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC) son algunas de las opciones para combinar el desarrollo de procesos productivos junto con la protección de ecosistemas representativos. En este sentido, Corpoamazonia, la Alcaldía y el Concejo Municipal podrían incentivar procesos de registro de RNSC (por ej., alivios tributarios a RNSC registradas, apoyo en la generación de

planes de manejo, facilitar condiciones para el ecoturismo, gestionar recursos para proyectos de restauración en zonas focalizadas, etc.) para generar nuevas oportunidades económicas, a la vez que se favorece la conservación de áreas naturales.

## Referencias

- Calabrese, J. & Fagan, W. (2004). A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(10), 529-536. <https://doi.org/10.1890/1540-9295%282004%29002%5B0529%3AACGTCM%5D2.0.CO%3B2>
- Ciontescu, N., Ortega, D., Guerrero, J., & Zambrano, H. (2019). *Análisis de conectividad ecológica en el piedemonte andino amazónico*. United States Agency for International Development-USAID; Patrimonio Natural.
- Colorado, G., Vásquez, J., & Mazo, I. (2017). Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Santa Elena (Medellín, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 22(3), 379-393. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.63013>
- Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres (2018). Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, Municipio de Valparaíso. Gobernación del Caquetá.
- Corporación de Desarrollo del Sur de la Amazonía (Corpoamazonia). (2020a). *Municipio de Valparaíso*. [http://www.corpoamazonia.gov.co/region/Caqueta/Municipios/Caq\\_Valparaiso.html](http://www.corpoamazonia.gov.co/region/Caqueta/Municipios/Caq_Valparaiso.html)
- Corporación de Desarrollo del Sur de la Amazonía (Corpoamazonia). (2020b). *Propuesta Plan de Acción Institucional 2020-2023*. [Documento en construcción]. Corpoamazonia.
- Correa, C., Mendoza, M., & López, E. (2014). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 7-23. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000300002>
- Departamento de Caquetá, municipio de Valparaíso (2021). *Revisión y ajuste del Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT del municipio de Valparaíso, departamento de Caquetá*. [https://ampazcolombia.org/wp-content/uploads/2021/02/DTS\\_FORMULACION\\_VALPARAISO.pdf](https://ampazcolombia.org/wp-content/uploads/2021/02/DTS_FORMULACION_VALPARAISO.pdf)
- Etter, A., Andrade, Á., Saavedra, K., Amaya, P., & Arévalo, P. (2017). *Estado de los ecosistemas colombianos: una aplicación de la metodología de la lista Roja de Ecosistemas (Vers. 2.0)*. [Informe final]. Pontificia Universidad Javeriana; Conservación Internacional Colombia.
- Food And Agriculture Organization (FAO). (2020). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- García, J. & Defler, T. (2013). Análisis preliminar de la pérdida y fragmentación del hábitat de *Callicebus caquetensis*. En T. R. Defler, P. R. Stevenson, M. L. Bueno & D. C. Guzmán-Caro (eds.), *Primates Colombianos en Peligro de Extinción* (pp. 259-276). Asociación Primatológica Colombiana. [https://www.asoprimatologicacolombiana.org/uploads/1/1/4/7/11474090/garc%C3%A1da\\_defler\\_2013\\_-\\_pcpe\\_cap%C3%ADtulo\\_17.pdf](https://www.asoprimatologicacolombiana.org/uploads/1/1/4/7/11474090/garc%C3%A1da_defler_2013_-_pcpe_cap%C3%ADtulo_17.pdf)
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAVH) (2018). *Transiciones socioecológicas hacia la sostenibilidad. Gestión de la biodiversidad en los procesos de cambio en el territorio continental colombiano. Primera aproximación*. (G. Andrade, M. Chaves, G. Corzo, & C. Tapia, eds.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAVH) (2020). *Estructura ecológica principal para el ordenamiento territorial*. <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2019/cap4/404/#seccion9>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2003). *Estructura ecológica principal de Colombia. Primera aproximación*. IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2011). *Aportes del IDEAM para la definición y aplicación de la Estructura Ecológica Nacional*. IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2020, julio). *Resultados de monitoreo de deforestación 2019*. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/10182/105413996/presentacionbalanceforestacion2019/7c9323fc-d0a1-4c95-b1a1-1892b162c067>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2010). *Caquetá: características geográficas*. IGAC.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2018). *Sistema de Clasificación Geomorfológica Aplicado a los Levantamientos de Suelo*. IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2020). *Elaboración del mapa de cobertura de la tierra escala 1:25.000*. IGAC.
- McRae, B., Shah, V., Mohapatra, T., & Anantharaman, R. (2020). *Circuitscape*. <https://circuitscape.org/linkage-mapper/>
- Millenium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-Being, a Framework for Assessment*. Island Press.
- Muñoz, M., Hollaender, R., & Pineda, C. (2013). Institutional durability of payments for watershed ecosystem services: Lessons from two case studies from Colombia and Germany. *Ecosystem Services*, 6, 46-53.
- Pascual Hortal, L., Vega García, C., & Saura Martínez, S. (2006). *Metodología para la incorporación de la conectividad de los bosques en la planificación y ordenación forestal en escalas amplias*. [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos\\_forestales/article/view/16395/16238](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/16395/16238)
- Parques Nacionales Naturales de Colombia (2021). *Reservas Naturales de la Sociedad Civil*. <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap/reservas-naturales-de-la-sociedad-civil/>
- Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Service*. IPBES Secretariat. [https://www.ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes\\_global\\_assessment\\_report\\_summary\\_for\\_policymakers\\_es.pdf](https://www.ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_es.pdf)
- Taylor, P., Fahrig, L., & With, K. (2006). Landscape connectivity: A return to basics. In K. R. Crooks & M. Sanjayan (eds.), *Connectivity Conservation* (pp. 29-43). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754821>
- Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) (2021, septiembre 9). *Maestría en Geografía, Convenio UPTC-IGAC*. [http://www.uptc.edu.co/facultades/f\\_educacion/maestria/geograf/inf\\_adicional/](http://www.uptc.edu.co/facultades/f_educacion/maestria/geograf/inf_adicional/)
- Vergara, L., Ciontescu, N., & Barrera, J. (2019). *Análisis de conectividad a escala predial con enfoque de paisaje*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.