

**Análisis de Fragmentación y Conectividad Estructural del Paisaje en la Cuenca  
Hidrográfica del Río Calenturitas, Departamento del Cesar-Colombia**



**Estudiante: Mercys Y. Cabezas Mesias**

**Tutor Asesor: Esp. M. Sc. Paulo German García Murillo**

**Trabajo de Grado para Obtener el Título de  
Especialista en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas**

**Universidad Santo Tomás  
Facultad de Ciencias y Tecnologías  
Administración Ambiental y de los Recursos Naturales**

**Octubre, 2020.**

## **DEDICATORIA**

A mis sobrinos Stephany y Eidelbert.

*«El éxito en la vida no se mide por lo que logras,  
sino por los obstáculos que superas».*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser mi fortaleza, refugio, escudo y esperanza. Por haberme dado el conocimiento para hacer este sueño realidad.

A mis padres, hermanas y mis sobrinos por haberme apoyado y motivado siempre a seguir adelante a pesar de las dificultades.

A Elina Santo Silva por apoyarme en el inicio este proyecto y a Claudia C. Ramírez por la motivación y paciencia, imprescindible para llevar a cabo esta labor.

A Roque V. Hernández por compartir y enseñarme su conocimiento en los Sistemas de Información Geográficos (SIG) —después de tantos meses y no sé cuántas horas de espera fue posible modelar los enlaces—.

## RESUMEN

La cuenca del río Calenturitas se localiza en el departamento del Cesar, Colombia, específicamente hacia el costado oeste de la serranía del Perijá (límite geográfico con Venezuela). Sus aguas convergen en la cuenca del río Cesar, confiriendo unas características biofísicas únicas como lo son el bosque seco Tropical (bs-T) y las formaciones vegetales subandina y andina. Dichos ecosistemas, a través del tiempo, han sufrido degradaciones causadas por la deforestación, fragmentación del paisaje y el aislamiento del hábitat, asociadas principalmente a la actividad agropecuaria, la explotación minera (carbón), los cultivos de palma africana y el aumento del tejido urbano.

El objetivo de esta investigación es caracterizar y analizar la fragmentación estructural del paisaje. Se emplean métricas no espaciales y espaciales, identificando las rutas de conectividad estructural más cortas (baja restricción) para el desplazamiento de organismos, concretamente entre parches de áreas boscosas y seminaturales. Las «unidades de cobertura de la tierra», vistas como categoría, son fundamentales para llevar a cabo este estudio. Dichas unidades fueron suministradas por la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR) en formato GDB de ESRI (1:25.000). La configuración del paisaje se ha realizado empleando el software FRAGSTATS versión 4.2 (build 4.2.1.603), rasterizando los datos vectoriales a un tamaño de píxel de 5 m x 5 m, mediante la herramienta Analysis Tools (Proximity-Bath) en Arcgis (10.5). En el modelamiento de las rutas de conectividad fue imperativo emplear la extensión de ArcGIS-Linkage mapper, realizando un mapa de resistencia para todas las coberturas, asignando un peso de bajo (cero) y alto costo de conectividad (100).

Los resultados demuestran que el paisaje corresponde al tipo de alteración «fragmentado», de acuerdo con la clasificación establecida por McIntyre y Hobbs (1999). Asimismo, se caracteriza por poseer fragmentos elongados e irregulares, aumentado la longitud de los bordes. De ahí que los parches sean menos compactos. De las 257 rutas de conectividad, 108 corresponden a la clase bosque fragmentado, seguido de la vegetación secundaria o en transición (66), pasto arbolado (44), bosque denso (23) y bosque de galería y/o ripario (16). El desplazamiento de un organismo entre parches genera en promedio un costo total acumulado de 8,54 km (CW\_Dist: 0,03 km – 65,30 km) a lo largo de ruta de menor costo.

**Palabras clave:** cuenca, ecosistema, paisaje y conectividad.

## **Abstract**

The Calenturitas river watershed is located in the department of Cesar, Colombia, towards the west side of the Serranía del Perijá (geographical limit with Venezuela). Its waters converge in the ditch of the Cesar river, conferring unique biophysical characteristics such as the Tropical dry forest (bs-T) and the sub-andean and andean plant formations. However, these ecosystems have historically suffered degradations caused by deforestation, fragmentation of the landscape and habitat isolation. This is mainly associated with agricultural activities as mining (coal), cultivation of African palm and the increase of the urban fabric.

This work pursues characterize and analyze the structural fragmentation of the landscape using non-spatial and spatial metrics, identifying the shortest structural connectivity routes (low restriction) for the movement of organisms between patches of forested and semi-natural areas. For this, the fundamental element was the land cover units provided by the Cesar Regional Autonomous Corporation (CORPOCESAR) in ESRI's GDB format (1: 25,000). The configuration of the landscape was made using the FRAGSTATS version 4.2 software (build 4.2.1.603), rasterizing the vector data at a pixel size of 5 m x 5 m, using the Analysis Tools tool (Proximity-Bacth) in Arcgis (10.5). In the modeling of the connectivity routes, the ArcGIS-Linkage mapper extension was implemented, making a resistance map for all the coverages, assigned a weight of low (zero) and high cost of connectivity (100).

The results show that the landscape corresponds to the “fragmented” type of alteration, according to the classification established by McIntyre and Hobbs (1999). Likewise, it is characterized by having elongated and irregular fragments, increasing the length of the edges

making the patches less compact. Of the 257 connectivity routes, 108 correspond to the fragmented forest class, followed by secondary or transitional vegetation (66), wooded grass (44), dense forest (23) and gallery and/or riparian forest (16). Moving an organism between patches generates on average an accumulated total cost of 8.54 km (CW\_Dist: 0.03 km - 65.30 km) along the least cost route.

**Key words:** watershed, ecosystem, landscape and connectivity.

## Tabla de contenido

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Introducción .....             | 1  |
| Antecedentes .....             | 6  |
| Formulación del Problema ..... | 10 |
| Justificación.....             | 12 |
| Objetivos .....                | 15 |
| Objetivo General .....         | 15 |
| Objetivos Específicos .....    | 15 |
| Marco Teórico .....            | 16 |
| Marco de Referencia .....      | 18 |
| Marco Legal .....              | 30 |
| Marco Conceptual .....         | 33 |
| Paisaje .....                  | 33 |
| Ecología del Paisaje .....     | 34 |
| Fragmentación del Paisaje..... | 35 |
| Conectividad Ecológica .....   | 38 |
| Estructuras del Paisaje.....   | 40 |
| Análisis del Paisaje .....     | 43 |
| Composición. ....              | 43 |
| Forma. ....                    | 44 |
| Configuración.....             | 44 |



|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Bosque Seco Tropical .....                                                                               | 44  |
| Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra (CORINE Land Cover) .....                                    | 46  |
| Metodología .....                                                                                        | 47  |
| Definición del Área de Estudio e Importancia Ambiental .....                                             | 48  |
| Recopilación de Información .....                                                                        | 50  |
| Integración y Revisión de Información en SIG Respecto a las Unidades de Coberturas de la<br>Tierra ..... | 53  |
| Cálculo de Métricas del Paisaje .....                                                                    | 53  |
| Identificación de Áreas Núcleo y Rutas de Conectividad.....                                              | 55  |
| Resultados .....                                                                                         | 60  |
| Conectividad Estructural de la Cuenca del Río Calenturitas .....                                         | 60  |
| Rutas de Conectividad Estructural en la Cuenca del Río Calenturitas .....                                | 70  |
| Discusión.....                                                                                           | 80  |
| Conclusiones .....                                                                                       | 83  |
| Recomendaciones.....                                                                                     | 84  |
| Bibliografía .....                                                                                       | 85  |
| Anexo .....                                                                                              | 100 |

## Lista de tablas

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Especies de Flora y Fauna Silvestre Bajo Algún Grado de Amenaza, Vedadas o Endémicas Presentes en la Cuenca del Río Calenturitas .....                  | 23 |
| <b>Tabla 2</b> Tipos y Grados de Alteración de los Paisajes .....                                                                                                      | 36 |
| <b>Tabla 3</b> Coberturas de la Tierra Presentes en la Cuenca del Río Calenturitas .....                                                                               | 50 |
| <b>Tabla 4</b> Métricas Evaluadas en la Cuenca del río Calenturitas.....                                                                                               | 53 |
| <b>Tabla 5</b> Categorías de Fragmentación, Alternativas Implementadas en SAGA-GIS .....                                                                               | 56 |
| <b>Tabla 6</b> Peso de Resistencia por Unidad de Cobertura .....                                                                                                       | 58 |
| <b>Tabla 7</b> Patrón de Paisaje Presente en la Cuenca del Río Calenturitas.....                                                                                       | 60 |
| <b>Tabla 8</b> Índice de Composición del Paisaje en la Cuenca del Río Calenturitas.....                                                                                | 63 |
| <b>Tabla 9</b> Índice de Configuración del Paisaje en la Cuenca del Río Calenturitas.....                                                                              | 66 |
| <b>Tabla 10</b> Índice de Forma del Paisaje en la Cuenca del Río Calenturitas .....                                                                                    | 67 |
| <b>Tabla 11</b> Métricas de Área y Borde en la Cuenca del Río Calenturitas.....                                                                                        | 69 |
| <b>Tabla 12</b> Métricas de Área Central en la Cuenca del Río Calenturitas.....                                                                                        | 69 |
| <b>Tabla 13</b> Síntesis de las Categorías de Fragmentación a Nivel de Clase para Bosques y Áreas Seminaturales y Pastos Arbolados – Cuenca del Río Calenturitas ..... | 71 |

## Lista de figuras

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Localización General Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000).....                                                                                | 20 |
| <b>Figura 2.</b> Formaciones Vegetales Presentes en la Cuenca del Río Calenturitas.....                                                                                | 21 |
| <b>Figura 3.</b> Unidades de Cobertura de la Tierra en la Cuenca del Río Calenturitas. ....                                                                            | 22 |
| <b>Figura 4.</b> Estados de Alteración del Paisaje.....                                                                                                                | 37 |
| <b>Figura 5.</b> Procesos de Fragmentación del Hábitat. ....                                                                                                           | 38 |
| <b>Figura 6.</b> Elementos del Paisaje.....                                                                                                                            | 40 |
| <b>Figura 7.</b> Etapas Metodológicas Establecidas.....                                                                                                                | 47 |
| <b>Figura 8.</b> Localización del Área de Estudio – Cuenca del Río Calenturitas.....                                                                                   | 49 |
| <b>Figura 9.</b> Categorías de Fragmentación del Bosque. ....                                                                                                          | 56 |
| <b>Figura 10.</b> Categoría de Fragmentación para las Clases Bosque de Galería y/o Ripario y Bosque<br>Denso – Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000). ....      | 72 |
| <b>Figura 11.</b> Categoría de Fragmentación Para las Clases Bosque Fragmentado y Pasto Arbolado –<br>Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000).....                | 73 |
| <b>Figura 12.</b> Categoría de Fragmentación Para la Clase Vegetación Secundaria o en Transición –<br>Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000).....                | 74 |
| <b>Figura 13.</b> Número de Rutas de Conectividad Estructural por Clase – Cuenca del Río<br>Calenturitas. ....                                                         | 75 |
| <b>Figura 14.</b> Rutas de Conectividad Estructural Para la Clase Bosque de Galería y/o Ripario y<br>Bosque Denso – Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000). .... | 77 |
| <b>Figura 15.</b> Rutas de Conectividad Estructural para la Clase Bosque Fragmentado y Pasto<br>Arbolado – Cuenca del río Calenturitas (esc. 1: 25.000).....           | 78 |

**Figura 16.** Rutas de Conectividad Estructural para la Clase Vegetación Secundaria Alta –

Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000)..... 79

**Listado de anexos**

Anexo 1. Estadísticas de Distancia y Superficie Ponderada por Costo para los Enlaces en la

Cuenca del Río Calenturitas..... 100

## **Introducción**

Las cuencas hidrográficas son reconocidas como la unidad lógica territorial más adecuada para la gestión del recurso hídrico, planificación y gestión territorial. Fundamentalmente por ser el espacio donde interactúan en un proceso permanente y dinámico el agua con los sistemas físicos (recursos naturales), bióticos (flora y fauna) y antropogénicos (socioeconómicos, culturales e institucionales). Por lo que se infiere que, de manera integral, se puede comprender la realidad de un territorio. También se convierte en el escenario donde se evidencia con mayor claridad la dinámica de transformación del paisaje y la pérdida de conectividad entre ecosistemas naturales (Gomes De Azevedo, Gomes, & Bruck de Moraes, 2016, pág. 1). Dicha modificación está enmarcada en los patrones de uso del suelo y cambio de las coberturas de la tierra producto de las diferentes actividades. Por ende, se genera una matriz espacial de parches o relictos de bosques producto de los procesos de fragmentación en los diferentes ecosistemas y, como es de esperarse, en la biodiversidad que alberga este espacio (Botache, Aguilar, & Chaves, 2011).

La alteración y cambios de los patrones espaciales (transformación del paisaje) en ecosistemas terrestres son continuos y dinámicos, por lo que afectan y amenazan la biodiversidad de un lugar. Las acciones antrópicas o perturbaciones exógenas —expansión de la frontera agrícola, desarrollo urbano, infraestructura vial, industrial, entre otras— y en menor grado las perturbaciones naturales o endógenas —incendios naturales, tormentas eléctricas y deslizamiento de tierra— son las principales causantes en el aumento de la fragmentación y disminución de la conectividad en un paisaje.

La ‘fragmentación’ se define como la ruptura progresiva de un hábitat o de un tipo de tierra en parcelas más pequeñas. También como un conjunto de fragmentos aislados y de menor tamaño en los que algunos remanentes del bosque natural quedan inmersos en una matriz de hábitat transformada y, por lo tanto, cualitativamente muy diferente al original (Valdés, 2011); mientras que, la ‘conectividad’ es la medida en la que el paisaje impide o facilita el movimiento entre los elementos que lo componen (Herrera & Díaz, 2013). Se consideran dos tipos de conectividad, a saber, la estructural y la funcional. La primera se refiere a las relaciones de continuidad y adyacencia entre los fragmentos de un tipo de cobertura (conectancia) y la segunda a la continuidad de los flujos ecológicos que se dan a través del paisaje.

En este sentido, la fragmentación implica una modificación intensa del territorio, lo que conlleva a una pérdida importante de hábitats, alterando los flujos naturales de materia y energía, así como al aislamiento y degradación del ecosistema (Didham & Ewers, 2006); además, se determina disminución o incluso extinción de especies correspondientes a la flora y la fauna.

Los efectos de la fragmentación del hábitats sobre alguna (s) especie (s) concreta (s) y sobre la biodiversidad se puede enmarcar en tres (3) tipos: 1) reducción en el tamaño de los fragmentos o parches de hábitats, resaltando como una de las principales consecuencias que un parche de menor tamaño tiene menos recursos disponible para satisfacer las necesidades vitales de las especies (menos recurso para su alimentación); 2) aislamiento de los parches., es decir, se aumenta la distancia entre los parches, separados —por lo general— por coberturas antropizadas (territorios artificializados, agrícolas) y, por último, 3) el aumento del efecto de borde, que crea una banda perimetral de hábitat con condiciones adversas para las especies allí acantonadas. Lo anterior debido a factores físicos (condiciones microclimáticas: aumento de la insolación,

intensidad lumínica, evaporación), y bióticos (polinización, dispersión de semillas, incremento de la depredación en los bordes de los fragmentos debido a un aumento de los depredadores generalistas), (Santos J. , 2006).

Los corredores ecológicos son considerados como espacios cuyo fin es proporcionar conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitats (naturales o modificados). La finalidad es mitigar los impactos negativos provocados por la fragmentación de los hábitats y asegurar el mantenimiento de la biodiversidad y de los procesos ecológicos y evolutivos (Conrad, Gomes, Jan van Hoeve, & Ashish, 2011). Estas áreas —corredores ecológicos— se han recomendado como el medio principal para conectar poblaciones aisladas (Rosenberg, Noon, & Meslow, 1997; Fischer & Lindenayer, 2007).

Colombia, pese a reconocerse como uno de los doce países con mayor diversidad biológica en el mundo (Rudas, y otros, 2007), muestra cifras significativas de deforestación, actividad que aumenta la fragmentación de los bosques (Samsuri, Jaya, Kusmana, & Murti Laksono, 2014). De acuerdo con el IDEAM (2015) el país reportaba 124,05 hectáreas (ha) afectadas por las diferentes causas de deforestación; la región con mayor pérdida de bosque ha sido el Caribe con 16.785 ha. La superficie deforestada para dicho período es equivalente al 1 % de pérdida de la cobertura boscosa total de la región; implicando la pérdida de áreas correspondientes al bosque seco tropical.

En este sentido, se estima que las coberturas naturales y seminaturales características del bosque seco ubicado en la cuenca hidrográfica del río Cesar (801.500,79 ha), donde convergen las aguas del río Calenturitas, han disminuido en un 70 % en los últimos 29 años, específicamente entre 1986 y 2015 (Camargo, 2017). Este cambio se ha dado principalmente por

la transformación a pastos con un 54,68 % (308.488,12 ha), seguido por cultivos con 39,67 % (223.839,36 ha), cuerpos de agua y áreas húmedas con 4,71 % (26.594,82 ha), minería a cielo abierto con el 0,44% (2.486,24 ha), entre otros.

El 69,8 % del territorio conformado por la cuenca del río Calenturitas se encuentra destinado para la conservación y protección ambiental (Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016), de los cuales el 51,5 % corresponde a áreas de protección y tan solo el 18,2 % se asignan como áreas de restauración ecológica; donde se destaca la presencia de ecosistemas estratégicos como la ciénaga La Pachita, formaciones vegetales características del bosque seco tropical y bosque húmedo (subandino y andino). De igual manera, de esta unidad territorial dependen los acueductos de los municipios de Becerril, La Jagua de Ibirico y El Paso. La localización de las respectivas concesiones de captación de agua se encuentra sobre las corrientes Tucuy-Sororia y Socomba-Maracas.

Por consiguiente, a través del análisis correspondiente al paisaje de la cuenca del río Calenturitas se busca identificar y entender su dinámica en término no espacial y espacial (composición, forma y configuración), además, de su conectividad estructural. Los anteriores conceptos se esclarecen a partir de la interpretación de las magnitudes métricas del paisaje (parche, clases y paisaje) y de la identificación de posibles rutas o redes de conectividad estructural (conectancia) basadas en las coberturas de bosques y áreas seminaturales, así como pastos arbolados<sup>1</sup>. Razón por la cual, se pretende contribuir con la planificación ambiental de

---

<sup>1</sup> Muchos de los árboles presentes en la cobertura de los pastos arbolados son remanentes de bosques naturales, por lo tanto, esta cobertura se considera de gran importancia para la restauración de paisajes fragmentos, ya que guarda



dicha unidad territorial, que se caracteriza principalmente por la formación vegetal del bosque seco tropical (bs-T) y por la conexión con otros ecosistemas como la serranía de Perijá, la cual es dominada por las formaciones vegetales subandina y andina (Rangel, La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional, 2015).

---

ciertas condiciones a nivel de composición y estructura de lo que una vez fue bosque. Adiciona, también, complejidad estructural y florística a los paisajes agropecuarios. Por ello, los pastos arbolados se consideran como hábitats o corredores para especies de fauna silvestre, en especial para las aves (importantes como sitios de anidación, alimentación y descanso de aves residentes como migratorias) y la flora (la regeneración natural bajo árboles aislados en potreros es cinco veces más abundante y tres veces más rica especies presentes en espacios abiertos sin cobertura arbórea).

## **Antecedentes**

El análisis de fragmentación y conectividad ecológica está fundamentado en la teoría de «biogeografía de islas» de MacArthur y Wilson (García D. , 2011), la cual demuestra, entre otros postulados, que los declives de las poblaciones y la pérdida de especies en paisajes donde los hábitats originales cada vez son más escasos y aislados entre sí<sup>2</sup>. Bajo este concepto se han desarrollado un sin número de investigaciones y publicaciones, enfocadas en la fauna silvestre (Andren, 1994; Prugh, Hodges, Sinclair, & Brashares, 2008; Santos & Kersten, 2014) y marina (Ricart, Dalmau, Pérez, & Romero, 2015); la flora (Esseen & Renhorn, 1998; Viña & Estevez, 2013; Bizama, y otros, 2011; Peña, y otros, 2006); la relación directa entre estos dos componentes (Pardini, 2004; García & Santos, 2014; Andresen, 2003) y, por último, la mirada antropogénica (Burgess, 1988).

En el ámbito regional (Caribe colombiano) los estudios relacionados con la conectividad estructural y configuración del paisaje se centran en el bosque seco tropical (bs-T), por ser un ecosistema de gran importancia y de amplia distribución, debido la intensa transformación que ocasiona pérdida y fragmentación del medio. La Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible –FCDS (2013), con el apoyo de USAID<sup>3</sup>, desarrollaron el análisis de conectividad

---

<sup>2</sup> Teoría Metapoblaciones de Levins (1969), expresa que las poblaciones son entidades dinámicas desigualmente distribuidas en el espacio en función de la disponibilidad de hábitats de calidad variable, donde las poblaciones locales son vulnerables a la extinción, pero los hábitats liberados pueden ser recolonizados por otras poblaciones cercanas, manteniéndose la metapoblación.

<sup>3</sup> Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional-USAID

entre los ecosistemas del bosque seco denso presente en cuatro zonas del Caribe colombiano: i) Atlántico – Bolívar, ii) Montes de María, iii) río Gaira y iv) Paladines – Río Seco. De manera puntual, se puede destacar que las unidades de cobertura conformadas por bosque y áreas seminaturales presentan un porcentaje bajo en relación con todo el paisaje (áreas de estudios), principalmente por la alta ocupación de coberturas antrópicas (mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales, pastos limpios, enmalezados, y mosaicos de pastos y cultivos). Es por esto que se evidencia una matriz con gran cantidad de fragmentos (parches) de tamaños muy reducidos, los cuales afectan de manera significativa el flujo de especies, salvo aquellas que tienen capacidad de dispersión amplia (García-Murillo, 2019).

López, A (2010) estimó el conflicto de uso de la tierra por dinámica de cultivos de palma africana a través del uso de sensores remotos, actividad que desarrolló entre los años 2001 a 2007 en el departamento del Cesar. Esta investigación indicó que en los municipios donde el cultivo de palma ha aumentado, la fragmentación de los bosques en crecimiento (vegetación herbácea y/o arbustiva) es mayor en comparación con los bosques maduros, e igualmente sus áreas y conexión entre parches son mínimas. Asimismo, determinó que, en los municipios de la Paz, Agustín Codazzi y San Martín, la fragmentación es considerable porque la mayor parte de los parches son pequeños (menor al 1 % de sus territorios) y con baja conectividad.

León (2013) evaluó el efecto de la fragmentación del hábitat sobre la interacción colibrí-flor, en tres remanentes del bosque seco tropical en el municipio de Chimichagua-Cesar, concluyendo que el tamaño, la forma y la distancia entre los fragmentos son factores relevantes en el microclima. Es así que hay diferencias significativas en cada remanente, lo cual influye en el recurso néctar y en la presencia de las especies tanto vegetales como de colibríes.

Galván Ballut-Dajus, & De la Ossa (2015) caracterizaron la fragmentación actual que muestra el bosque seco tropical relictual del arroyo Pechelín en los Montes de María. Como resultado encontraron una alta fragmentación y, conforme con el índice de grado de fragmentación ( $F=0,355$ ), la zona boscosa se encuentra en la categoría de insularizado. En definitiva, determinaron la existencia de una matriz desventajosa para el bosque remanente en estudio, debido a un uso del suelo en el que prima el factor productivo agropecuario. Asimismo, los autores evaluaron la influencia de la fragmentación del bosque seco tropical en el uso del estrato vertical, la densidad, estructura y composición de grupo de tres especies de primates (*Alouatta seniculus*, *Cebus capucinus* y *Saguinus Oedipus*) para la misma área de estudio. De modo que el estado actual del bosque está teniendo inferencia directa sobre los aspectos ecológicos de los primates objeto de estudio, produciendo modificación o destrucción de su hábitat natural causando gradual inhabilidad para habitar en parches, lo que conduce al aislamiento poblacional, gradual descenso de la densidad y desequilibrio nocivo en la composición de grupo.

Valenzuela (2016) analizó la fragmentación de coberturas naturales producida por la minería a cielo abierto entre los años 1989 a 2015 en el municipio La Jagua de Ibirico, Cesar; precisó que para los últimos 26 años las áreas de explotación minera han aumentado once veces su tamaño con relación a las zonas agropecuarias; el 11,33 % la actividad minera se estableció en áreas donde existía bosques de galería y en un 8,99 % sobre los bosques abiertos.

López F. (2017) determinó el estado actual de los ecosistemas naturales en relación con los procesos de fragmentación y conectividad ecológica del paisaje complejo lagunar de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), identificando que el área se encuentra fragmentada y las áreas núcleo para ecosistemas arbolados no alcanzan a representar el 1 % del

área de estudio. Es por esto que diseñó rutas como primer insumo para la conectividad estructural de este ecosistema lagunar, especialmente entre fragmentos arbolados (García-Murillo, 2018a).

En el ámbito nacional se destaca el estudio realizado por Botache, Gómez, & Valderrama, (2011), quienes analizaron el grado de fragmentación de los bosques naturales presentes en diez cuencas hidrográficas de la zona norte del departamento del Tolima. Los autores reportaron que los bosques suman 91.376 ha, respecto al área total de las diez cuencas (793.472 ha). La densidad de bosques indica o caracteriza una matriz espacial fragmentada y la conectividad espacial indica que son vulnerables a una mayor fragmentación ante los efectos causados por el uso actual del suelo circundante a ellos.

## **Formulación del Problema**

Las cuencas hidrográficas al ser consideradas como una óptima unidad de gestión y planificación territorial son de gran importancia para conocer, comprender, describir, interpretar y analizar la dinámica espacial de los patrones de cobertura vegetal establecidos en dicho espacio. Matteucci & Silva (2004), señalan que la cuantificación del patrón espacial adquiere importancia porque permite inferir los tipos de procesos ecológicos o económicos, su operatividad y el grado de eficacia en el diseño de un territorio.

Desde la ecología del paisaje, se puede adquirir dicho conocimiento, fundamentalmente porque analiza y enfatiza la interacción entre el patrón espacial y el proceso ecológico, es decir, las causas y consecuencias de la heterogeneidad espacial a través de diferentes escalas (Turner M. , 2001; Armenteras & Vargas, 2016), determinando que cuando se observa o analiza un paisaje se distingue una composición, configuración (patrón) y una función (proceso) espacial de los elementos.

Se atribuye a las acciones antrópicas relacionadas con las actividades agropecuarias (transformación en el uso del suelo: pérdida progresiva del hábitat, subdivisión y aislamiento de fragmentos, aumento de la distancia entre fragmentos), asentamientos humanos y extracción de recursos, desarrollo industrial, como las principales causantes de la reducción y fragmentación (variación en la composición y configuración del paisaje) de los hábitats naturales o seminaturales (Lavertry & Gibbs, 2007). Se destaca que la agricultura es la principal causa de pérdida y fragmentación de los ecosistemas en la mayor parte del mundo. Dichas acciones conllevan a un cambio en el uso del suelo, estableciendo un mosaico de diferentes tipos muy

diferente al original (García D. , 2011) y generando como principales consecuencias a nivel de paisaje la pérdida de hábitats, subdivisión, aislamiento y perímetro/superficie, así como efectos biológicos —pérdida de individuos, limitación a la dispersión, efecto de borde, disminución de la conectividad, entre otros—.

De acuerdo con la Corporación Autónoma Regional del Cesar (2016), la cuenca del río Calenturitas tiene un paisaje bastante homogéneo. Los pastos limpios ocupan el 34,72 % (45.335,128 ha) con relación al área total (123,838.23 ha) y tan solo el 38,63 % (37.584,38 ha) de esta se encuentra cubierta por unidades de bosques y áreas seminaturales. De manera que existe una matriz antropizada por acciones transformadoras, principalmente por áreas dedicadas al pastoreo, cultivos (palma africana, café), extracción de material para la construcción de vivienda rural, explotación de carbón (4.897,83 ha - 3,80 %), entre otros.

Desde esta perspectiva, el presente trabajo considera importante dar a conocer y analizar la composición y configuración (o estructura) espacial de los elementos presentes en la cuenca del río Calenturitas. Además, de identificar posibles rutas de conectividad estructural que contribuyan a la conservación, planeación y gestión de los recursos naturales presentes en dicho territorio. Lo anterior gracias al empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten calcular los atributos espaciales del paisaje y sus componentes.

### **Justificación**

La fragmentación del hábitat puede definirse como el proceso dinámico mediante el cual se subdividen las unidades de coberturas (bosques y áreas seminaturales) comparativamente homogéneas con el hábitat natural en fracciones progresivamente más pequeñas y aisladas. Dicho proceso de alteración paisajística puede dividirse en diferentes componentes: 1) la pérdida progresiva de superficie de hábitat original; 2) la subdivisión creciente del hábitat remanente; y 3) el incremento de la relación perímetro/superficie en dicho hábitat (Bennett, 1998; Reed, 1995); donde los fragmentos difieren en tamaño y configuración.

Dentro de las estrategias que se han priorizado en los últimos años para contrarrestar este proceso, se destaca la identificación y posterior materialización de rutas de conectividad (corredores); aludiendo que estas vías de conexión ecológica aumentan el movimiento entre fragmentos para especies sensibles. Esto permite un flujo de genes entre poblaciones, proporcionando hábitats adicionales y áreas de refugio (Machtans, Villard, & Hannon, 1996; Haddad, Rosenberg, & Noon, 1999; Debinski & Holt, 2000), aumento de la inmigración y recolonización y disminución de las tasas de extinción (Haddad, Rosenberg, & Noon, 1999; Bolger, Scott, & Rotenberry, 2001).



En Colombia, los estudios que analizan la fragmentación y la conectividad estructural del paisaje, específicamente los que abarcan el total de una cuenca hidrográfica son muy pocos, al igual que en cuencas caracterizadas por la formación vegetal del bosque seco tropical (bs-T)<sup>4</sup>.

Si bien los POMCA<sup>5</sup> dentro de la etapa de diagnóstico ambiental incluyen el índice de fragmentación (IF), el estado actual de las coberturas naturales y determinan una cuantificación en el grado de fragmentación (mínima, media, moderada, fuerte y extrema) de la cuenca, es necesario conocer el estado a nivel estructural del paisaje (fragmentación de hábitat) y conectancia (conexiones estructurales entre elementos) en dichas unidades territoriales.

De acuerdo con el POMCA (Resolución 0629 del 25 de junio de 2018, emitida por CORPOCESAR), la cuenca del río Calenturitas se caracteriza por tener el 61,17 % (76363,83 ha) de su área bajo condiciones climáticas de bosque seco tropical; el 14,02 % (17499,87 ha) en bosque muy húmedo premontano y el 3,64 % (4538,79 ha) en bosque muy húmedo montano bajo; variables que determinan su importancia ambiental y ecosistémica. Del mismo modo, la

---

<sup>4</sup> En la actualidad el bs-T se constituye en uno de los ecosistemas más amenazados en el Neotrópico (Janzen, 1983). En Colombia, solo queda aproximadamente un 8 % del área original de bosques secos, y tan solo el 5 % está protegido en reservas; asimismo, el 65 % de las tierras que han sido deforestadas y fueron bosque seco presentan desertificación (Pizano & García, 2014).

<sup>5</sup> Planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA). Es el instrumento a través del cual se realiza la planeación del adecuado uso del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna; y el manejo de la cuenca, entendido como la ejecución de obras y tratamientos, con el propósito de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y el aprovechamiento económico de tales recursos, así como la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico.

cuenca tiene 42.912,38 ha declaradas reserva forestal de la serranía de los Motilones o de Perijá - Ley segunda (Congreso de la República, 1959).

La tasa de cambio en coberturas naturales (bosque denso, abierto, fragmentado, y bosque de galería y ripario) se encuentra de moderadamente alta a muy alta. El índice de vegetación remanente (IVR) muestra unas coberturas completamente transformadas a muy transformadas, y el índice de fragmentación (IF) enseña una cuenca con alto grado de alteración paisajística (coberturas con moderada, fuerte y extrema fragmentación). Estas condiciones se evidencian principalmente en la parte alta de la cuenca (subcuencas: río Maracas alto, quebrada Socomba, arroyo Batatal, río Tucuy alto, y río Sosoria) y obedecen a las intervenciones realizadas por actividades agroindustriales como cultivos de café y la expansión de la ganadería hacia la serranía de Perijá.

Por este motivo, el presente trabajo busca, en primer lugar, conocer el estado actual de la configuración espacial del paisaje (conectividad estructural) en la cuenca del río Calenturitas a partir de unidades de coberturas de la tierra establecidas en el POMCA (Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016); En segundo lugar, obtener áreas núcleos y hacer una aproximación de posibles rutas de conectividad como mecanismo de conservación para las poblaciones y comunidades de flora y fauna, ecosistemas (formaciones vegetales de bosques seco tropical, subandina y andina), así como los procesos ecológicos. Los resultados de este estudio servirán como un insumo para la planificación y gestión territorial, contribuyendo a minimizar y mitigar los efectos de la fragmentación a nivel local y regional (García-Murillo, 2018b).

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar el grado de la fragmentación y conectividad estructural del paisaje por medio de métodos cuantitativos en la cuenca del río Calenturitas, ubicada en el departamento del Cesar-Colombia.

### **Objetivos Específicos**

Caracterizar la estructura paisajística de la cuenca, de acuerdo con las métricas de parches, clases y paisajes, en términos no espacial y espacial (composición, forma y configuración).

Identificar alternativas de redes o rutas de conectividad ecológicas estructurales según las áreas núcleos presentes en la cuenca del río Calenturitas, con el fin de establecer una herramienta de planificación en el momento de priorizar áreas para la conservación.

### **Marco Teórico**

El proceso de fragmentación resulta de la transformación de una gran sección de hábitat relativamente homogéneo en parches más pequeños de una composición heterogénea (Fahrig, 2003; Reeds, Barnard, & Baker, 1996; Kelley, 2005). Es importante mencionar que los hábitats más pequeños están típicamente aislados entre sí por una matriz que difiere mucho en estructura, tamaño, complejidad y disponibilidad de recursos con respecto al original (Kelley, 2005).

La columna vertebral sobre la cual se sustenta, en gran medida, el estudio de fragmentación y conectividad del hábitat corresponde a dos teorías biogeográficas: la «teoría de la biogeografía de islas» (Mc Arthur & Wilson, 1967) y la «teoría de la metapoblación» (Hanski & Ovaskainen, 2003)

En la teoría de la biogeografía de islas es posible enfatizar dos patrones generales (espaciales y funcionales): las tendencias para que el número de especies aumente con el área de la isla (fragmentos) y disminuya con el aislamiento de esta. Con la expansión de tal teoría sobre la variedad de hábitats insulares como las cimas de montañas, lagos, cuevas o áreas protegidas, la capacidad de reducción del efecto de distancia se vuelve más realista a través de rutas o corredores ecológicos (García-Murillo, 2015). El efecto de distancia es igual al efecto de aislamiento y para los hábitats de los fragmentos este fenómeno puede minimizarse dejando un corredor de hábitat adecuado que pueda facilitar las migraciones de especies (Kelley, 2005).

La teoría de la metapoblación: establece que, si bien las poblaciones locales de organismos experimentan períodos de colonización y eventos de extinción, la metapoblación en su conjunto continúa prosperando. Para ser considerada una metapoblación, las subpoblaciones deben

permanecer interconectadas por el flujo de genes, la extinción y la recolonización (Whittaker 1998). Hay dos tipos de modelos de metapoblación, el modelo clásico y el modelo fuente-sumidero. El modelo clásico supone que todas las subpoblaciones son del mismo tamaño, mientras que el modelo fuente-sumidero supone una gran población central que persiste indefinidamente durante los períodos de extinción y recolonización experimentados por las poblaciones de sumideros más pequeños. La investigación de fragmentación del hábitat que incorpora dicho postulado generalmente se centra en la conectividad y el intercambio de individuos entre fragmentos de hábitat (Kelley, 2005).

Desde esta perspectiva, la conectividad puede verse como el grado en el cual el paisaje facilita o impide el movimiento de un organismo entre parches (Taylor, Fahrig, Henein, & Gray, 1993). Por lo tanto, conocer la dinámica espacial (estructural y funcional) de un paisaje específico (en este caso la cuenca del río Calenturitas) es un elemento clave para conservación de la biodiversidad, permitiendo desarrollar estrategias de acción para la conservación o restauración (revegetación, reforestación, rehabilitación, reconstrucción y mantenimiento de las áreas naturales) en paisajes fragmentados; aumento en el tamaño de los parches remanentes (proporcionando recursos adicionales y brindando la oportunidad de aumentar el tamaño de la población); translocación de individuos (transferencia actividad de individuos a un nuevo hábitat) e identificación de rutas de conectividad (conectar parches de hábitat aislados y ayudar a la transferencia de organismos a través de la matriz).

### **Marco de Referencia**

La cuenca hidrográfica del río Calenturitas hace parte de la cuenca del río Cesar y de la zona hidrográfica Magdalena-Cauca. Además, se encuentra ubicada en la zona del bajo Magdalena, en el departamento del Cesar, hacia el costado oeste de la serranía del Perijá o de los Motilones, en jurisdicción de los municipios de Becerril con el 62,81 % (80, 992 hectárea), La Jagua de Ibirico con un 29,73 % (30, 297 ha) y El Paso con el 7,46 % (9,609 ha) respecto al área total de la cuenca (124.838,23 ha). En relación con el área total representa el 5,85 % de lo correspondiente al departamento del Cesar, con un perímetro de 270 km (Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016).

El río Calenturitas tiene una longitud aproximada de 32 km y nace a 7 km de la cabecera municipal de Becerril, en la serranía de los Motilones o del Perijá (ubicada en el departamento del Cesar, en la zona oriental, en límites con Venezuela). Limita al norte con la cuenca hidrográfica del río Casacará (NSS – 2802-07), al sur con la cuenca hidrográfica bajo Cesar – Ciénaga Zapatosa (NSS – 2805-02) y al oriente con la serranía del Perijá (ver figura 1).

La cuenca se conforma por seis (6) subcuencas (río Maracas alto, quebrada Socomba, arroyo Batatal, ríos Tucuy Alto, Sosoria, Tucuy Bajo, Maracas y Calenturitas), distribuidas en la parte alta en la serranía del Perijá entre los 1.500 a 2.000 m s. n. m. (subcuencas río Maracas alto, quebrada Socomba, arroyo Batatal, ríos Tucuy Alto, y Maracas alto); la parte media entre los 500 y 1.500 m s. n. m. (río Sosoria, Tucuy Bajo, y Maracas) y la baja que se localiza entre los 200 y 500 m s. n. m. (río Calenturitas).

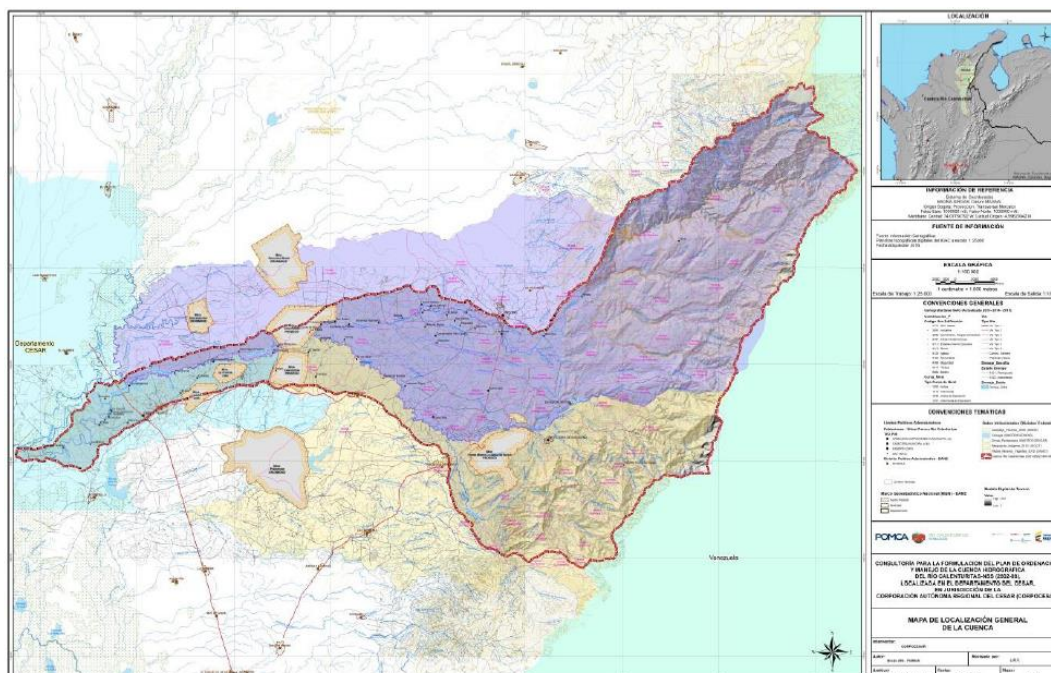
De igual manera, es importante mencionar que el río Calenturitas forma parte de un eje donde confluyen los ríos Tucuy, Maracas y por extensión el Sororia, que, a su vez, hacen parte de la subcuenca; cuyo cauce beneficia a zonas donde se encuentran grandes yacimientos de carbón con aproximadamente 4.446,25 ha (3,56 %) respecto al área total de la cuenca hidrográfica; así como cultivos permanentes (palma africana), áreas agrícolas heterogéneas y otros cultivos permanentes arbustivos.

La cuenca del río Calenturitas se caracteriza por presentar un régimen de lluvia bimodal, donde las temporadas lluviosas se presentan entre abril-mayo y septiembre-noviembre, mientras que las temporadas secas se registran entre junio-agosto y diciembre-marzo. La precipitación media anual para el mes más lluvioso (octubre) oscila entre 490,72 mm a 267,53 mm, y el de menor lluvia corresponde al mes de enero, con valores entre los 41,20 mm a 4,07 mm. Es por esto que se determina una distribución de los valores más bajos hacia el norte de la cuenca y los valores máximos al sur. El valor máximo de temperatura media se encuentra aproximadamente entre los 27 °C a 31 °C –al suroccidente– y la mínima entre los 14 °C a 18 °C –hacia el norte de la cuenca–.

Presenta tres zonas de relieve: la primera se ubica en la parte baja con un relieve plano a ligeramente plano (42 %); la segunda establecida en la parte media de la cuenca tiene un relieve variable entre ligeramente ondulado a fuertemente quebrado (37 %) y, por último, la tercera zona se ubica en la parte alta con pendientes fuertes y un relieve escarpado a muy escarpado (21,1 %)<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> POMCA, 2015

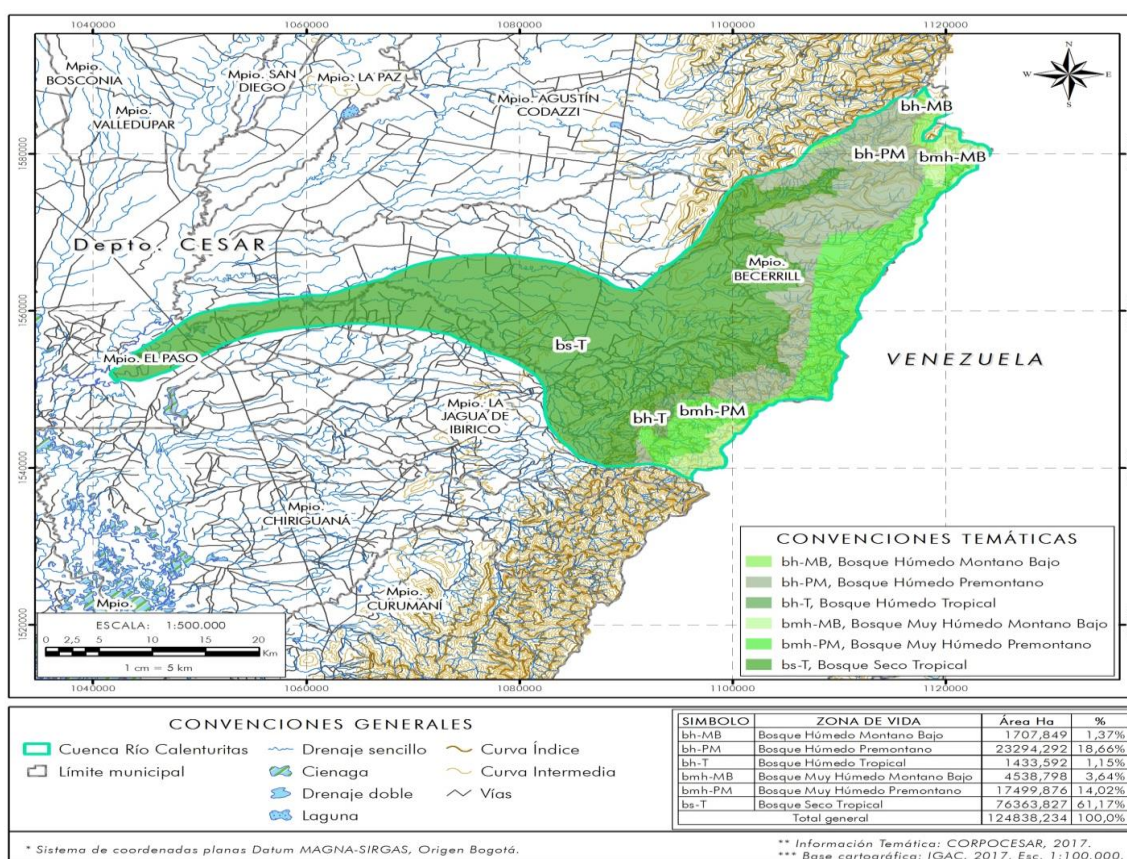


**Figura 1.** Localización General Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000). **Fuente:** POMCA río Calenturitas, 2016.

De acuerdo con la clasificación climática de Caldas-Lang (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010) este espacio geográfico se caracteriza por presentar cinco (5) tipos de clima: semihúmedo, templado semihúmedo, templado húmedo, frío húmedo y frío semihúmedo. Predomina el clima cálido semihúmedo al occidente de la cuenca y el templado semihúmedo en la zona norte y parte media baja, con presencia de algunas zonas con clima templado húmedo al sur de la cuenca y frío húmedo hacia la zona de la serranía. Estas condiciones junto con otras características físicas determinan según Holdridge (1982) que dicha espaciosidad presente seis (6) formaciones vegetales o zonas de vida (figura 2): bosque seco tropical (bs-T) con una participación del 61,17 % (76363,83 ha); bosque húmedo premontano (bh-PM) con el 18,66% (23294,29 ha); bosque muy húmedo premontano (bmh-PM) con 14,02 %



(17499,93 ha); bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) con 3,64 % (4538,79 ha), bosque húmedo montano bajo (bh-MB) con el 1,4 % (1707,85 ha) y bosque húmedo tropical (bh-T) con solo el 1,1 % (1433,59 ha), en relación con el área total de la cuenca (124,838,23 ha).

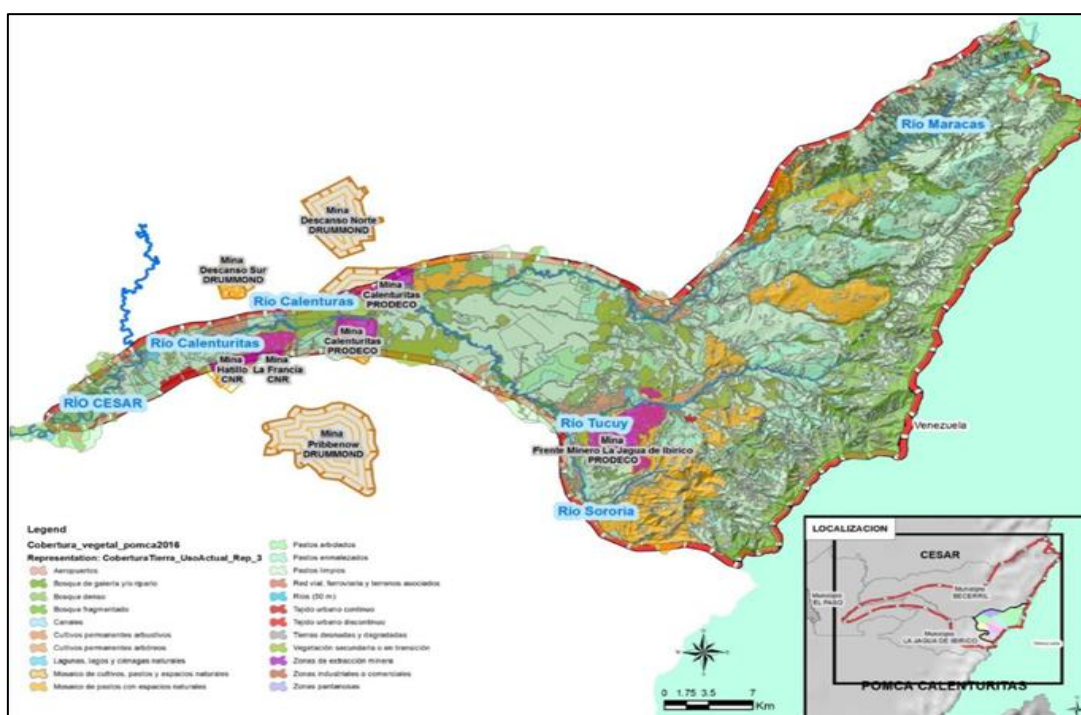


**Figura 2.** Formaciones Vegetales Presentes en la Cuenca del Río Calenturitas. Fuente:

Elaboración propia, 2018.

A nivel de cobertura de la tierra el área de interés muestra un paisaje constituido por espacios agropecuarios en un 52,49 % (65532,21 ha). El grupo correspondiente a pastos representan el 48,57 %, lo cual equivale a 60635,00 ha (pastos limpios: 40778,36 ha, pastos arbolados: 4952,77 ha y pastos enmalezados: 14903,87 ha); la palma de aceite equivale al 1,71 % (2133,51 ha); mientras que los bosques y áreas seminaturales representan el 42,17 % (52649,49 ha),

conformados por bosque fragmentado (23368,12 ha - 18,72 %), vegetación secundaria o en transición (14186,62 ha - 11,36 %), bosque de galería y/o ripario (13234,47 ha - 10,60%) y bosque denso (1684,12 ha - 1,35 %). Luego, se encuentran los espacios categorizados como territorios artificializados (zonas urbanizadas, industriales o comerciales y redes de comunicación, y de extracción minera y escombreras) con el 4,33 % (5400,91 ha), superficie de agua (ríos, lagunas, lagos y ciénagas naturales y canales) con el 0,93 % (1155,70 ha) y, por último, se encuentran las áreas húmedas (zonas pantanosas) en una extensión de 99,9 ha, ocupando tan solo el 0,08 % (figura 3).



**Figura 3.** Unidades de Cobertura de la Tierra en la Cuenca del Río Calenturitas. **Fuente:** POMCA río Calenturitas, 2016.

Pese al dominio de un paisaje donde predominan unidades de coberturas antropizadas (principalmente agrícolas), la cuenca registra especies de flora y fauna silvestre bajo algún grado de amenaza, vedadas (Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016) o con cierto grado de endemismo (ver tabla 1). Se destaca la presencia de especies como *Aspidosperma polyneuron* (carreto), *Cyathea caracasana* (helecho arbóreo), *Aniba perutilis* (comino cresco), así como *Tachiramantis douglasi* (rana de lluvia), *Dendrobates truncatus* (rana venenosa), *Chlorostilbon poortmani* (esmeralda colicorta), *Aulacorhynchus haematopygus* (toucanet), *Tapirus pinchaque* (danta), *Tremarctos ornatus* (oso de anteojos), *Panthera onca* (jagua), *Lontra longicaudis* (nutria), *Ateles hybridus* (mono araña), entre otras. Se considera, entonces, la importancia de mantener remanentes desde la parte baja hasta las zonas montañosas en la cuenca, pues de este modo se establecen ecosistemas estratégicos (García-Murillo, 2014). De ahí que sea necesaria la búsqueda de alternativas o acciones que contribuyan a la conservación y protección del medio, así como de los diferentes servicios ecosistémicos que brinda.

**Tabla 1**

*Especies de Flora y Fauna Silvestre Bajo Algún Grado de Amenaza, Vedadas o Endémicas Presentes en la Cuenca del Río Calenturitas*

| Componente | Especie                | Categoría de<br>amenaza | Veda     | Nivel de<br>endemismo |
|------------|------------------------|-------------------------|----------|-----------------------|
| Flora      | <i>Anacardium</i>      | VU                      | Nacional |                       |
|            | <i>excelsum</i>        |                         |          |                       |
|            | <i>Aspidosperma</i>    | EN                      |          |                       |
|            | <i>polyneuron</i>      |                         |          |                       |
|            | <i>Cedrela odorata</i> | EN                      |          |                       |

| Componente        | Especie                     | Categoría de<br>amenaza | Veda     | Nivel de<br>endemismo |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------|----------|-----------------------|
|                   | <i>Parinari pachyphylla</i> | EN                      |          |                       |
|                   | <i>Aniba perutilis</i>      | CR                      |          |                       |
|                   | <i>Stenocereus griseus</i>  |                         | Nacional |                       |
|                   | <i>Cyathea caracasana</i>   |                         | Nacional |                       |
|                   | <i>Astronium</i>            | NT                      |          |                       |
|                   | <i>graveolens</i>           |                         |          |                       |
|                   | <i>Bactris guineensis</i>   | NT                      |          |                       |
|                   | <i>Tabebuia rosea</i>       | NT                      |          |                       |
|                   | <i>Hura crepitans</i>       | NT                      |          |                       |
|                   | <i>Albizia saman</i>        | NT                      |          |                       |
|                   | <i>Enterolobium</i>         | NT                      |          |                       |
|                   | <i>cyclocarpum</i>          |                         |          |                       |
|                   | <i>Machaerium capote</i>    | NT                      |          |                       |
|                   | <i>Nectandra</i>            | NT                      |          |                       |
|                   | <i>turbacensis</i>          |                         |          |                       |
|                   | <i>Lecythis minor</i>       | NT                      |          | Casi endémica         |
|                   | <i>Pisonia aculeata</i>     | NT                      |          |                       |
|                   | <i>Chrysophyllum</i>        | NT                      |          |                       |
|                   | <i>cainito</i>              |                         |          |                       |
|                   | <i>Cecropia telealba</i>    |                         |          | Endémica              |
|                   | <i>Albizia niopoides</i>    | NT                      |          | Casi endémica         |
| Fauna silvestre – | <i>Prochilodus</i>          | CR                      |          |                       |
| Peces             | <i>magdalenae</i>           |                         |          |                       |

| Componente                    | Especie                       | Categoría de<br>amenaza | Veda | Nivel de<br>endemismo |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|------|-----------------------|
| Fauna silvestre –<br>Anfibios | <i>Pseudoplatystoma</i>       | CR                      |      |                       |
|                               | <i>magdaleniatum</i>          |                         |      |                       |
|                               | <i>Ageneiosus pardalis</i>    | EN                      |      |                       |
|                               | <i>Sorubim cuspicaudus</i>    | EN                      |      |                       |
|                               | <i>Hypostomus hondae</i>      | VU                      |      |                       |
|                               | <i>Plagioscion</i>            | VU                      |      |                       |
|                               | <i>surinamensis</i>           |                         |      |                       |
|                               | <i>Salminus affinis</i>       | VU                      |      |                       |
|                               | <i>Prochilodus</i>            |                         |      | Endémica              |
|                               | <i>magdalenae</i>             |                         |      |                       |
|                               | <i>Allobates ignotus</i>      |                         |      | Endémica              |
|                               | <i>Dendrobates truncatus</i>  |                         |      | Endémica              |
|                               | <i>Tachiramantis douglasi</i> | VU                      |      | Endémica              |
|                               | <i>Chlorostilbon</i>          |                         |      |                       |
|                               | <i>poortmani</i>              |                         |      | Casi endémica         |
| Fauna silvestre –<br>Aves     | <i>Picumnus</i>               |                         |      |                       |
|                               | <i>cinnamomeus</i>            |                         |      | Casi endémica         |
|                               | <i>Aulacorhynchus</i>         |                         |      |                       |
|                               | <i>haematopygus</i>           |                         |      | Casi endémica         |
|                               | <i>Synallaxis candei</i>      |                         |      | Casi endémica         |
|                               | <i>Thamnophilus</i>           |                         |      |                       |
|                               | <i>nigriceps</i>              |                         |      | Casi endémica         |
|                               | <i>Todirostrum nigriceps</i>  |                         |      | Casi endémica         |

| Componente                     | Especie                   | Categoría de<br>amenaza | Veda | Nivel de<br>endemismo |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|------|-----------------------|
| Fauna silvestre –<br>Mamíferos | <i>Pachyramphus</i>       |                         |      | Casi endémica         |
|                                | <i>homochrous</i>         |                         |      |                       |
|                                | <i>Cyanocorax affinis</i> |                         |      | Casi endémica         |
|                                | <i>Ramphocelus</i>        |                         |      | Casi endémica         |
|                                | <i>dimidiatus</i>         |                         |      |                       |
|                                | <i>Arremon schlegeli</i>  |                         |      | Casi endémica         |
|                                | <i>Chauna chavaria</i>    | VU/NT                   |      |                       |
|                                | <i>Aotus lemurinus</i>    | VU                      |      |                       |
|                                | <i>Ateles hybridus</i>    | VU                      |      |                       |
|                                | <i>Lontra longicaudis</i> | VU                      |      |                       |
|                                | <i>Myrmecophaga</i>       | VU                      |      |                       |
|                                | <i>tridactyla</i>         |                         |      |                       |
|                                | <i>Panthera onca</i>      | VU                      |      |                       |
|                                | <i>Tremarctos ornatus</i> | VU                      |      |                       |
|                                | <i>Tapirus pinchaque</i>  | EN                      |      |                       |

CR: Peligro crítico, EN: En peligro, VU: Vulnerable, NT: Casi amenazada. **Fuente:** POMCA río Calenturitas, 2016.

La cuenca ocupa áreas político-administrativas de los municipios de Becerril, La Jagua de Ibirico y El Paso. Pese a que en el sector es muy importante el sector minero, el agrícola sigue siendo relevante y sigue aumentando, principalmente en algunos productos como el maíz tradicional, el arroz riego, café, frijol, palma de aceite, cacao y aguacate. Además, se desarrollan

actividades pastoriles (Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016), caracterizadas por ser de tipo extensivo con ciclos rotativos de acuerdo con la temporada y período de lluvias.

De acuerdo con el POMCA (Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016), en la cuenca del río Calenturitas se evidencia un uso extensivo del 63 % de su territorio en actividades de pastoreo y ganadería. Sin embargo, no se desarrolla a gran escala, ya que la actividad económica principal y que promueve el desarrollo económico de la zona es la minería (carbón), para la cual se destinan 3,75 ha del área de la cuenca. Es decir, que la estructura económica de la cuenca se constituye por las actividades agropecuaria y minera; no obstante, se resalta que el 29,23% del área de la cuenca corresponde a zonas forestales y de protección ambiental (García-Murillo, 2014).

En el municipio de La Jagua de Ibirico la distribución de la propiedad privada adquiere su mayor porcentaje en la mediana propiedad (60 % del total del territorio): 34 % equivale a la gran propiedad y solo 6 % corresponde a pequeñas propiedades. En Becerril, la tierra está altamente concentrada (más del 50 % del territorio está distribuido en grandes propiedades, mientras que la mediana propiedad ocupa cerca del 43 % y la pequeña propiedad); tendencia que se mantiene en el municipio El Paso.

Dentro de esta unidad territorial, se localizan tres (3) resguardos indígenas (Iroka, Socorpa, Yukpa), ubicados en la parte alta de la cuenca, en las estribaciones de la serranía Perijá. Adicionalmente, hay dos consejos de comunidades negras (Consejo Comunitario Julio Cesar Altamar Muñoz y el Consejo Comunitario de Comunidades Afrodescendientes de la Victoria de San Isidro- COAFFROVIS), localizados en la parte media y baja de la cuenca (Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016).

Dada la naturaleza de la cuenca en términos biofísicos, socioeconómicos y culturales, actualmente presenta una variedad de coberturas naturales (con intervención), seminatural y totalmente transformada, a lo largo del gradiente altitudinal desde los 2.000 m en la serranía de Perijá, hasta las planicies de inundación en el municipio de El Paso. Estos fenómenos de pérdida y transformación de las coberturas, no solo han ocasionado el detrimento de las áreas boscosas, sino que también modificaron la configuración del paisaje (Rangel, Lowy, Aguilar, & García, 1997; Carvajal & Urbina, 2014), viéndose más afectadas las planicies (cuenca baja del río Calenturitas). Su principal cobertura se daba en los bosques secos estacionales y los siempre verdes (Rangel *et ál.*, 1997; Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016).

La cuenca refleja un alto conflicto por el uso de la tierra, p. ej., la parte alta (subcuencas río Maracas Alto, quebrada Socomba, arroyo Batatal, río Tucuy alto y río Maracas alto). Aquí se encuentra una sobreutilización severa del suelo, incluso cuando su vocación es para la conservación y mantenimiento forestal (Malagón, 1998); la parte media (río Sororia, río Tucuy bajo y río Maracas) y baja (río Calenturitas) presentan subutilización y sobreutilización de moderada a severa (Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016).

En general, la cuenca del río Calenturitas presenta procesos de fragmentación y avanzadas pérdidas de coberturas, pues son de carácter continuo y constante. Este hecho ha moldeado o acrecentado varias de las problemáticas que se presentan en la cuenca, tales como la disminución de servicios ecosistémicos de soporte (necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos), de aprovisionamiento (productos obtenidos del ecosistema), de regulación (beneficios obtenidos de la regulación de los procesos del ecosistema) y culturales



(beneficios no materiales que la gente obtiene de los ecosistemas). Dichas problemáticas impactan los componentes socioeconómico y cultural de la cuenca.

### **Marco Legal**

Colombia dentro de su Carta Magna establece que «El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible y conservación, restauración o sustitución», lo cual ha llevado al establecimiento de directrices y normas con el objetivo de planificar el uso del suelo, del agua, flora y fauna dentro del territorio.

Dentro de este marco se establece el Decreto-Ley 2811 de 1994, el cual dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Presidencia de la República, 1974); la Ley 99 de 1993 «por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, además se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA)» (Congreso de la República, 1999) y de conformidad con lo anterior se expidió el Decreto 1729 de 2002 modificado por el Decreto 1640 de 2012, por el cual se «reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones» (Presidencia de la República, 2012); además del Decreto 1076 de 2015, el cual compila las disposiciones reglamentarias del Sector Ambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

En el Decreto 1640 de 2012, nombrado en el párrafo anterior, se asigna a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenibles (las CAR) y a las Comisiones Conjuntas (en cuencas compartidas) la responsabilidad de elaborar «Planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas-POMCA», con el fin principal de atender necesidades de prevención, protección,

restauración y conservación de los recursos naturales, especialmente del recurso hídrico en el espacio comprendido por una cuenca hidrográfica (Presidencia de la República, 2012).

En este sentido, el país adopta la *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas*, con el fin de guiar a las CAR en las directrices y orientaciones metodológicas a considerar en el proceso y/o actualización de los respectivos POMCA (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). La finalidad es establecer consensos en la zonificación ambiental del territorio para procurar: i) la protección, conservación, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales; ii) una ocupación del territorio de forma segura y; iii) evitar condiciones de riesgo o amenazas a lo largo de la cuenca (Núñez, 2018).

La guía proporciona diferentes insumos, dentro de los cuales se enmarcan diferentes fases (seis en total) que debe cumplir la construcción o actualización de un POMCA. Dentro de estas se encuentra la fase de diagnóstico, que incluye realizar una caracterización ambiental de la cuenca (biofísica, socioeconómica y cultural, político administrativa, funcional y gestión del riesgo), el suministro de elementos mínimos y el marco de referencia para la construcción de los escenarios de la fase prospectiva. Dentro de dicha fase —en particular— en la caracterización biofísica se enmarca el presente trabajo, buscando analizar el comportamiento funcional del paisaje presente en la cuenca del río Calenturitas, empleando métricas del paisaje (conectividad estructural) y llegando a identificar rutas de conectividad estructural.

Cabe resalta que mediante Resolución 1912 del 15 de septiembre de 2017 se estableció el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional (Ministerio de Ambiente y Desarrollo

Sostenible, 2017). Por lo que se determina que en la cuenca del río Calenturitas se registran 20 especies de flora —tres (3) con veda nacional, 12 en estado casi amenazadas (NT), tres (3) en peligro (EN), una (1) vulnerable (VU) y una (1) en peligro crítico (CR)— y 58 especies de fauna silvestre —peces: tres (3) en estado vulnerable (VU), dos (2) en peligro (EN), dos (2) en peligro crítico (CR), una (1) endémica; anfibios: tres (3) endémicas, una (1) vulnerable (VU), una (1) en apéndice II de la CITES; aves: 10 casi endémicas, una (1) en estado vulnerable (VU), 28 en el apéndice II de la CITES; mamíferos: seis (6) vulnerables (VU) y una (1) en peligro (EN)—. Por tal razón, es necesaria la búsqueda de estrategias para la conservación de hábitats que contribuyan a la supervivencia de estas especies.

## **Marco Conceptual**

### **Paisaje**

Pese a existir muchas interpretaciones referentes a la categoría de «paisaje», se puede decir, en términos generales, que es una unidad donde interactúan ecosistemas, especies y el hombre — con el uso que este último hace del mismo— (Armenteras & Vargas, 2016). Bajo este contexto el paisaje se exterioriza como el espacio producto de la interacción dinámica entre las sociedades humanas, silvestres y con el medio que les rodea, lo que permite que se convierta en un sistema dinámico y complejo en continua transformación (Gurrutxaga, 2007).

Según Useche (2006), basado en Turner (2001) y McIntyre y Hobbs (1999), los paisajes son entidades dinámicas que ocurren en una variedad de escalas espaciales y temporales que varían en función de la percepción de cada organismo o proceso considerado.

Chassot & Finegan (2010), desde el punto de vista ecológico destacan los conceptos de Forman y Godron (1986) así como los de Turner (1989), ya que consideran el paisaje como un área de tierra heterogénea compuesta por un conjunto de grupos de ecosistemas interactivos y se repite de forma similar en el espacio en toda su extensión. Entonces, el paisaje se caracteriza por ser estructural, funcional y especialmente dinámico (Morera, Pinto, & Romero, 2007). En este sentido, el paisaje está compuesto por una matriz en la cual se encuentran inmersos parches de diferentes coberturas (Chain, 2009; Turner M. , 2001)

Para Turner, Neill, Gardner, & Bruce (1989) el paisaje puede ser simplemente considerado como un espacio espacialmente heterogéneo, pero tres de sus características deben ser consideradas: su estructura (relación espacial entre diferentes elementos presentes en el ecosistema o paisaje, es decir, la distribución de especies y materiales en relación con el tamaño,

forma, número, el tipo y la configuración de los ecosistemas), su función (la interacción entre los elementos espaciales, que son el flujo de informaciones genéticas, materiales y organismos de los ecosistemas componentes) y sus alteraciones (cambios en la estructura y función del mosaico ecológico, a lo largo del tiempo), (Pirovani, 2010).

### **Ecología del Paisaje**

Existen varias definiciones de «ecología de paisaje», las cuales dependen del tipo de estudio o el fenómeno que se esté considerando. Por tal razón, desde un enfoque ecológico se tiene que la ecología de paisaje es una disciplina que adopta conceptos, técnicas y componentes propios de la geografía (p. ej., las relaciones de los patrones espaciales y estructurales de un territorio) y ecología (p. ej., procesos y flujos que tienen lugar en el paisaje). En este sentido, existen varias definiciones: Forman y Godron (1986) expresan que la ecología del paisaje es entendida como el estudio de la estructura, función y dinámica de áreas heterogéneas compuestas por ecosistemas interactivos. Turner, Neill, Gardner, & Bruce (1989) consideran que es un área del conocimiento que hace énfasis en las escalas espaciales amplias y los efectos ecológicos del patrón de distribución espacial de los ecosistemas. Por ende, se puede decir que la ecología estudia las relaciones de los patrones espaciales y estructurales del territorio (objeto de la geografía) con los procesos y flujos que tienen lugar en el mismo (objeto de la ecología).

Gurrutxaga (2007) manifiesta que bajo la idea básica de la ecología del paisaje analiza los patrones paisajísticos como resultado de la interacción dinámica entre las actividades antrópicas y la naturaleza. Dicha disciplina integra el estudio de las relaciones entre las variaciones de los patrones espaciales del paisaje, sus causas y sus consecuencias sobre los procesos ecológicos.

Concretamente, trata de estudiar la manera como las actividades antrópicas modifican los elementos que conforman el paisaje, sus características y sus relaciones espacio-funcionales, además cómo la forma en que los organismos silvestres y los ciclos geoquímicos se comportan ante la calidad y disposición de dichos elementos (García Murillo, Martín Perico, Parada Romero, & Garibello Suan, 2020).

Bennett (1998) menciona que la ecología del paisaje permite evaluar la función ecológica de fragmentos de hábitat que ha sido alterado y los beneficios de la conectividad entre fragmentos en cuanto a sustentabilidad de dinámicas locales y regionales de poblaciones. La ecología del paisaje parte del principio de que este se conforma por un mosaico de parches de distintos tipos de hábitat, y que la disposición espacial del hábitat afecta el funcionamiento de los sistemas ecológicos, específicamente los patrones de diversidad y distribución de recursos (Ortega S. , 2009).

Bajo estas nociones dicha disciplina permite tener un conocimiento holístico de la estructura y composición del paisaje, junto con su dinamismo funcional en diferente escala, según el tema o estudio que se desarrolla en un área determinada. Así, contribuye en la planificación territorial, manejo y gestión de los recursos naturales presentes en un territorio.

### **Fragmentación del Paisaje**

La alteración y cambios de los patrones espaciales (transformación del paisaje) en ecosistemas terrestres son continuos y dinámicos; afectan y amenazan la biodiversidad de un lugar, siendo las acciones antrópicas o perturbaciones exógenas las de mayor grado (expansión de la frontera agrícola, desarrollo urbano, infraestructura vial, industrial, entre otras) y en menor

grado las perturbaciones naturales o endógenas (incendios naturales, tormentas eléctricas, deslizamiento de tierra), que son las principales causante en la reducción del tamaño e incremento del aislamiento de los fragmentos del bosque y sus principales efectos. Forman (1995) define fragmentación como la ruptura de un hábitat<sup>7</sup> o de un tipo de tierra en parcelas más pequeñas en los que algunos remanentes del bosque natural quedan inmersos en una matriz de hábitat transformados. McIntyre y Hobbs (1999) consideran un paisaje fragmentado cuando tiene entre 10 % y 60 % de hábitat natural, donde al disminuir la conectividad aumenta el efecto de borde (ver tabla 2 y figura 4).

**Tabla 2**  
*Tipos y Grados de Alteración de los Paisajes*

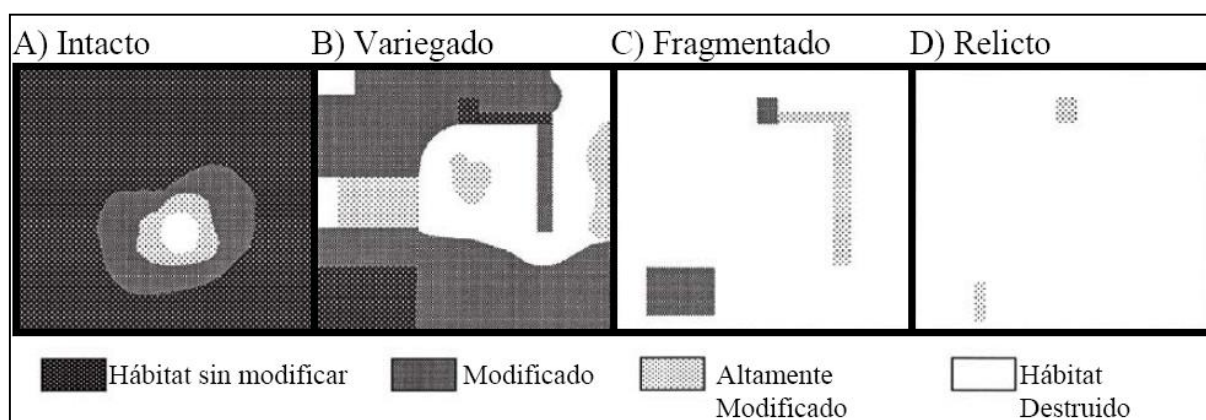
| Tipo de alteración | Grado de destrucción del hábitat (% de remanencia) | Conectividad del hábitat remanente                                                  | Grado de modificación del hábitat remanente | Patrón de modificación del hábitat remanente            |
|--------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Intacto            | Poco o ninguno (>90)                               | Alto                                                                                | Generalmente bajo                           | Mosaico con gradientes                                  |
| Variegado          | Moderado (60-90)                                   | Generalmente alto, pero bajo para especies sensitivas a la modificación del hábitat | De bajo a alto                              | Mosaicos que pueden tener gradientes y limites abruptos |

<sup>7</sup> Elemento que provee supervivencia, natalidad y movimiento a una población dada.



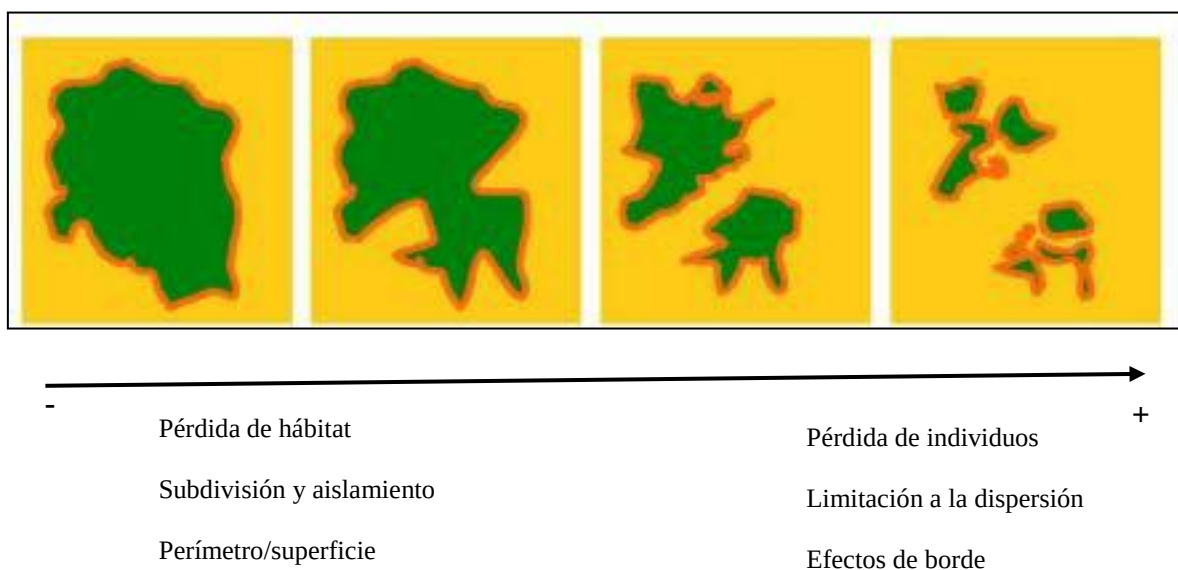
| Tipo de alteración | Grado de destrucción del hábitat (% de remanencia) | Conectividad del hábitat remanente                                                               | Grado de modificación del hábitat remanente | Patrón de modificación del hábitat remanente |
|--------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                    |                                                    | Generalmente bajo, pero varia con la movilidad de las especies y el arreglo espacial del paisaje |                                             |                                              |
| Fragmentado        | Alto (10-60)                                       |                                                                                                  | De bajo a alto                              | Gradientes con fragmentos menos evidentes    |
| Relictual          | Extremo (<10)                                      | Ninguno                                                                                          | Generalmente altamente modificado           | Generalmente uniforme                        |

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.** Estados de Alteración del Paisaje. **Fuente:** McIntyre & Hobbs (1999), tomado de Brenes P (2009).

Los principales efectos generados por la fragmentación y reducción de hábitat se presentan a nivel de reducción o pérdida de hábitat en el paisaje (proceso generado por la disminución de la superficie total de hábitat y disminución en el tamaño de los fragmentos), aislamiento (subdivisión progresiva de los fragmentos y aislamientos en el número de fragmentos y separación entre ellos, llevando consigo una limitación y disminución a la capacidad de dispersión) y efecto de borde (incremento de la relación perímetro/superficie-efecto de borde, transiciones abruptas entre un parche de bosques o áreas seminaturales y la matriz adyacente), tal como se observa en la figura 5 (Valdés, 2011).



**Figura 5.** *Procesos de Fragmentación del Hábitat.* **Fuente:** Modificado de Bennett (1999), tomado de Gurrutxaga, M. (2007).

### Conectividad Ecológica

La reducción en el tamaño e incremento del aislamiento de los fragmentos de bosque son las principales causas para que un paisaje no se encuentre conectado. Dichos efectos obedecen, en primer lugar, a factores o causas antropogénicos y, en segundo lugar, por causas naturales;

teniendo entre otras consecuencias, la disminución de las poblaciones de organismos silvestres que pueden llevar a la extinción de estos organismos a escala de fragmento, a escala local y a escala de paisaje (Chassot & Finegan, 2010).

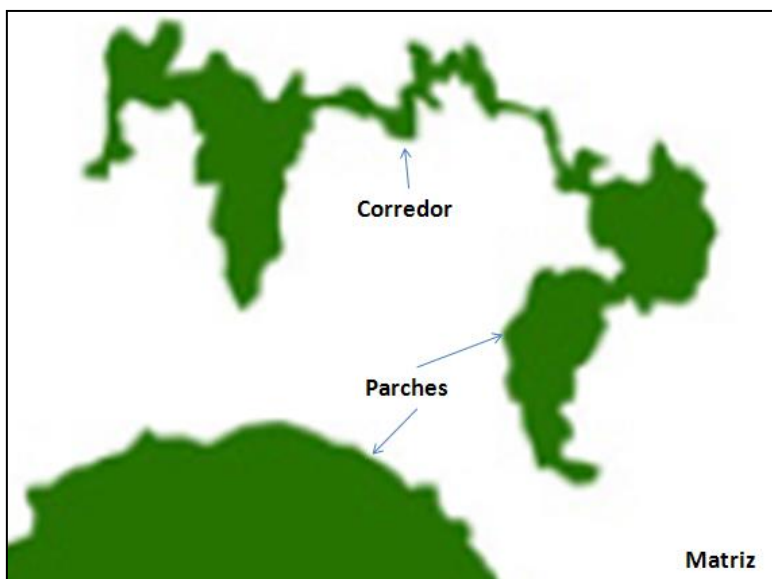
En este sentido, de acuerdo con Herrera & Díaz (2013) la conectividad a escala de paisaje se puede resumir como la medida en la que este impide o facilita el movimiento entre los elementos que lo componen. La conectividad se divide en estructural y funcional: la primera se fundamenta en describir las relaciones físicas entre parches (disposición espacial del hábitat) e ignora en gran medida las respuestas o comportamiento de los organismos que habitan y hacen uso de los recursos brindados (p. ej., fauna y flora); mientras la funcional considera e integra dentro de su análisis la respuesta y el comportamiento de los organismos (interacción del paisaje y el organismo en estudio). Por consiguiente, se puede decir que la conectividad es el fruto de las relaciones entre la configuración del paisaje y las necesidades que presenta una especie o grupo funcional para desplazarse (Gurrutxaga, 2007).

La conectividad estructural o configuración del paisaje analiza la capacidad y probabilidad global que presenta un paisaje para el desplazamiento y dispersión de los organismos entre los elementos presentes. Se puede evaluar siguiendo diferentes modelos y medidas, donde se destacan herramientas como los Sistemas de Información Geográficas (SIG), en las cuales se pueden determinar variables como distribución del tamaño y densidad de parches, forma de los parches, hábitat interior (efecto de borde), el aislamiento/proximidad, distancia del vecino más cercano, entre otros (McGarigal, FRAGSTATS help. Documentation for FRAGSTATS, 4., 2014), hasta llegar a diseñar e identificar rutas o redes de conectividad con el objetivo de generar beneficios como la reconexión de hábitats fragmentados. De esta manera, se facilita el

desplazamiento principalmente de fauna y flora; por ende, el aumento de la diversidad del paisaje objeto de estudio.

### Estructuras del Paisaje

La configuración del paisaje se representa bajo tres elementos: matriz, parche y corredor, como se aprecia en la figura 6 (San Vicente & Valencia, 2008). La matriz corresponde o constituye al elemento dominante (cobertura de la tierra) de orden homogéneo que permanece conectado, donde se encuentran inmersos los otros dos; normalmente responde a espacios abiertos compuestos por territorios agrícolas (cultivos, pastos) y territorios artificializados, por lo que se convierte en el elemento de mayor control en la dinámica del paisaje (Armenteras & Vargas, 2016).



**Figura 6.** Elementos del Paisaje. **Fuente:** San Vicente, M. G. (2007).

Los parches son áreas relativamente homogéneas insertadas en la matriz, con características propias, convirtiéndose en la unidad mínima para el análisis del paisaje. Son diferentes en tamaños, forma, arreglo espacial y composición (tipo de fragmento o parche) y están sujetos al tipo de uso del suelo, así como a la cobertura de la tierra (Morera, Pinto, & Romero, 2007). De acuerdo con el tamaño de los parches estos conservan zonas o áreas núcleos, las cuales mantienen el valor ecológico mayor, con una alta diversidad y capacidad de albergar especies en su interior (Herrera & Díaz, 2013).

Los corredores son espacios del territorio que permiten el desplazamiento de los organismos (principalmente fauna y flora) y son considerados como un hábitat lineal encajado en una matriz disímil a la del paisaje circundante que conecta. La matriz conecta dos o más fragmentos del mismo hábitat. Su propósito es mantener la viabilidad de poblaciones de vida silvestre específicas en los fragmentos del ecosistema, facilitando el paso de individuos de un fragmento a otro (Brenes, 2009)<sup>8</sup>.

De acuerdo con Santos & Kersten (2014), basados en el *European Center of Nature Conservation* (ECNC), se considera la existencia de tres tipo de corredores según su funcionalidad: a) corredores migratorios: utilizados en los movimientos migratorios; b) corredores regulares: utilizados en los movimientos entre zonas de alimentación y refugio y en otros movimientos diarios y c) corredores de dispersión: enlazan hábitats fragmentados o aislados con otras áreas similares, permitiendo los flujos migratorios entre poblaciones y metapoblaciones.

---

<sup>8</sup> Brenes citando a Beier & Noss 1998.

De igual manera, según la estructura y la escala espacial de análisis del paisaje se distinguen tres tipos de corredores: a) corredores lineales, b) discontinuos o puntos de escala (*stepping stones*) y c) mosaicos permeables (Gurrutxaga, 2007):

Los corredores lineales, como su nombre lo indica, presentan una estructura continua y características diferenciadas respecto de la matriz que los rodea, permitiendo el movimiento longitudinal de los organismos que hacen uso de ellos. Cuando se disponen entre manchas, los organismos pueden desplazarse de unas a otras mediante un corredor de hábitat afín. A escala de paisaje, los principales corredores lineales que se pueden encontrar se establecen siguiendo la red hidrográfica, con los cauces fluviales y todo el sistema conformado por los bosques de galerías y riparios.

Los corredores discontinuos o puntos de escala (*stepping stones*), de igual manera, llamados como «trampolines ecológicos» son pequeñas áreas de hábitat natural (bosques) y seminaturales como vegetación secundaria o en transición y arbustales que se pueden originar a partir de la fragmentación de un corredor de hábitat. De forma que los fragmentos se comportan como una cadena funcionalmente íntegra a pesar de la discontinuidad espacial de sus elementos, al constituir dichos fragmentos lugares de escala intermedia que las especies pueden utilizar para el descanso, la alimentación y/o la reproducción. En otros casos, los puntos de escala están formados por elementos distantes entre sí en origen, como por ejemplo zonas húmedas dispersas en el paisaje.

Los corredores mosaicos permeables son áreas con una elevada heterogeneidad, conformados por unas series de coberturas según el grado de intervención humana; además, están sujetas al uso del suelo, lo que incide negativamente sobre su permeabilidad. Este tipo de corredor es muy

importante para aquellas especies ligadas a hábitats naturales, que poseen capacidad para desplazarse por los mosaicos agroforestales y especies multihábitat que requieren de recursos con diferentes tipos coberturas (tierra). En este caso, la función que ejercen los mosaicos no es únicamente la de permitir la conexión entre manchas distantes de un tipo específico de hábitat, sino que pueden llegar a constituir el dominio vital de la especie en su integridad.

### **Análisis del Paisaje**

Teniendo en cuenta que la fragmentación del paisaje es el proceso de división continua en secciones de un hábitat, producto de la transformación de la tierra y el cambio del uso del suelo, es necesario entender las interacciones entre los patrones de paisaje y los procesos ecológicos que se presentan. En este sentido, las métricas del paisaje se presentan como una herramienta de análisis del paisaje y proveen una invaluable perspectiva de las características estructurales de los paisajes. Brenes (2009)<sup>9</sup>, manifiesta que los índices de fragmentación estructural pueden ser ubicados en tres categorías: composición, forma y configuración.

**Composición.** Los índices de composición describen las características básicas de la fragmentación, cuantificando la variedad y abundancia de los tipos de parches en el paisaje. Debido a que estas métricas requieren integración de todos los tipos de parches, solo son aplicables a nivel de paisaje ((Echeverría, Bolados, Rodriguez, Aguayo, & Premoli, 2014;

---

<sup>9</sup> Citando a Rutledge, 2003.

McGarigal, 2014). Los dos índices básicos usados para cuantificar la fragmentación son el número de parches y su área, usualmente medidos como promedio.

**Forma.** Estos índices intentan cuantificar la complejidad de los parches, además, de determinar cuáles pueden ser importantes para los diferentes procesos ecológicos, por ejemplo, los parches de forma circular o cuadrada tienen menos borde y potencialmente mayor área núcleo. Otras formas más alargadas como árboles en línea, formas sinuosas como bosques ribereños, pueden tener comparativamente poca área núcleo, pero sí una gran área total. Las áreas compactas son menos «visibles» para las especies que se dispersan a través del paisaje, mientras que las formas complicadas o lineales pueden ser interceptadas por las rutas de organismos o propágulos (Brenes, 2009).

**Configuración.** Los índices de configuración de los parches miden el grado de conectividad y aislamiento entre los parches en el paisaje. De manera general, se dividen en dos categorías: índices basados en las distancias entre parches y los índices que comparan patrones espaciales, que miden la «textura» del paisaje. Entre los primeros el más ampliamente conocido es la distancia al vecino más próximo, ya sea entre parches de la misma clase o para todo el paisaje; y entre los de textura, encontramos al índice de contagio, el cual mide el grado de adyacencia entre celdas en un paisaje en formato matricial.

### **Bosque Seco Tropical**

El bosque seco tropical (bs-T) se define como un tipo de vegetación dominado por árboles



deciduos en el cual al menos el 50 % de las especies vegetales presentes son tolerantes a la sequía. La temperatura anual es igual o superior a 25 °C, la precipitación anual total es de 700 mm a 2000 mm, y hay tres o más meses de sequía (Sánchez-Azofeifa, *et. ál.*, 2005). En comparación con los bosques húmedo y muy húmedo, el bs-T presenta estratos arbóreos, áreas basales e índices de biodiversidad menores (Murphy & Lugo, 1986) ; sin embargo, este ecosistema posee altos grados de endemismo y especiación (Pennington, Lewis, & Ratter, 2006). En términos de vegetación este ecosistema se caracteriza por presentar principalmente especies de las familias Leguminosae, Bignoniaceae, Malvaceae, Apocynaceae y Capparaceae (Villanueva, Melo, & Rincón, 2015).

A nivel nacional, el bs-T se distribuye principalmente en la llanura Caribe y en los valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca, en los departamentos del Tolima, Huila, Cundinamarca, Valle del Cauca, Antioquia, Sucre, Bolívar, Cesar, Magdalena, Atlántico y la baja Guajira (Instituto Alexander von Humboldt, 1998), con una extensión de 8 146 000 hectáreas conformada por siete provincias biogeográficas (Hernández, Walschburger, Ortiz, & Hurtado, 1992), de las cuales 160.023,7 ha corresponden al departamento del Cesar (Pomar & Vargas, 1985). El bs-T es una de las formaciones vegetales consideradas como más degradadas, fragmentadas y menos conocidas, conserva tan solo 120.000 ha de su cobertura original (Etter, 1993). Se considera que queda aproximadamente un 8 % del área original de bosques secos y tan solo el 5 % está protegido en reservas; asimismo, el 65 % de las tierras que han sido deforestadas y eran bosque seco presentan desertificación (Pizano & García, 2014).

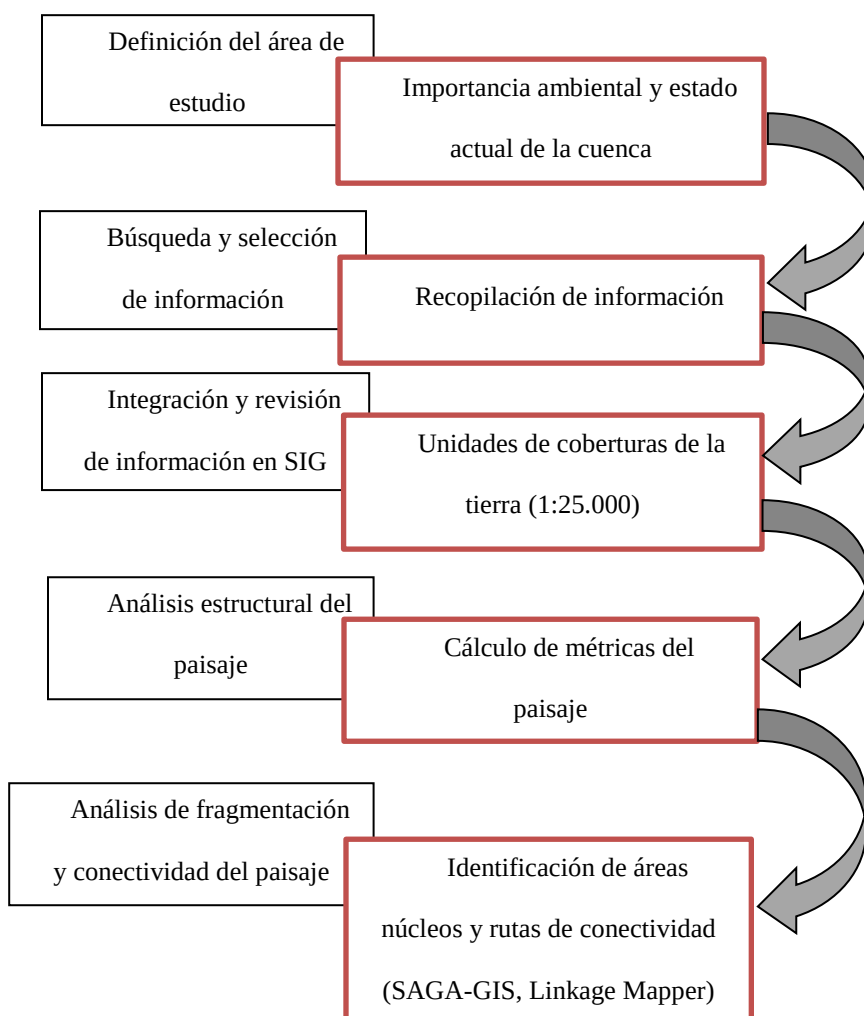
### **Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra (CORINE Land Cover)**

De acuerdo con el IDEAM (2010), la leyenda está sustentada en la metodología CORINE (Coordination of Information on the Environmental) Land Cover adaptada para el país, y tomó como base la leyenda desarrollada para la cuenca Cauca-Magdalena elaborada conjuntamente por el IDEAM, el IGAC y Cormagdalena. La leyenda nacional fue estructurada de manera jerárquica, derivando las unidades de coberturas de la tierra con base en criterios fisonómicos de altura y densidad, claramente definidos y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo. De esta manera, se garantiza que sea posible la inclusión de nuevas unidades o la definición de nuevos niveles de unidades para estudios más detallados, permitiendo su ubicación y definición rápidamente.

En este sentido, el país cuenta con una leyenda para elaborar cartografía de coberturas de la tierra a escala 1: 100.000, distribuidas en cinco (5) grandes grupos: 1. territorios artificializados (comprende las áreas de las ciudades, los centros poblados y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas); 2. territorios agrícolas (corresponde a las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas); 3. bosques y áreas seminaturales (incluyen coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo; así como coberturas presentes en aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos); 4. áreas húmedas (coberturas constituidas por terrenos anegadizos, que pueden ser temporalmente inundados y estar parcialmente cubiertos por vegetación acuática) y 5. superficies de agua (cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean).

## Metodología

Para identificar y caracterizar la configuración del paisaje para la cuenca del río Calenturitas se emplearon métodos cuantitativos de tipo descriptivo, por medio de sistemas de información geográfica (SIG) e información secundaria recopilada y analizada, siendo posible surtir las siguientes fases (ver figura 7).

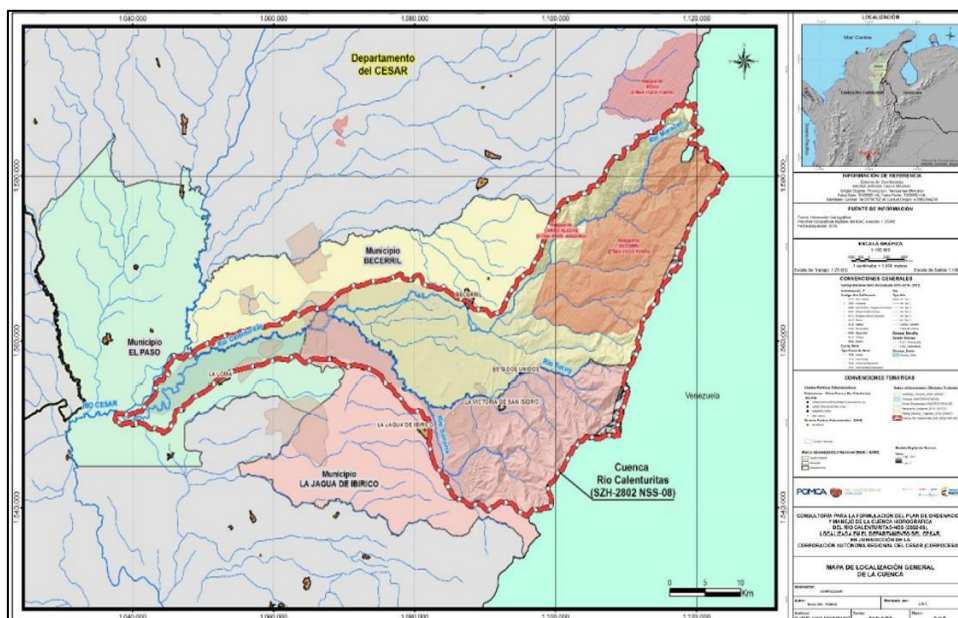


**Figura 7.** Etapas Metodológicas Establecidas. **Fuente:** Elaboración propia, 2018.

### **Definición del Área de Estudio e Importancia Ambiental**

La cuenca del río Calenturitas se encuentra ubicada geográficamente en el departamento del Cesar, en jurisdicción de los municipios de Becerril, La Jagua de Ibirico, El Paso, y hacia el costado oeste se encuentra la serranía del Perijá, formación que divide a Colombia con el país de Venezuela (ver figura 8). El área de estudio se establece desde un gradiente altitudinal que abarca los 200 m, en una planicie inundable, dominada por formaciones vegetales secas (bosques, matorrales, rastrojos secos) hasta a aproximadamente 2.100 m de elevación sobre la serranía de Perijá, que, a su vez, está dominada por formaciones vegetales de las zonas de vida subandina y andina (Rangel, 2012). Este ecosistema alberga un gran valor desde el punto de vista ecológico, paisajístico, económico y social (Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016 b). El área de estudio abarca una porción importante de la formación vegetal del bosque seco tropical.

La cuenca presenta un alto grado de pérdida y transformación en sus coberturas, reflejando un patrón dominado por estructuras antrópicas producto de las actividades agropecuarias (ganadería y agricultura extensiva) características de la región, las cuales causan, a su vez, la modificación en la configuración del paisaje (Rangel, *et. ál.*, 1997; Carvajal & Urbina, 2014). De igual manera, se destaca la minería de carbón a cielo abierto localizada en la cuenca baja y establecida en jurisdicción de los municipios de La Jagua de Ibirico y el Paso. Anaya & Díaz (2016) dan a conocer que la cobertura bosque de galería y ripario ha tenido la mayor pérdida entre el período 1989-2015, por el desarrollo minero en el área de interés. Lo anterior debido a que la extracción minera muestra un aumento de un poco más de once veces su área inicial (año 1989).



**Figura 8.** Localización del Área de Estudio – Cuenca del Río Calenturitas. **Fuente:** POMCA, 2016.

Los indicadores de tasa de cambio de las coberturas naturales (TCCN)<sup>10</sup>, vegetación remanente (IVR)<sup>11</sup> y el índice de fragmentación (IF)<sup>12</sup> establecidos en el POMCA (Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016a), dan a conocer valores que oscilan entre medianamente transformado a muy transformado, con cambios medianos y muy altos. Las unidades de bosques

<sup>10</sup> TCCN:  $(\ln ATC2 - \ln ATC1) * 100 / (t2 - t1)$ . Donde, ATC2: Área total de la cobertura en el momento dos (o final); ATC1: Área total de la cobertura en el momento uno (o inicial);  $(t2 - t1)$ : Número de años entre el momento inicial ( $t1$ ) y el momento final ( $t2$ ).

<sup>11</sup> IVR =  $(AVR/At) * 100$ . Donde, AVR: área de vegetación remanente; AT: área total de la unidad, en kilómetros cuadrados o hectáreas.

<sup>12</sup> IF =  $psc / (ps / cs * 16) * (ps / 16)$ . Siendo psc las celdillas sensibles conectadas; ps las celdillas sensibles; y, cs los complejos sensibles; 16 número de grillas en estudio según artículo original.

densos, de galería y ripario muestran fragmentación extrema con un índice mayor al 10 %. Estos hechos se ven reflejados en la disminución de servicios ecosistémicos (soporte, aprovisionamiento, regulación y culturales), así como en la estructura, función y dinámica<sup>13</sup> ecológica que presta el área de estudio.

### Recopilación de Información

Para este estudio el elemento fundamental corresponde a las unidades de cobertura de la tierra. Esta información se obtuvo mediante solicitud formal a la subdirección de cuencas hidrográficas de la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR), la cual fue suministra en formato GDB de ESRI, clasificada de acuerdo con la metodología establecida por la leyenda nacional de coberturas de la tierra CORINE land Cover adaptada para Colombia (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010), bajo una escala cartográfica 1:25.000 (tabla 3).

**Tabla 3**

*Coberturas de la Tierra Presentes en la Cuenca del Río Calenturitas.*

| Niveles de coberturas según Corine Land Cover (IDEAM, 2010) |             |                 | Nomenclatura | Área (ha) |
|-------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|--------------|-----------|
| Nivel 1                                                     | Nivel 2     | Nivel 3         |              |           |
| 1. Territorios                                              | 1.1. Zonas  | 1.1.1. Tejido   | 1.1.1        | 342,48    |
| artificializados                                            | urbanizadas | urbano continuo |              |           |

<sup>13</sup> En ecología de paisaje se consideran las tres características sustanciales. Estructura: patrón espacial o arreglo de los componentes del paisaje; función: corresponde a las interacciones entre los elementos espaciales y cambio se refiere a las alteraciones en la estructura y función del mosaico ecológico en el tiempo.

|                     |                    |          |           |
|---------------------|--------------------|----------|-----------|
| <hr/>               |                    |          |           |
|                     | 1.1.2. Tejido      |          |           |
|                     | urbano discontinuo | 1.1.2    | 2,88      |
|                     | 1.2.1. Zonas       |          |           |
| 1.2. Zonas          | industriales o     | 1.2.1.1  | 67,26     |
| industriales o      | comerciales        |          |           |
| comerciales y redes | 1.2.2. Red vial,   |          |           |
| de comunicación     | ferroviaria y      | 1.2.2.1  | 491,23    |
|                     | terrenos asociados |          |           |
|                     | 1.2.4. Aeropuertos | 1.2.4.2. | 50,80     |
| 1.3. Zonas de       |                    |          |           |
| extracción minera y | 1.3.1. Zona de     |          |           |
| escombreras         | extracción minera  | 1.3.1.3. | 4.446,23  |
|                     | 2.2.2. Cultivos    |          |           |
|                     | permanentes        | 2.2.2.1. | 29,23     |
| 2.2. Cultivos       | arbustivos         |          |           |
| permanentes         | 2.2.3. Cultivos    |          |           |
|                     | permanentes        | 2.2.3.2. | 2.133,51  |
| 2. Territorios      | arbóreos           |          |           |
| agrícolas           | 2.3.1. Pastos      |          |           |
|                     | limpios            | 2.3.1.   | 40.778,36 |
|                     | 2.3.2. Pastos      |          |           |
| 2.3. Pastos         | arbolados          | 2.3.2.   | 4.952,77  |
|                     | 2.3.3. Pastos      |          |           |
|                     | enmalezados        | 2.3.3.   | 14.903,87 |
| <hr/>               |                    |          |           |

|                                  |                                                  |                                                 |          |           |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------|-----------|
| 3. Bosques y áreas seminaturales | 2.4. Áreas agrícolas heterogéneas                | 2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales | 2.4.4.   | 2.734,48  |
|                                  |                                                  | 3.1.1. Bosque denso                             | 3.1.1.   | 1.684,12  |
|                                  | 3.1. Bosques                                     | 3.1.3. Bosque fragmentado                       | 3.1.3.   | 23.368,12 |
|                                  |                                                  | 3.1.4. Bosque de galería y/o ripario            | 3.1.4.   | 13.234,47 |
|                                  | 3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva | 3.2.3. Vegetación secundaria o transición       | 3.2.3.1. | 8.786,27  |
|                                  |                                                  |                                                 | 3.2.3.2. | 14.186,62 |
|                                  | 3.3. Áreas abiertas sin o con vegetación         | 3.3.3. Tierras desnudas y degradadas            | 3.3.3.   | 176,16    |
|                                  |                                                  |                                                 |          |           |
|                                  | 4.1. Áreas húmedas continentales                 | 4.1.1. Zonas Pantanosas                         | 4.1.1.   | 99,92     |
|                                  |                                                  | 5.1.1. Río                                      | 5.1.1.   | 858,97    |
| 5. Superficies de Agua           | 5.1. Aguas continentales                         | 5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales      | 5.1.2.   | 293,33    |
|                                  |                                                  | 5.1.3. Canales                                  | 5.1.3.   | 3,41      |

**Fuente:** (Corporación Autónoma Regional del Cesar, 2016a).



## **Integración y Revisión de Información en SIG Respecto a las Unidades de Coberturas de la Tierra**

Esta etapa básicamente consistió en verificar la información suministrada por Corpocesar, con el objetivo de corroborar la información de las áreas (hectáreas) por unidades de cobertura de la tierra; asimismo, el de ejecutar la topología<sup>14</sup> para asegurar la eliminación de errores que podrían generar inconvenientes en los respectivos cálculos y análisis.

### **Cálculo de Métricas del Paisaje**

Con el objetivo de poder identificar el patrón y configuración del paisaje en la cuenca se procedió con el cálculo de las métricas a nivel de fragmento o parche, clase y paisaje, distribuidos en los índices espacial y no espacial, y diversidad del paisaje (ver tabla 4).

**Tabla 4**  
*Métricas Evaluadas en la Cuenca del río Calenturitas*

| <b>Índices</b>                | <b>Símbolo</b> | <b>Nivel jerárquico</b> | <b>Unidad</b> |
|-------------------------------|----------------|-------------------------|---------------|
| Área total del paisaje        | TA             | Paisaje                 | Hectárea (ha) |
| Número de parches             | Np             | Paisaje                 | Adimensional  |
| Riqueza de parche             | PR             | Paisaje                 | Adimensional  |
| Densidad de riqueza de parche | PRD            | Paisaje                 | Adimensional  |

<sup>14</sup> Responde al conjunto de entidades como puntos, polilíneas o polígonos que comparten una geométrica coincidente entre sí; siendo necesario ajustar o eliminar el espacio compartido, para no aumentar la superficie real de la cuenca.

|                                         |                  |         |                          |
|-----------------------------------------|------------------|---------|--------------------------|
| Densidad de parches                     | PD               | Clase   | Adimensional             |
| Área de clase                           | CA               | Clase   | Hectárea (ha)            |
| Porcentaje del paisaje                  | Pland            | Clase   | Porcentaje (%)           |
| Índice del parche más grande            | Lpl              | Clase   | Adimensional             |
| Índice de forma del paisaje             | LSI              | Clase   | Adimensional             |
| Distribución del índice de proximidad   | PROX_MN; SD; CV  | Clase   | Metros                   |
| Índice Euclidiano de Vecino más cercano | ENN_MN; SD; CV   | Clase   | Metros                   |
| Distribución media del radio de giro    | GYRATE_MN        | Parche  | Metros                   |
| Borde total                             | TE               | Clase   | Metros                   |
| Densidad de borde                       | ED               | Clase   | Metros/hectárea          |
| Índice de forma media                   | SHAPE_MN; SD; CV | Parche  | Adimensional             |
| Área central total                      | TCA              | Clase   | Hectárea (ha)            |
| Número de áreas núcleos                 | NCA              | Clase   | Adimensional             |
| Densidad del área central disyuntiva    | DCAD             | Clase   | Número por 100 hectáreas |
| Índice de diversidad de Shannon         | SHDI             | Paisaje | Adimensional             |
| Índice de equidad de Shannon            | SHEI             | Paisaje | Adimensional             |

---

**Fuente:** (McGarigal, FRAGSTATS help. Documentation for FRAGSTATS, 4., 2014).

Para el cálculo de los índices de paisaje (métricas de parches, clases y paisaje) se empleó el software FRAGSTATS versión 4.2 (build 4.2.1.603). Como el software para poder realizar el geoproceto solicita como *input format raster*, se realizó la rasterización de los datos vectoriales a un tamaño de píxel de 5 m x 5 m, lo cual fue posible mediante la herramienta Analysis Tools

(Proximity-Bacth) en Arcgis (10.5). Antes de la transformación de las capas vectoriales, se asignaron valores de números positivos a los diferentes tipos de coberturas identificadas en el área de interés, por ejemplo, para las unidades de pastos se asignó el valor de 2, en bosques el 3 y así, sucesivamente. La finalidad se centró en crear un archivo de propiedades de clases en formato.tbt, el cual fue incorporado al programa con el fin de organizar los datos de entrega a FRAGSTATS (McGarigal, Cushman, Neel, & Ene, 2002).

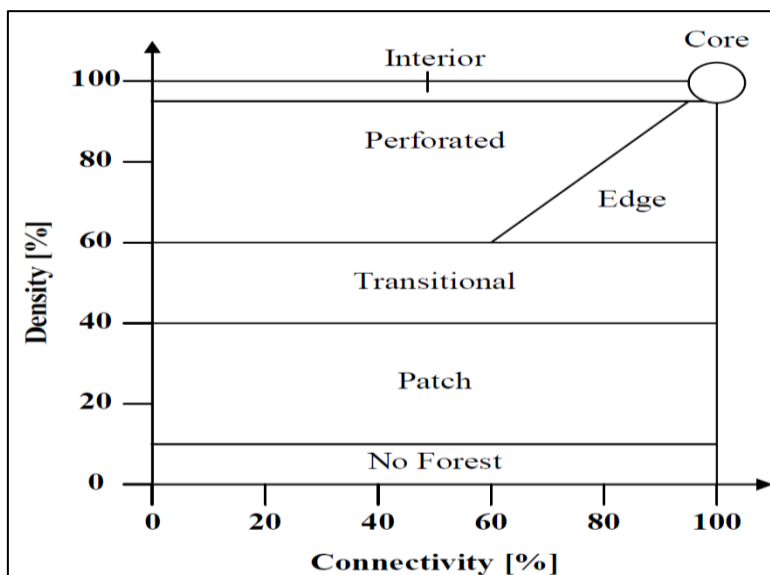
### **Identificación de Áreas Núcleo y Rutas de Conectividad**

Esta parte fue abordada en dos etapas: la primera consistió en la identificación y modelación de áreas núcleo y la segunda en la configuración de rutas de conectividad ecológica.

Identificación de áreas núcleo: en este aspecto fue necesario identificar las coberturas de la tierra que brindan mayor hábitat a la fauna silvestre, considerando las unidades de bosques y áreas seminaturales, así como los pastos arbolados, tomando todos los fragmentos con áreas mayores o iguales a 50 ha. A este conjunto de coberturas se le determinó el área núcleo o nodos de conservación, a partir del método de fragmentación alternativa introducido por Ritters, Wickham, O'Neill, Jones, & Smith (2000) e implementado por Phua & Tsuyuki (2008) a través del modelo SAGA GIS, llevado a cabo por el Sistema Automatizado para el Análisis Geocientífico (System for Automated Geoscientific Analyses-SAGA).

Phua & Tsuyuki indican (2008) que: «la información de entrada que necesita el modelo de fragmentación, esto es, si un píxel está cubierto o no. Con esta información se derivan dos parámetros para cada píxel, la densidad del bosque (Pf) y la conectividad del bosque (Pff. Ambos parámetros se refieren a una vecindad dada alrededor de cada píxel, definida originalmente por

una ventana cuadrada con el píxel analizado en el centro. Los píxeles clasificados como agua no se cuentan, porque el análisis generalmente se limitará a la superficie terrestre». Finalmente, usando densidad y conectividad, cada píxel puede asignarse a una de las seis categorías de fragmentación forestal (ver figura 9 y tabla 6).



**Figura 9.** Categorías de Fragmentación del Bosque. **Fuente:** Riitters *et ál.*, 2000; tomado de Phua & Tsuyuki, 2008.

**Tabla 5**

*Categorías de Fragmentación, Alternativas Implementadas en SAGA-GIS*

| Categoría de fragmentación | Densidad (%)  | Descripción                           |
|----------------------------|---------------|---------------------------------------|
| Núcleo                     | Igual a 100 % | Densidad y conectividad igual a 100 % |
| interior                   | Mayor a 90 %  | Densidad mayor a 90 %                 |
| Indeterminado              | Mayor 60 %    | Densidad igual a Conectividad         |

|            |                        |                                          |
|------------|------------------------|------------------------------------------|
| Perforado  | Mayor 60 %             | Densidad menos Conectividad<br>mayor a 0 |
| Borde      | Mayor 60 %             | Densidad menos Conectividad<br>menor a 0 |
| Transición | 40 % < Densidad < 60 % |                                          |
| Parche     | Menor a 40 %           |                                          |
| Ninguno    | Menor a 20 %           |                                          |

**Fuente:** Riitters *et ál.*, 2000; tomado de Phua & Tsuyuki, 2008.

*Identificación de rutas de conectividad:* para identificar y modelar las posibles redes o rutas ecológicas presentes en el área de estudio, se implementó la extensión de ArcGIS-Linkage mapper, para la utilización de mapas GIS de las áreas y resistencias principales del hábitat. En este sentido, se realiza un mapa de resistencia teniendo en cuenta todas las coberturas terrestres, atribuyendo un valor que refleja el costo energético, la dificultad o el riesgo de mortalidad de moverse a través de dichas coberturas. Del mismo modo, la herramienta identifica áreas centrales adyacentes (vecinas) y crea mapas de corredores de menor costo entre ellas, estableciendo mosaicos de los corredores individuales para crear un solo mapa de corredor compuesto (McRae & Kavanagh, 2013). De acuerdo con Useche (2006) «el propósito de una red ecológica es identificar la ruta de conexión (rutas) entre fragmentos de bosque más corta por los usos del suelo más permeables para el desplazamiento y/o la dispersión de organismos de bosque» (pág. 179).

Para lograr lo anterior, por cada unidad de cobertura de la tierra fue asignado un peso de restricción, esto es, el costo de conectividad entre fragmentos arbóreos (desplazamiento de la fauna silvestre). Los pesos establecidos corresponden a menor (baja restricción) y mayor costo

de conectividad (alta restricción), los cuales van desde cero hasta 100; es decir, valores igual a cero representan menor restricción para la movilidad y generación de hábitat. En la tabla 6 se relaciona el peso asignado por cada tipo de cobertura de la tierra.

**Tabla 6**  
*Peso de Resistencia por Unidad de Cobertura*

| Unidad de cobertura de la tierra*          | Peso |
|--------------------------------------------|------|
| Pastos limpios                             | 70   |
| Pastos enmalezados                         | 50   |
| Zonas pantanosas                           | 50   |
| Red vial, ferroviaria y terrenos asociados | 100  |
| Zonas industriales o comerciales           | 100  |
| Aeropuertos                                | 100  |
| Vegetación secundaria o en transición      | 0    |
| Zonas de extracción minera                 | 100  |
| Bosque de galería y/o ripario              | 0    |
| Lagunas, lagos y ciénagas naturales        | 40   |
| Tierras desnudas y degradadas              | 100  |
| Ríos (50 m)                                | 80   |
| Pastos arbolados                           | 0    |
| Mosaico de pastos con espacios naturales   | 40   |
| Bosque denso                               | 0    |
| Cultivos permanentes arbóreos              | 30   |
| Tejido urbano continuo                     | 100  |
| Bosque fragmentado                         | 0    |
| Tejido urbano discontinuo                  | 100  |

| Unidad de cobertura de la tierra* | Peso |
|-----------------------------------|------|
| Canales                           | 100  |
| Cultivos permanentes arbustivos   | 30   |

\* Coberturas correspondiente al nivel III, de conformidad con Corine Land Cover (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010). **Fuente:** Elaboración propia, 2019.

## Resultados

### Conectividad Estructural de la Cuenca del Río Calenturitas

La cuenca del río Calenturitas se caracteriza por poseer una extensión de 124.838,545 hectáreas (ha), presentes en 21 clases paisajísticas (o unidades de coberturas), distribuidas en 3.823 parches o fragmentos para una relación de 0,0089 clases/ha. Por tal razón, se determina como un paisaje heterogéneo y fragmentado (SHDI: > 0., SHEI: 0,55), (ver tabla 7).

**Tabla 7**  
*Patrón de Paisaje Presente en la Cuenca del Río Calenturitas*

| Índice | Valor                    |
|--------|--------------------------|
| TA     | 124.838,545 (ha)         |
| Np     | 3.823 (Nro. de parches)  |
| PR     | 21 (Nro. de clases)      |
| PDR    | 0,01 (Nro. de clases/ha) |
| SHDI   | 1,70                     |
| SHEI   | 0,55                     |

**Fuente:** Elaboración propia, 2019.

En términos de composición, se identificaron un total de 1.612 parches (NP), pertenecientes a unidades de coberturas categorizadas como «territorios agrícolas», con una densidad de parche (PD) de 0,65. Los pastos son la clase con mayor número de parches (NP: 1.519 y PD: 0,61) distribuidos así: pasto limpios (NP: 840 y PD: 0,34), pastos enmalezado (NP: 552 y PD: 0,22) y pastos arbolados (NP: 127 y PD: 0,05). Seguida de la clase cultivos permanentes (arbóreos y arbustivos) con 99 parches y 0,04 de PD, y mosaicos de pastos con espacios naturales (NP: 4 y 0,002 de PD).



Del mismo modo, se destacan las categorías «territorios artificializados» con un total de 1.110 parches y 0,44 de PD. La red vial ferroviaria y terrenos asociados es la clase con mayor número de parches (NP:1078 y PD:0,43); así como, bosques y áreas seminaturales (NP: 965 y PD: 0,39); en esta destacan las clases bosque de galería y/o ripario (NP: 384 y PD: 0,15), bosque fragmentado (NP: 258 y PD: 0,10), vegetación secundaria o en transición (NP: 220 y PD: 0,09), tierras desnudas y degradadas (NP: 60 y PD: 0,02) y bosque denso (NP: 43 y PD: 0,02).

Por su parte, las categorías con menor número de parches (NP) corresponden a «áreas húmedas» (zonas pantanosas con valores de NP: 9 y PD: 0,004) y «superficies de agua» con un total de 112 parches, distribuidos en las clases lagunas-lagos, ciénagas naturales y ríos (50 m), con un NP de 62, 60, y una PD de 0,02, respectivamente (tabla 8).

De conformidad con los índices áreas de clases (CA) y porcentaje de clase en el paisaje (PLAND), se tiene en primer lugar, que las coberturas agrupadas en la categoría de territorios agrícolas dominan el área de estudio (CA: 65.531,36 ha y PLAND: 52,49 %), donde la clase pastos limpios tiene la mayor participación (CA: 40.777, 94 ha y PLAND: 32,66 %); le sigue pastos enmalezados (CA: 14.903, 14 ha y PLAND: 11,94%), pastos arbolados (CA: 4.953,06 ha y PLAND: 3,97 %) y mosaico de pastos con espacios naturales (CA: 2.74,51 ha y PLAND: 2,19 %). En segundo lugar, se encuentra la categoría de bosques y áreas seminaturales (CA: 52.650,95 ha y PLAND: 42,18 %) con la clase bosque fragmentado (CA: 23.369,21 ha y PLAND: 18,72 %), vegetación secundaria o en transición (CA: 14.186, 47 ha y PLAND: 11,36 %), así como bosque de galería y/o ripario (CA: 13.235, 01 ha y PLAND: 10,60 %). En tercer lugar, se encuentran los territorios artificializados (CA: 5.400, 92 ha y PLAND: 4,3 %), siendo la clase denominada zonas de extracción minera la de mayor dominio (CA: 4.446,23 ha y PLAND: 3,56

%). Las categorías como superficie de aguas y zonas pantanosas agrupan las coberturas con menor dominio en el paisaje, con valores de CA: 1.155, 51 ha y PLAND: 0,93 % y CA: 99,91 ha y PLAND: 0,08 %, respectivamente.

De acuerdo con la densidad de parche (PD) la clase red vial ferroviaria y terrenos asociados presenta un valor de 0,44 (valor determinado por unidad de superficie equivalente a  $1 \text{ km}^2 = 100 \text{ ha}$ ), le siguen pastos limpios (PD: 0,34), pastos enmalezados (PD: 0,22); bosque de galería y/o ripario (PD: 0,16), bosque fragmentado (PD: 0,10) y vegetación secundaria o en transición (PD: 0,09).

El índice del parche más grande (LPI) indica que en el área de estudio un parche de la clase bosque fragmentado ocupa el 2,73 % del área total de la cuenca (124.838,545 ha), pastos limpios tiene un LPI de 2,44 % y bosque de galería y/o ripario un LPI de 1,02 %. El índice del área media de los parches (ÁREA\_MN) da a conocer que la clase zonas de extracción minera posee los parches con mayor área promedio (ÁREA\_MN: 1.482,00 ha), lo cual está condicionado por CA y Np; le siguen mosaico de pastos con espacios naturales (ÁREA\_MN: 683,63 ha), bosque fragmentado (ÁREA\_MN: 90,58 ha), vegetación secundaria o en transición (ÁREA\_MN: 64,48 ha) y pastos limpios (ÁREA\_MN: 48,55 ha), (ver tabla 8).

**Tabla 8**  
*Índice de Composición del Paisaje en la Cuenca del Río Calenturitas*

| Nivel 1*                            | Unidades de coberturas*                      | Nomen-<br>clatura | CA<br>(ha)   | PLAND<br>(%) | NP<br>(Parches) | PD<br>(par/ha) | LPI<br>(%) | AREA_MN<br>(ha) |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|--------------|--------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|
| 1. Territorios<br>artificializados  | Tejido urbano continuo                       | 1.1.1             | 342,48       | 0,27         | 10,00           | 0,00           | 0,08       | 34,25           |
|                                     | Tejido urbano discontinuo                    | 1.1.2             | 2,87         | 0,00         | 4,00            | 0,00           | 0,00       | 0,72            |
|                                     | Zonas industriales o comerciales             | 1.2.1             | 67,27        | 0,05         | 12,00           | 0,00           | 0,01       | 5,61            |
|                                     | Red vial ferroviaria y terrenos<br>asociados | 1.2.2             | 491,28       | 0,39         | 1078,00         | 0,44           | 0,05       | 0,46            |
|                                     | Aeropuertos                                  | 1.2.4             | 50,80        | 0,04         | 3,00            | 0,00           | 0,01       | 16,93           |
|                                     | Zonas de extracción minera                   | 1.3.1             | 4446,2<br>3  | 3,56         | 3,00            | 0,00           | 0,87       | 1482,08         |
| 2. Territorios agrícolas            | Pastos limpios                               | 2.3.1             | 40777,<br>94 | 32,66        | 840,00          | 0,34           | 2,44       | 48,55           |
|                                     | Pastos arbolados                             | 2.3.2             | 4953,0<br>6  | 3,97         | 127,00          | 0,05           | 0,35       | 39,00           |
|                                     | Pastos enmalezados                           | 2.3.3             | 14903,<br>14 | 11,94        | 552,00          | 0,22           | 0,54       | 27,00           |
|                                     | Cultivos permanentes arbustivos              | 2.2.2             | 29,23        | 0,02         | 1,00            | 0,00           | 0,01       | 29,23           |
|                                     | Cultivos permanentes arbóreos                | 2.2.3             | 2133,4<br>0  | 1,71         | 88,00           | 0,04           | 0,10       | 24,24           |
|                                     | Mosaico de pastos con espacios<br>naturales  | 2.4.4             | 2734,5<br>1  | 2,19         | 4,00            | 0,00           | 0,44       | 683,63          |
| 3. Bosques y áreas<br>seminaturales | Bosque denso                                 | 3.1.1             | 1684,0<br>9  | 1,35         | 43,00           | 0,02           | 0,14       | 39,16           |
|                                     | Bosque fragmentado                           | 3.1.3             | 23369,<br>21 | 18,72        | 258,00          | 0,10           | 2,73       | 90,58           |
|                                     | Bosque de galería y/o ripario                | 3.1.4             | 13235,<br>01 | 10,60        | 384,00          | 0,16           | 1,02       | 34,47           |
|                                     | Vegetación secundaria o en<br>transición     | 3.2.3             | 14186,<br>47 | 11,36        | 220,00          | 0,09           | 0,80       | 64,48           |
|                                     | Tierras desnudas y degradadas                | 3.3.3             | 176,17       | 0,14         | 60,00           | 0,02           | 0,02       | 2,94            |
| 4. Áreas húmedas                    | Zonas pantanosas                             | 4.1.1             | 99,91        | 0,08         | 9,00            | 0,00           | 0,01       | 11,10           |

|                        |                                    |       |        |      |       |      |      |       |
|------------------------|------------------------------------|-------|--------|------|-------|------|------|-------|
|                        | Ríos (50 m)                        | 5.1.1 | 858,78 | 0,69 | 60,00 | 0,02 | 0,10 | 14,31 |
| 5. Superficies de agua | Lagunas lagos y ciénagas naturales | 5.1.2 | 293,30 | 0,23 | 62,00 | 0,03 | 0,03 | 4,73  |
|                        | Canales                            | 5.1.3 | 3,42   | 0,00 | 2,00  | 0,00 | 0,00 | 1,71  |

\*Clasificación de acuerdo con la leyenda Nacional CORINE Land Cover., adaptada para el país (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales, 2010). **Fuente:** Elaboración propia.

Respecto a la configuración, el índice de forma del paisaje (LSI) deja ver que los parches de las diferentes clases del área de interés tienen forma mayormente elongados e irregulares (LSI: >1). El índice de proximidad media (PROX\_MN) da a conocer que la clase bosque de galería y/o ripario posee el mayor valor de proximidad (PROX\_MN:6.931,74), le preceden las clases bosque fragmentado (PROX\_MN: 6.133,68), pastos limpios (PROX\_MN: 5.552,07), cultivos permanentes arbóreos (PROX\_MN: 5.334,02) y vegetación secundaria o en transición (PROX\_MN: 4.879,33). Dicho lo anterior, se indica que en un radio de 1000 metros (m) se pueden registrar parches de estas clases.

De igual manera, las clases con valores de cero en PROX\_MN corresponden a cultivos permanentes arbustivos, canales, aeropuertos, zonas de extracción minera y mosaico de pastos con espacios naturales, estando asociado con el Np que registran (NP: 1 - 4).

De acuerdo con el índice de distancia media el vecino más cercano (ENN\_MN) corresponde a las clases red vial ferroviaria y terrenos asociados, ríos (50 m) y bosque de galería y/o ripario, ya que muestran mayores niveles de agregación (menor distancia entre parches vecinos de la misma clase), con valores promedio entre parche de 12,26 m, 26,01 m y 55,67 m, respectivamente. Las clases con mayor nivel de aislamiento entre parches (aumento de la distancia entre parches vecinos de la misma clase) son aeropuertos (ENN\_MN: 9.734,08 m), zonas de extracción minera (ENN\_MN: 7.966,25 m) y zonas pantanosas (ENN\_MN: 3.260,90 m), siendo consecuente con el NP.

Cabe mencionar, que la clase cultivos permanentes arbustivos no registra valores de ENN\_MN mayor o igual a cero (0), debido a que esta se encuentra presente con solo un parche (NP: 1), siendo imposible cuantificar la distancia media del vecino más cercano (tabla 9).

**Tabla 9**  
**Índice de Configuración del Paisaje en la Cuenca del Río Calenturitas**

| Nivel 1*                         | Unidades de coberturas*                   | Nomenclatura | LS<br>I*       | PROX<br>_MN* | PRO<br>X_SD<br>* | PRO<br>X_CV<br>* | ENN_<br>MN<br>(m) | ENN_<br>SD (km) | ENN_<br>CV<br>(%) |
|----------------------------------|-------------------------------------------|--------------|----------------|--------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 1. Territorios artificializados  | Tejido urbano continuo                    | 1.1.1        | 5,3<br>1       | 2785,<br>84  | 5265,<br>03      | 188,9<br>9       | 2182,0<br>8       | 3049,33         | 139,74            |
|                                  | Tejido urbano discontinuo                 | 1.1.2        | 3,0<br>0       | 6,09         | 6,85             | 112,4<br>8       | 10079,<br>70      | 14865,8<br>9    | 147,48            |
|                                  | Zonas industriales o comerciales          | 1.2.1        | 8,9<br>3       | 0,27         | 0,72             | 268,1<br>7       | 2983,3<br>6       | 5639,15         | 189,02            |
|                                  | Red vial ferroviaria y terrenos asociados | 1.2.2        | 15<br>3,3<br>1 | 171,2<br>7   | 1025,<br>88      | 598,9<br>9       | 17,26             | 62,71           | 363,25            |
|                                  | Aeropuertos                               | 1.2.4        | 4,1<br>9       | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 9734,0<br>8       | 9510,71         | 97,71             |
|                                  | Zonas de extracción minera                | 1.3.1        | 5,1<br>3       | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 7966,2<br>5       | 6888,99         | 86,48             |
|                                  | Cultivos permanentes arbustivos           | 2.2.2        | 1,3<br>0       | 0,00         | 0,00             | 0,00             | N/A               | N/A             | N/A               |
| 2. Territorios agrícolas         | Cultivos permanentes arbóreos             | 2.2.3        | 17,<br>03      | 5334,<br>02  | 7461,<br>56      | 139,8<br>9       | 376,04            | 1363,26         | 362,54            |
|                                  | Pastos limpios                            | 2.3.1        | 62,<br>97      | 5552,<br>07  | 3530<br>6,64     | 635,9<br>2       | 89,16             | 136,10          | 152,64            |
|                                  | Pastos arbolados                          | 2.3.2        | 22,<br>31      | 358,5<br>9   | 1190,<br>51      | 331,9<br>9       | 530,47            | 909,63          | 171,48            |
|                                  | Pastos enmalezados                        | 2.3.3        | 47,<br>34      | 1345,<br>00  | 5081,<br>58      | 377,8<br>1       | 196,07            | 350,54          | 178,78            |
|                                  | Mosaico de pastos con espacios naturales  | 2.4.4        | 10,<br>37      | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 1272,2<br>3       | 1074,43         | 84,45             |
| 3. Bosques y áreas seminaturales | Bosque denso                              | 3.1.1        | 12,<br>11      | 1058,<br>51  | 2739,<br>29      | 258,7<br>9       | 548,13            | 1403,72         | 256,09            |
|                                  | Bosque fragmentado                        | 3.1.3        | 31,<br>25      | 6133,<br>68  | 4133<br>7,28     | 673,9<br>4       | 219,23            | 517,97          | 236,26            |
|                                  | Bosque de galería y/o ripario             | 3.14         | 85,<br>54      | 6931,<br>74  | 2642<br>8,48     | 381,2<br>7       | 55,67             | 109,23          | 196,19            |

| Nivel 1*               | Unidades de coberturas*               | Nomenclatura | LS<br>I* | PROX<br>_MN* | PRO<br>X_SD<br>* | PRO<br>X_CV<br>* | ENN_<br>MN<br>(m) | ENN_<br>SD (km) | ENN_<br>CV<br>(%) |
|------------------------|---------------------------------------|--------------|----------|--------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                        | Vegetación secundaria o en transición | 3.2.3        | 30,22    | 4879,93      | 17176,45         | 351,98           | 297,26            | 663,30          | 223,14            |
|                        | Tierras desnudas y degradadas         | 3.3.3        | 16,98    | 69,91        | 222,76           | 318,62           | 998,77            | 2019,90         | 202,24            |
| 4. Áreas húmedas       | Zonas pantanosas                      | 4.1.1        | 7,98     | 8,56         | 22,49            | 262,71           | 3260,92           | 5815,96         | 178,35            |
|                        | Ríos (50 m)                           | 5.1.1        | 85,53    | 2698,61      | 4524,17          | 167,65           | 26,01             | 90,15           | 346,52            |
| 5. Superficies de agua | Lagunas lagos y ciénagas naturales    | 5.1.2        | 9,31     | 19,03        | 73,88            | 388,22           | 1139,38           | 3439,78         | 301,90            |
|                        | Canales                               | 5.1.3        | 7,69     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 929,65            | 0,00            | 0,00              |

\*Sin unidad de medida: adimensional. **Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo con el índice medio de la forma (SHAPE\_MN) de los parches (tabla 10), las diferentes clases del área de interés presentan en promedio fragmentos de formas muy irregulares (SHAPE\_MN: > 1). Sin embargo, la clase cultivos permanentes arbustivos registra el menor valor (SHAPE\_MN: 1,30), infiriendo que todos los parches tienden a ser circulares. Dicha situación obedece al número de parche (NP: 1) y a la poca extensión (CA: 29,23 ha).

**Tabla 10**  
*Índice de Forma del Paisaje en la Cuenca del Río Calenturitas*

| Nivel 1*                        | Unidades de coberturas*                   | Nomenclatura | SHAPE_MN* | SHAPE_S<br>D* | SHAPE_CV<br>(%) |
|---------------------------------|-------------------------------------------|--------------|-----------|---------------|-----------------|
|                                 | Tejido urbano continuo                    | 1.1.1        | 2,04      | 0,53          | 26,07           |
|                                 | Tejido urbano discontinuo                 | 1.1.2        | 1,60      | 0,31          | 19,05           |
| 1. Territorios artificializados | Zonas industriales o comerciales          | 1.2.1        | 2,26      | 1,89          | 83,43           |
|                                 | Red vial ferroviaria y terrenos asociados | 1.2.2        | 3,18      | 3,67          | 115,50          |
|                                 | Aeropuertos                               | 1.2.4        | 2,71      | 0,28          | 10,50           |
|                                 | Zonas de extracción minera                | 1.3.1        | 2,91      | 0,54          | 18,39           |
| 2. Territorios agrícolas        | Cultivos permanentes arbustivos           | 2.2.2        | 1,30      | 0,00          | 0,00            |

| Nivel 1*                               | Unidades de coberturas*                     | Nomenclatura | SHAPE_MN* | SHAPE_S<br>D* | SHAPE_CV<br>(%) |
|----------------------------------------|---------------------------------------------|--------------|-----------|---------------|-----------------|
|                                        | Cultivos permanentes<br>arbóreos            | 2.2.3        | 1,88      | 0,67          | 35,82           |
|                                        | Pastos limpios                              | 2.3.1        | 2,28      | 1,32          | 57,75           |
|                                        | Pastos arbolados                            | 2.3.2        | 2,23      | 0,79          | 35,36           |
|                                        | Pastos enmalezados                          | 2.3.3        | 2,19      | 0,98          | 44,77           |
|                                        | Mosaico de pastos con<br>espacios naturales | 2.4.4        | 4,95      | 1,84          | 37,26           |
|                                        | Bosque denso                                | 3.1.1        | 2,02      | 0,75          | 37,02           |
|                                        | Bosque fragmentado                          | 3.1.3        | 2,07      | 1,51          | 73,14           |
| 3. Bosques y<br>áreas<br>seminaturales | Bosque de galería y/o ripario               | 3.1.4        | 3,81      | 2,97          | 78,09           |
|                                        | Vegetación secundaria o en<br>transición    | 3.2.3        | 2,30      | 1,03          | 44,59           |
|                                        | Tierras desnudas y<br>degradadas            | 3.3.3        | 2,36      | 1,03          | 43,63           |
| 4. Áreas<br>húmedas                    | Zonas pantanosas                            | 4.1.1        | 2,49      | 1,22          | 49,09           |
|                                        | Ríos (50 m)                                 | 5.1.1        | 8,21      | 8,73          | 106,39          |
| 5. Superficies de<br>agua              | Lagunas lagos y ciénagas<br>naturales       | 5.1.2        | 1,60      | 0,57          | 35,46           |
|                                        | Canales                                     | 5.1.3        | 5,53      | 0,03          | 0,55            |

\*Sin unidad de medida: adimensional. **Fuente:** Elaboración propia.

Del mismo modo, se consideraron métricas de área y borde (TE: Total de borde, ED: Densidad de borde, GYRATE: Radio de giro) y de área núcleo (TCA: Área núcleo, NCA: Número de áreas núcleos, DCAD: Densidad de área núcleo), calculadas para las coberturas con mayores condiciones de generar conectividad (pastos arbolados, bosque denso, bosque fragmentado, bosque de galería y/o ripario y vegetación secundaria o en transición). En consecuencia, se determinó que el bosque de galería y/o ripario es la cobertura con mayor radio de giro (GYRATE: 121.445,74 m), le sigue la vegetación secundaria o en transición (GYRATE: 62.102,50 m), el bosque fragmentado (GYRATE: 47.507,31 m) y el bosque denso con el menor valor (GYRATE: 9.984,63 m).

Con relación al borde total (TE) y la densidad de borde (ED) las clases con los mayores valores corresponde al bosque de galería y/o ripario (TE: 3.930.685,00 m; ED: 59,91 m/ha) y



bosque fragmentado (TE: 1.808.245,00 m; ED: 7,32 m/ha). Por su parte, los pastos arbolados (TE: 615.650,00 m; ED: 2,49 m/ha) y el bosque denso (TE: 189.700,00 m; ED: 0,77 m/ha) son las clases con menor valor (tabla 11).

**Tabla 11**  
*Métricas de Área y Borde en la Cuenca del Río Calenturitas*

| Unidades de coberturas                | GYRATE<br>(m) | TE (m lineales) | ED (m/ha) | GYRATE_MN<br>(*) |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|-----------|------------------|
| Bosque de galería y/o ripario         | 121.445,74    | 3.930.685,00    | 15,91     | 316,27           |
| Bosque denso                          | 9.984,63      | 189.700,00      | 0,77      | 232,20           |
| Bosque fragmentado                    | 47.507,31     | 1.808.245,00    | 7,32      | 184,14           |
| Pastos arbolados                      | 31.815,22     | 615.650,00      | 2,49      | 250,51           |
| Vegetación secundaria o en transición | 62.102,50     | 1.420.625,00    | 5,75      | 282,28           |

\*Sin unidad de medida: Adimensional. **Fuente:** Elaboración propia.

El bosque fragmentado es la clase con mayor área central total (TCA: 12.915,99 ha) con 254 áreas núcleos (NCA), le sigue vegetación secundaria o en transición (TCA: 6.499,02 ha; NCA: 253) y pastos arbolados (TCA: 1.794,24 ha; NDCA: 120). Las clases con los menores valores son bosque de galería y/o ripario (TCA: 1358,78 ha; NDCA: 325) y bosque denso (TCA: 597,41 ha; NDCA: 48) (tabla 12).

**Tabla 12**  
*Métricas de Área Central en la Cuenca del Río Calenturitas*

| Unidades de coberturas                | TCA<br>(ha) | NDCA<br>(*) | DCAD<br>(Número por 100 ha) |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| Bosque de galería y/o ripario         | 1358,78     | 325,00      | 0,13                        |
| Bosque denso                          | 597,41      | 48,00       | 0,02                        |
| Bosque fragmentado                    | 12915,99    | 254,00      | 0,10                        |
| Pastos arbolados                      | 1794,24     | 120,00      | 0,05                        |
| Vegetación secundaria o en transición | 6499,02     | 253,00      | 0,10                        |

\*Sin unidad de medida: Adimensional. **Fuente:** Elaboración propia.

### **Rutas de Conectividad Estructural en la Cuenca del Río Calenturitas**

Se realizó la identificación y modelación del área núcleo o nodos de conservación a través del modelo SAGA GIS, tomando todos los fragmentos con áreas mayores o iguales a 50 ha. La cuenca del río Calenturitas se caracteriza por tener un paisaje en estado relicto o altamente modificado, donde las clases con mayores condiciones de generar conectividad muestran en promedio 4,8 % (6.006,67 ha) de área núcleo en relación al área total de la cuenca (124.838,545 ha). El bosque fragmentando es la clase con mayor área núcleo con el 12,52 % (15.633, ha), seguido de vegetación secundaria o en transición (6,71 %: 8.379,77 ha); por su parte, la clase bosque denso representa el menor valor con el 0,70 %, lo cual equivale a 873,31 ha (ver tabla 13 y figura 10 a la figura 12).

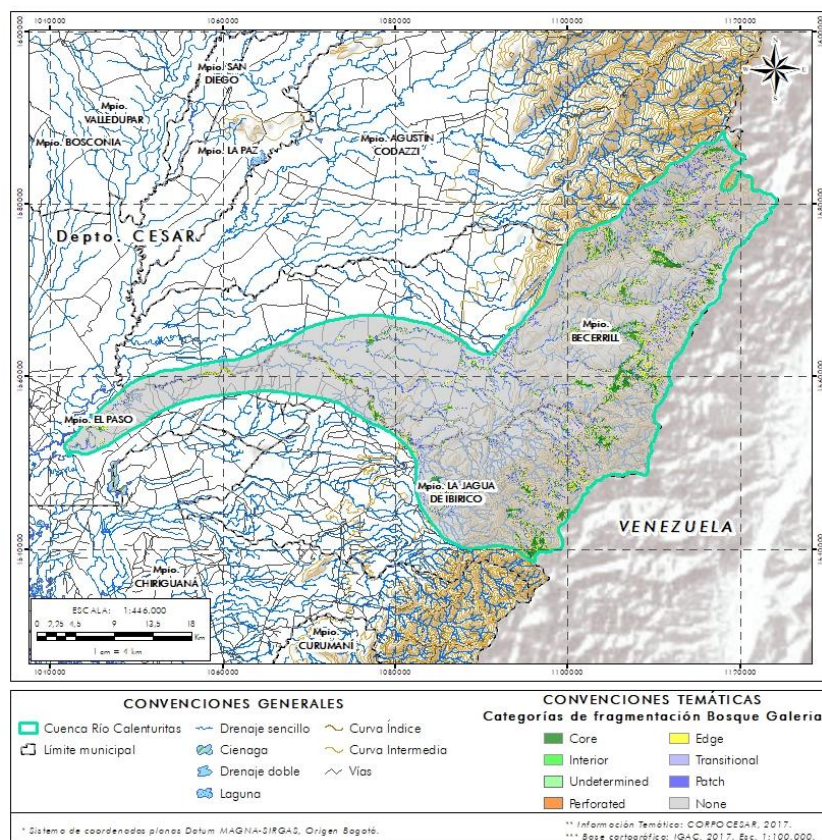
**Tabla 13**

*Síntesis de las Categorías de Fragmentación a Nivel de Clase para Bosques y Áreas Seminaturales y Pastos Arbolados – Cuenca del Río Calenturitas*

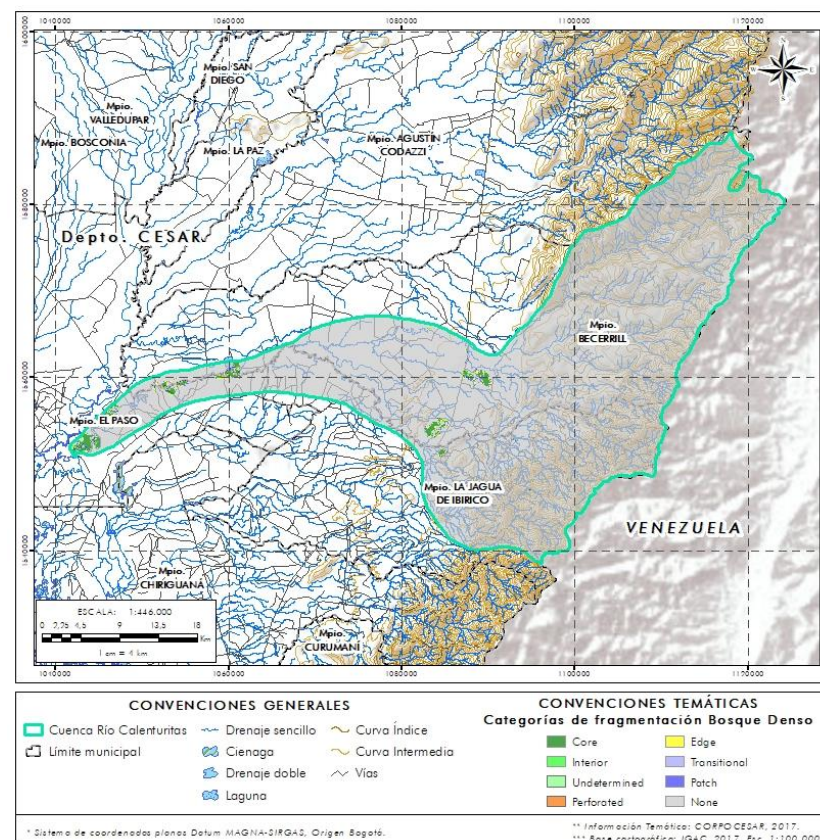
| ID | Categoría     | Bosque de galería y/o ripario |           |         | Bosque denso   |           |        | Bosque fragmentado |           |         |
|----|---------------|-------------------------------|-----------|---------|----------------|-----------|--------|--------------------|-----------|---------|
|    |               | Nro. de celdas                | Área (ha) | %       | Nro. de celdas | Área (ha) | %      | Nro. de Celdas     | Área (ha) | %       |
| 1  | Núcleo        | 1048557,00                    | 2621,39   | 2,10 %  | 349322,00      | 873,31    | 0,70%  | 6253261,00         | 15633,15  | 12,52 % |
| 2  | interior      | 557699,00                     | 1394,25   | 1,12 %  | 80135,00       | 200,34    | 0,16%  | 771528,00          | 1928,82   | 1,55 %  |
| 3  | Indeterminado | 0,00                          | 0,00      | 0,00 %  | 0,00           | 0,00      | 0,00%  | 0,00               | 0,00      | 0,00 %  |
| 4  | Perforado     | 530,00                        | 1,33      | 0,00 %  | 0,00           | 0,00      | 0,00%  | 262,00             | 0,66      | 0,00 %  |
| 5  | Borde         | 2922225,00                    | 7305,56   | 5,85 %  | 206131,00      | 515,33    | 0,41%  | 1997493,00         | 4993,73   | 4,00 %  |
| 6  | Transición    | 1301218,00                    | 3253,05   | 2,61 %  | 69669,00       | 174,17    | 0,14%  | 637967,00          | 1594,92   | 1,28 %  |
| 7  | Parche        | 2463045,00                    | 6157,61   | 4,93 %  | 130840,00      | 327,10    | 0,26%  | 1151627,00         | 2879,07   | 2,31 %  |
| 8  | Ninguno       | 41642145,00                   | 104105,36 | 83,39 % | 49099322,00    | 122748,31 | 98,33% | 39123281,00        | 97808,20  | 78,35 % |

| ID | Categoría     | Pastos arbolados |           |        | Vegetación secundaria o en transición |           |        |
|----|---------------|------------------|-----------|--------|---------------------------------------|-----------|--------|
|    |               | Nro. de celdas   | Área (ha) | %      | Nro. de celdas                        | Área (ha) | %      |
| 1  | Núcleo        | 1010295,00       | 2525,74   | 2,02%  | 3351907,00                            | 8379,77   | 6,71%  |
| 2  | interior      | 228168,00        | 570,42    | 0,46%  | 562675,00                             | 1406,69   | 1,13%  |
| 3  | Indeterminado | 0,00             | 0,00      | 0,00%  | 0,00                                  | 0,00      | 0,00%  |
| 4  | Perforado     | 1,00             | 0,00      | 0,00%  | 64,00                                 | 0,16      | 0,00%  |
| 5  | Borde         | 625426,00        | 1563,57   | 1,25%  | 1518025,00                            | 3795,06   | 3,04%  |
| 6  | Transición    | 209070,00        | 522,68    | 0,42%  | 482260,00                             | 1205,65   | 0,97%  |
| 7  | Parche        | 418993,00        | 1047,48   | 0,84%  | 917985,00                             | 2294,96   | 1,84%  |
| 8  | Ninguno       | 47443466,00      | 118608,67 | 95,01% | 43102503,00                           | 107756,26 | 86,32% |

**Fuente:** Elaboración propia.



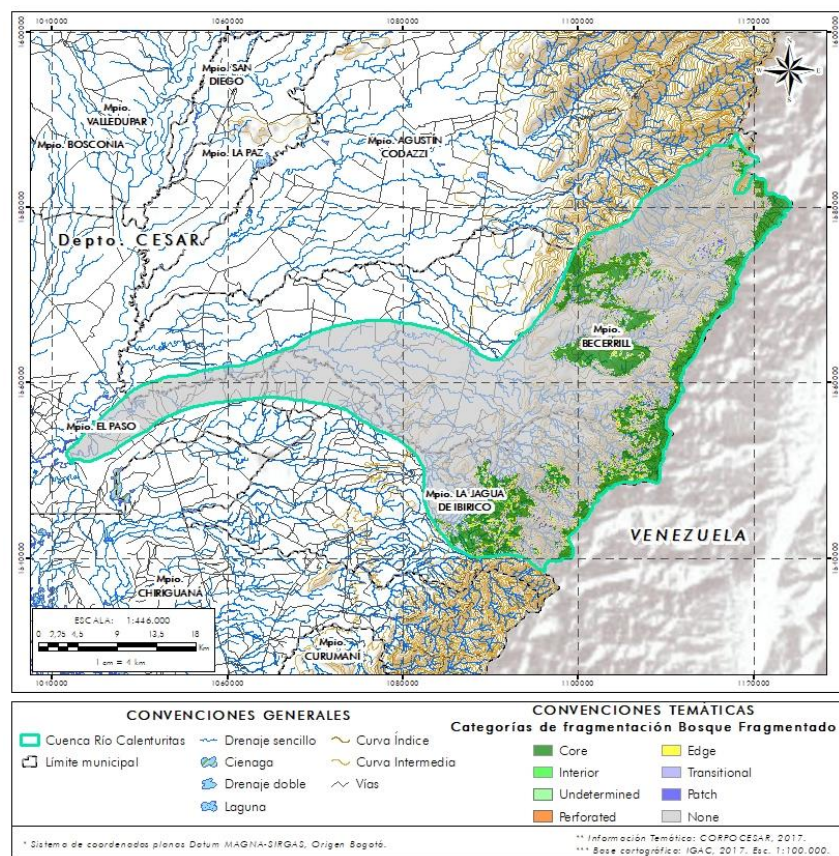
### Bosque de galería y/o ripario



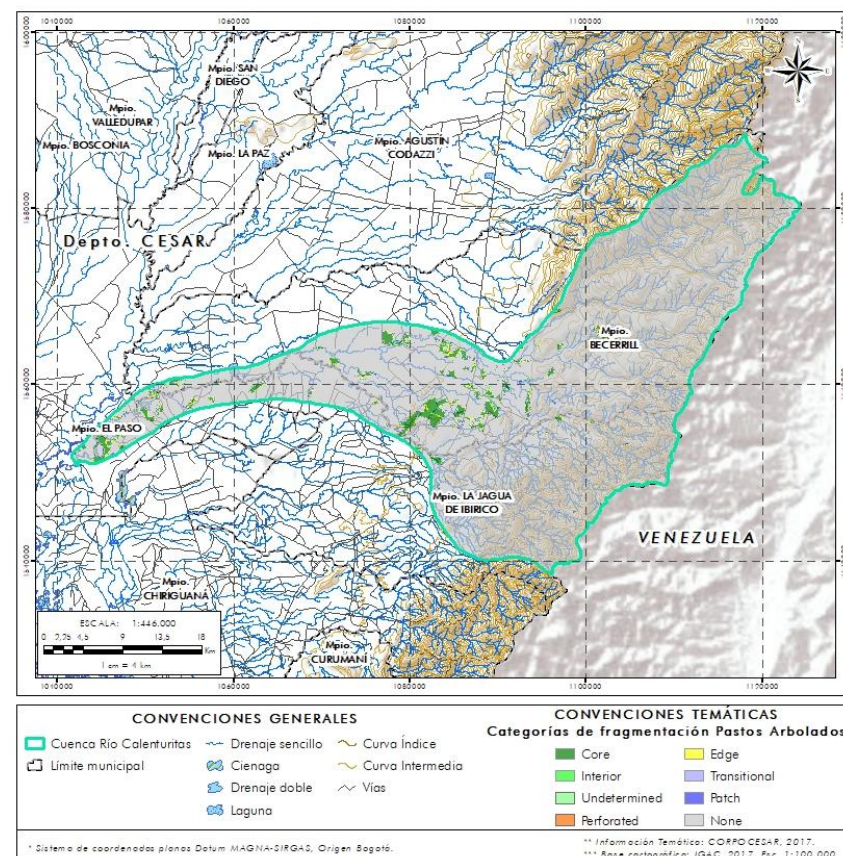
### Bosque denso

**Figura 10.** Categoría de Fragmentación para las Clases Bosque de Galería y/o Ripario y Bosque Denso – Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000). **Fuente:** Elaboración propia.





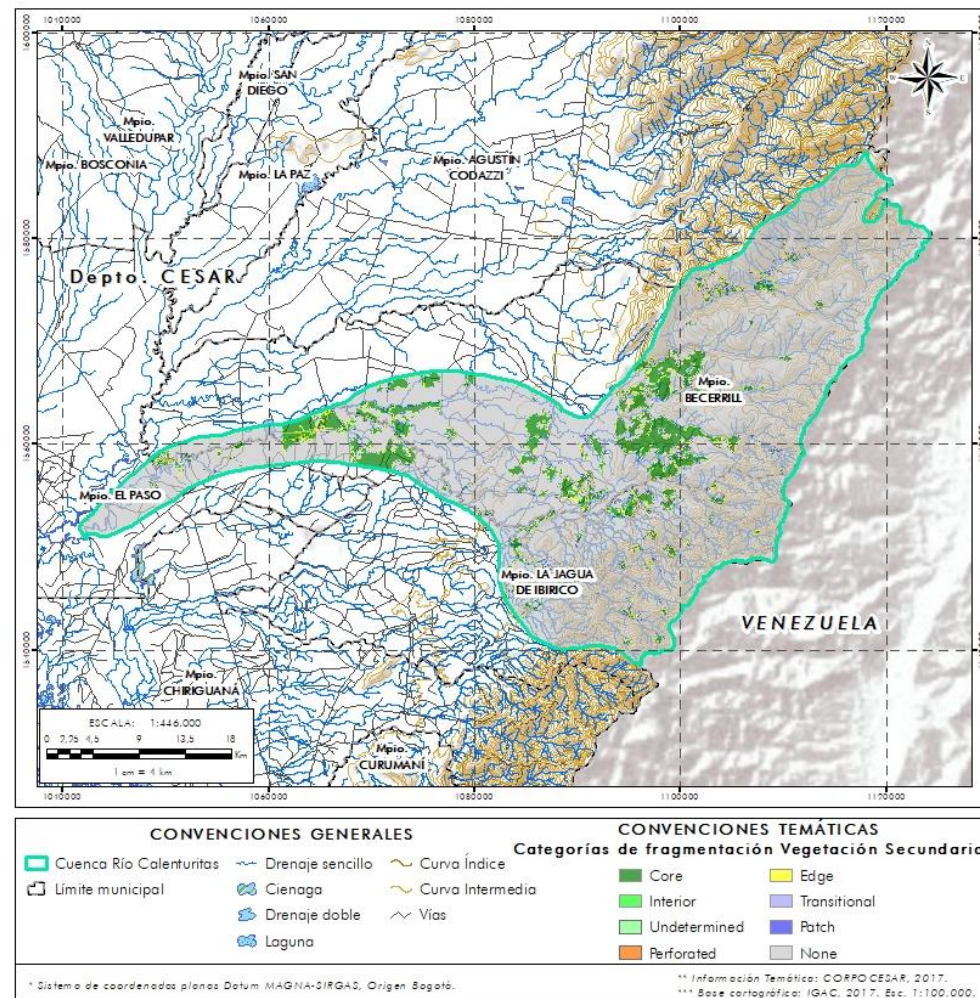
### Bosque fragmentado



### Pasto arbolado

**Figura 11.** Categoría de Fragmentación Para las Clases Bosque Fragmentado y Pasto Arbolado – Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000). Fuente: Elaboración propia.

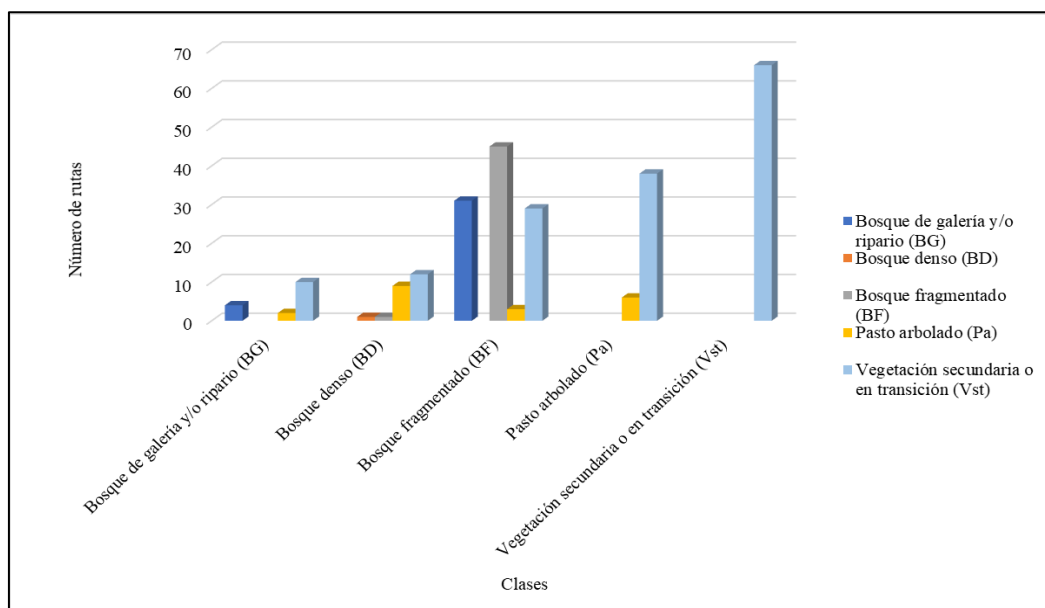




### Vegetación secundaria o en transición

**Figura 12.** Categoría de Fragmentación Para la Clase Vegetación Secundaria o en Transición – Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000). **Fuente:** Elaboración propia.

En la proyección de las rutas de conectividad estructural se realizó un modelamiento basado en niveles de resistencia por clase (costo energético, dificultad o el riesgo de mortalidad de la fauna silvestre a moverse a través de estas), por medio de la extensión de ArcGIS-Linkage mapper. En este sentido, el paisaje de la cuenca del río Calenturitas muestra un total de 257 rutas o enlaces, posicionando a la clase bosque fragmentado en el primer lugar con el mayor número de rutas con 108 (42,0 %), generando entre la misma clase un total de 45, bosque de galería y/o ripario (31), vegetación secundaria o en transición (29) y pastos arbolados (3); en el segundo lugar, se encuentra la vegetación secundaria o en transición con 66 (enlaces generados entre parches de la misma clase); en tercer lugar, se encuentra la clase pastos arbolados (44); en el cuarto lugar, se registra el bosque denso (23) y, en el último lugar, el bosque de galería y/o ripario con un total de 16 rutas (figura 13).



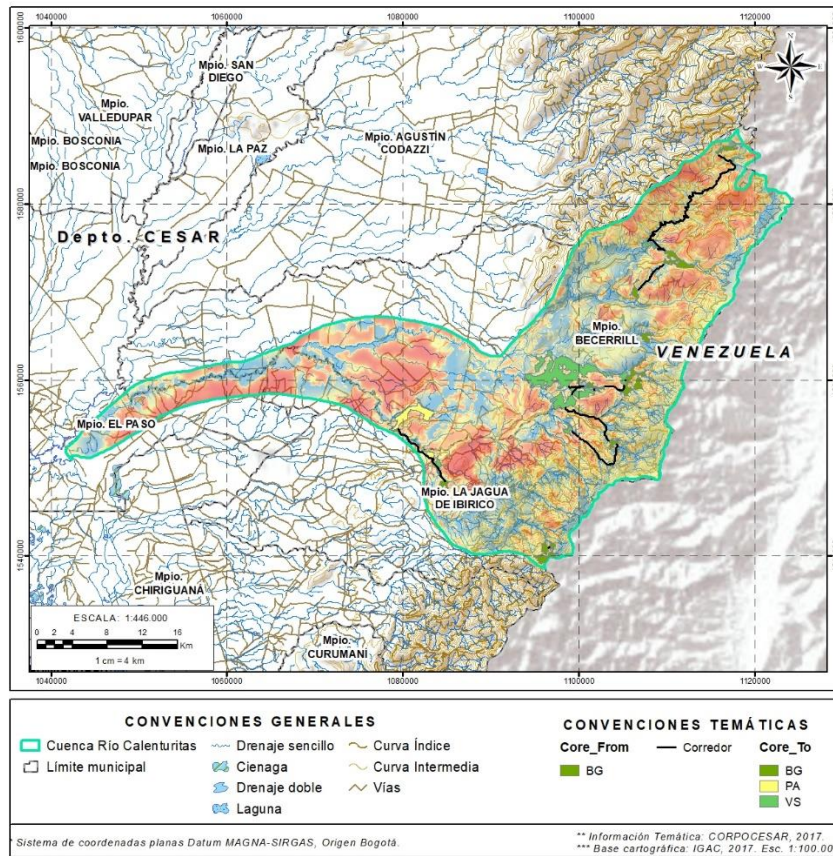
**Figura 13.** Número de Rutas de Conectividad Estructural por Clase – Cuenca del Río Calenturitas. **Fuente:** Elaboración propia.

Las rutas de conectividad estructural conformadas a partir de los parches de bosque fragmentado (bosque fragmentado, bosque de galería y/o ripario, vegetación secundaria o en transición y pastos arbolados), así como de bosque de galería y/o ripario (bosque de galería y/o ripario, pastos arbolados y vegetación secundaria o en transición) se concentran principalmente en la parte alta de la cuenca del río Calenturitas —subcuencas río Maracas alto, quebrada Socomba, río Sororía, Tucuy alto, arroyo Batatal— y en la parte media —subcuencas río Tucuy bajo y río Maracas—.

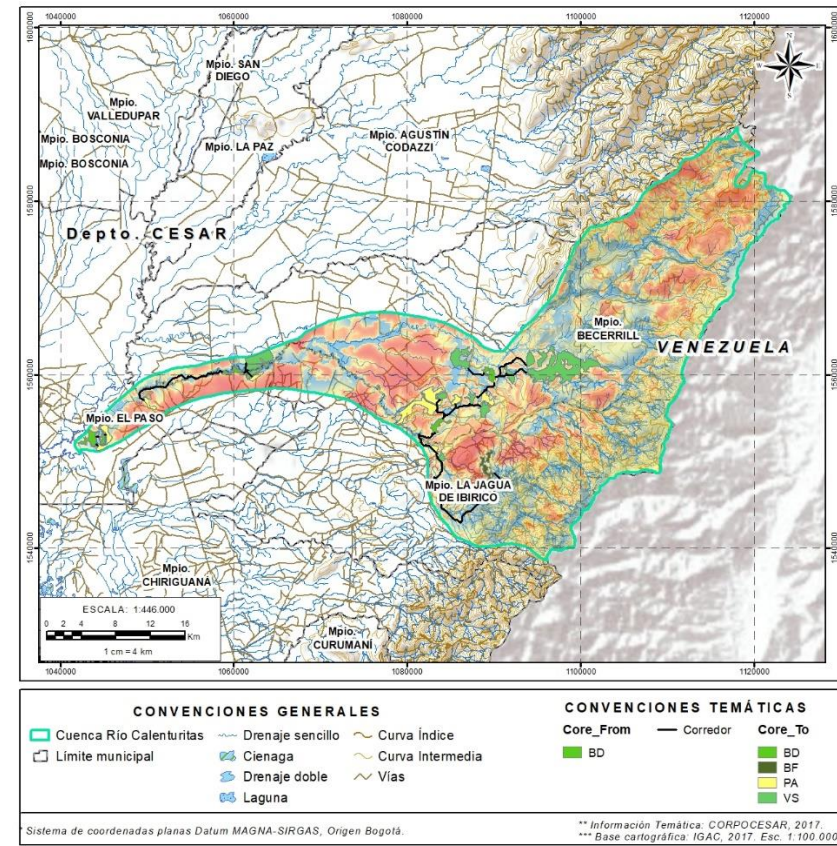
Los enlaces generados de los fragmentos de bosque denso (bosque denso, bosque fragmentado, pastos arbolados y vegetación secundaria o en transición) y pastos arbolados (pasto arbolado y vegetación secundaria o en transición) se distribuyen en la parte media —subcuencas río Tucuy bajo, Maracas, Sororía y arroyo Batatal— y baja de la cuenca —subcuenca río Calenturitas—; por otro lado, las conexiones generadas a partir de vegetación secundaria o en transición se concentran en la parte media —subcuencas río Tucuy bajo, Maracas— y alta de la cuenca —subcuenca arroyo Batatal y río Maracas— (figura 14 a la figura 16).

Las 257 rutas en promedio están a 2,83 km de distancia en línea recta de borde a borde entre fragmentos (Euc\_Dist: 0,02 km – 19,35 km), con una longitud total no ponderada promedio de 5,92 km (LCP\_Length: 0,03 km – 47,76 km). Se acumula en promedio un costo total de 8,54 km (CW\_Dist: 0,03 km – 65,30 km) a lo largo de la ruta de menor costo, debido a la matriz dominante del paisaje en la cuenca (ver anexo 1).





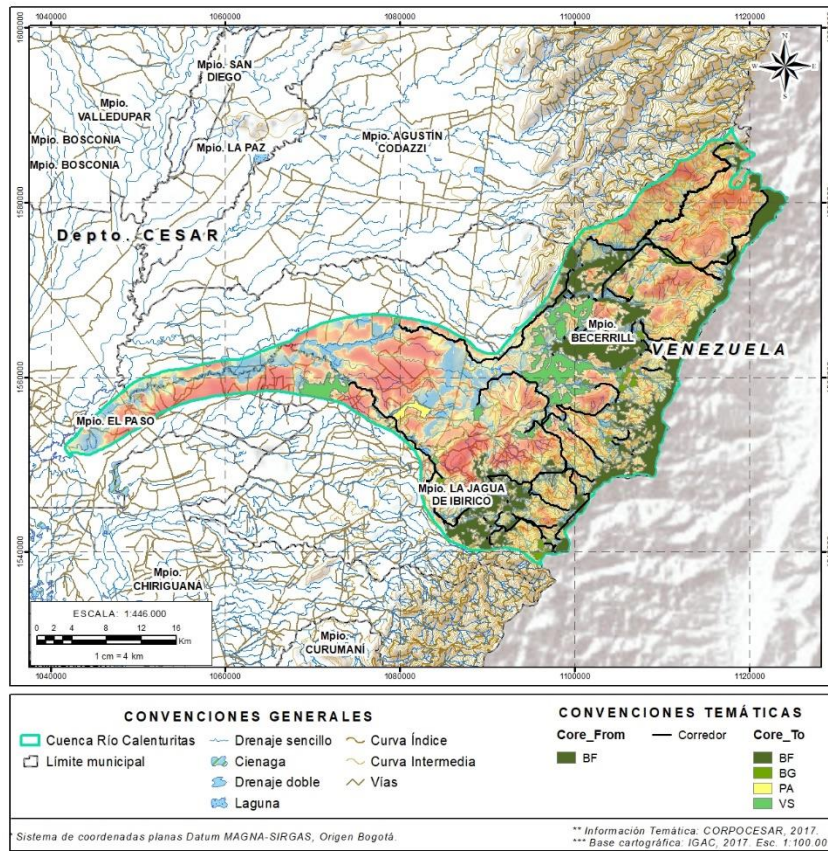
### Bosque de galería y/o ripario



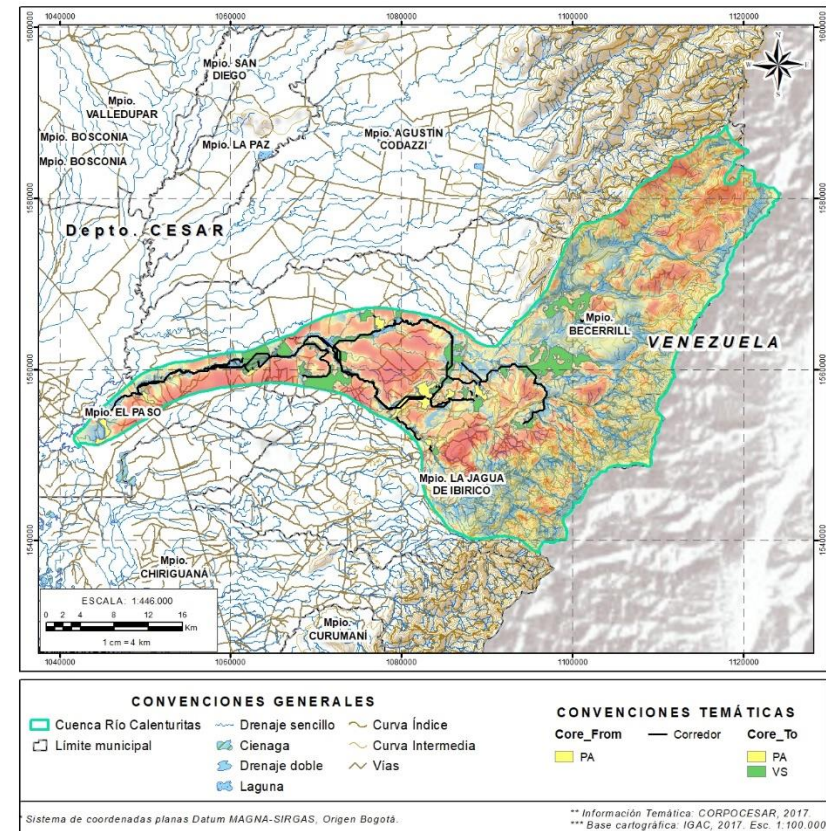
### Bosque denso

**Figura 14.** Rutas de Conectividad Estructural Para la Clase Bosque de Galería y/o Ripario y Bosque Denso – Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000). **Fuente:** Elaboración propia.



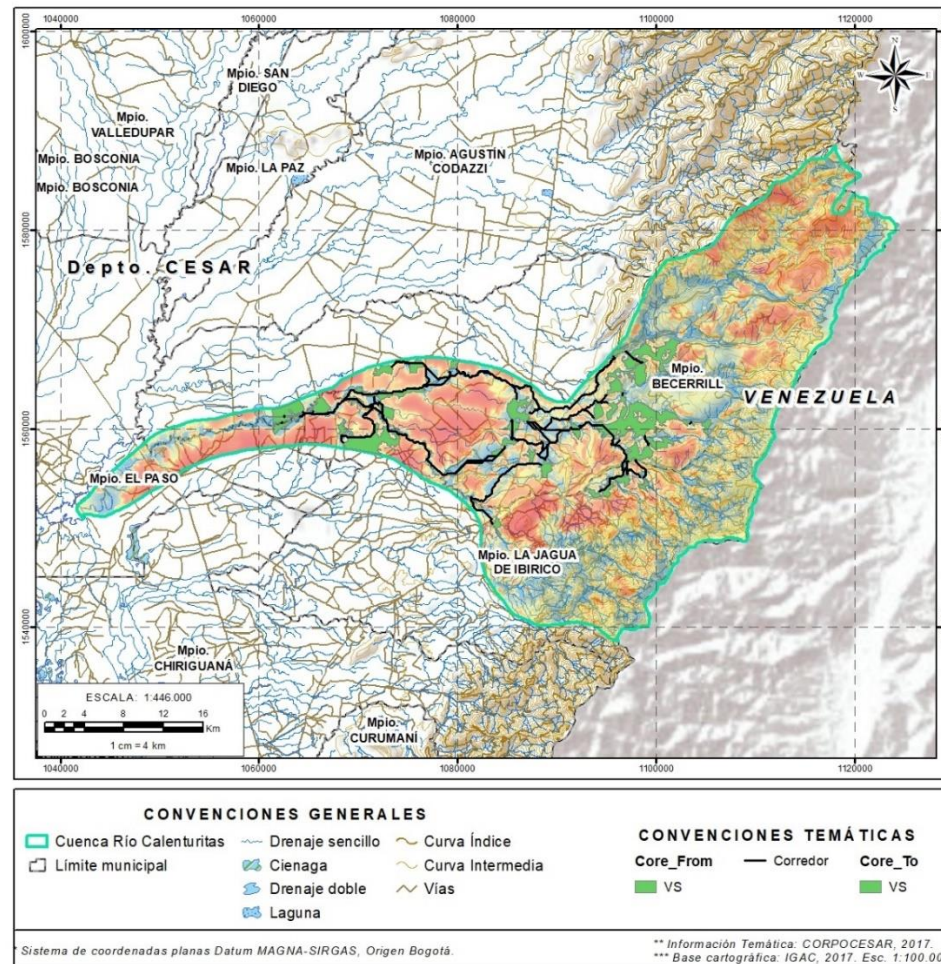


### Bosque fragmentado



### Pastos arbolados

**Figura 15.** Rutas de Conectividad Estructural para la Clase Bosque Fragmentado y Pasto Arbolado – Cuenca del río Calenturitas (esc. 1: 25.000). **Fuente:** Elaboración propia.



### Vegetación secundaria o en transición

**Figura 16.** Rutas de Conectividad Estructural para la Clase Vegetación Secundaria Alta – Cuenca del Río Calenturitas (esc. 1: 25.000). Fuente: Elaboración propia.

Los índices de configuración de parches miden el grado de conexión (Tischendorf & Fahrig, 2000) o, por el contrario, el aislamiento (Moilanen & Ilka, 2001) entre parches en un paisaje. Las métricas de configuración aportan información sobre las propiedades de un territorio y son de gran ayuda cuando se quieren encontrar asociaciones entre patrones del paisaje y diversos procesos como la fragmentación de hábitats para la vida silvestre, conectividad, reducción de la calidad y cantidad del hábitat natural (Matteucci & Silva, 2004).

A partir del análisis del patrón espacial del paisaje en la cuenca del río Calenturitas se determina que el 71,26 % está compuesta por coberturas categorizadas como territorios agrícolas y artificializados, constituyendo la matriz de este. Según el grado de destrucción del hábitat propuesta por McIntyre y Hobbs (1999) el paisaje corresponde al tipo de alteración *fragmentado*, en el cual el porcentaje de remanentes de hábitat es del 10 % al 60 %. El paisaje sigue siendo mayormente afectado por la habilitación de los terrenos boscosos que, por degradación, se encuentran dominados por terrenos agrícolas o ganaderos y la tasa de deforestación exhibe un descenso debido a la escasez del recurso (Echeverría, *et ál.*, 2014). Galván, Ballut-Dajus, & De la Ossa (2015) determinaron que la matriz bosque seco del arroyo Pechelín, Montes de María en el Caribe colombiano, está compuesta en su mayoría por cobertura de origen antrópico (presencia de pasturas y zonas de rastrojos). Reflejando así la pérdida histórica que han sufrido las coberturas de bosques y áreas seminaturales presentes en la formación vegetal «bosque seco Tropical: bs-T» (León, 2013).

La cuenca del río Calenturitas se caracteriza por poseer un paisaje con fragmentos elongados e irregulares, aumentando la longitud de los bordes, haciendo que los parches sean menos



compactos; con una distancia promedio al parche más cercano de 2,15 km (ENN\_MN: 0,02 81 km – 10,08 km). Lo anterior refleja un mayor aislamiento entre ellos, generando fragmentos de formas muy irregulares (SHAPE\_MN: > 1). Dichos parches alargados son menos efectivos para la conservación de los recursos internos (Forman & Godron, 1986). El tamaño y la forma de los fragmentos condicionan en gran medida las posibilidades de mantener ciertas poblaciones. Así, cuanto menor sea la superficie del fragmento, más vulnerable será a los agentes externos y más claro será el efecto borde (Fischer & Lindenmayer, 2007). Los fragmentos alargados y delgados tienen proporcionalmente mayor longitud de borde (perímetro) que aquellos que tienen formas cuadradas o redondeadas (Naveh, 2001).

La clase bosque de galería y/o ripario obtuvo el mayor valor de borde total y densidad de borde, lo cual está directamente relacionado con la forma del parche (SHAPE\_MN: 3,81). La cantidad total de borde en un paisaje está directamente relacionada al grado de heterogeneidad espacial del mismo (McGarigal, *et. ál.*, 2002), lo que puede tener consecuencias negativas para algunas especies del interior del bosque (Kattan & Murcia, 2003). Por otra parte, el bosque fragmentado y vegetación secundaria o en transición, fueron las clases con mayor área núcleo, lo que permite inferir que estas coberturas representan una alta probabilidad de generar hábitats a las especies faunísticas presentes en la cuenca, asumiendo que a mayor tamaño menos vulnerable es el parche. Por ende, se debe tener en cuenta que si los recursos se ven afectados por actividades antrópicas futuras y, dado que actualmente pueden estar menos perturbados, se debe dar la importancia de parches prioritarios (Kathan, 2002).

La conectividad estructural del paisaje es determinada por la distribución espacial de los tipos de hábitats, la cual depende de la continuidad de los mismos, la distancia entre los elementos del paisaje y del tamaño de las brechas entre fragmentos (Theobald, 2006). En este sentido, el

paisaje de la cuenca del río Calenturitas proporciona un total de 257 rutas de conectividad 82 entre parches, con área superior a 50 ha. La conectividad se manifiesta también en las redes de conectividad, las cuales existen o se restablecen entre los fragmentos de ecosistemas que fueron separados por factores antropogénicos (Forman & Godron 1981; (Bruinderink, Van der Sluis, Opdam, & Powels, 2003) y permiten el libre movimiento de los organismos de un fragmento al otro (Dobson, 1999). El 56,0 % (144) de los enlaces generan un costo total acumulado caminado entre 0,03 km y 4,47 km a lo largo de la ruta de menor costo (CW\_Dist). El concepto de la ruta de conexión más corta es práctico en el sentido de facilitar los procesos de desplazamiento y/o dispersión, pues mientras más cercanos se encuentren los parches, y existan componentes arbóreos que faciliten su conexión, las especies podrán moverse más fácilmente a través del paisaje, disminuyendo los efectos del aislamiento (Debinski & Holt, 2000).

El número de parches, la forma y la distancia de estos permite conocer que el paisaje de la cuenca del río Calenturitas se encuentra en un estado fragmentado. El bosque fragmentado y vegetación secundaria o en transición son las clases con mayor área núcleo, y en menor proporción la clase bosque denso.

La modelación de las rutas de conectividad estructural permitió identificar un total de 257 enlaces, que se localizan principalmente en la parte alta y media de la cuenca, a partir de los parches de bosque fragmentado y entre bosque de galería y/o ripario, vegetación secundaria o en transición y pastos arbolados (108 rutas). Igualmente, los conformados desde el bosque de galería y/o ripario con pastos arbolados y vegetación secundaria o en transición (31). En la parte baja de la cuenca, tan solo se originan tres (3) enlaces de hábitat a partir de pastos arbolados con vegetación secundaria o en transición.

El aporte de este documento en términos de ordenamiento, gestión y conservación en la cuenca hidrográfica del río Calenturitas es relevante porque generó información acerca del estado estructural del paisaje y de las posibles rutas de conectividad ecológicas presentes en la unidad territorial analizada. La información aquí presentada es útil como un insumo a considerar en la planificación ambiental de la cuenca y, así, poder mitigar —en parte— los efectos de la fragmentación y aislamiento del hábitat, en el sentido de promover el movimiento o la dispersión de plantas o animales entre los hábitats centrales.

## Recomendaciones

A luz de los resultados obtenidos es imperativo realizar estudios de conectividad funcional para determinar las rutas a priorizar y canalizar esfuerzos para desarrollar medidas como reforestación, rehabilitación y restauración, encaminadas a mejorar el tamaño y formas de los parches. De esta manera se reduce el costo energético de los organismos al moverse o dispersarse de entre hábitat centrales.

Realizar el modelamiento de enlaces o corredores de hábitat incluyendo además de las unidades de coberturas variables como red hídrica, cuerpos de agua, pendiente, vías terrestres o caminos y centros poblados, pues son elementos determinantes en el desplazamiento de los organismos.

Conocer la conectividad estructural de los fragmentos menores de 50 hectáreas para las unidades boscosas y áreas seminaturales (bosque denso, fragmentando, de galería y/o ripario y vegetación secundaria o en transición), así como pastos arbolados; para establecer si se comportan como *Steppins stones* (pequeñas áreas aisladas que podrían funcionar bien como áreas núcleo para especies individuales o como corredores fragmentados).



- Anaya, L., & Díaz, A. (2016). *Análisis de la fragmentación de coberturas naturales producida por la minería a cielo abierto en el municipio de La Jagua de Ibirico*. Bogotá, D. C.: Universidad Distrital Francisco José Caldas.
- Andren, H. (1994). Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos*, 355-366.
- Andresen, E. (2003). Effect of forest fragmentation on dung beetle communities and functional consequences for plant regeneration. *Ecography*, 26(1), 87-97.
- Armenteras, D., & Vargas, O. (2016). Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. *Acta biológica colombiana*, 21(1), 229-239.
- Battisti, C. (2003). Habitat fragmentation, fauna and ecological network planning: Toward a theoretical conceptual framework. *Italian journal of zoology*, 70(3), 241-247.
- Bennett, A. (1998). *Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*. IUCN.
- Bizama, G., Torrejón, F., Aguayo, M., Muñoz, M., Echeverría, C., & Urrutía, R. (2011). Pérdida y fragmentación del bosque nativo en la cuenca del río Ausén (Patagonía-Chile) durante el siglo XX. *Revista de Geografía Norte Grande*(49), 125-138. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022011000200008>
- Bolger, D., Scott, T., & Rotenberry, J. (2001). Use of corridor-like landscape structures by bird and small mammal species. *Biology conservation*, 102, 213-224.
- Botache, L., Aguilar, F., & Chaves, S. (2011). Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima Colombia. *Ciencias Biológicas*, 1(6), 125-140. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3944231.pdf>

- Botache, L., Gómez, F., & Valderrama, S. (2011). Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima-Colombia. 1(6), 125-140. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3944231>
- Brenes, C. (2009). *Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo y dinámica del paisaje en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca*. Talamanca, Costa Rica.
- Bruinderink, G., Van der Sluis, D., Opdam, P., & Powels, R. (2003). Designing a Coherent Ecological Network for Large Mammals in Northwestern Europe. *Conservation Biology*, 17(2), 549-558.
- Burgess, R. (1988). Community organization: effects of landscape fragmentation. *Canadian Journal of Botany*, 66(12), 2687-2690. Obtenido de <https://doi.org/10.1139/b88-363>
- Camargo, F. (julio de 2017). La transformación del bosque seco desde la mirada geográfico-ambiental en la cuenca del Río Cesar. Bogotá: UDCA.
- Carvajal, J., & Urbina, N. (2014). Ecological grouping and edge effects in tropical dry evergreen forest: reptile-microenvironment relationships. *Biodiversity and conservation*.
- Chain, A. (2009). Factores que influyen en la composición y diversidad de bosques en una red de conectividad ecológica en un paisaje fragmentado mesoamericano. *Doctoral dissertation, Tesis Magister Scientiae*. Turrialba, Costa Rica.
- Chassot, O., & Finegan, B. (2010). *Diseño de un paisaje funcional de conservación para el Caribe Norte de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Universidad Nacional de Costa Rica.
- Congreso de la República. (16 de 12 de 1959). Ley segunda.
- Congreso de la República. (22 de 12 de 1999). Ley 99. *Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación*

- Conrad, J., Gomes, C., Jan van Hove, W., & Ashish, J. (2011). Wildlife corridors as a connected subgraph problem. *Journal of environmental economics and management*.
- Corporación Autónoma Regional del Cesar. (2015). *Resolución 0674 «Por la cual se adiciona la Resolución 1207 de 2012 donde se expidieron las determinantes ambientales para la elaboración de los Planes de Ordenamiento Territorial Municipal en la jurisdicción del departamento del Cesar*. Valledupar.
- Corporación Autónoma Regional del Cesar. (16 de 12 de 2016). Acuerdo Nro. 021. *Por el cual se reserva, delimita, alindera y declara el Parque Natural Regional Serranía del Perijá Localizada en el departamento del Cesar y se dictan normas para su administración y manejo sostenible*.
- Corporación Autónoma Regional del Cesar. (2016). *Formulación del POMCA del río Calenturitas - Fase de diagnóstico*. Valledupar.
- Debinski, D., & Holt, R. (2000). A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Biology conservation*, 14, 342-355.
- Didham, R., & Ewers, R. (2006). Continuous response functions for quantifying the strength of Edge effects. *Journal of applied Ecology*, 43, 527-536.
- Dobson, A. (1999). Corridors: Reconnecting Fragmented Landscapes. *Continental conservation*, 129-170.
- Echeverría, C., Bolados, G., Rodriguez, J., Aguayo, M., & Premoli, A. (2014). Ecología de Paisajes Forestales. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Andrea\\_Premoli/publication/275659000\\_Ecologia\\_](https://www.researchgate.net/profile/Andrea_Premoli/publication/275659000_Ecologia_)

- Espinel, L., & Montenegro, E. (1997). *Formaciones vegetales de Colombia*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Esseen, P., & Renhorn, K. (1998). Edge Effects on an epiphytic lichen in fragmented forest. *Conservation Biology*, 12(6). Obtenido de <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.97346.x>.
- Etter, A. (1993). Nuestra Diversidad Biológica. En *Diversidad ecosistémica en Colombia hoy*. (págs. 43-61). Bogotá: CEREC.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution and system*, 34, 487-515.
- Fischer, J., & Lindenmayer, D. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global ecology and biogeography*, 16, 265-280.
- Fischer, J., & Lindenmayer, D. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. Global ecology and biogeography. *Global ecology and biogeography*, 16(3), 265-280.
- Fondo de Desarrollo Sostenible. (2013). Análisis de conectividad de bosque seco tropical en cuatro ventanas del caribe colombiano analizadas a una escala más detallada que 1:250.000. *Proyecto paisajes para la conservación*.
- Forero, G., & Vieira, M. (2009). Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem. *Oecologia Australis*, 11(4), 493-502.
- Forman, R. (1989). *Ecologically Sustainable Landscapes: The role of spatial configuration*. In Zonneveld, IS. New York: Springer – Verlag.

- Forman, R. (1995). *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press. 89
- Forman, R., & Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & sons.
- Galván, G., Ballut-Dajus, G., & De la Ossa, J. (2015). *Determinación de la fragmentación del bosque seco del arroyo Pechelín, Montes de María, Caribe, Colombia.*, 016(2), 151-159. Obtenido de [http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9439/Biota\\_162\\_2015-baja\\_1\\_p151-159.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9439/Biota_162_2015-baja_1_p151-159.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- García, D. (2011). Efectos biológicos de fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Revista Ecosistemas* , 20(2). Obtenido de <https://www.revistaecosistemas.ent/index.php/ecosistemas/article/viewFile/12/12>
- García Murillo, P. G., Martín Perico, J. Y., Parada Romero, L. B., & Garibello Suan, B. (2020). Diseño metodológico para la implementación de competencias STEAM en un proyecto de agricultura urbana, ajustado a condiciones de COVID-19 y con estudiantes de 5° grado en Bogotá, Colombia. En E. Serna M, *Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI Vol. II* (pág. 139-146). Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- García Murillo, P. G. (2019). Compatibilidad de un aislamiento del género *Trichoderma* con ocho fungicidas utilizados en el cultivo de rosa. *Redes de Ingeniería*, 10(1), 5–12. <https://doi.org/10.14483/2248762X.15091>
- García Murillo, P. G. (2018a). Evaluación de tres desinfectantes contra el moho gris causado por *Botrytis cinerea* en el cultivo de rosa. *Redes de Ingeniería*, 9(1), 39–45. <https://doi.org/10.14483/2248762X.13882>
- García Murillo, P. G. (2018b). Producción de orellanas (*Pleurotus ostreatus*) como alternativa para el tratamiento de residuos sólidos de origen vegetal en Bogotá D.C. *Redes de Ingeniería*, 9(1), 26–31. <https://doi.org/10.14483/2248762x.13858>

- García Murillo, P. G. (2015). Bioprospección de microorganismos nativos como alternativa 90 de manejo de enfermedades en cultivos de la Sabana de Bogotá. *Revista CITAS*, 1(1), 9–19. Retrieved from <http://portal.ustadistancia.edu.co/citas/ediciones/vol-1/files/assets/basic-html/page9.html>
- García Murillo, P. G. (2014). Evaluación de tres aislamientos del género *Trichoderma*, en combinación con pregerminación controlada de semillas, contra *Botrytis cinerea* y *Rhizoctia solani*. *Actualidades Biológicas*, 36, 236–237. Retrieved from <http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/resumenesviiiCongMico> logia
- García, J., & Santos, M. (2014). Effects of landscape and vegetation structure on the diversity of phyllostomid bats (Chirptera: Phyllostomidae) in Oaxaca, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 62(1), 226-249. Obtenido de [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442014000200018](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000200018)
- Gentry, A. (1995). *Diversity and floristic composition of neotropical dry forests*. (e. a. Bullock, Ed.) Cambridge: Cambridge University Press.
- Gomes De Azevedo, D., Gomes, R., & Bruck de Moraes, M. (2016). Estudos da fragmentação da paisagem na definição de áreas prioritárias para a Recuperação ambiental da bacia hidrográfica do rio Buranhém. *Boletim de Geografia*, 34(12), 127-144. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i2.2554>.
- Gurrutxaga, M. (2007). La conectividad de redes de conservación en la planificación territorial con base ecológica. Fundamento y aplicaciones en la comunidad Autónoma del País Vasco. *Tesis doctoral*. Universidad del País Vasco.
- Haddad, N., Rosenberg, D., & Noon, B. (1999). On experimentation and the study of corridors: response to Beier and Noss. *Conservation biology*, 14, 1543-1545.

- Hanski, I., & Ovaskainen, O. (09 de 2003). Metapopulation theory for fragmented landscapes. *Theoretical population biology*, 64, 119-127. 91
- Hernández, J., Walschburger, T., Ortiz, R., & Hurtado, A. (1992). Origen y distribución de la biota suramericana y colombiana. *Diversidad Biológica de Iberoamérica I, Acta Zoológica Mexicana*, 55-104.
- Herrera, P., & Díaz, E. (2013). Planificación espacial y conectividad ecológica y territorio. Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica. *Instituto Universitario de Urbanística*, 43-70.
- Holdridge, L. (1982). *Ecología basada en zona de vida Trad.* (H. Jiménez, Trad.) San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Instituto Alexander von Humboldt. (1997). *El Bosque seco Tropical en Colombia*. Bogotá: Minambiente - Naciones Unidas.
- Instituto Alexander von Humboldt. (1998). El Bosque seco Tropical (Bs-T) en Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra : metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000*. Bogotá: IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). Cifra de deforestación en Colombia 2015. *Sala de prensa*. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/la-cifra-de-deforestacion-en-colombia-2015-reporta-124-035-hectareas-afectada](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/la-cifra-de-deforestacion-en-colombia-2015-reporta-124-035-hectareas-afectada)
- Janzen, D. (1983). Seasonal changes in abundance of large nocturnal Cag-beetles (Scarabaeidae) in Costa Rica deciduous forest and adjacent horse pasture. *Oikos*, 41, 274-283.

- Kathan, G. (2002). Fragmentación de patrones y mecanismos de extinción de especies. *Guariguata*, 561-590. 92
- Kattan, G., & Murcia, C. (2003). *A Review and Synthesis of Conceptual Frameworks for the Study of Forest Fragmentation*.
- Kelley, H. (2005). Habitat fragmentation: the theories which provide the framework for the study of. *Ecology of Fragmented Landscapes*, 1-12.
- Lavertry, M., & Gibbs, J. (2007). Ecosystem loss and fragmentation. *Lessons in Conservation*, 1, 72-96.
- León, D. (2013). Efecto de la fragmentación sobre la interacción colibrí-flor en tres remanentes de bosque seco tropical en el municipio de Chimichagua (Cesar, Colombia). *Tesis de doctorado*.
- López, A. (2010). Estimación de conflictos de uso de la tierra por dinámica de cultivos de palma africana, usando sensores remotos. Caso: departamento del Cesar. *DYNA*, 81(186).  
Obtenido de <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n186.38047>
- López, F. (2017). Análisis de la conectividad espacial y fragmentación de la ecorregión Ciénaga Grande Santa Marta. *Tesis de posgrado*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Machtans, C., Villard, M., & Hannon, S. (1996). Use of riparian buffer strips as movement corridors by forest birds. *Conservation biology*, 10, 1366-1379.
- Malagón, D. (1998). El recurso suelo en Colombia: Inventario y Problemática. *Academia Colombiana de Ciencias*, 82, 13-52.
- Martínez, Y. (2012). *Vínculo entre la conectividad social y la conectividad ecológica en los corredores biológicos: el caso de San Juan la Selva y Volcánica Central Talamanca, Costa Rica*. Costa Rica.



herramienta para el estudio de las relaciones patrón proceso. *Memorias del primer seminario argentino de geografía cuantitativa Avances conceptuales y metodológicos para una geografía en acción*. Obtenido de [http:](http://server.ege.fcen.uba.ar/ecoregional/Docs/teorico/Matteucci%202004%20Metricas.pdf)

[//server.ege.fcen.uba.ar/ecoregional/Docs/teorico/Matteucci%202004%20Metricas.pdf](http://server.ege.fcen.uba.ar/ecoregional/Docs/teorico/Matteucci%202004%20Metricas.pdf)

Mc Arthur, R., & Wilson, E. (1967). The Theory of Island Biogeography.

McGarigal, K. (2014). *FRAGSTATS help. Documentation for FRAGSTATS*, 4. Obtenido de <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf>

McGarigal, K., Cushman, S., Neel, M., & Ene, E. (2002). FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Amherst: University of Massachusetts.

McIntyre, S., & Hobbs, R. (1999). A Framework for Conceptualizing Human Effects on Landscapes and Its Relevance to Management and Research Models. *Conservation Biology*, 1283-1292.

McRae, B., & Kavanagh, D. (2013). *Linkage Mapper User Guide*. Obtenido de <http://code.google.com/p/linkage-mapper>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá: MADS. Obtenido de [http://www.andi.com.co/Uploads/GUIA\\_DE\\_POMCAS.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/GUIA_DE_POMCAS.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (26 de 05 de 2015). Decreto 1076. *Por medio del cual se expide el Decreto Único*. Bogotá, Colombia.

*la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera.* Bogotá, Colombia.

Moilanen, A., & Ilka, H. (2001). On the use of connectivity measures in spatial ecology. *Oikos*, 95, 147-151.

Morera, C., Pinto, J., & Romero, M. (2007). *Paisaje, procesos de fragmentación y redes ecológicas: aproximación conceptual. Corredores biológicos: acercamiento conceptual y experiencia en América.* San José, Costa Rica: Imprenta Nacional. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Carlos\\_Morera\\_beita/publication/256495889\\_PAISAJE\\_PROCESOS\\_DE\\_FRAGMENTACION\\_Y\\_REDES\\_ECOLOGICAS\\_APROXIMACION\\_CONCEPTUAL/links/0deec5231d7ebb5356000000.pdf?origin=publication\\_list](https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Morera_beita/publication/256495889_PAISAJE_PROCESOS_DE_FRAGMENTACION_Y_REDES_ECOLOGICAS_APROXIMACION_CONCEPTUAL/links/0deec5231d7ebb5356000000.pdf?origin=publication_list)

Mullu, D. (2016). A Review on the Effect of Habitat Fragmentation on Ecosystem. *Journal os natural sciences research*, 6.

Murphy, P., & Lugo, A. (1986). Ecology of a tropical dry forest. *Annual review of ecology and systematics*, 17, 67-68.

Naveh, Z. (2001). *Ecología del paisaje.* Universidad de Buenos Aires.

Núñez, N. (05 de 06 de 2018). Pomcas, instrumentos ambientales de planificación territorial.

Ortega, S. (2009). Propuesta de red de conectividad ecológica entre remanentes de bosque y cacaotales en dos paisajes centroamericanos. *Magister Scientiae, CATIE.*

Ortega, S. (2009). *Propuesta de red de conectividad ecológica entre remanentes de bosuqe y cacotales en dos paisajes centroamericanos.* Turrialba.

- Landscape. *Biodiversity and Conservation*, 13(13), 2567-2586. Obtenido de <https://doi.org/10.1023/B.BIOC.0000048452.18878.2d>
- Pennington, T., Lewis, G., & Ratter, J. (2006). An Overview of the plant diversity, biogeography and conservation of neotropical savannas and seasonally dry forest. *The systematics association. Special volume series*, 69, 1-29.
- Peña, C., Rebodello, G., Hermosilla, K., Hauenstein, E., C, B., Schalatter, R., & Tapia, J. (2006). Dinámica del paisaje para el período 1980-2004 en la cuenca costera del lago Budi, Chile. Consideraciones para la conservación de sus humedales. *Ecología Austral*, 16(2), 183-196. Obtenido de [http://www.lpt.cl/wp-content/uploads/57\\_Pe%C3%B1a-Cortes\\_2006.Dinamica\\_paisaje\\_Lago\\_Budi\\_1980-2004.pdf](http://www.lpt.cl/wp-content/uploads/57_Pe%C3%B1a-Cortes_2006.Dinamica_paisaje_Lago_Budi_1980-2004.pdf)
- Phua, M., & Tsuyuki, S. (2008). Evaluation of fire-induced deforestation of tropical peat swamp forest using remote sensing and GIS techniques: A case study of the Klias Peninsula, Sabah, Malaysia. (e. a. Sánchez, Ed.) *Deforestation research progress*, 203-215.
- Pirovani, D. (2010). FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL, DINÂMICA E ECOLOGIA DA PAISAGEM. *Tesis de posgrado*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. Obtenido de [http://www.mundogeomatica.com.br/TesesMonografias/Tese\\_Site/Tese\\_%20Daiani.pdf](http://www.mundogeomatica.com.br/TesesMonografias/Tese_Site/Tese_%20Daiani.pdf)
- Pizano, C., & García, H. (2014). *El bosque seco tropical de Colombia*. (I. d. Humboldt, Ed.) Obtenido de <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9333>
- Pomar, J., & Vargas, G. (1985). Estudio preliminar para determinar las diferentes zonas de vida en el departamento de Tolima según el sistema Holdridge. Ibagué: Universidad del Tolima.

- Presidencia de la República. (12 de 08 de 2012). Decreto 1640. *Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.* Bogotá, Colombia. 96
- Presidencia de la República. (18 de 12 de 1974). Decreto-Ley 2811. *Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección.*
- Prugh, L., Hodges, K., Sinclair, A., & Brashares, J. (2008). Effect habitat area and isolation on fragmented animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(52), 20770-20775.
- Rangel, O. (2012). Ecosistemas del Caribe colombiano. *Colombia diversidad biótica*, 12, 963-1009.
- Rangel, O. (2015). La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(151), 176-200.  
Obtenido de <https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/136>
- Rangel, O., Lowy, P., Aguilar, M., & García, A. (1997). Tipos de vegetación en Colombia. *Colombia: diversidad biótica*, 2, 367-389.
- Reed, D. (1995). Status and trends of hydrologic modification, reduction in sediment availability, and habitat loss/modification in the Barataria-Terrebone estuarine system. *Barataria-Terrebone National Estuary Program*, 20, 7-24.
- Reeds, R., Barnard, J., & Baker, W. (1996). Contribution of roads to forest fragmentation in the Rocky Mountains. *Conservation biology*, 10(4), 1098-1106.
- Ricart, A., Dalmau, A., Pérez, M., & Romero, J. (2015). Effects of landscape configuration on the exchange of materials in seagrass ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 89-100.

- Ritters, K., Wickham, J., O'Neill, R., Jones, B., & Smith, E. (12 de 2000). Global-scale patterns of forest fragmentation. *Conservation ecology*, 4(2). 97
- Rosenberg, D., Noon, B., & Meslow, C. (1997). Biological corridors, form, function, and efficacy. *Bioscience*, 47(10), 677-687.
- Routledge, D. (1998). Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process. *Doc sciences internal series*.
- Rudas, M., Armenteras, D., Rodríguez, N., Morales, M., Delgado, L., & sARMIENTO, a. (2007). Biodiversidad y actividad humana: relaciones en ecosistemas de bosque subandino en Colombia. (I. d. Humboldt, Ed.) *Los ecosistemas y la biodiversidad en Colombia*, 25-34. Obtenido de [http://www.quimica.unal.edu.co/cuenciencias/data-file/user\\_26/bosque\\_subandino.pdf](http://www.quimica.unal.edu.co/cuenciencias/data-file/user_26/bosque_subandino.pdf)
- Samsuri, S., Jaya, I., Kusmana, C., & Murti Laksono, K. (2014). Tropical Forest Landscape Fragmentation in Batang Toru Watershed, North Sumatra. *Journal Forest Management*, 20(2), 77-85. Obtenido de <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jmht/article/view/8439>
- San Vicente, M., & Valencia, P. (2008). Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. *Estudios geográficos*, 69(265), 519-543.
- Sánchez-Azofeifa, A. e. (2005). Research Priorities for Neotropical Dry Forests. *Biotropica*, 37(4), 477-485.
- Santos, J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las. *Revista Ecosistemas*, 15(2).
- Santos, J., & Kersten, R. (2014). Edge effect on vascular epiphytes in a subtropical Atlantic Forest. *Acta Bot. Bras.*, 28(1). Obtenido de

Taylor, e. a. (2006). Landscape connectivity: A return to the basics.

Taylor, P., Fahrig, L., Henein, K., & Gray, M. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68(3), 571-572.

Technical Guidelines for the Design and Management of Participatory Connectivity

Conservation and Restoration Projects at the Landscape Scale in Latin America. (s.f.).

Theobald, D. (2006). Exploring the functional connectivity of landscapes using landscape networks. (e. a. Crooks, Ed.) *Connectivity conservation: maintaining connections for nature*, 416-443.

Tischendorf, L., & Fahrig, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*.

Turner, M. (1990). *Métodos cuantitativos en ecología del paisaje*. Nueva York: Springer-Verlag.

Turner, M. (2001). *Ecología del paisaje en teoría y práctica*. Nueva York: Springer-Verlag.

Turner, M., Neill, R., Gardner, R., & Bruce, M. (1989). Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape ecology*(3), 153-162.

Useche, D. (2006). *Diseño de redes ecológicas de conectividad para la conservación y restauración del paisaje en Nicaragua, Centroamérica*. Obtenido de [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8275/Bases\\_ecologicas\\_para\\_la\\_gestion.pdf](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8275/Bases_ecologicas_para_la_gestion.pdf)

Valdés, A. (2011). Modelos de paisaje y análisis de fragmentación: de la biogeografía de islas a la aproximación de paisaje continuo. *Revista Ecosistemas*, 20(2), 11-20. Obtenido de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/19/13>

- Valencia, A., Restrepo, L., & Soto, S. (2008). Conectividad estructural del paisaje cafetero en la cuenca alta del río San Juan, suroeste antioqueño, Colombia. *Revista Boletín Ciencias de la Tierra*. 99
- Valenzuela, L. (2016). Análisis de la fragmentación de coberturas naturales producida por la minería a cielo abierto en el municipio La Jagua de Ibirico, Cesar. *Tesis de pregrado*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Villanueva, B., Melo, O., & Rincón, M. (2015). Estado del conocimiento y aportes a la flora vascular del bosque seco del Tolima. *Colombia Forestal*, 18(1), 9-23. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v18n1/v18n1a03.pdf>
- Viña, A., & Estevez, J. (2013). Fragmentation Of A Tropical Lowland Forest in a trans-boundary region: Colombia and Ecuador. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 17(1), 53-63. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0123-30682013000100005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-30682013000100005)
- Wade, T., Riitters, K., Wickham, J., & Jones, K. (2013). Distribution and causes of global forest fragmentation. *Conservation Ecology. Conservation Ecology*, 7(2). Obtenido de [https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja\\_wade005.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_wade005.pdf)
- Zhou, T., Xiaoying, L., Yuping, H., Xiang, Y., & Shaolin, P. (2020). Quantifying the effects of road width on roadside vegetation and soil conditions in forests. *Landscape ecology*, 35, 69-81.

### Anexo

#### *Anexo 1. Estadísticas de Distancia y Superficie Ponderada por Costo para los Enlaces en la Cuenca del Río Calenturitas*

| From_Core | Class* | To_Core | Class | Euc_Dist<br>(km) <sup>15</sup> | CW_Dist<br>(km) <sup>16</sup> | LCP_Length<br>(km) <sup>17</sup> |
|-----------|--------|---------|-------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 1         | BD     | 67      | Vst   | 0,28                           | 3,52                          | 0,31                             |
| 1         | BD     | 68      | Vst   | 0,27                           | 4,40                          | 0,63                             |
| 1         | BD     | 63      | Vst   | 1,07                           | 4,47                          | 1,26                             |
| 1         | BD     | 44      | PA    | 0,83                           | 5,23                          | 1,46                             |
| 1         | BD     | 48      | PA    | 8,46                           | 13,23                         | 12,73                            |
| 2         | BD     | 72      | Vst   | 1,15                           | 1,50                          | 1,50                             |
| 2         | BD     | 47      | PA    | 1,15                           | 1,67                          | 1,67                             |
| 2         | BD     | 66      | Vst   | 1,56                           | 3,26                          | 2,26                             |
| 2         | BD     | 79      | Vst   | 2,19                           | 2,95                          | 2,95                             |
| 2         | BD     | 73      | Vst   | 3,59                           | 4,21                          | 4,21                             |
| 2         | BD     | 64      | Vst   | 3,70                           | 6,19                          | 5,49                             |
| 3         | BD     | 49      | PA    | 0,85                           | 1,75                          | 1,75                             |
| 3         | BD     | 45      | PA    | 1,54                           | 2,33                          | 2,33                             |
| 3         | BD     | 46      | PA    | 1,74                           | 2,48                          | 2,48                             |
| 3         | BD     | 77      | Vst   | 2,16                           | 3,03                          | 3,03                             |
| 3         | BD     | 79      | Vst   | 2,91                           | 4,94                          | 3,84                             |
| 3         | BD     | 51      | PA    | 1,45                           | 11,85                         | 4,39                             |
| 3         | BD     | 80      | Vst   | 3,39                           | 6,33                          | 5,23                             |
| 3         | BD     | 85      | Vst   | 2,25                           | 15,60                         | 6,54                             |
| 3         | BD     | 20      | BF    | 5,20                           | 40,61                         | 25,35                            |
| 4         | BD     | 50      | PA    | 0,16                           | 0,58                          | 0,18                             |
| 4         | BD     | 5       | BD    | 0,36                           | 0,37                          | 0,37                             |
| 5         | BD     | 50      | PA    | 0,19                           | 0,61                          | 0,21                             |
| 6         | BF     | 32      | BG    | 0,29                           | 1,16                          | 0,46                             |
| 6         | BF     | 7       | BF    | 0,51                           | 6,18                          | 5,48                             |
| 6         | BF     | 8       | BF    | 2,83                           | 65,30                         | 47,76                            |
| 7         | BF     | 32      | BG    | 1,01                           | 2,49                          | 2,49                             |

<sup>15</sup> Euc\_Dist (km): Distancia euclidiana, mide distancia lineal o recta de borde a borde entre fragmentos.

<sup>16</sup> CW\_Dist (km): Distancia ponderada por costo, mide el costo total acumulado a lo largo de la ruta de menor costo.

<sup>17</sup> LCP\_Length (km): Longitud de ruta de menor costo, mide la distancia real (no ponderada) recorrida caminando la ruta de menor costo.



|    |    |    |     |       |       |       |
|----|----|----|-----|-------|-------|-------|
| 7  | BF | 52 | Vst | 12,69 | 22,92 | 18,96 |
| 7  | BF | 33 | BG  | 11,73 | 25,08 | 21,20 |
| 7  | BF | 22 | BF  | 8,44  | 33,49 | 29,61 |
| 7  | BF | 9  | BF  | 3,56  | 45,96 | 36,13 |
| 7  | BF | 8  | BF  | 1,43  | 59,04 | 42,21 |
| 8  | BF | 9  | BF  | 0,24  | 7,25  | 0,25  |
| 9  | BF | 22 | BF  | 0,79  | 9,10  | 3,15  |
| 9  | BF | 33 | BG  | 6,69  | 16,93 | 10,98 |
| 10 | BF | 11 | BF  | 0,13  | 0,63  | 0,15  |
| 10 | BF | 12 | BF  | 0,16  | 0,66  | 0,18  |
| 10 | BF | 52 | Vst | 5,79  | 7,09  | 7,09  |
| 10 | BF | 32 | BG  | 17,39 | 33,41 | 29,45 |
| 11 | BF | 12 | BF  | 0,16  | 0,75  | 0,19  |
| 11 | BF | 14 | BF  | 0,53  | 0,59  | 0,59  |
| 11 | BF | 55 | Vst | 19,35 | 42,23 | 30,58 |
| 12 | BF | 13 | BF  | 0,19  | 0,71  | 0,23  |
| 12 | BF | 15 | BF  | 0,29  | 0,88  | 0,32  |
| 12 | BF | 52 | Vst | 0,47  | 0,48  | 0,48  |
| 12 | BF | 14 | BF  | 0,16  | 0,52  | 0,52  |
| 12 | BF | 54 | Vst | 0,34  | 1,04  | 0,55  |
| 12 | BF | 33 | BG  | 2,41  | 3,17  | 3,17  |
| 12 | BF | 34 | BG  | 1,03  | 3,62  | 3,62  |
| 13 | BF | 54 | Vst | 0,12  | 0,13  | 0,13  |
| 13 | BF | 15 | BF  | 0,34  | 0,37  | 0,37  |
| 14 | BF | 54 | Vst | 0,20  | 0,87  | 0,31  |
| 14 | BF | 53 | Vst | 0,61  | 0,63  | 0,63  |
| 14 | BF | 55 | Vst | 16,97 | 37,28 | 25,63 |
| 15 | BF | 54 | Vst | 0,12  | 0,13  | 0,13  |
| 15 | BF | 42 | PA  | 0,15  | 0,16  | 0,16  |
| 15 | BF | 34 | BG  | 0,80  | 1,31  | 0,91  |
| 15 | BF | 35 | BG  | 0,99  | 1,18  | 1,18  |
| 15 | BF | 16 | BF  | 1,05  | 2,22  | 1,74  |
| 15 | BF | 22 | BF  | 4,40  | 6,49  | 6,09  |
| 15 | BF | 33 | BG  | 5,04  | 10,81 | 10,24 |
| 16 | BF | 37 | BG  | 0,12  | 0,13  | 0,13  |
| 16 | BF | 35 | BG  | 0,13  | 0,53  | 0,13  |
| 16 | BF | 69 | Vst | 0,12  | 0,13  | 0,13  |
| 16 | BF | 58 | Vst | 0,15  | 0,57  | 0,17  |
| 16 | BF | 73 | Vst | 0,13  | 0,18  | 0,18  |
| 16 | BF | 42 | PA  | 0,49  | 1,44  | 0,56  |
| 16 | BF | 54 | Vst | 0,35  | 1,07  | 0,67  |

|    |    |    |     |      |       |       |
|----|----|----|-----|------|-------|-------|
| 16 | BF | 22 | BF  | 2,58 | 2,86  | 2,86  |
| 17 | BF | 22 | BF  | 0,02 | 0,03  | 0,03  |
| 17 | BF | 37 | BG  | 0,82 | 1,45  | 1,45  |
| 17 | BF | 38 | BG  | 1,32 | 2,72  | 2,72  |
| 17 | BF | 36 | BG  | 2,30 | 3,78  | 3,78  |
| 17 | BF | 75 | Vst | 2,27 | 4,61  | 4,61  |
| 17 | BF | 78 | Vst | 4,14 | 7,77  | 6,92  |
| 17 | BF | 82 | Vst | 4,96 | 11,87 | 9,53  |
| 18 | BF | 22 | BF  | 0,05 | 0,06  | 0,06  |
| 18 | BF | 19 | BF  | 0,10 | 0,11  | 0,11  |
| 19 | BF | 22 | BF  | 0,12 | 0,14  | 0,14  |
| 19 | BF | 38 | BG  | 0,81 | 0,88  | 0,88  |
| 20 | BF | 23 | BF  | 0,12 | 0,14  | 0,14  |
| 20 | BF | 24 | BF  | 0,50 | 2,66  | 2,26  |
| 20 | BF | 85 | Vst | 3,92 | 23,75 | 17,55 |
| 20 | BF | 39 | BG  | 3,20 | 25,41 | 18,71 |
| 20 | BF | 84 | Vst | 3,85 | 22,94 | 20,11 |
| 20 | BF | 80 | Vst | 3,78 | 37,26 | 33,86 |
| 21 | BF | 23 | BF  | 2,54 | 5,98  | 3,65  |
| 21 | BF | 22 | BF  | 3,04 | 4,10  | 4,10  |
| 21 | BF | 26 | BF  | 2,14 | 4,39  | 4,39  |
| 21 | BF | 81 | Vst | 3,59 | 7,23  | 7,23  |
| 21 | BF | 83 | Vst | 3,14 | 8,17  | 8,17  |
| 21 | BF | 84 | Vst | 3,53 | 10,53 | 10,03 |
| 21 | BF | 82 | Vst | 3,46 | 10,44 | 10,44 |
| 22 | BF | 26 | BF  | 0,57 | 0,63  | 0,63  |
| 22 | BF | 38 | BG  | 1,44 | 1,72  | 1,72  |
| 22 | BF | 37 | BG  | 1,62 | 2,52  | 2,52  |
| 22 | BF | 35 | BG  | 3,25 | 4,30  | 3,82  |
| 22 | BF | 33 | BG  | 3,50 | 4,46  | 4,46  |
| 22 | BF | 82 | Vst | 5,21 | 6,89  | 5,94  |
| 22 | BF | 31 | BF  | 5,67 | 8,42  | 7,21  |
| 22 | BF | 52 | Vst | 7,67 | 9,31  | 9,31  |
| 23 | BF | 24 | BF  | 0,12 | 0,23  | 0,23  |
| 23 | BF | 27 | BF  | 0,57 | 0,75  | 0,75  |
| 23 | BF | 25 | BF  | 1,21 | 2,99  | 1,51  |
| 23 | BF | 40 | BG  | 3,70 | 5,04  | 5,04  |
| 23 | BF | 26 | BF  | 3,82 | 5,53  | 5,53  |
| 23 | BF | 84 | Vst | 4,10 | 18,60 | 15,77 |
| 24 | BF | 28 | BF  | 0,12 | 0,13  | 0,13  |
| 24 | BF | 25 | BF  | 0,30 | 0,33  | 0,33  |

---

|    |    |    |     |       |       |       |
|----|----|----|-----|-------|-------|-------|
| 24 | BF | 39 | BG  | 3,44  | 17,95 | 11,65 |
| 25 | BF | 28 | BF  | 0,14  | 0,19  | 0,19  |
| 25 | BF | 27 | BF  | 0,86  | 1,01  | 1,01  |
| 25 | BF | 29 | BF  | 0,96  | 1,83  | 1,83  |
| 26 | BF | 31 | BF  | 0,82  | 2,78  | 1,58  |
| 26 | BF | 40 | BG  | 2,21  | 3,78  | 3,78  |
| 26 | BF | 41 | BG  | 1,52  | 3,98  | 3,98  |
| 26 | BF | 27 | BF  | 4,37  | 4,96  | 4,96  |
| 27 | BF | 29 | BF  | 0,17  | 0,19  | 0,19  |
| 27 | BF | 28 | BF  | 1,23  | 1,56  | 1,56  |
| 27 | BF | 40 | BG  | 2,74  | 4,14  | 4,14  |
| 27 | BF | 41 | BG  | 2,82  | 4,34  | 4,34  |
| 28 | BF | 30 | BF  | 0,13  | 0,14  | 0,14  |
| 28 | BF | 29 | BF  | 0,73  | 0,99  | 0,99  |
| 28 | BF | 85 | Vst | 5,48  | 13,76 | 7,96  |
| 28 | BF | 39 | BG  | 3,77  | 15,43 | 9,13  |
| 28 | BF | 49 | PA  | 11,79 | 33,77 | 15,83 |
| 28 | BF | 76 | Vst | 18,74 | 43,73 | 25,22 |
| 29 | BF | 30 | BF  | 0,16  | 0,17  | 0,17  |
| 29 | BF | 41 | BG  | 2,17  | 6,43  | 6,43  |
| 31 | BF | 41 | BG  | 0,24  | 1,30  | 0,40  |
| 31 | BF | 40 | BG  | 1,28  | 2,23  | 2,23  |
| 32 | BG | 52 | Vst | 12,45 | 25,49 | 21,53 |
| 32 | BG | 33 | BG  | 12,11 | 27,65 | 23,77 |
| 33 | BG | 52 | Vst | 0,78  | 0,90  | 0,90  |
| 33 | BG | 34 | BG  | 3,23  | 10,08 | 4,29  |
| 36 | BG | 75 | Vst | 0,12  | 0,13  | 0,13  |
| 36 | BG | 73 | Vst | 0,49  | 1,81  | 1,81  |
| 36 | BG | 78 | Vst | 1,65  | 2,32  | 1,84  |
| 36 | BG | 37 | BG  | 1,69  | 1,90  | 1,90  |
| 36 | BG | 69 | Vst | 1,33  | 2,85  | 2,85  |
| 37 | BG | 69 | Vst | 0,12  | 0,13  | 0,13  |
| 38 | BG | 78 | Vst | 5,59  | 8,62  | 7,77  |
| 38 | BG | 82 | Vst | 4,27  | 10,08 | 9,12  |
| 39 | BG | 85 | Vst | 0,65  | 1,41  | 0,91  |
| 39 | BG | 51 | PA  | 2,71  | 5,35  | 3,24  |
| 39 | BG | 49 | PA  | 7,01  | 21,81 | 9,17  |
| 40 | BG | 41 | BG  | 0,14  | 0,18  | 0,18  |
| 42 | PA | 54 | Vst | 0,37  | 0,44  | 0,44  |
| 43 | PA | 56 | Vst | 0,25  | 4,66  | 0,28  |
| 43 | PA | 60 | Vst | 0,66  | 1,74  | 1,18  |

---

|    |    |    |     |       |       |       |
|----|----|----|-----|-------|-------|-------|
| 43 | PA | 55 | Vst | 0,95  | 4,63  | 1,75  |
| 43 | PA | 66 | Vst | 7,45  | 19,03 | 11,14 |
| 43 | PA | 45 | PA  | 7,77  | 24,92 | 23,31 |
| 44 | PA | 68 | Vst | 0,12  | 0,13  | 0,13  |
| 44 | PA | 67 | Vst | 0,51  | 1,09  | 0,69  |
| 44 | PA | 62 | Vst | 2,47  | 12,79 | 2,70  |
| 44 | PA | 61 | Vst | 5,81  | 12,22 | 6,68  |
| 44 | PA | 76 | Vst | 5,26  | 20,09 | 13,67 |
| 44 | PA | 48 | PA  | 11,15 | 21,02 | 16,74 |
| 44 | PA | 70 | Vst | 4,43  | 26,20 | 17,43 |
| 45 | PA | 49 | PA  | 0,12  | 0,12  | 0,12  |
| 45 | PA | 77 | Vst | 0,12  | 0,13  | 0,13  |
| 45 | PA | 74 | Vst | 0,19  | 1,42  | 0,92  |
| 45 | PA | 71 | Vst | 1,38  | 2,60  | 2,10  |
| 45 | PA | 46 | PA  | 1,02  | 3,67  | 3,67  |
| 45 | PA | 66 | Vst | 2,76  | 4,38  | 3,88  |
| 45 | PA | 55 | Vst | 7,93  | 24,93 | 15,33 |
| 45 | PA | 60 | Vst | 7,59  | 18,11 | 17,06 |
| 46 | PA | 79 | Vst | 0,30  | 2,98  | 1,88  |
| 46 | PA | 80 | Vst | 2,14  | 4,37  | 3,27  |
| 46 | PA | 77 | Vst | 0,65  | 4,37  | 4,37  |
| 46 | PA | 74 | Vst | 0,63  | 6,40  | 5,90  |
| 47 | PA | 80 | Vst | 0,12  | 0,13  | 0,13  |
| 47 | PA | 79 | Vst | 0,40  | 0,44  | 0,44  |
| 47 | PA | 74 | Vst | 2,56  | 4,02  | 3,52  |
| 47 | PA | 66 | Vst | 2,96  | 4,75  | 3,75  |
| 47 | PA | 72 | Vst | 2,34  | 3,78  | 3,78  |
| 47 | PA | 71 | Vst | 3,06  | 4,60  | 4,10  |
| 47 | PA | 73 | Vst | 4,32  | 6,50  | 6,50  |
| 47 | PA | 83 | Vst | 4,88  | 16,77 | 15,71 |
| 47 | PA | 84 | Vst | 3,88  | 19,14 | 17,57 |
| 48 | PA | 50 | PA  | 5,08  | 15,38 | 6,37  |
| 48 | PA | 63 | Vst | 11,51 | 19,97 | 16,47 |
| 48 | PA | 76 | Vst | 17,56 | 40,86 | 31,80 |
| 49 | PA | 77 | Vst | 0,73  | 0,84  | 0,84  |
| 49 | PA | 74 | Vst | 2,11  | 2,87  | 2,37  |
| 49 | PA | 51 | PA  | 3,34  | 14,99 | 4,46  |
| 49 | PA | 76 | Vst | 5,70  | 8,60  | 8,03  |
| 49 | PA | 65 | Vst | 7,61  | 11,50 | 10,45 |
| 49 | PA | 60 | Vst | 7,78  | 13,82 | 12,77 |
| 51 | PA | 85 | Vst | 0,41  | 2,28  | 0,68  |

|    |     |    |     |       |       |       |
|----|-----|----|-----|-------|-------|-------|
| 53 | Vst | 54 | Vst | 0,32  | 0,94  | 0,37  |
| 53 | Vst | 58 | Vst | 1,20  | 2,60  | 2,03  |
| 53 | Vst | 66 | Vst | 8,81  | 18,12 | 12,91 |
| 53 | Vst | 55 | Vst | 15,03 | 35,48 | 23,69 |
| 54 | Vst | 58 | Vst | 0,12  | 0,14  | 0,14  |
| 55 | Vst | 56 | Vst | 2,34  | 10,89 | 3,62  |
| 55 | Vst | 66 | Vst | 6,22  | 18,25 | 9,16  |
| 56 | Vst | 57 | Vst | 1,69  | 21,60 | 2,24  |
| 56 | Vst | 60 | Vst | 1,49  | 7,99  | 2,54  |
| 57 | Vst | 60 | Vst | 1,57  | 31,24 | 6,42  |
| 57 | Vst | 59 | Vst | 1,49  | 36,53 | 11,23 |
| 57 | Vst | 62 | Vst | 5,40  | 51,52 | 18,36 |
| 57 | Vst | 63 | Vst | 7,73  | 50,62 | 20,85 |
| 58 | Vst | 73 | Vst | 0,25  | 1,25  | 0,28  |
| 58 | Vst | 64 | Vst | 1,11  | 2,17  | 1,28  |
| 58 | Vst | 66 | Vst | 7,57  | 13,20 | 10,61 |
| 59 | Vst | 60 | Vst | 0,13  | 0,63  | 0,15  |
| 59 | Vst | 61 | Vst | 0,39  | 0,86  | 0,86  |
| 59 | Vst | 65 | Vst | 0,91  | 1,40  | 1,00  |
| 59 | Vst | 62 | Vst | 2,84  | 12,25 | 4,39  |
| 60 | Vst | 65 | Vst | 0,33  | 0,70  | 0,70  |
| 60 | Vst | 76 | Vst | 2,09  | 3,47  | 2,99  |
| 60 | Vst | 66 | Vst | 8,47  | 19,86 | 12,76 |
| 60 | Vst | 74 | Vst | 9,25  | 21,35 | 19,80 |
| 61 | Vst | 65 | Vst | 1,43  | 3,17  | 1,80  |
| 61 | Vst | 62 | Vst | 1,61  | 10,79 | 2,92  |
| 61 | Vst | 76 | Vst | 2,21  | 5,81  | 3,97  |
| 61 | Vst | 63 | Vst | 4,12  | 9,89  | 5,42  |
| 61 | Vst | 67 | Vst | 4,81  | 11,52 | 5,68  |
| 61 | Vst | 70 | Vst | 1,90  | 11,91 | 8,66  |
| 62 | Vst | 63 | Vst | 0,75  | 10,46 | 1,44  |
| 62 | Vst | 67 | Vst | 1,43  | 12,09 | 1,71  |
| 62 | Vst | 70 | Vst | 1,64  | 24,77 | 13,67 |
| 63 | Vst | 67 | Vst | 0,12  | 0,12  | 0,12  |
| 64 | Vst | 73 | Vst | 0,27  | 0,97  | 0,97  |
| 64 | Vst | 72 | Vst | 1,65  | 4,27  | 3,56  |
| 64 | Vst | 66 | Vst | 6,29  | 10,41 | 8,70  |
| 65 | Vst | 76 | Vst | 0,61  | 1,16  | 0,67  |
| 65 | Vst | 74 | Vst | 11,19 | 19,04 | 17,49 |
| 66 | Vst | 71 | Vst | 0,16  | 0,17  | 0,17  |
| 66 | Vst | 74 | Vst | 1,93  | 1,98  | 1,98  |

|    |     |    |     |      |       |       |
|----|-----|----|-----|------|-------|-------|
| 66 | Vst | 72 | Vst | 3,95 | 5,95  | 4,95  |
| 66 | Vst | 79 | Vst | 2,56 | 6,04  | 5,04  |
| 67 | Vst | 68 | Vst | 0,13 | 0,57  | 0,17  |
| 69 | Vst | 73 | Vst | 0,15 | 0,17  | 0,17  |
| 70 | Vst | 76 | Vst | 0,16 | 1,76  | 0,83  |
| 71 | Vst | 74 | Vst | 0,26 | 0,28  | 0,28  |
| 71 | Vst | 79 | Vst | 1,94 | 5,78  | 5,28  |
| 72 | Vst | 73 | Vst | 1,40 | 1,91  | 1,91  |
| 72 | Vst | 83 | Vst | 4,87 | 12,18 | 11,12 |
| 72 | Vst | 84 | Vst | 4,95 | 14,55 | 12,98 |
| 73 | Vst | 75 | Vst | 0,19 | 0,63  | 0,23  |
| 73 | Vst | 78 | Vst | 0,40 | 1,44  | 1,04  |
| 73 | Vst | 83 | Vst | 3,90 | 7,39  | 5,84  |
| 74 | Vst | 77 | Vst | 0,32 | 1,10  | 0,60  |
| 74 | Vst | 79 | Vst | 1,21 | 5,20  | 4,70  |
| 75 | Vst | 78 | Vst | 0,21 | 0,23  | 0,23  |
| 78 | Vst | 81 | Vst | 1,32 | 2,68  | 1,51  |
| 78 | Vst | 82 | Vst | 1,72 | 3,79  | 2,41  |
| 78 | Vst | 83 | Vst | 2,55 | 4,33  | 3,16  |
| 79 | Vst | 80 | Vst | 0,76 | 0,97  | 0,97  |
| 80 | Vst | 85 | Vst | 5,98 | 23,90 | 13,73 |
| 80 | Vst | 84 | Vst | 3,83 | 20,53 | 18,97 |
| 81 | Vst | 83 | Vst | 0,39 | 0,46  | 0,46  |
| 81 | Vst | 82 | Vst | 0,83 | 2,06  | 2,06  |
| 83 | Vst | 84 | Vst | 0,13 | 0,65  | 0,15  |

\*BD: Bosque denso. BF: Bosque fragmentado. BG: Bosque de galería y/o ripario. PA: Pasto arbolado.

Vst: Vegetación secundaria o en transición.