

Uso de los SIG en la zonificación ambiental de las canteras de arcilla en la vereda Pueblillo, del municipio de Popayán-Cauca

Use of sig in the environmental zoning of the clay quarries in the village of Pueblillo, municipality of Popayán-Cauca

Alexander Camayo Sánchez,¹
Julieth Alexandra Chacón Paja²

¹*Programa de Ecología, Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail: alexandercamayo@gmail.com*

²*Grupo Unidad de Investigación en Ecología Tropical UNIET,
Programa de Ecología, Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail: julieth.chacon@docente.fup.edu.co*

Resumen

La fragmentación de bosques y su potencial pérdida de calidad de hábitat asociada, es una de las principales causas de disminución de la biodiversidad. Una de las estrategias para conocer las condiciones de los hábitats, es la zonificación ambiental. Esta considera el paisaje como una entidad espacio temporal integrada y contribuye a presentar la dinámica de los procesos ecológicos y funcionamiento del mismo. En esta investigación se desarrolló una propuesta de zonificación ambiental para el área de influencia de las minas de arcilla de la vereda Pueblillo-Popayán, empleando herramientas de sistemas de información geográfica en un área seleccionada que cuenta con 110,5 ha. Se obtuvieron ocho mapas finales que evidencian las unidades de paisaje, coberturas de la tierra, uso actual de suelo, aptitud de suelo, conflicto de uso de suelo, posibles corredores ecológicos y finalmente, zonificación ambiental. De acuerdo a la metodología nacional se seleccionaron las siguientes zonas: zona (z) de especial significado ambiental (29,9 ha), z. de recuperación ambiental (29,1 ha), z. de riesgo y amenazas (2,1 ha), z. de producción

Historia del artículo

Fecha de recepción:

02-05-2023

Fecha de aceptación:

05-07-2023

DOI: 10.47374/

novcol.2023.v18.2300

económica (28,9 ha) y z. de importancia social (20,6 ha). Considerando los procesos de fragmentación de las coberturas vegetales y la conectividad ecológica del área de estudio, se establecieron diversos lineamientos para la ordenación y el manejo de esta zona de acuerdo al Decreto 1729 de 2002. De aquí se tuvieron en cuenta los programas de recuperación, de restauración, protección de áreas con fines de conservación, producción sostenible y los programas de educación ambiental. Finalmente, se generó una ficha donde se estableció la prioridad, duración, actividades, indicadores, metas y objetivos que se espera cumplir con el proyecto, al igual que los costos y posibles entes responsables.

Palabras claves: conectividad ecológica, zonificación ambiental, coberturas de la tierra, conservación, Sistema de Información Geográfico SIG.

Abstract:

Forest fragmentation and its associated potential loss of habitat quality is one of the main causes of biodiversity decline. One of the strategies to know the conditions of the habitats is environmental zoning. This considers the landscape as an integrated space-time entity and contributes to presenting the dynamics of ecological processes and their functioning. In this research, an environmental zoning proposal was developed for the area of influence of the clay mines in the village of Pueblillo-Popayán, using geographic information system tools, in a selected area that has 110,5 Ha. Eight final maps were obtained

that show the landscape units, vegetation cover, current land use, soil suitability, land use conflict, possible ecological corridors and finally environmental zoning. According to the national methodology, the following zones were selected: zone (z) of special environmental significance (29,9 ha), z. of environmental recovery (29,1 ha), z. of risk and threats (2,1 ha), z. of economic production (28,9 ha) and z. of social importance (20,6 ha). Considering the processes of fragmentation of the vegetation covers and the ecological connectivity of the study area, various guidelines were established for the organization and management of this area in accordance with Decree 1729 of 2002. This included recovery and restoration programs, protection of areas for conservation purposes, sustainable production, and environmental education programs. Finally, a sheet was created establishing the priority, duration, activities, indicators, goals and objectives expected to be met with the project, as well as the costs and possible responsible entities.

Keywords: ecological connectivity; environmental zoning; vegetable covers; conservation; GIS Geographic Information System

Introducción

El proceso de zonificación ambiental es la herramienta que permite mostrar la dinámica del territorio, determinando las unidades espaciales de uso y ocupación del mismo considerando la realidad biofísica y socioeconómica del lugar, especialmente las ofertas, limitaciones, potencialidades y

fragilidades que ocurren en la estructura y funcionamiento del ecosistema. De igual manera, permite evidenciar conflictos de uso y manejo que orientan la búsqueda de los aprovechamientos que ofrezcan bienestar y calidad de vida para sus habitantes, al mismo tiempo que se conservan los recursos naturales y la biodiversidad (IDEAM, 2010).

La producción ladrillera que se ubica en la vereda Pueblillo al nororiente de la ciudad de Popayán, durante el transcurso de los años ha generado una deforestación masiva de los ecosistemas, a causa de cultivos transitorios y de la minería de arcilla (Astaiza y Llanos 2019). Esto se evidencia en la fragmentación de la zona, la cual hasta el momento no había sido determinada a escala local. La zonificación ambiental de esta área se convierte en un primer acercamiento desde la mirada socio-ambiental a los impactos negativos sobre los ecosistemas allí presentes. Se enfoca en generar conocimiento que permita la toma de decisiones sobre la gestión y conservación de las áreas que proveen los servicios ecosistémicos, proporcionando así soluciones ecológicas. Los resultados obtenidos del análisis de la zonificación ambiental de la minería de arcilla en la vereda Pueblillo, contribuirán también con la toma de decisiones en la ordenación ambiental del territorio.

Consecutivamente y entendiendo la importancia de la zonificación ambiental de esta investigación, se realizó el análisis ecológico de las unidades del paisaje, mediante un sistema de información geográfica - SIG, en las canteras de arcilla

de la vereda Pueblillo, del municipio de Popayán-Cauca. Cabe resaltar que la zona de estudio pertenece a la parte media de la microcuenca del río Molino y forma parte de la estructura ecológica del municipio. Actualmente ofrece y abastece agua potable para el 10% de la ciudad de Popayán, además brinda riquezas paisajísticas, naturales y materiales para construcción de óptima calidad (Alcaldía municipal de Popayán, 2013).

Atendiendo a lo anterior, este estudio pretende zonificar ambientalmente las canteras de arcilla usando herramientas de sistemas de información geográfica SIG en la vereda pueblillo, municipio de Popayán-Cauca.

Materiales y Métodos:

Área de estudio

La investigación se realizó en la vereda Pueblillo, a una altitud de 1780 msnm., en una extensión de aproximadamente 110 ha, al oriente de la ciudad de Popayán, departamento del Cauca (Fig. 1). La parte del asentamiento está catalogado como barrio y pertenece a la Comuna 3 de Popayán, tiene la configuración física de un pueblo, con una calle principal y las casas situadas a los lados; se ubica con relación al meridiano de Greenwich entre 1° y 3° 20' de Latitud Norte y 75° 50' al oeste, está ubicado en la parte media de la subcuenca del río Molino, al margen izquierdo siguiendo el curso de su desembocadura, siendo este uno de los dos principales sistemas hidrográficos que atraviesa de oriente a occidente la ciudad de Popayán (Gonzales, 2015).

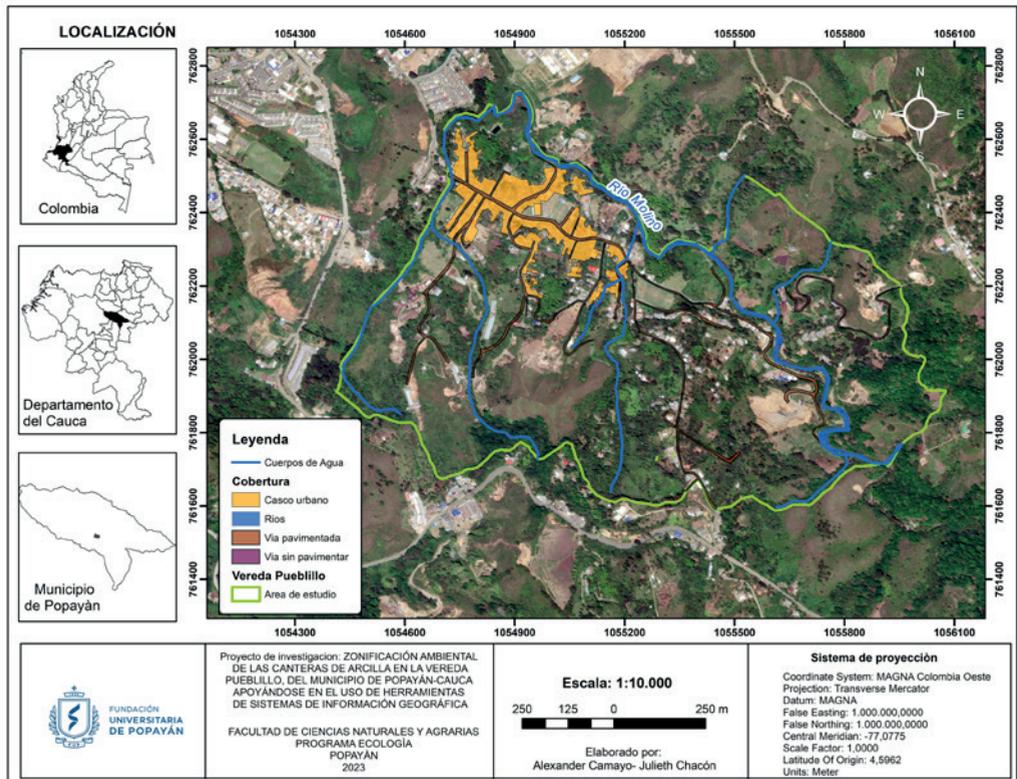


Figura 1. Localización del área de estudio

De acuerdo al Boletín Agroclimático para el departamento del Cauca (2018), Popayán presenta una temperatura promedio de 23 °C, su clima es templado, con humedad relativa de 71% por ubicarse en el Valle de Pubenza, entre las cordilleras Central y Occidental.

Fase 1: Consulta de información secundaria y reconocimiento del área

Se realizaron consultas bibliográficas sobre aspectos ambientales; asimismo se recopilaron imágenes satelitales y de orto

imágenes del área de estudio en el visor SAS.Planet.Release.200606, para hacer la fotointerpretación y posterior elaboración de mapas básicos. Posteriormente, se llevaron a cabo recorridos de campo para hacer reconocimiento de la zona de estudio, asimismo se registraron con GPS Garmin ETrex 30 las coordenadas geográficas y puntos de muestreo claves para la elaboración de la cartografía. Esta información ayudó a la delimitación de las canteras de arcilla en la vereda Pueblillo e identificación de las unidades de paisaje y coberturas de la tierra existentes.

Fase 2: Obtención de mapas preliminares

Con la ayuda del programa SAS. Planet. Release. 200606 se obtuvo la orto imagen de la zona de estudio del año 2020 con resolución espacial de 2,5 m, seguidamente se registró la información de campo en el software ArcGis versión 10.4.1 y los puntos de muestreo con el GPS. Posteriormente, se procedió a interpretar la imagen preliminar, identificando las zonas recorridas en campo y delimitando el área de estudio teniendo en cuenta las cercas vivas y linderos de los predios del área de estudio.

Haciendo uso del álgebra de mapas por medio de la herramienta Spatyal Analyst, se generaron a escala 1:5000 los siguientes mapas: mapa de la zona de estudio, mapa de la tierra, mapa de uso actual del suelo, mapa aptitud del suelo y mapa de conflicto de uso. Para los mapas de cobertura de la tierra y uso actual del suelo se realizó la clasificación de unidades y coberturas de la tierra teniendo en cuenta la “Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgos por movimientos en masa” a escala 1:5000 (2015) la cual toma como referencia la metodología Corine Land Cover, que consiste en la evaluación de coberturas de la tierra, permitiendo describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de las unidades, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media a alta, para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.

Este sistema de clasificación consiste en una nomenclatura de tipo jerárquica, que consta de categorías con información

a nivel regional, las cuales pueden ser agregadas en niveles superiores de las categorías a nivel nacional, lo cual facilita el manejo de información para la ordenación del territorio. A partir de la capa de coberturas de la tierra generada y con apoyo de las observaciones realizadas en el trabajo de campo y diálogos con la comunidad y revisión de antecedentes en el área de estudio como los datos estadísticos de encuestas agropecuarias municipales, se realiza un análisis de los diferentes usos actuales, dando origen al mapa de uso actual. Teniendo en cuenta los usos actuales del suelo y la información suministrada en el estudio general de suelos y zonificación de tierras de Cauca (2009) se generó el mapa de uso potencial. Por último, se realizó el mapa de conflicto de uso del suelo usando la metodología del IGAC y CORPOICA (2002) que permite analizar las relaciones mutuas o la magnitud entre la oferta potencial del suelo y el uso actual del mismo, donde se determinan niveles o categorías del conflicto comparando la capa de uso actual con el uso potencial (aptitud) del suelo, reconociendo tres categorías: adecuado, sub-uso y sobreuso.

Fase 3: Criterios para la zonificación ambiental y análisis de criterios ambientales

Para esta fase se utilizó la metodología descrita por López *et al.* (2012), donde se seleccionaron nueve criterios: representatividad de los ecosistemas, grado de intervención de los ecosistemas, función de los ecosistemas, estado actual de la fauna asociada, riesgos naturales, alteración del

equilibrio hídrico, intensidad de uso, aptitud de uso y conflicto de uso, los cuales fueron evaluados y ponderados asignándole a cada uno un peso de acuerdo con la importancia de este dentro de las Unidades de Paisaje (UP). Los criterios seleccionados se describen a continuación:

Representatividad de los ecosistemas: se refiere a la importancia de cada ecosistema de acuerdo a su extensión por localidad con relación a la extensión total del ecosistema del área de influencia de las canteras de arcilla en la vereda Pueblillo. En la Tabla 1 se presenta la escala de valores con la cual se define este criterio.

Tabla 1: Escala porcentual para la definición del criterio “Representatividad de los ecosistemas”

Escala	Definición
Alta	Cuando el área del ecosistema en la localidad evaluada representa más del 50 % del total del área del ecosistema.
Media	Cuando el área del ecosistema en la localidad evaluada representa entre el 25% y el 50% del total del área del ecosistema.
Baja	Cuando el área del ecosistema en la localidad evaluada representa menos del 25% del total del área del ecosistema.

Grado de intervención de los ecosistemas: se define de acuerdo al grado de conservación o alteración que presenta cada zona de la localidad, teniendo en cuenta el grado de impacto causado por: (1) presencia de fuentes de contaminación; (2) presencia de residuos sólidos y líquidos; (3) cambios en el uso del suelo. Estos parámetros fueron evaluados de acuerdo con el ámbito de datos y los valores definidos en la Tabla 2. Posteriormente, para obtener el valor del criterio, se realizó la sumatoria de los valores de cada parámetro por cada una de las unidades de muestreo. Teniendo en cuenta la relación entre ese valor resultante y el máximo valor posible, se definió la escala porcentual de valores.

Función de los ecosistemas: se define de acuerdo con la relación a la función que presta el ecosistema en cuanto a hábitat de especies (entendido como sitios de reproducción, crianza y alimentación), paisajística y fuente de recursos para ser aprovechados por el hombre. En la Tabla 3 se presenta la escala de valores con la cual se definió este criterio.

Estado actual de la fauna asociada: evalúa la importancia de las unidades ecológicas del paisaje con respecto a la riqueza de familias de fauna asociada a los ecosistemas presentes. En la Tabla 4 se presenta la escala de valores con la cual se definió el criterio, la información se obtuvo de estudios realizados con anterioridad en la zona.

Tabla 2. Parámetros y escala de valores para determinar el criterio de “Grado de intervención de los ecosistemas”

Parámetro evaluado	Rango de datos	Valor
Presencia de fuentes de contaminación	Baja: cuando no se presentan fuentes de contaminación o sólo se presenta una y es de tipo doméstico asociada a asentamientos humanos dispersos.	1
	Media: cuando hay más de una fuente de contaminación, de tipo doméstico asociadas a áreas urbanas y suburbanas, y de actividades productivas de subsistencia (agricultura de pan coger y turismo).	2
	Alta: hay más de una fuente de contaminación asociada a uso doméstico, industrial y actividades productivas a gran escala.	3
Presencia de residuos sólidos y líquidos	Baja intervención: Cuando se observan evidencias leves de residuos sólidos y líquidos	1
	Media intervención: se observa moderada presencia de residuos sólidos y líquidos.	2
	Alta intervención: alta presencia de residuos sólidos y líquidos.	3
Cambios en el uso del suelo	Poca intervención: no hay evidencias de cambios en el uso del suelo.	1
	Media intervención: hay evidencias de leves cambios en el uso del suelo	2
	Alta intervención: cuando se presentan evidencias de cambios en el uso del suelo.	3
Escala de valores para definir el criterio		
	Baja intervención	< 40 %
	Media intervención	40-70 %
	Alta intervención	> 70 %

Tabla 3. Escala de valores para la definición del criterio “Función de los ecosistemas”

Escala	Definición	Valor
Baja importancia	Los ecosistemas presentes en el área evaluada cumplen con al menos una de las funciones de hábitat, paisajística o fuente de recursos para ser aprovechados	1
Media importancia	Los ecosistemas presentes en el área evaluada cumplen con dos de las funciones de hábitat, paisajística o fuente de recursos para ser aprovechados	2
Alta importancia	Los ecosistemas presentes en el área evaluada cumplen con las funciones de hábitat, paisajística o fuente de recursos para ser aprovechados	3

Tabla 4. Escala de valores para la definición del criterio “Estado actual de la fauna asociada”

Escala	Definición
Bajo	1-3 familias/localidad
Medio	4-7 familias/localidad
Alto	> 8 familias/localidad

Riesgos naturales: en este criterio la importancia de la UP se evalúa de acuerdo con la presencia e intensidad de las amenazas naturales tales como: erosión, inundaciones, vientos, mareas y deslizamientos. En la Tabla 5 se presenta la escala de valores con la cual se define este criterio.

Tabla 5. Escala de valores para la definición del criterio “Riesgos naturales”

Escala	Definición
Bajo	Cuando para la UP no hay presencia de amenazas naturales o se presenta una de baja incidencia.
Medio	Cuando para la UP se presenta una amenaza natural de alta incidencia o dos amenazas de baja incidencia.
Alto	Cuando para la UP hay presencia de más de dos amenazas naturales.

Alteración del equilibrio hídrico: evalúa la importancia de la UP con relación a la alteración de los cursos de agua presentes en el área de influencia. En la Tabla 6 se presenta la escala de valores con la cual se define este criterio.

Tabla 6. Escala de valores para la definición del criterio “Alteración del equilibrio hídrico”.

Escala	Definición
Baja	Cuando para la UP no hay evidencia de alteración del curso de arroyos.
Alta	Cuando para la UP hay evidencia de alteración del curso de los arroyos.

Intensidad de uso: se refiere a la importancia de la UP con relación al grado de aprovechamiento que los usuarios tienen sobre los recursos naturales teniendo en cuenta los siguientes aspectos: 1) accesibilidad por vía; 2) presencia de asentamientos humanos; 3) presencia de actividades productivas; 3) oferta de recursos; 4) nivel de tecnificación en las actividades productivas. Estos parámetros fueron evaluados de acuerdo con el rango de datos y los valores definidos en la Tabla 7. Igualmente, para obtener el valor del criterio, se realizó la sumatoria de los valores de cada parámetro definiendo la escala porcentual de los valores.

Aptitud de uso: como se muestra en la Tabla 8, se evalúa la UP con relación a los tipos de uso que pueda tener determinada área, de acuerdo al tipo de suelo, geomorfología y geología según datos del IGAC (2009).

Conflictos de uso: se entienden como la incompatibilidad presentada por el uso actual respecto a su aptitud y se evalúan las UP de acuerdo con la presencia o ausencia de

dichos conflictos. En la Tabla 9 se presenta la escala que define este criterio.

Fase 4: Zonificación ambiental, análisis de fragmentación y conectividad ecológica

zonificación ambiental

Finalmente se elaboró la zonificación ambiental a partir de la evaluación del área de estudio, teniendo en cuenta la información obtenida de los mapas preliminares; luego se determinaron las zonas definidas en la guía del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible “Metodología general para la elaboración de estudios ambientales” (2010). Se evaluó la zona de estudio teniendo en cuenta el análisis integral de los criterios de zonificación los cuales fueron ponderados asignándole a cada uno un peso de acuerdo con la importancia de este dentro de la zonificación. A partir de la combinación de los diferentes criterios se generaron áreas de zonificación ambiental como un atributo más de la base de información ya existente, y así determinar las áreas (Tabla 10).

Análisis de fragmentación y conectividad ecológica

Para el trazado de las rutas de conectividad (corredores) se usó la extensión Corridor Designer del software ArcGIS en su versión 10.4.1. Fue necesaria la obtención de capas de coberturas de la tierra en formato raster y los fragmentos de mayor conservación y estabilidad ecológica en formato vectorial, y así trazar los posibles corredores biológicos identificando las condiciones necesarias

Tabla 7. Parámetros evaluados para determinar el criterio de intensidad de uso

Escala	Rango de datos	Valor
Accesibilidad por vías	Baja accesibilidad: no existen vías de acceso cercanas a las unidades de paisajes.	1
	Media accesibilidad: existen vías de acceso, pero están en mal estado	2
	Alta accesibilidad: se evidencian una o más vías de acceso a la UP y están en buen estado.	3
Presencia de asentamientos	Baja: no existen asentamientos cercanos a la UP o si existen son menores a 50 habitantes.	1
	Media: existen asentamientos cercanos a la UP y están entre 50 y 100 habitantes.	2
	Alta: existen asentamientos cercanos a la UP y estos son mayores a 100 habitantes.	3
Presencia de actividades productivas	Baja: no existen actividades productivas cercanas a la UP.	1
	Media: al menos existe una actividad productiva cercana a la UP y la afecta moderadamente.	2
	Alta: existe una actividad productiva cercana a la UP que la afecta severamente o más de una actividad que la afectan.	3
Oferta de recursos	Baja: no existen recursos que puedan ser aprovechados.	1
	Alta: existen recursos aprovechables.	3
Nivel de tecnificación	Bajo: las actividades productivas realizadas son de subsistencia.	1
	Medio: las actividades productivas realizadas son de pequeña escala y de subsistencia.	2
	Alto: las actividades productivas realizadas son de gran escala	3
Escala de valores para definir el criterio		
	Baja intensidad	< 40%
	Media intensidad	40-60%
	Alta intensidad	>60%

Tabla 8. Aptitud de uso definida para la zona de estudio

Aptitud de uso
Turismo y recreación
Ecoturismo
Expansión y establecimiento de asentamientos humanos
Agropecuaria
Acuícola
Pesquera
Conservación de ecosistemas estratégicos y recursos naturales
Minería

Tabla 9. Escala para la definición del criterio “Conflictos de uso”

Escala	Definición
Sin Conflicto de Uso	Cuando la UP evaluada no presenta conflictos de uso.
Con Conflicto de Uso	Cuando la UP evaluada presentan conflictos de uso.

para la conexión física del paisaje y otra función relacionada con el comportamiento de los organismos en la estructura física.

El análisis de fragmentación se realizó aplicando los índices proporcionados por la extensión Patch Analyst del software

Tabla 10. Áreas para la zonificación ecológica en la zona de influencia de minería de arcilla en la vereda Pueblillo, Popayán, Cauca

Zona	Descripción
Z. de especial significado ambiental	Áreas naturales protegidas, ecosistemas sensibles, rondas, corredores biológicos, presencia de zonas con especies endémicas, amenazadas o en peligro crítico, áreas de importancia para cría, reproducción, alimentación y anidación, zonas de paso de especies migratorias.
Z. de recuperación ambiental	Áreas erosionadas, de conflicto por uso del suelo o contaminadas.
Z. de riesgo y amenazas	Áreas erosionadas, de conflicto por uso del suelo o contaminadas.
Z. de producción económica	Ganaderas, agrícolas, mineras, entre otras.
Z. de importancia social	Asentamientos humanos, de infraestructura física y social, de importancia histórica y cultural.

ArcGis versión 10.4.1, a nivel de parche, clase y paisaje. Los índices seleccionados para dichos análisis fueron los siguientes: número de parches, longitud total de bordes de parches, densidad de bordes de parche, índice de forma, dimensión fractal de parche, área total de zonas nucleares

y tamaño promedio del parche. Una vez calculados los índices se aplicó la unión de tablas con cada cobertura (total y bosque), para especializarlos en el área de estudio (Alarcón, 2017).

El grado de fragmentación se identificó calculando la estimación de la fragmentación total de bosque, a través de la relación entre al área global de bosque y el área total fragmentada (Alarcón, 2017), utilizando la ecuación:

$$F = \text{área de bosque (ha)} / \text{área total (ha)}$$

Los resultados obtenidos se compararon con los valores de referencia para el índice de fragmentación:

Para el trazado de las rutas de conectividad (corredores) fue necesario la obtención de capas de coberturas de la tierra en formato Raster, los fragmentos de mayor conservación y estabilidad ecológica en formato vectorial y la elevación de la zona de estudio teniendo en cuenta que los trazados se realizaron utilizando las rutas con menos dificultad en relación a su pendiente para desplazarse entre parches de bosques.

Tabla 11. Valores para el índice de fragmentación

Rangos F	Grado de fragmentación
F = 1	Sin fragmentación.
F = <1 ≤ 0,7	Fragmentación moderada.
F = 0,7 ≤ 0,5	Altamente fragmentado.
F = < 0,5	Insularizado.

Fase 5: Formular lineamientos de manejo ambiental

El Decreto 1729 de 2002 define los lineamientos para la ordenación y manejo de la zona de estudio que permitieron evaluar los intereses de uso, administración y manejo de los Recursos Naturales Renovables de área de influencia en las canteras de arcilla en la vereda Pueblillo. Esta normativa menciona varios programas que se tuvieron en cuenta para este estudio, como el Programa de Recuperación, Programa de Restauración, Programa Protección de Áreas con fines de Conservación, Programa Producción Sostenible y Programas Educación Ambiental. Finalmente se generó una ficha, donde se establecen la prioridad, duración, actividades, indicadores, metas y objetivos que se espera cumplir con el proyecto, al igual que los costos y posibles entes responsables. Los lineamientos se consideraron de acuerdo a los procesos de fragmentación de las coberturas vegetales y la conectividad ecológica, del área estudio.

Resultados y discusión

Caracterización de las coberturas de la tierra

El bosque de galería o ripario tiene un área de 15,7 ha (Fig. 2), siendo esta la cobertura de mayor área, debido a que comprende territorios naturales ubicados en las zonas aledañas a los cursos de las quebradas existentes, teniendo en cuenta que estas hacen parte de la subcuenca del Río Molino de Popayán (CRC, 2006).

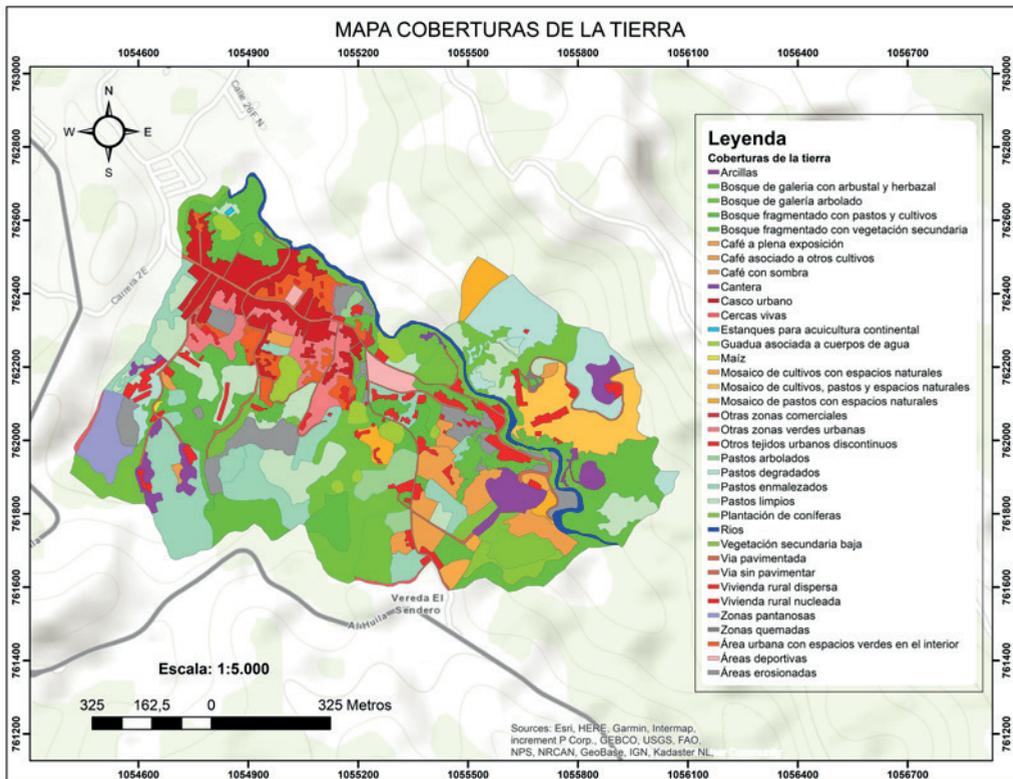


Figura 2. Coberturas de la tierra

El bosque fragmentado con vegetación secundaria comprende un área total de 15,7 ha. Esta cobertura se ha visto afectada por actividades antrópicas sobre el hábitat de las especies que han transformado la estructura del bosque y su composición. Alrededor se encuentran cultivos de café, plátano y ganadería extensiva, principales actividades económicas de la zona. Estos cultivos requieren manejos mecanizados y fertilizaciones con agroquímicos que alteran las características naturales de los ecosistemas.

La cobertura denominada Pastos limpios, tiene un área de 8,8 ha y comprende tierras ocupadas con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%. La existencia de prácticas de manejo (limpieza, enclamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados, impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. Por otro lado, la fertilidad se ve afectada por el proceso de escorrentía y pérdida del suelo, generando erosión y deslizamientos en zonas de ladera.

La cobertura vegetal, denominada arbustal, tiene un área total de 7,1 ha. Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollada de forma natural en diferentes densidades y sustratos, que en algún momento fueron utilizados para actividades agrícolas. Estas áreas son de gran importancia, permitiendo la conservación de suelos y recuperación de hábitat, generando nuevos ecosistemas para las especies presentes.

En la subcuenca del río Molino se aprecian especies de flora muy importantes para los ecosistemas y se conservan en una escala de medida equilibrada con respecto a las nuevas especies introducidas (Grande, 2015). En consecuencia, los bosques de galería o ripario tienen mayor área que los demás, lo cual se confirma en los resultados de esta investigación. Por lo anterior, para el periodo comprendido entre los años 2001 y 2014, la actividad de plantaciones forestales maderables aumentó considerablemente, cubriendo casi toda el área de la cuenca del río Molino, utilizando especies forestales introducidas como pino ciprés (*Cupressus lusitánica*), pino pátula (*Pinus patula*) y eucalipto (*Eucalyptus grandis*), cambiando la cobertura de bosque natural fragmentado a bosque plantado. Cabe aclarar que en estas áreas de pastos la ganadería en su mayoría se realizaba de forma artesanal, ocupando grandes extensiones de tierra para pocos animales.

Por último, la cobertura de tejido urbano continuo tiene un área de 5,4 ha. Esta corresponde a edificaciones,

infraestructura y vías construidas en el terreno y cubren más del 80% del área, afectando directamente el paisaje natural y alterando las transformaciones de sus extensiones de tierra y vegetación, lo que modifica negativamente las redes hidrológicas y disminuye las actividades biológicas de los ecosistemas. En conjunto con la contaminación por residuos sólidos, genera la disminución de biodiversidad y depredación de las áreas agrícolas y de conservación. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido.

Uso actual del suelo

Las extensiones más representativas del área son: protección, con 28,8 ha, seguido del área residencial con 13 ha, el pastoreo semi intensivo con 11,8 ha y el sistema de producción protección con 6,91ha, lo cual evidencia que los procesos productivos como pastoreos y expansión del área urbana afectan gravemente la salud de los ecosistemas naturales. De acuerdo con el IGAC (2022), estos suelos sufren principalmente por el uso inadecuado, la compactación, contaminación por plaguicidas y fertilizantes, el mal uso del riego, la eliminación de coberturas vegetales (deforestación) y la erosión, situaciones resultado de actividades agrícolas presentes en el área de investigación. Adicionalmente, todas las actividades antrópicas generan presión sobre los ecosistemas que actualmente están protegidos. En la Figura 3 se identifica todas las unidades de uso del suelo que componen el área de influencia de la vereda Pueblillo de Popayán.

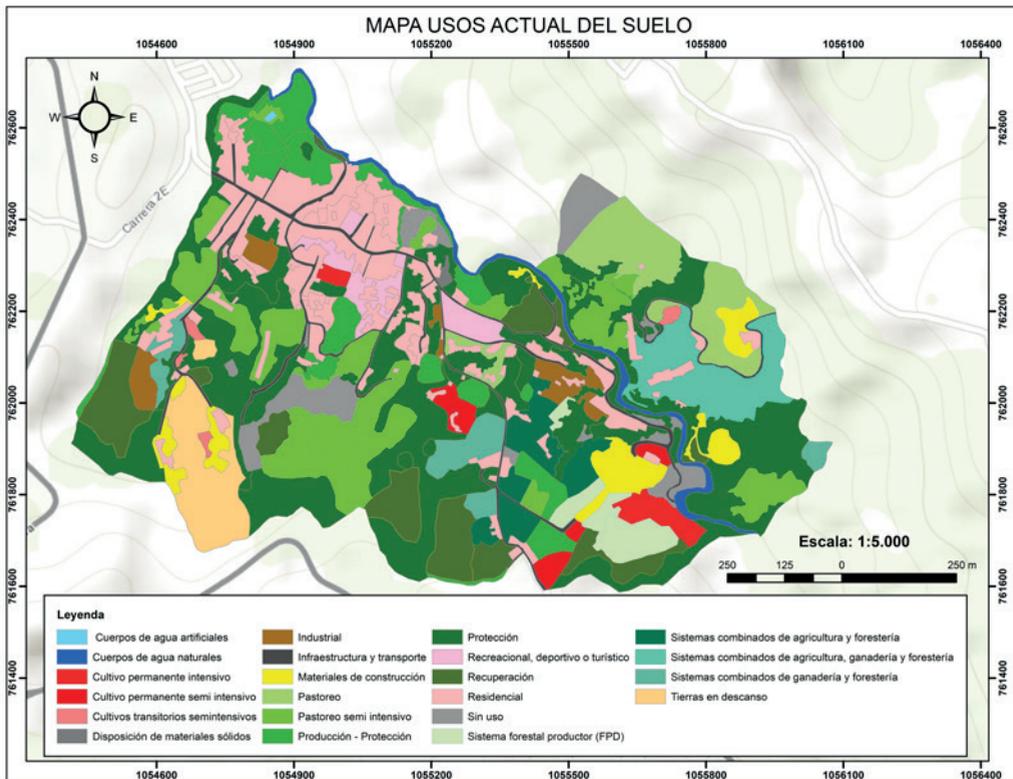


Figura 3. Uso actual del suelo.

Uso potencial del suelo

El terreno se divide en cinco categorías que incluyen las características propias de cada unidad del paisaje (Fig. 3). Aquí se identifica la aptitud agrícola con una extensión de 3,6 ha, conformado por los pequeños terrenos destinados para la producción a baja escala; seguidamente la aptitud para la conservación con 34,2 ha, correspondiente a las zonas naturales y bosque; posteriormente la aptitud para edificación con área de 11 ha, que corresponde a toda la planta física construida; aptitud para tierras de manejo especial 3,6 ha, que no tiene una finalidad

específica, pero que se propone planes de restauración y corredores biológicos, ya que limita con la zona de conservación y bosque.

La mayor parte de las tierras del departamento del Cauca se encuentran localizadas en los paisajes de montaña y lomerío con suelos aptos para el establecimiento de sistemas agroforestales, agrosilvopastoriles y forestales (IGAC, 2009); otras zonas están ubicadas en los paisajes de piedemonte, valle, altiplanicie y planicie, las cuales tienen vocación agropecuaria. En este sentido, el municipio de Popayán, por sus características topográficas y de suelos,

es una zona con vocación forestal (67%), especialmente para áreas de protección – producción (36%) y forestal de protección (17%). Las áreas consideradas con vocación para la producción agrícola representan un 28%, en donde se destacan los cultivos permanentes intensivos como pastoreos, café, plátano y actividades forestales.

Conflicto de uso del suelo

En esta investigación se evidencia que existen 57,2 ha con uso adecuado del terreno, correspondiendo a las zonas de conservación, infraestructura y áreas de

cultivos. El sobreuso presentó un valor de 49,6 ha, situándose en zonas naturales, donde el manejo inadecuado y producción afectan el flujo natural del suelo. Finalmente, el subuso son zonas que deberían ser recuperadas y conservadas con un área total de 3,6 ha. En la Figura 5 se indican los problemas más relevantes del área de influencia de la vereda Pueblillo, Popayán.

El municipio Popayán presenta el 44% de su área en conflicto por sobreutilización, dominando la sobreutilización severa, que corresponde a áreas con vocación para la protección–producción y ocupadas por

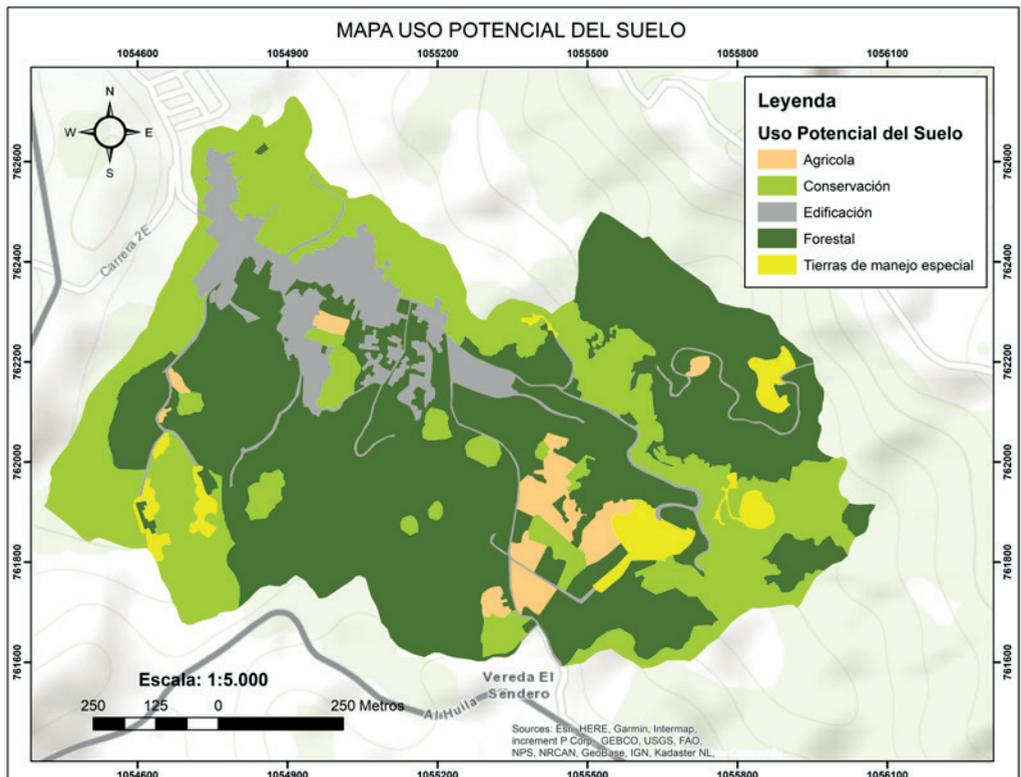


Figura 4. Uso potencial del suelo.

diferentes mosaicos de pastos y cultivos. El 25% del área tiene un uso adecuado o sin conflicto y cerca del 22% de la superficie del municipio presenta conflicto por subutilización, principalmente moderada (Min Agricultura, 2013).

Teniendo en cuenta las características del uso potencial y el uso actual del suelo, se puede concluir que la principal causa de su degradación es el uso inadecuado de la tierra, es decir, no se tiene en cuenta la vocación para planificar su uso real, generando conflicto. Cabe señalar que la región Andina presenta la mayor extensión de tierras con

conflictos de uso por sobreutilización, con 11.977.183 ha, correspondientes al 42,3% del área regional que equivale al 62% del área intervenida (Serrato, 2006).

El Plan de Ordenamiento Territorial – POT de Popayán (2013) establece que el uso del suelo en la zona rural se rige mediante la reglamentación general de la aptitud y uso potencial, distinto a lo que ocurre en el área de influencia de la vereda Pueblillo, cuyos suelos con potencialidades para actividades forestales y de conservación, se han convertidos en zonas de pastoreo, cultivos o áreas urbanas, generando así conflictos de uso del suelo.

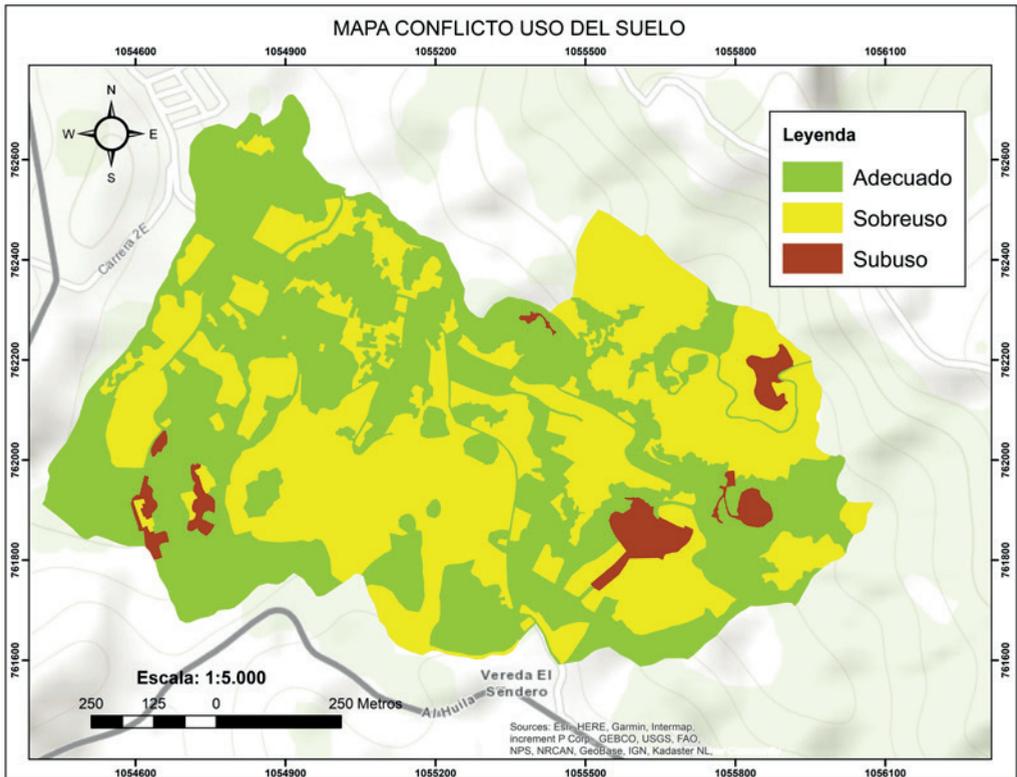


Figura 5. Conflicto de uso del suelo.

Zonificación Ambiental

La zonificación ambiental (Fig. 6) muestra que la clasificación con mayor área es la zona de especial significado ambiental, con un total de 29,9 ha. Cabe destacar que esta zona ambiental tiene atributos ecológicos importantes para la funcionalidad del paisaje, como procesos y sistemas biológicos que sustenten la vida, de ellos depende el desarrollo del ser humano derivado de la diversidad genética que mantiene la fauna y flora del lugar, protegiendo la capacidad productiva de los ecosistemas y asegurando la disponibilidad de recursos como agua, flora y fauna.

En cuanto a la zona de recuperación ambiental, comprende un total de 29,1 ha, y contiene diferentes áreas degradadas por actividades económicas como la extracción de arcilla, extracción de material de arrastre del río Molino y actividades agropecuarias. La zona de producción económica tiene un área de 28,9 ha, si bien es importante para la economía local, impacta negativamente de manera directa principalmente por la extracción de arcillas y actividades agropecuarias. La zona de importancia social tiene un total de 20,6 ha, donde se ubican principalmente los habitantes del área de investigación. Por último, se encuentran las

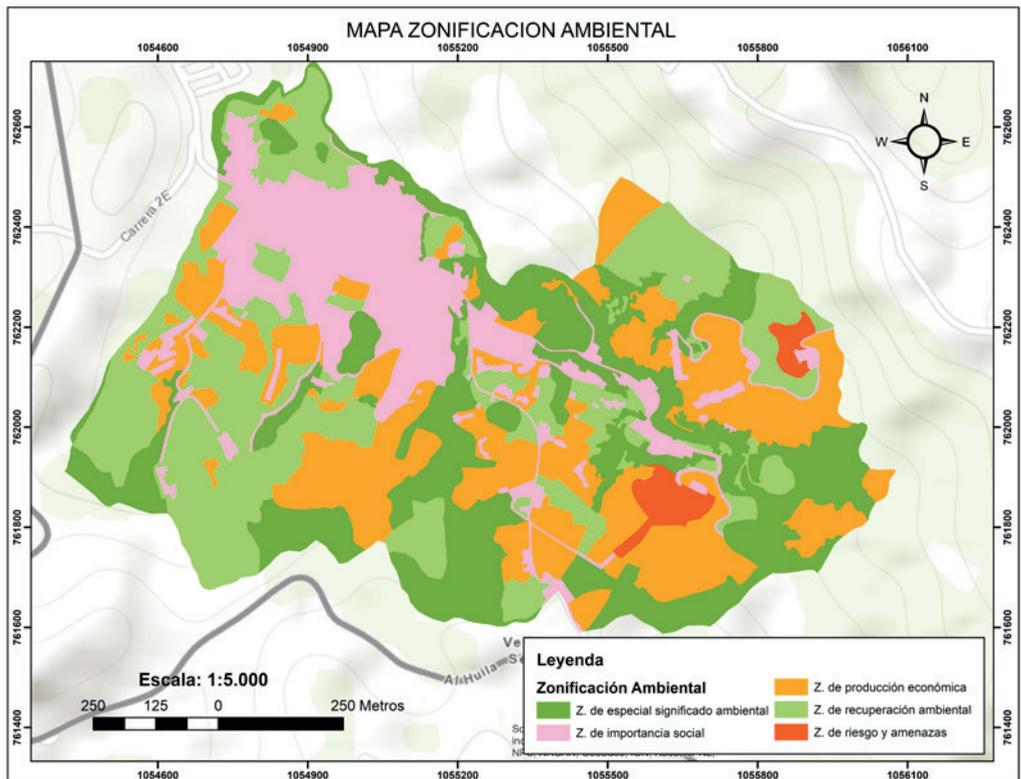


Figura 6. Zonificación ambiental.

zonas de riesgos y amenazas con 2,1 ha, estas, son áreas intervenidas con gran intensidad, generando problemas de remoción en masa.

Si no se tiene una buena planeación y gestión del territorio, todas las zonas identificadas son propensas a escalar en la clasificación, es decir que las zonas de significado ambiental están expuestas a ser áreas de producción económica a causa de la expansión de la frontera agrícola, por consiguiente, tenderán a convertirse en áreas altamente degradadas o zonas de riesgo y amenaza, requiriendo acciones fuertes para mitigar los impactos generados sobre los ecosistemas.

En este escenario, la zonificación propicia la comprensión integral de los atributos que conforman la realidad del paisaje, con el fin de no eliminar ningún área, si no de darle un manejo adecuado que no irrumpa con el desarrollo de cada una (Chacón *et al.*, 2020).

Los parches de bosque fragmentado seleccionados como aptos para el trazado de corredor de conectividad presentan características de ecosistemas de bosque, con presencia de vegetación de tipo ripario o de galería, con distribución espacial heterogénea (Fig. 7). De igual forma, el grado de fragilidad o compactación del fragmento

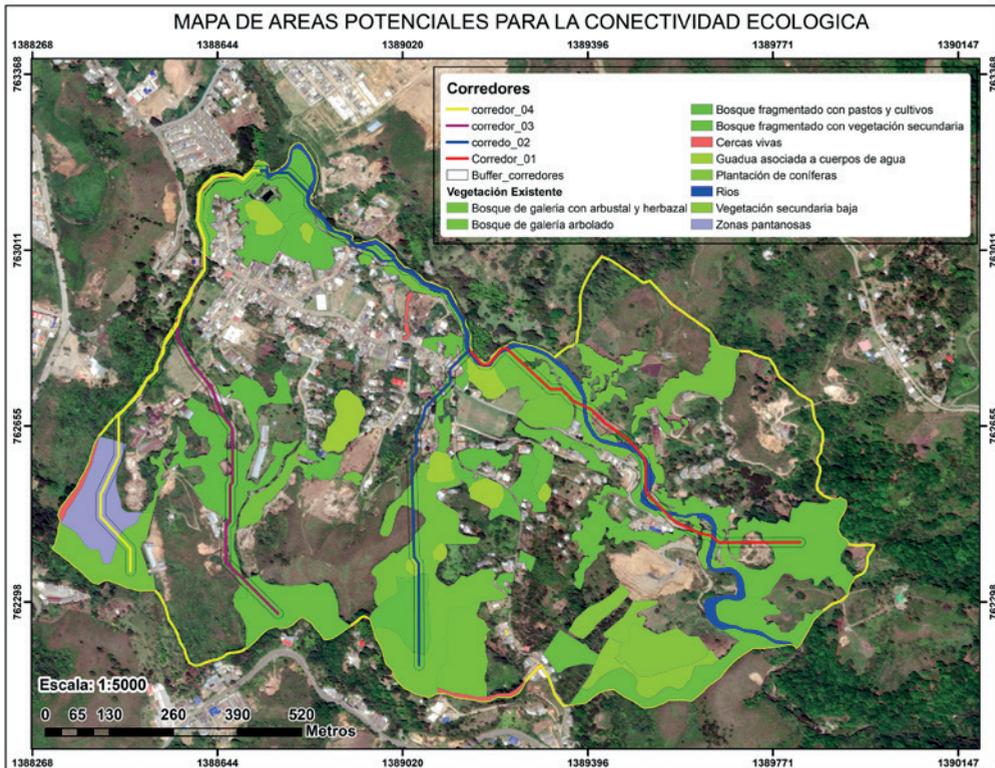


Figura 7. Áreas potenciales para la conectividad ecológica.

muestra que muy pocos parches de bosque ubicados en el área de estudio se encuentran en estado de fragilidad, teniendo en cuenta que los trazados se realizaron utilizando las rutas con menos dificultad en relación a su pendiente para desplazarse entre los parches del bosque. Una de las principales actividades que fomenta la deforestación es la tala rasa, práctica ampliamente utilizada para cultivos o potreros. Esto causa la pérdida de hábitat, afectando la estructura de las comunidades de plantas y animales, alterando la diversidad y favoreciendo la aparición de especies oportunistas (Figueroa y Valencia 2009). La extracción de arcilla de terrenos también tiene efectos sobre

la estructura del suelo, transformando los horizontes, incrementando el material de arrastre hacia los cuerpos de agua, alterando sus características físicas, químicas y biológicas y perturbando a las comunidades de coberturas vegetales.

Estos fragmentos de bosques y áreas potenciales para la conectividad ecológica tienen un área de influencia de 15 metros, en ellos se determinó la existencia de 14,6 ha de conexión para la fauna, pero con alto grado de fragmentación y ecosistemas insularizados, que hacen más difícil la libre circulación de las especies de fauna (Fig. 8). Estos ecosistemas se caracterizan por

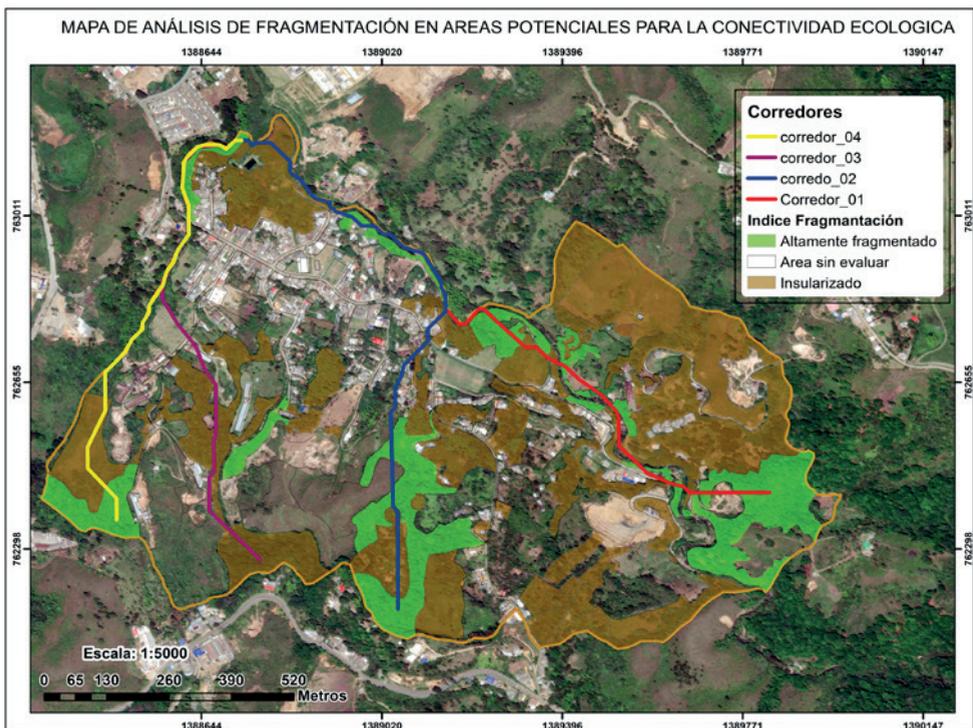


Figura 8. análisis de fragmentación en corredores ecológicos.

concentrar funciones naturales de las cuales dependen de manera especial y significativa bienes y servicios ecológicos vitales para el mantenimiento de la sociedad y de la naturaleza (Márquez y Valenzuela, 2008). Las áreas potenciales para la conectividad ecológica tienen un alto grado de fragmentación, generando problemas en la riqueza de especies naturales pues quedan aisladas, generando parches con baja calidad para el intercambio genético de especies, en consecuencia, las especies pueden llegar a un declive en su población pues al tratar de sobrevivir se sitúan en áreas degradadas o en suelos con vocaciones diferentes, consumiendo la mayoría del recurso (Odum y Barrett, 2006), siendo las áreas o zonas de cantera la causa de la generación de esta fragmentación.

La teoría “fuente-sumidero” propone que, para un mayor éxito en el establecimiento de redes de conectividad, es indispensable realizar procesos de restauración de los ecosistemas del área de influencia, resaltando que un corredor ecológico implica una conectividad entre áreas naturales, con el fin de contrarrestar la

fragmentación de los hábitats ocasionados por actividades antropológicas (Remolina, 2006). Además, pretende unir espacios con paisajes, ecosistemas y hábitats naturales o modificados, que faciliten el mantenimiento de la diversidad biológica y los procesos ecológicos, facilitando la migración y la dispersión de especies de flora y fauna silvestres en el área de influencia de la vereda Pueblillo.

Formulación de lineamientos de manejo ambiental

Para la propuesta resultado de esta investigación, se tomó el Decreto 1729 de 2002, el cual define los lineamientos para la ordenación y manejo de la zona de estudio que permitirá evaluar los intereses de uso, administración y manejo de los Recursos Naturales Renovables del área de influencia (las canteras de arcilla en la vereda Pueblillo); resaltando que este lugar pertenece a la cuenca del río Molino. Como ya se mencionó, de esta normativa se toman algunos programas que se ajustan para mitigar y recuperar la conectividad de los ecosistemas y que se describen a continuación:

Tabla 12. Programa de Recuperación: Protección de Recuperación

Lineamiento de manejo de las áreas fragmentadas en de las áreas potenciales para la conectividad ecológica de Pueblillo (Popayán-Cauca)	Ficha N° 1
Programa	Protección de Recuperación
Proyecto	Reubicación de las viviendas y cultivos que se encuentran invadiendo la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.
Tipo de acción	Identificar y delimitar las áreas de manejo especial en la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.
Localización	Ronda de la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.
Beneficiarios	Población asentada y propietarios de predios.
Objetivo: Realizar la reubicación de viviendas y cultivos que invaden la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.	
Alcance:	
Prevenir riesgos potenciales sobre el ecosistema por los asentamientos y cultivos ubicados en la zona de influencia del corredor ecológico.	
Reubicar las viviendas que se encuentran en la zona de influencia del corredor ecológico y así recuperar el espacio para el libre desplazamiento de las especies de fauna que circulan por el corredor.	
Descripción:	
Las casas y cultivos ubicadas cerca de la ronda del corredor ecológico presentan una situación muy compleja, derivada principalmente de la falta de una adecuada planeación urbanística, en este sector del municipio de Popayán. La problemática que se ha generado se ha hecho cada vez más evidente, principalmente por estar ubicados en zonas de alto potencial para el sector agrícola y urbanístico, y en áreas que la Zonificación ambiental, definió como zonas de reserva ambiental del municipio. Además, existe la falta de un correcto equipamiento comunal, que brinde mejores y más adecuados servicios a la población, en cuanto a recreación, servicios complementarios, e infraestructura urbana.	
Estrategias:	
- Reconocimiento del área	
- Informar a la comunidad en general de la reubicación de dichas casas y los cultivos agropecuarios.	
- Realizar la documentación necesaria para el proceso de reubicación.	
Entidades promotoras y fuentes de recursos: Alcaldía municipal de Popayán (POT), Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), Universidades y Centros de Investigación.	

Tabla 13. Programa de Recuperación: Restauración

Lineamiento de manejo de las áreas fragmentadas en áreas potenciales para la conectividad ecológica de Pueblillo (Popayán-Cauca)	Ficha N° 2
Programa	Protección de Restauración
Proyecto	Restauración ecológica
Tipo de acción	Delimitar y gestionar la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica para el fortalecimiento de las áreas del manejo.
Localización	Ronda de la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.
Beneficiarios	Población asentada y propietarios de predios.
<p style="text-align: center;">Objetivo: Reintegrar por medio de la implementación de acciones de restauración ecológica la funcionalidad del corredor ecológico y el ecosistema asociado; conectar el bosque nativo secundario con el existente en la zona.</p>	
<p style="text-align: center;">Alcance: Contribuir a la consolidación de bosques secundarios con especies nativas y generar conectividad entre los relictos de bosque natural secundario presentes. Provisión de hábitat y alimento para la fauna. Contribución a la regulación micro climática del área de intervención. Aumento de la conectividad entre ecosistemas aledaños a la zona y que son de carácter estratégico para la ciudad.</p>	
<p style="text-align: center;">Descripción: Zonas altamente fragmentadas que se encuentran en inmediaciones de la ronda del corredor ecológico, que presentan una situación muy compleja, derivada principalmente de la falta de adecuada planeación en el sector agropecuario, en el municipio de Popayán.</p>	
<p style="text-align: center;">Estrategias: Reconocimiento del área. Trazado y diseño de los módulos de restauración ecológica y enriquecimiento e implementación de los tratamientos recomendados. Propagación y plantación de material vegetal de origen nativa con articulación de la comunidad. Integrar herramientas del manejo del paisaje (HMP). Recuperación del suelo para el establecimiento y permanencia de especies vegetales propias de esta zona. Manejo de las corrientes de agua para facilitar el establecimiento de plantas en algunas zonas afectadas por el cambio en la topografía.</p>	
<p>Entidades promotoras y fuentes de recursos: Alcaldía municipal de Popayán (POT), Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), Universidades y Centros de Investigación.</p>	

Tabla 14. Programa de Restauración

Lineamiento de manejo de las áreas fragmentadas en de las áreas potenciales para la conectividad ecológica de Pueblillo (Popayán-Cauca).	Ficha N° 3
Programa	Programa Protección de Áreas con fines de Conservación.
Proyecto	Establecimiento de viveros forestales.
Tipo de acción	Establecer viveros comunales para la producción de plántulas de especies forestales nativas.
Localización	Vereda pueblillo – Popayán.
Beneficiarios	Productores campesinos.
<p>Objetivo:</p> <p>Capacitar a la comunidad sobre el manejo de viveros. Diseñar y construir un vivero comunitario forestal. Identificar las especies y número de plántulas a producir. Proveer de material vegetal de especies nativas para campañas de reforestación. Promover una alternativa de ingresos familiares. Promover acciones conjuntas entre la comunidad y las instituciones en pro del ambiente</p>	
<p>Alcance:</p> <p>- Establecer un vivero forestal para la producción de plántulas para el repoblamiento forestal en la vereda Pueblillo especialmente en las áreas potenciales para la conectividad ecológica.</p>	
<p>Descripción: El establecimiento de viveros comunitarios es una alternativa económica para el pequeño agricultor. Para ello se iniciará con capacitaciones a los agricultores sobre el manejo de viveros, se conformarán grupos de trabajo. Se adquirirá un área mínima de 120 m², en la cual se establecerá el vivero, para la producción de plántulas.</p> <p>Es necesario resaltar que parte de la producción obtenida en el vivero se utilizará para la reforestación de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.</p>	
<p>Estrategias:</p> <p>Procesos de gestión comunitaria. Capacitación comunitaria sobre viveros. Educación ambiental. Integrar herramientas del manejo del paisaje (HMP).</p>	
<p>Entidades promotoras y fuentes de recursos: Alcaldía municipal de Popayán (POT), Corporación autónoma del Cauca (CRC), Universidades y Centros de Investigación.</p>	

Tabla 15. Programa Protección de Áreas con fines de Conservación

Lineamiento de manejo de áreas fragmentadas en de áreas potenciales para la conectividad ecológica de Pueblillo (Popayán-Cauca).		Ficha N.º 4
Programa	Programa Protección Sostenible.	
Proyecto	Realizar plantaciones agro-silvopastoriles y bosques productores en la vereda Pueblillo Popayán.	
Tipo de acción	Mejorar la capacidad productora de los recursos naturales, incorporando el componente forestal en el esquema productivo ganadero y agrícola que actualmente se desarrolla en el área de estudio.	
Localización	Vereda Pueblillo – Popayán.	
Beneficiarios	Productores campesinos.	
Objetivo:		
Mejorar la calidad y disponibilidad de los recursos naturales existentes en la vereda –Pueblillo – Popayán.		
Alcance:		
Implementar un modelo silvopastoril y agroforestal que mejore las condiciones ambientales y productivas de la zona.		
Descripción:		
<p>En la parte silvopastoril de utilizarán especies forestales maderables, forrajeras y frutales, nativas o propias del área, así como especies exóticas para la alimentación del ganado como: <i>Leucaena leucocephala</i>, <i>Morus alba</i> y <i>Cratylia argentea</i>. Estas especies, en asociación a pastos mejorados y bancos de proteínas con gramíneas y leguminosas, son alternativas de producción ganadera productivas, sostenibles y amigables con el ambiente, contribuye a la conectividad ecológica de los relictos de bosques.</p> <p>La parte agroforestal contempla interacciones entre árboles, personas y agricultura, implementando sistemas y tecnologías del uso de la tierra que combinan la producción de cultivos con especies forestales y/o animales, implementando el conocimiento tradicional de la comunidad en agricultura ecológica, para fortalecer y resaltar la funcionalidad de los ecosistemas presentes.</p>		
Estrategias:		
Procesos de gestión comunitaria. Capacitación comunitaria sobre viveros. Educación ambiental. Mejoramiento de pastos y uso de especies arbóreas. Asociación de cercas vivas con bancos de proteínas y pasto mejorado. Procesamiento de abono orgánico. Plantación de material vegetal.		
Entidades promotoras y fuentes de recursos: Alcaldía municipal de Popayán (POT), Corporación autónoma del Cauca (CRC), Universidades, secretaria de desarrollo agroambiental y fomento económico y Centros de Investigación.		

Tabla 16 Programa de educación ambiental

Lineamiento de manejo de las áreas fragmentadas en de las áreas potenciales para la conectividad ecológica de Pueblillo (Popayán-Cauca).		Ficha N. 5
Programa	Educación ambiental.	
Proyecto	Formación en el manejo de corredores ecológicos.	
Tipo de acción	Promoción y divulgación.	
Localización	Vereda Pueblillo – Popayán.	
Beneficiarios	Niños y jóvenes, teniendo en cuenta que son los actores más dinámicos, emprendedores y receptivos que impulsarán procesos de cambio real en las actitudes de la población en general.	
<p>Objetivo: Generar y continuar con los procesos de educación ambiental, tanto formales como no formales, en la vereda Pueblillo, que promueva cambios de actitud y propendan por el establecimiento de una relación armónica entre las comunidades y los recursos naturales, dirigidos a la población objetivo.</p>		
<p>Alcance:</p> <p>- Generar un diálogo de saberes entre los conocimientos académicos y tradicionales sobre procesos de conservación y protección del medio natural.</p>		
<p>Descripción: contará con la articulación entre los establecimientos educativos de la zona y hará énfasis en la promoción y formación de líderes ambientales que, una vez concientizados y apropiados de su función social y ecológica, se encargarán de propagar las experiencias aprendidas, permitiendo que los proyectos ejecutados garanticen la sostenibilidad, articulando la comunidad por medio de Procedas, Praes (Escuelas y colegios) y Praus (Universidades).</p>		
<p>Estrategias:</p> <p>Educación Ambiental</p> <p>Intercambio de conocimientos tradicionales</p>		
<p>Entidades promotoras y fuentes de recursos: Alcaldía municipal de Popayán (POT), Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), Universidades y Centros de Investigación</p>		

Conclusiones

De las coberturas identificadas durante este estudio, la vegetal de bosque de galería o ripario tiene la mayor área, con 15,7 ha, posibilitando interacción entre los factores bióticos y abióticos sobre un espacio determinado, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales en esta área. La fragmentación de los ecosistemas presentes en el área de influencia de las minas de arcillas de la vereda Pueblillo, ha sido causada principalmente por la actividad humana, debido a la minería, la agricultura y la ganadería. A pesar de lo anterior, se evidencia un área mínima de cobertura boscosa sobre el cauce del río Molino y las quebradas allí presentes.

El desarrollo de esta propuesta de zonificación ambiental permitió identificar condiciones para el buen uso y manejo de los recursos naturales y, en general, para todas las actividades desarrolladas en el suelo rural, con el fin de conservar sus potencialidades a largo plazo.

El uso de imágenes satelitales georreferenciadas fue de gran ayuda, disminuyendo tiempos y costos en levantamientos topográficos, obteniendo productos geoespaciales valiosos para realizar la fotointerpretación y generar la cartografía digital presentada en este artículo. Esta herramienta permitirá apoyar la toma de decisiones en la ordenación ambiental de territorio. La determinación de los criterios para la zonificación ambiental y su análisis según su importancia permiten evaluar las unidades de paisaje

para agruparlas de acuerdo a su grado de importancia.

La extracción de arcillas y ampliación de la frontera agrícola en el área de influencia de las minas de arcillas de la vereda Pueblillo ha traído consecuencias en la transformación del paisaje, principalmente en la modificación de la vocación del suelo, esto ha alterado el flujo y desarrollo natural de las especies que habitan el sector, así como la fisonomía, estructura y composición de las coberturas vegetales.

Las áreas potenciales para la conectividad ecológica analizadas, son las más indicadas para reestablecer la conexión ecológica, debido a su paso y proximidad por áreas destinadas a la restauración y conservación, permitiendo interacciones a través de los corredores como base fundamental de la biodiversidad.

Esta investigación permitió evidenciar que es indispensable para los municipios contar con elementos de planificación prácticos y de fácil acceso, como los lineamientos de manejo de suelos rurales. Sin embargo, no es suficiente con su existencia, pues se requiere llevar a la práctica las propuestas, insumo para desarrollar procesos de seguimiento y control.

Agradecimientos

Al Sistema de Investigación, desarrollo e innovación SIDI, al programa de Ecología de la Fundación Universitaria de Popayán y a los habitantes de la comunidad de Pueblillo por haber brindado la posibilidad de realizar este proyecto de Investigación.

Referencias

Alcaldía de Popayán. 2013. Plan de Ordenamiento Territorial-POT del municipio de Popayán. Alcaldía Municipal de Popayán. Fecha de acceso: 2020 Mar 23. Disponible: <https://www.popayan.gov.co/NuestraAlcaldia/MetasObjetivosDesempeo/Plan%20de%20Ordenamiento%20Territorial%20de%20Popay%C3%A1n.pdf>

Alarcón, L. 2017. Análisis de fragmentación y conectividad ecológica entre relictos de cobertura vegetal asociada al área de influencia del Río Cravo sur en el municipio de Yopal - Casanare- Colombia. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13547>

Astaiza, V., y Llanos, D. 2019. Diagnóstico de la actividad ladrillera y caracterización del tipo de arcillas empleadas en la vereda de Pueblillo, Popayán, Cauca, en búsqueda de alternativas de producción para minimizar los impactos ambientales. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia. Disponible en: <http://repositorio.uniautonoma.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/329>

Boletín Agroclimático Departamento del Cauca. 2018. IX Mesa técnica Agroclimática del cauca. Colombia. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Proyecto Suelos. 72 pp .

Corporación Autónoma Regional del Cauca - Fundación Pro cuenca Río Las Piedras. 2006. Plan de Ordenación y Manejo Subcuenca Río Molino – Pubús. Disponible en: https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-MALECONPOPAYAN-C-013-2021/anexo_tecnico_plan_de_ordenacion_y_manejo_de_la_subcuenca_rio_molino.pdf

Chacón, J.A., Bambagüé, C. y Arboleda, O.E. 2020. Uso de herramientas de sistemas de información geográfica para establecer la zonificación ecológica de unidades de paisaje en un sector del municipio de Timbío - Cauca. Revista Novedades Colombianas. 15, 1 (dic. 2020), 47-69. Disponible en: <https://doi.org/10.47374/novcol.2020.v15.1801>

Figuroa, A. y Valencia, M. 2019. Fragmentación y Coberturas Vegetales en Ecosistemas Andinos, Departamento del Cauca. Editorial Universidad del Cauca. Popayán – Cauca, 30pp.

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. CORPOICA. Corporación Agropecuaria de Investigación agropecuaria. 2002. Uso adecuado y conflictos de uso de las tierras en Colombia. Bogotá – Cundinamarca, 260 pp.

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. CORPOICA. Corporación Agropecuaria de Investigación agropecuaria 2002. Zonificación de los Conflictos de uso de las Tierras del país. Bogotá – Cundinamarca, 145 pp.

Grande, J. 2015. Modelamiento morfométrico y análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la subcuenca del río Molino ubicada en el municipio de Popayán, departamento del Cauca, utilizando la metodología Corine Land Cover con Imágenes de sensores remotos. Universidad de Manizales. Facultad de ciencias e ingeniería. Manizales – Caldas. 82 pp.

González, L. 2015. Estudio Hidrológico para las Principales Corrientes del Municipio de Popayán. Capítulo 3. Universidad Del Cauca. Popayán – Cauca, 114pp.

IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2010. Guía para la ordenación y manejo de Cuencas Hidrográficas en Colombia. Segunda versión. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia, 92 pp

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2009. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento del Cauca. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá. Colombia, 556 pp.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2022. Las 6 “plagas” que causan la muerte de los suelos colombianos. Disponible en: <https://igac.gov.co/es/noticias/las-6-plagas-que-causan-la-muerte-de-los-suelos-colombianos#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Juan%20Antonio%20Nieto%20Escalante,el%20mediano%20plazo%20ocasionan%20la>

López, A., Lozano, P., y Sierra, P. 2012. Criterios de zonificación ambiental usando técnicas participativas y de información: Estudio de caso zona costera del departamento del Atlántico. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Bol. Invest. Mar. Cost, ISSN 0122-9761.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2013. Sistema de información geográfica municipal 2013. Oferta agropecuaria. Popayán, Cauca. 19 pp.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia. 2010. Metodología general para la presentación de estudios ambientales. Bogotá, D.C., Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 72 p. Disponible en: http://portal.anla.gov.co/documentos/normativa/metodologia_presentacion_ea.pdf

Márquez, C. y Valenzuela, E. 2008. Estructura ecológica y ordenamiento territorial ambiental: aproximación conceptual y metodológica a partir del proceso de ordenación de cuencas. Universidad Nacional de Colombia. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/13989/14780>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. 2002, Decreto 1729 de 2002. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5534>

Odum, P. y Varrett, W. 2008. Fundamentos de la ecología. Cengage learning. México. Pp 613.

Plan de Ordenamiento Territorial, POT Popayán. 2013. Alcaldía municipal de Popayán. Fecha de acceso: 2022 Ene 24. Disponible en: <http://www.popayan.gov.co/ciudadanos/la-alcaldia/planeacion-gestion-y-control/plan-de-ordenamiento-territorial-pot>

Remolina, F. 2006. Propuesta de tipología de corredores para la Estructura Ecológica Principal de Bogotá. 1.

Serrato, P. 2018. Zonificación ecológica como base para el diagnóstico de cuencas hidrográficas Proyecto: Estudio de imágenes satelitales en zonas tropicales para estudios geomorfológicos y de cobertura. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Oficina CIAF. Bogotá. 31pp.

Servicio Geológico Colombiano - SGC. 2016. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá. Servicio Geológico Colombiano - SGC. 182 pp.

Villegas, E., Cifuentes, A., Contreras, G., y Fernández, D. 2015. Ordenamiento territorial como instrumento para la zonificación ambiental a través de la Estructura Ecológica Principal, como apoyo a la formulación de los POTs y los POMCAS en Colombia. *Revista de Tecnología, Journal of Technology*, 14(2): 49-76. Disponible en: <https://doi.org/10.18270/rt.v14i2.1870>