

**Zonificación ambiental estratégica para la reducción de la vulnerabilidad por
desabastecimiento hídrico en la zona alta de la microcuenca de la quebrada la Sardinata
del municipio de Palermo, Huila**

María Paula Azabache Zarta

Leidy Camila Lasso Rojas

**Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Ordenamiento y Gestión Integral
de Cuencas Hidrográficas**

Director

Brinton Rafael Urina Montenegro

**Ingeniero Ambiental y Sanitario, Esp. Gestión Ambiental y Magister en Ingeniería de
Recursos Hidráulicos**

Universidad Santo Tomas, Bogotá

División de Ciencias y Tecnologías

Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

2023

Dedicatoria

Este proyecto lo dedico a Dios y a mis padres Omar Azabache y María Eugenia Zarta, mis grandes maestros y apoyo incondicional.

María Paula Azabache Zarta

Dedico este proyecto a Dios y a mi familia por ser incondicionales hacia mi proceso de evolución.

Leidy Camila Lasso Rojas

Agradecimientos

Agradezco a mis padres y a la universidad Santo Tomas por ser los proveedores de conocimientos para fortalecer los míos.

María Paula Azabache Zarta

Agradezco a Dios y a mis padres por respaldarme en mis decisiones y apoyarme para hacer realidad otro propósito.

Leidy Camila Lasso Rojas

Contenido

Introducción	11
1.1 Planteamiento del Problema.....	14
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo general.....	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 Justificación.....	17
2. Marco referencial	19
2.1 Marco teórico	19
2.2 Marco conceptual	21
2.2.1 Acuerdo CAM 2099 de 2019.....	21
2.2.2 Planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA)	21
2.2.3 Microcuenca.....	22
2.2.4 Restauración.....	22
2.2.5 Desabastecimiento hídrico	22
2.2.6 Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH)	22
2.2.7 Zonificación ambiental	23
2.3 Estado del arte	23
2.4 Aspectos Legales.....	27
3. Marco metodológico	29
3.1 Enfoque	29
3.2 Alcance	29
3.3 Fases para el desarrollo del proyecto	30
3.4 Métodos de Campo.....	31
3.4.1 Métodos de recolección y procesamiento de información.....	31
4. Resultados	32

4.1	Caracterización de la Condición Actual de la Zona de Estudio	32
4.1.1	Características ecosistémicas de la microcuenca	32
4.1.2	Relación de la microcuenca y el esquema de ordenamiento territorial – EOT del municipio de Palermo	33
4.1.3	Zonificación actual según el acuerdo 2099 de la CAM.....	34
4.1.4	Delimitación zona de estudio.....	35
4.1.5	Clasificación de las coberturas de la tierra en la zona de estudio	37
4.2	Zonificación de la microcuenca quebrada la Sardinata.....	38
4.2.1	Paso uno: integración cartográfica base.....	38
4.2.2	Paso dos: definición de categorías de zonificación intermedia	40
4.2.3	Paso tres: Calificación de capas resultantes paso dos	42
4.2.4	Paso cuatro: calificación de capas resultantes paso tres	45
4.2.5	Paso cinco: calificación de capas resultantes paso cuatro	48
4.3	Estrategias de mejora propuestas	51
4.3.1	Propuesta de estrategias de recuperación.....	51
4.3.2	Propuesta de estrategias de rehabilitación	52
4.3.3	Propuesta de estrategias de restauración.....	52
4.3.4	Propuesta de estrategias de restauración ecológica	53
5.	Conclusiones	54
	Referencias.....	55

Índice De Siglas

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

CAM: Corporación Autónoma Regional del alto Magdalena

MINAMBIENTE: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

IVH: Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH)

Km²: Kilómetros Cuadrados

mm³: Milímetros Cúbicos

mm³/s: Milímetros Cúbicos por Segundo

m.s.n.m: Metros Sobre el Nivel del Mar

POMCA: Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas

SIG: Sistema de Información Geográfica

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Normatividad Relacionada con la Protección Ambiental</i>	28
Tabla 2 <i>Relación de áreas según el manejo de la microcuenca quebrada la sardinata .</i>	35
Tabla 3 <i>Matriz paso dos.....</i>	41
Tabla 4 <i>Matriz paso tres</i>	43
Tabla 5 <i>Matriz paso cuatro.....</i>	46
Tabla 6 <i>Matriz paso cinco.....</i>	49

Índice de figuras

Figura 1 <i>Mapa localización de la microcuenca</i>	20
Figura 2 <i>Modelo cartográfico de zonificación ambiental aplicado</i>	30
Figura 3 <i>Zonificación ambiental de la microcuenca quebrada la sardinata, según acuerdo 2099</i>	34
Figura 4 <i>Delimitación zona de la microcuenca la sardinata</i>	36
Figura 5 <i>Delimitación zona de estudio</i>	37
Figura 6 <i>Coberturas de la tierra en la zona de estudio</i>	38
Figura 7 <i>Mapa zonificación paso uno</i>	39
Figura 8 <i>Mapa zonificación paso dos</i>	41
Figura 9 <i>Mapa zonificación paso tres</i>	44
Figura 10 <i>Mapa zonificación paso cuatro</i>	47
Figura 11 <i>Mapa zonificación paso cinco</i>	50

Resumen

El agua es considerada como imprescindible para las sociedades, sin embargo, el crecimiento de la población ha comprometido la disponibilidad y calidad de este recurso natural. El estudio nacional de aguas a cierre de la vigencia 2022, refleja un aumento del 5% aproximadamente en el consumo del agua en Colombia, de otra parte la microcuenca de la quebrada la Sardinata, ubicada en el municipio de Palermo en el departamento del Huila, presenta un índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico, razón por la cual dicho municipio presenta escasez de este recurso. La ejecución de esta investigación tiene como propósito determinar la condición actual de la zona alta en la microcuenca de la quebrada la Sardinata, mediante la aplicación de una zonificación ambiental para la identificación de áreas estratégicas de importancia que promuevan un desarrollo productivo en la región y aportan a que se mejore el bienestar de sus habitantes. Para ello se aplica la metodología de zonificación ambiental basada en el modelo cartográfico del POMCA.

Los resultados obtenidos, luego de aplicar dicho proceso permitió identificar y definir categorías de ordenación, así como zonas y subzonas de uso y manejo, esto es fundamental para una adecuada gestión y conservación de los recursos naturales en la zona de estudio. Todo lo efectuado permite concluir que se requiere implementación de estrategias de restauración ecológica, como la reforestación y la recuperación de coberturas vegetales, en los ecosistemas estratégicos.

Palabras Clave: Cambio climático, Cuenca hidrográfica, Desabastecimiento hídrico, Zonificación ambiental

Abstract

Water is considered essential for societies, however, population growth has compromised the availability and quality of this natural resource. The national water study at the end of 2022, reflects an increase of approximately 5% in water consumption in Colombia, on the other hand the micro-watershed of the La Sardinata stream, located in the municipality of Palermo in the department of Huila, has a vulnerability index due to water shortage, which is why the municipality presents a shortage of this resource. The purpose of carrying out this research is to determine the current condition of the upper zone in the micro-basin of the La Sardinata stream, through the application of environmental zoning to identify strategic areas of importance that promote productive development in the region and help improve the well-being of its inhabitants. To this end, the environmental zoning methodology based on the POMCA cartographic model is applied.

The results obtained, after applying this process, allowed identifying and defining management categories, as well as areas and sub-areas of use and management, this is essential for the proper management and conservation of natural resources in the study area. Everything done allows us to conclude that it is necessary to implement ecological restoration strategies, such as reforestation and the recovery of plant cover in strategic ecosystems.

Keywords: Climate change, Watershed, Water shortage, Environmental zoning

Introducción

Para dar manejo a las cuencas hidrográficas, es esencial comprender los impactos generados tanto por actividades naturales como antrópicas, que perturban directamente la disponibilidad y calidad del recurso hídrico. La comprensión detallada de estos impactos es fundamental para desarrollar estrategias efectivas de ordenamiento y gestión que aseguren la sostenibilidad de las cuencas y su entorno. Los impactos naturales incluyen procesos geológicos, climáticos y ecológicos, como movimientos tectónicos, ciclos de lluvia y sequía, erosión y sedimentación natural, que han moldeado históricamente las cuencas hidrográficas. Estos fenómenos naturales pueden tener efectos significativos en la disponibilidad de agua, la calidad del suelo y la estabilidad de ecosistemas terrestres y acuáticos. De otra parte, los impactos antrópicos son resultado de la urbanización, el crecimiento y la industrialización y la expansión de la agricultura y ganadería. Estos impactos incluyen la deforestación, la urbanización desordenada, la contaminación del agua por residuos y productos químicos, la extracción excesiva de agua, y la degradación del suelo debido a prácticas agrícolas no sostenibles, Rojas y López (2017).

Fierro et al (2019), han señalado que los impactos antrópicos en las cuencas hidrográficas pueden provocar la baja del caudal en los ríos, la pérdida de biodiversidad acuática y terrestre, la degradación de la calidad del agua y el desgaste del suelo, afectando negativamente los servicios ecosistémicos que proporcionan las cuencas, por lo cual los fenómenos naturales, como sequías e inundaciones, también desempeñan un papel crucial en la distribución y disponibilidad del agua en las cuencas hidrográficas, afectando la vida humana, la agricultura y la seguridad alimentaria. En este contexto, es de vital importancia desarrollar enfoques de zonificación ambiental estratégica.

En el departamento del Huila se encuentra ubicado el municipio de Palermo, el cual tiene una extensión total de 92.288510 Km², al norte limita con los municipios de Planadas y Neiva, al oriente con Rivera, Campoalegre, al occidente con Santa María y al sur con Yaguará y Teruel, el municipio de Palermo es un territorio que se caracteriza por tener una gran diversidad geográfica, pues cuenta en la vertiente oriental con zona de montañas desiguales en la cordillera central hasta un valle que alberga la cabecera municipal. También cuenta con cerros graníticos y cordones de una planicie del valle del Magdalena, lo rodean las aguas de los ríos Yaya, Tune, Baché y Magdalena. Sus temperaturas en las zonas bajas oscilan en 27 °C , en las cordilleras oscilan entre los 15 °C, y 26 °C en el casco urbano, (Alcaldía de Palermo, 2023a).

A nivel hidrográfico el departamento del Huila se encuentra ubicado entre 13 subzonas, las cuales tienen asociadas un total de 564 microcuencas, respecto al río Baché se identifica que nace en la cordillera central, está conformado por 46 microcuencas, el aporte hídrico superficial de esta subzona es de 1358,1 mm³, de los cuales el 98 mm³/s, corresponden a su zona alta. Dentro de la zona alta se destacan los aportes de la quebrada la Sardinata, la cual tiene un caudal de desembocadura de 56,4 m m³/s, a nivel general el recurso hídrico de esta cuenca y sus microcuencas sirve y es utilizado para el consumo humano y para labores agropecuarias, Gobernación del Huila (2019).

La CAM (2019a), debido al alto índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en algunas microcuencas del departamento del Huila, emite la resolución 041 de 2019, donde está contemplada la del río Baché, debido a que se identificó una variación promedio de 3 a 4°C en las temperaturas máximas y mínimas, lo cual afecta el balance hídrico, aunque se menciona que factores como el crecimiento de la población, el uso de la tierra, la erosión, y el aprovechamiento del recurso hídrico para riego, acueductos, hidroeléctricas y gasto humano, son otros factores que

influyen directamente en la disminución del caudal, por ende se estima que a futuro el caudal medio podría disminuir con tendencia hacia un valor de 36,4°C.

El crecimiento demográfico y las actividades humanas han incrementado la demanda de agua y han generado cambios significativos en la zona alta de la microcuenca de la quebrada la Sardinata. Esto ha dado lugar a la vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico debido a la pérdida de las coberturas vegetales, modificaciones en las condiciones del suelo y a las condiciones del cambio climático, por lo cual se han generado riesgos de escasez de agua en las comunidades locales.

El desarrollo de este proyecto de investigación tiene como principal objetivo comprender y abordar los efectos del cambio climático en la zona alta de la microcuenca de la quebrada la Sardinata del municipio de Palermo, Huila. Mediante el uso de sistema de información geográfica (SIG), se determinó una zonificación ambiental de la condición actual de la zona alta de la microcuenca de la quebrada La Sardinata, para con base en ello, desarrollar y proponer estrategias de gestión enfocadas en promover acciones de conservación y uso sostenible del recurso hídrico en las áreas a priorizar de la microcuenca.

Los datos derivados de esta investigación se constituyen como un insumo importante base para la toma de decisiones por parte de las autoridades locales y los actores involucrados en la comisión del agua. De esta manera, se promoverá el uso y la conservación sostenible de este recurso vital en la región del municipio de Palermo, Huila, contribuyendo así al desarrollo de estrategias efectivas para la gestión de microcuencas hidrográficas.

1.1 Planteamiento del Problema

El agua ha sido un recurso esencial para la vida y el progreso de las sociedades. Desde la aplicación de técnicas primitivas hasta tecnologías sofisticadas, han permitido distribuir el agua para diversas actividades de la industria y del consumo humano. Sin embargo, el uso insostenible de este recurso natural debido al crecimiento de la población y la economía han comprometido la disponibilidad y calidad del agua. Estas interrelaciones impactan directa o indirectamente en la sostenibilidad de los recursos hídricos, convirtiéndose en un problema ambiental global con consecuencias para la sociedad y los ecosistemas, Peña et al (2020).

Colombia, debido a la dinámica de los océanos en las cuencas del Orinoco y del Amazonas, experimenta una compleja respuesta hidrológica y una variabilidad climática significativa lo cual ocasiona como efecto alteraciones de tipo climático, estas se manifiestan de manera heterogénea con distintos regímenes de precipitación y variabilidad en el territorio nacional, por lo cual surgen desafíos en la gestión de los recursos hídricos y en la toma de decisiones en relación con los mismos. El (IDEAM) ha realizado varios estudios para determinar los efectos de las anomalías de precipitación y temperatura en los caudales de las corrientes principales, durante el fenómeno del niño, se han observado reducciones significativas en los caudales de varias cuencas, mientras que durante el fenómeno de la niña se han registrado aumentos en la zona andina. Las proyecciones de afectación del rendimiento hídrico para el escenario 2071 a 2100 en Colombia, indican una preocupante disminución de más del 30% en varios departamentos como Cauca, Nariño, Valle del Cauca, Magdalena, Tolima, Huila, Antioquia, Cundinamarca, Atlántico, Caldas, Córdoba, Bolívar, Cesar y Sucre, (García et al, 2012).

De acuerdo con cifras emitidas por el IDEAM (2023), en el estudio nacional de aguas a cierre de la vigencia 2022, indica que la demanda del agua en Colombia aumentó en

aproximadamente el 5% , identificando que el sector agrícola usa el 43,1% de agua, seguido del sector energético el cual utiliza en 24,3%, en cuanto al índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico determinó que 32 de los 44 afluentes del país, equivalente al 75% presentan alto riesgo en un año seco.

La microcuenca de la quebrada la Sardinata, ubicada en el municipio de Palermo en el departamento del Huila, presenta un índice de vulnerabilidad hídrica media para año húmedo y seco. A causa de la vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico en la microcuenca de la quebrada en mención el municipio de Palermo presenta escasez de este recurso; lo cual ocasiona un problema en la comunidad y a su vez un impacto negativo en la económica y desarrollo municipal, dado que los habitantes que se abastecen de esta fuente hídrica, no pueden contar con el agua suficiente para llevar a cabo sus actividades básicas y productivas, (Alcaldía de Palermo, 2020).

En la actualidad, no se ha logrado identificar una zonificación general ni detallada ambiental que aporte a reducir las falencias hídricas de la microcuenca de la quebrada la Sardinata, por ende, el municipio no cuenta con la especificación de posibles áreas estratégicas de conservación que puedan contribuir con la disminución del índice de vulnerabilidad hídrica, así como áreas en las cuales se pueden realizar actividades productivas sin perjudicar el recurso hídrico de esta afluente, con lo cual se pueda garantizar la disponibilidad del recurso hídrico hacia el futuro.

Todo lo anterior deja ver que los fenómenos de variabilidad climática están teniendo cada vez un impacto de reducción significativo en los recursos hídricos del municipio de Palermo Huila. Por tanto, con el desarrollo del presente proyecto se efectuó una zonificación ambiental estratégica que contribuya a reducir la vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico en la zona alta de la microcuenca de la quebrada la Sardinata, lo cual permitió que se hayan identificado áreas

prioritarias y se pudieran proponer medidas específicas para mitigar los efectos de la variabilidad climática.

Con base en lo establecido anteriormente se ha planteado la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles estrategias pueden aportarse para mitigar los indicadores de desabastecimiento hídrico en la zona alta de la microcuenca de la quebrada la sardinata del municipio de Palermo, Huila?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la zonificación ambiental estratégica para la reducción del índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico, en la zona alta de la microcuenca quebrada La Sardinata municipio de Palermo, Huila.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la zona alta de la microcuenca quebrada la sardinata a partir del acuerdo 2099 (Corporación Autónoma Regional del alto Magdalena- CAM).
- Elaborar la zonificación ambiental de la microcuenca aplicando la metodología establecida por MinAmbiente en la guía técnica para la formulación de los POMCAS.
- Establecer estrategias de mejora para reducir el índice por desabastecimiento hídrico de la microcuenca en las zonas priorizadas con la zonificación ambiental.

1.3 Justificación

Con la ejecución de este proyecto, se determinó la condición actual de la zona alta en la microcuenca de la quebrada la Sardinata, mediante la aplicación de una zonificación ambiental que posibilitó la identificación de áreas estratégicas de importancia que promuevan un desarrollo productivo en la región y aportan a que se mejore el bienestar de sus habitantes.

Para esto se tomaron en cuenta los programas planes y proyectos regionales y nacionales relacionados con la gestión integral del recurso hídrico, la resiliencia y la capacidad de acomodo y mitigación al cambio climático. Esta información aportó en el desarrollo de estrategias de mejora propuestas para reducir el índice de desabastecimiento hídrico en la zona de estudio.

En cuanto a la factibilidad, se destaca que esta investigación se basó en información actualizada y disponible sobre la zona de estudio, con lo cual se garantiza que se contó con los recursos precisos para ejecutar el estudio y obtener resultados confiables.

En términos de pertinencia y conveniencia, la investigación abordó un problema real y relevante en la zona alta de la microcuenca de la quebrada La Sardinata, el cual corresponde al desabastecimiento hídrico, siendo considerado como un desafío cada vez más importante por lo cual se propusieron estrategias específicas para reducir este índice en la zona de estudio, el desarrollo de esta investigación se considera relevante tanto para la comunidad local como para las autoridades encargadas de la gestión del agua en la región.

Los resultados de esta investigación pueden ser utilizados como base para la formulación de estrategias de mejora, dado que se aportaron datos actuales junto con estrategias proyectadas que pueden ser implementadas por la administración municipal de modo tal que se mejore la calidad de vida de los habitantes de la zona alta de la microcuenca de la quebrada la Sardinata, al asegurar un suministro adecuado de agua para sus necesidades. Además, se fortalecerá la

resiliencia de la región frente a los impactos del cambio climático y se promoverá un desarrollo productivo sostenible.

2. Marco referencial

2.1 Marco teórico

La zona amortiguadora del parque natural nevado del Huila abarca aproximadamente 3.331,25 hectáreas del municipio de Palermo, por lo cual se convierte en una zona de gran importancia debido a su biodiversidad, extensión de áreas boscosas y su alto potencial hídrico. Esta región montañosa alberga bosques secundarios intervenidos con especies como el cascarillo, yarumo blanco, roble, mantequilla, manzano, moco de pava y otras. Además, presenta una valiosa diversidad de fauna que incluye aves, osos de anteojos, felinos de menor tamaño como el tigrillo, antílopes, serpientes cazadoras y coral, entre otras especies, Alcaldía de Palermo (2023b).

En términos económicos, el municipio se dedica a actividades del sector primario como la extracción de , oro, hidrocarburos, calizas y materiales de construcción, utilizados en la obtención de cal, cemento y otros fines industriales, también se han identificado yacimientos de oro y baritina. En el sector secundario, se encuentran empresas dedicadas al procesamiento de chocolate, fabricación de muebles, panaderías, entre otros. Por su parte, el sector terciario incluye tiendas, galleras, restaurantes y canchas de tejo y otros establecimientos, Alcaldía de Palermo (2023b).

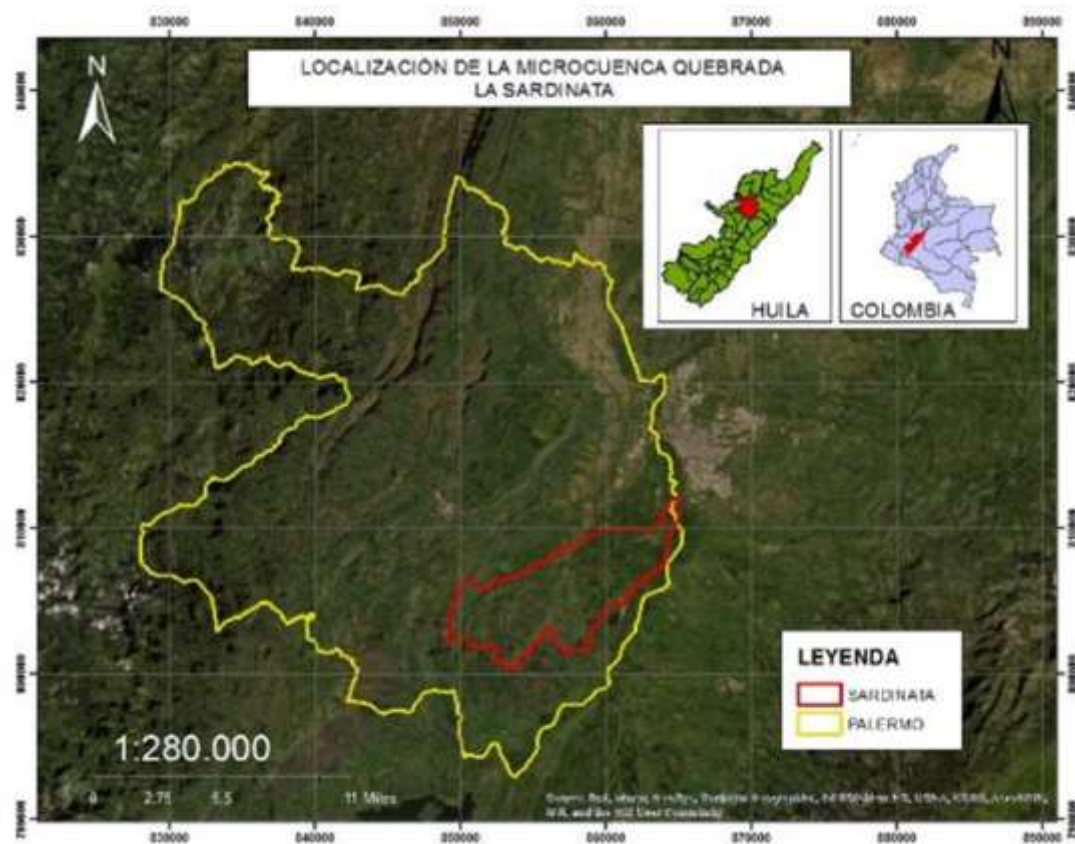
En el sector pecuario, se desarrollan actividades como la agricultura, la ganadería bovina , la porcicultura y la piscicultura en zonas cálidas y frías. Respecto a la agricultura, esta desempeña un papel destacado en la economía del municipio, con cultivos como caña de azúcar, arroz, cacao, papa, café, banano, plátano, maíz, fríjol, mora, tomate de árbol y lulo, Alcaldía de Palermo (2023b).

El río Baché se encuentra ubicado en el departamento del Huila en la vertiente oriental de la cordillera central, abarcando los municipios de Palermo, Santa María, Teruel, Neiva y Aipe. Sus

elevaciones van desde los 384 m.s.n.m, en su desembocadura en el río Magdalena. Asociada a este río se encuentra la microcuenca de la quebrada la Sardinata, la cual está ubicada al margen izquierdo del río Magdalena, en la microcuenca predomina el ecosistema bosque seco, con un promedio de 27°C en temperatura, su extensión total es de 7703,79 Ha, Alcaldía de Palermo (2023b).

A continuación se representa espacialmente la localización de la microcuenca de la quebrada sardinata, ubicada en el municipio de Palermo, donde se va a efectuar el desarrollo de esta investigación.

Figura 1 Mapa localización de la microcuenca



2.2 Marco conceptual

A continuación, se enuncian los principales conceptos que permiten dar claridad a los aspectos fundamentales utilizados para desarrollar el presente proyecto.

2.2.1 Acuerdo CAM 2099 de 2019

Establece un marco fundamental para la gestión integral del territorio en el departamento de Huila. Su objetivo principal es lograr un equilibrio entre la conservación del medio ambiente y el desarrollo humano, destacando la importancia de efectuar una planificación estratégica y sostenible en la región. Los principios que guían este acuerdo se basan en las políticas ambientales a nivel nacional y regional, además de definir las competencias y responsabilidades en asuntos ambientales tanto de la entidad reguladora, en este caso, la (CAM) como de las entidades territoriales. Este acuerdo también reconoce la problemática ambiental específica que afecta al departamento del Huila y destaca la importancia de reservar una porción adecuada del territorio para fines de conservación. Esto incluye la protección y preservación de las áreas de recarga hídrica, la estabilidad ecológica y la diversidad biológica, (CAM, 2019).

2.2.2 Planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA)

Es una herramienta esencial para llevar a cabo la planificación integral y coordinada de los recursos hídricos, el uso del suelo, la biodiversidad vegetal y animal en una cuenca. En términos más simples, el POMCA es como una ruta que orienta la gestión de una cuenca, asegurando que se utilicen de manera armoniosa los diferentes elementos naturales que la componen.

Esta gestión integral implica tanto la planificación de cómo se utiliza el agua, el suelo, las plantas y los animales en la cuenca (ordenación de la cuenca) como la implementación de

proyectos y acciones concretas para lograr esos objetivos (manejo de la cuenca), (Ministerio de Medio Ambiente, 2023).

2.2.3 Microcuenca

Es un área geográfica de desagüe menor a 500 Km² dentro de una cuenca hidrográfica más grande. Esta área en particular está caracterizada por ser drenada por arroyos o ríos más pequeños, que finalmente se unen para formar un río principal, Ministerio de Medio Ambiente (2022).

2.2.4 Restauración

Se refiere a la acción de recuperar parcial o totalmente la estructura, composición y función de la biodiversidad en una zona que ha sido intervenida o degradada. En el contexto de la microcuenca, esto podría implicar acciones para recuperar los recursos naturales que han sufrido daños, Ministerio de Medio Ambiente (2022).

2.2.5 Desabastecimiento hídrico

Se refiere a la situación en la que no hay bastantes recursos hídricos disponibles para compensar las demandas de gasto de agua en una región. Esto puede deberse a la escasez de agua o a una mala gestión de los recursos hídricos, (Gobernación del Huila, 2019).

2.2.6 Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH)

Se utiliza para evaluar cuán frágil es un sistema hídrico en términos de su capacidad para proporcionar agua, especialmente durante condiciones adversas como sequías o fenómenos climáticos extremos como el fenómeno del niño, (Gobernación del Huila, 2019).

2.2.7 Zonificación ambiental

Se refiere a la planificación y organización del uso del suelo y los recursos naturales en una microcuenca de manera que se integren de manera positiva en el desarrollo de la región y mejoren las condiciones de vida de sus habitantes, sin dañar el equilibrio natural. Esto implica la identificación de unidades de manejo ambiental y la representación cartográfica de estas unidades para guiar la planificación ambiental y la gestión sostenible de la microcuenca, (SENA, 2012).

2.3 Estado del arte

El proyecto elaborado por Álvarez et al (2015), se enfoca en el Estero Salado, ubicado en el noroeste del estuario del Golfo de Guayaquil en Ecuador. Este ecosistema abarca áreas salinas, remanentes de bosque seco tropical y manglares, con una longitud de aproximadamente 60 kilómetros desde el puerto marítimo de Guayaquil hasta Posorja. El propósito de esta investigación fue establecer criterios de zonificación para distinguir diversas áreas geográficas dentro del Estero Salado. Esto se llevó a cabo para lograr una gestión integral y objetiva que tuviera en cuenta factores físicos, naturales, sociales y económicos. Los resultados del estudio condujeron a la identificación de 10 escenarios de gestión que se basaron en la combinación de 5 tipos de áreas ribereñas y dos tipos de cauces. Estos escenarios proporcionaron pautas para la proyección y de la zona costera, priorizando la conservación y restauración ambiental según las características específicas de las riberas y cauces. Se destacaron áreas propicias para la restauración de los manglares a través de procesos de reforestación con especies autóctonas. Se resaltó la importancia de las riberas dentro de la reserva debido a su transición con el bosque seco y la presencia de especies amenazadas. Por otro lado, se observó que las áreas fuera de la reserva estaban más

impactadas. En relación a los cauces, se identificaron áreas mejor conservadas que permitían una renovación más efectiva del agua debido a la influencia de las mareas.

La investigación realizada por Lopez et al (2012), se centró en la gestión integrada de zonas costeras y el ordenamiento y manejo integral de cuencas hidrográficas. Su objetivo fundamental fue desarrollar una herramienta de zonificación ambiental con el propósito de reducir la vulnerabilidad ante la escasez de agua en la región de interés. Para lograr esto, se tomó como punto de partida un estudio previo realizado en el departamento del Atlántico, en la región del Caribe colombiano, donde se aplicó exitosamente la zonificación ambiental como parte del proceso de ordenamiento ambiental en zonas costeras. Este estudio previo se basó en la identificación y consideración de múltiples criterios, abordando aspectos relacionados con el entorno biológico, aspectos socioeconómicos y gobernabilidad. Los autores del estudio establecieron una serie de criterios clave, como la representatividad de los ecosistemas, el grado de intervención humana, la salud de la fauna local, la presencia de riesgos naturales, los cambios en el equilibrio hídrico, la intensidad de uso, la aptitud del terreno y los conflictos de uso del suelo. A través de un análisis integral de estos criterios, se logró definir diversas áreas de manejo, incluyendo ecosistemas estratégicos, áreas de recuperación ambiental, zonas de aprovechamiento sostenible, áreas de producción sostenible, así como áreas urbanas y suburbanas. Estas áreas proporcionaron las pautas esenciales para el manejo completo de la región bajo estudio. El proceso de definición y análisis de los criterios de zonificación se llevó a cabo mediante enfoques participativos que involucraron a diversos actores locales, incluyendo talleres técnicos interdisciplinarios y procesos participativos. Este estudio demostró que la zonificación ambiental es una herramienta efectiva para el ordenamiento ambiental, siempre y cuando se definan y se integren criterios adecuados que aborden las problemáticas específicas del área de estudio.

El proyecto desarrollado por Domínguez et al (2008), se enfocó en analizar la subcuenca municipal del río Aguas Calientes en Nicaragua. Su enfoque integró una variedad de factores, incluyendo aspectos biofísicos, socioeconómicos, procesos participativos y consideraciones técnicas y legales. El proceso metodológico constó de tres etapas fundamentales: la recopilación de información, el análisis del uso actual del suelo y la propuesta de zonificación ambiental. Para obtener datos relevantes, se llevaron a cabo talleres de comunicación, educación y zonificación en colaboración con los comités comunales de la cuenca. Entre los resultados significativos, se incluyen la ubicación espacial de la información socioeconómica y biofísica, la identificación de conflictos relacionados con el uso de la tierra, la delimitación de zonas con potencial para la recarga de aguas subterráneas y áreas con vulnerabilidad a deslizamientos. Además, se propusieron 15 subcategorías para el manejo de la subcuenca. Los resultados del estudio revelaron que el 45% del territorio de la subcuenca tenía un uso adecuado del suelo. Sin embargo, se identificó que los suelos destinados a actividades forestales mostraban signos significativos de degradación, principalmente debido a prácticas agropecuarias, afectando al 53% de estas áreas. El análisis del uso del suelo en las zonas de protección de los recursos hídricos resaltó la importancia de diferenciar entre las diferentes categorías de cursos de agua (primario, secundario, terciario) para aplicar regulaciones adecuadas, ya que una única categoría abarcaba áreas extensas y limitaba el desarrollo sostenible en la cuenca.

El proyecto efectuado por Ontivero et al (2008), se enfoca en el ordenamiento y la gestión integral de cuencas hidrográficas, específicamente en la Sierra de Altomira. Su principal objetivo es establecer áreas diferenciadas que permitan una adecuada ordenación y gestión de los recursos naturales presentes en esta zona. Esta área se destaca por su rica biodiversidad y ha sido designada como Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y Zona de Especial Conservación (ZEC),

formando parte de la Red Natura 2000. Se requiere un plan de gestión para esta área en un plazo de seis años, y este estudio propone anticiparse a esta demanda mediante una metodología de zonificación ambiental. La propuesta de zonificación ambiental se basa en una evaluación detallada del paisaje y los aspectos ecológicos. Esto incluye el análisis de indicadores relacionados con la ecología del paisaje y la consideración de las diferentes figuras de protección establecidas en la zona de estudio. Los resultados obtenidos se integran utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Como resultado final, se identificaron cinco zonas con diferentes niveles de valor ambiental, reflejando así la diversidad y las características singulares de la Sierra de Altomira. Este enfoque de zonificación ambiental proporciona una comprensión más completa de la distribución y calidad de los recursos naturales en el área de estudio, además de ofrecer orientación clara para su manejo y conservación. La utilización de herramientas como el SIG facilita el procesamiento de datos y la representación espacial de los resultados, lo que contribuye a una toma de decisiones más informada y eficiente en el ámbito del ordenamiento y la gestión de cuencas hidrográficas.

De otra parte Henao et al (2008), se centraron en identificar factores clave de perturbación que estaban afectando gravemente los recursos naturales en la zona de estudio. Estos factores incluían la baja de la cobertura forestal y la variación de la estructura del suelo en áreas críticas para la recarga de los acuíferos, la tala de bosques, la destrucción de hábitats de especies en peligro de extinción, la invasión de zonas de protección, la degradación de las coberturas vegetales en microcuencas vitales para el abastecimiento de agua potable local, y la pérdida de la calidad del paisaje y del entorno natural. El estudio se enfocó especialmente en la caracterización de la biodiversidad que aún se encuentra en los remanentes de bosque del departamento. Los resultados de esta caracterización revelaron un deterioro significativo de los ecosistemas y las comunidades

ecológicas en el territorio debido a múltiples acciones humanas a lo largo de la historia. Es importante destacar que, debido a la intensa intervención humana en la zona de reserva forestal protectora (ZRFP), en la actualidad solo quedan pequeños fragmentos de bosque natural, principalmente cerca del parque nacional natural (PNN) Paramillo y en las zonas montañosas limítrofes con el departamento de Antioquia. Estas áreas requieren medidas inmediatas de preservación y restauración debido a su importancia crítica para la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos claves.

2.4 Aspectos Legales

A continuación, se detalla la normatividad nacional y regional que se identifica, está relacionada con la gestión del agua y la defensa ambiental en la zona de estudio.

Tabla 1 *Normatividad Relacionada con la Protección Ambiental*

Normatividad	Aspecto Relacionado
Política nacional para gestión integral del recurso hídrico en Colombia (PNGIRH)	Establece la gestión integral y las acciones relacionadas con el agua en Colombia, (Ministerio de Medio Ambiente, 2010).
Decreto 1323 de 2007	Crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), que se encarga de integrar y estandarizar la recopilación, registro, manejo y consulta de datos, estadísticas, sistemas, modelos, y otra información relevante para facilitar la gestión integral del recurso hídrico en el país, (Presidencia de Colombia, 2007).
Decreto 1640 de 2012	Este decreto reglamenta el POMCA como un instrumento para la ordenación y manejo de las cuencas de manera participativa. Busca establecer consensos en la zonificación ambiental para proteger, conservar y utilizar de manera sostenible los recursos naturales renovables, asegurar una ocupación segura del territorio y prevenir nuevos riesgos en la cuenca, (Ministerio de Medio Ambiente, 2023)
Estudio nacional del agua (ENA) 2022	Es un análisis llevado a cabo por el IDEAM en el contexto de la PNGIRH. Proporciona información actualizada sobre el estado y la dinámica de los recursos hídricos en Colombia, lo que es esencial para la planificación y gestión integral del agua en el país, (IDEAM, 2023).
Evaluación regional del agua – Huila (ERA)	comprende un análisis completo de la oferta, la demanda, la calidad y los riesgos asociados al recurso hídrico en la región del Huila. Se basa en las subzonas definidas en la zonificación hidrográfica de Colombia, y es fundamental para comprender la situación hídrica en esta área específica, (CAM, 2016).
Acuerdo 2099 del 2019	adopta y aprueba el plan de ordenamiento y manejo integral del departamento del Huila. Proporciona un marco normativo importante para la planificación y gestión del territorio en Huila, (CAM, 2019b).

3. Marco metodológico

3.1 Enfoque

Este proyecto de investigación adopta un enfoque mixto, como lo recomiendan Hernández et al (2014). Este enfoque combina la recolección de datos cuantitativos y cualitativos, lo que implica recopilar información en diferentes formas para llevar a la integración y discusión conjunta de esta información se realiza de manera objetiva y subjetiva, lo que permite realizar inferencias y agregar valor a la investigación, contribuyendo así a una comprensión más profunda del tema.

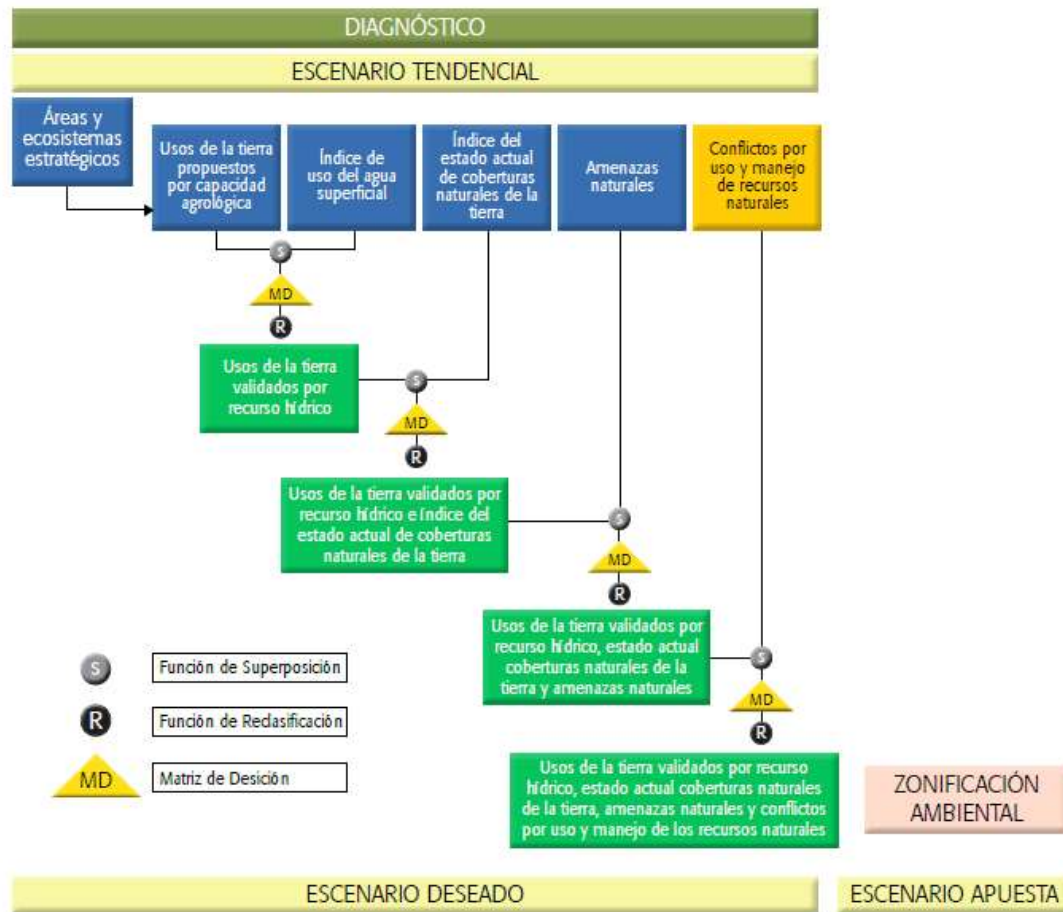
Con base en los datos cartográficos existentes, se procede a efectuar la zonificación ambiental. La cual, permite generar estrategias de mejora para el aprovechamiento de la microcuenca y la reducción del índice por desabastecimiento hídrico en las áreas a priorizar de la microcuenca de la quebrada la Sardinata.

3.2 Alcance

Se determina alcance descriptivo dado que este tiene como objetivo medir las variables o características de un fenómeno como se presenta de forma natural, sin buscar establecer relaciones causales o explicativas. Este tipo de alcance se centra en proporcionar una visión completa y precisa del tema investigado, utilizando diferentes técnicas para la ubicación de datos. Los resultados obtenidos se presentan a través de gráficos o tablas de manera sistemática y se utilizan para generar una comprensión clara y profunda del tema, identificar patrones, tendencias o regularidades, y establecer una base sólida para orientar estudios posteriores más detallados, Hernández et al (2014).

3.3 Fases para el desarrollo del proyecto

Figura 2 Modelo cartográfico de zonificación ambiental aplicado



Nota. Tomado de (Ministerio de Medio Ambiente, 2023)

Para desarrollar los objetivos planteados a continuación se relacionan las actividades que se ejecutaron en cada una de las fases:

- Fase Uno: se realizó la caracterización de la condición actual de la zona de estudio, en dicha fase se van a desarrollar actividades tales como: consultar bases de datos, artículos independientes y documentos normativos o de referencia emitidos por instituciones oficiales;

también se hará una clasificación del material digital requerido con relación a su importancia y uso. Posteriormente, se definirán aquellos recursos que serán útiles para la caracterización.

- Fase Dos: se identificaron las áreas a priorizar para contribuir a la reducción del índice por desabastecimiento hídrico, según el acuerdo 2099 del 2019 (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM), por lo cual se realizó una zonificación ambiental de la zona alta de la cuenca mediante análisis de información cartográfica en el software ArcGIS, para así priorizar las áreas estratégicas que se encuentren en relación al recurso hídrico.
- Fase Tres: se propusieron estrategias de mejora para reducir el índice por desabastecimiento hídrico en las áreas a priorizar, para ello se propuso realizar asesorías técnicas con profesionales expertos en el tema, visitas de campo al área de estudio y revisión del plan básico de ordenamiento territorial del municipio junto con el plan de desarrollo actual.

3.4 Métodos de Campo

3.4.1 Métodos de recolección y procesamiento de información

Como herramienta para la recolección de información se empleó el software ArcGIS de versión 2.1, al cual se le incluyen los datos de los archivos shape de las capas identificados para proceder a representar la zonificación ambiental. Como técnicas para el procesamiento de información se utiliza microsoft Excel, donde se consolida y cuantifican los resultados obtenidos. El uso de Excel es una opción sólida y eficiente ya que es una herramienta ampliamente utilizada en el ámbito empresarial y académico, facilitando el posterior análisis de los resultados, Peretto (2016).

4. Resultados

A continuación, se procede a detallar los resultados de cada objetivo específico planteado.

4.1 Caracterización de la Condición Actual de la Zona de Estudio

4.1.1 Características ecosistémicas de la microcuenca

El ecosistema predominante en la cuenca es el Bosque Seco Tropical (bs-T). Este bioma forestal se encuentra en las tierras bajas de las zonas tropicales y se caracteriza por experimentar largos períodos de sequía y estrés hídrico durante varios meses al año. Además, se ve afectado por lluvias torrenciales y alberga una biodiversidad única de plantas, fauna y microorganismos adaptados a estas condiciones climáticas estacionales. Una de las características distintivas de este ecosistema es la fisiología de las plantas, que son caducifolias, lo que significa que pierden sus hojas durante la temporada de sequía. Esto permite que la luz solar penetre hasta el sotobosque y seque las hojarascas, lo que lleva a la acumulación de materia orgánica en el suelo. Además, muchas plantas en este entorno tienen espinas y han sincronizado su floración y fructificación. Es importante destacar que los bosques secos tropicales desempeñan un papel crucial en la estabilización de los suelos, previenen la erosión y regulan el ciclo del agua. Sin embargo, a nivel mundial, este ecosistema se ha visto amenazado por la transformación y degradación, lo que lo convierte en uno de los más sensibles y en peligro de declive en el mundo, (Humboldt, 2014).

El Bosque Seco Tropical (BS-T) es un ecosistema de alta prioridad para la conservación a nivel mundial. Esto se debe no solo a su gran diversidad de especies únicas y a su proceso de especiación, sino también a su ubicación en regiones altamente afectadas por la actividad humana, lo que ha llevado a la reducción de su cobertura y la pérdida de la biodiversidad que alberga. Más del 54,2% de la extensión total del BS-T se encuentra en América del Sur, mientras que el resto se

distribuye en América del Norte, América Central, África, Eurasia, con una pequeña porción de 3,8% en Australasia y el sudeste asiático. En América del Sur, este ecosistema se encuentra presente en países como Colombia, Brasil, Venezuela, Ecuador, Bolivia y Perú, (Humboldt, 2014).

En el caso de Colombia, el BS-T tenía una extensión mucho mayor en el pasado, estimada en aproximadamente 8,8 millones de hectáreas. Sin embargo, actualmente, se estima que solo sobrevive alrededor del 8% de la cobertura original en remanentes dispersos por el país. Este ecosistema solía cubrir gran parte de los valles de los ríos Cauca y Magdalena, la costa caribeña con bosques insulares en lugares como Tierra Bomba, Islas del Rosario y San Bernardo, así como los valles de los ríos Agua y Patía en el suroccidente del país, además de partes del piedemonte y los llanos orientales. La transformación de este ecosistema en Colombia se remonta a varios siglos atrás, ya que desde la época de la conquista y la colonia, se ha requerido el uso de sus recursos naturales, incluyendo el suelo y la madera. Con el tiempo, la mayoría de los bosques primarios se han convertido en tierras de cultivo y pastoreo debido a la acción humana en lo extenso de la historia. (Humboldt, 2014).

4.1.2 Relación de la microcuenca y el esquema de ordenamiento territorial – EOT del municipio de Palermo

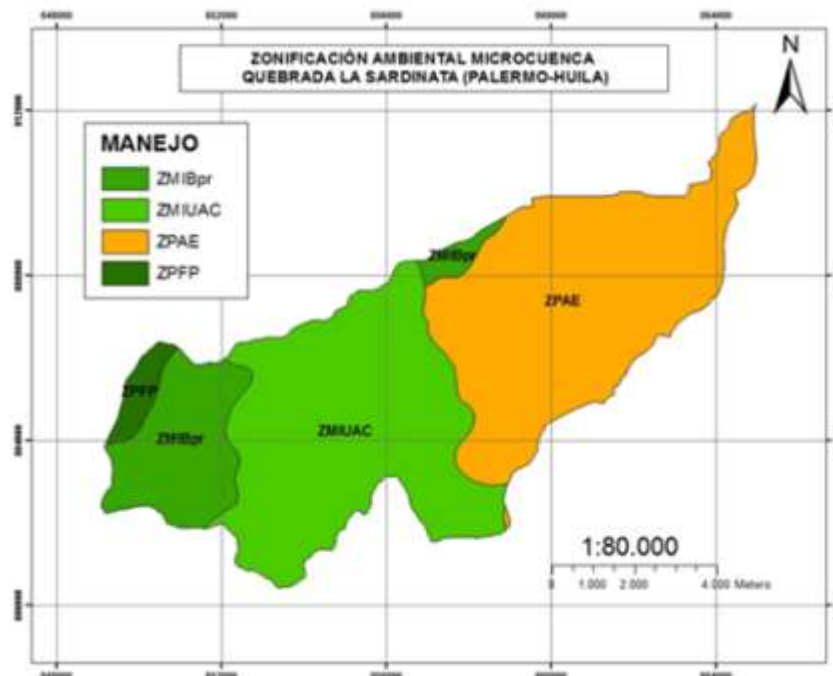
En la última modificación vigente del año 2007 del esquema de ordenamiento territorial – EOT del municipio de Palermo, Huila, el artículo No. 244 hace referencia al Área Ambiental Especial donde pertenece la vereda La Sardinata, que es donde nace la microcuenca de la quebrada La Sardinata y se determina su uso e importancia, a continuación, se cita el artículo emitido por la (Alcaldía de Palermo, 2007):

“Artículo N.º 244º Área Ambiental Especial (AAE): Son suelos no aptos para la producción agrícola y muy restringido para la producción pecuaria. Estas áreas deberán ser dejadas para su recuperación natural, con uso compatible para la exploración y explotación de hidrocarburos previa concertación con la comunidad y respectivas Licencias Ambientales. Localizada en las veredas Betania, Sardinata, Juncal, San Miguel, Cuisinde, Amborco, Buenos Aires, Urriaga, Las Ceibas, Farfán, Piravante, Versailles y San Francisco.”

4.1.3 Zonificación actual según el acuerdo 2009 de la CAM

Con base en el acuerdo de referencia emitido por (CAM, 2019), a escala 1:100.000 se obtuvo que la zonificación total de la microcuenca quebrada la Sardinata es la siguiente:

Figura 3 Zonificación ambiental de la microcuenca quebrada la sardinata, según acuerdo 2009



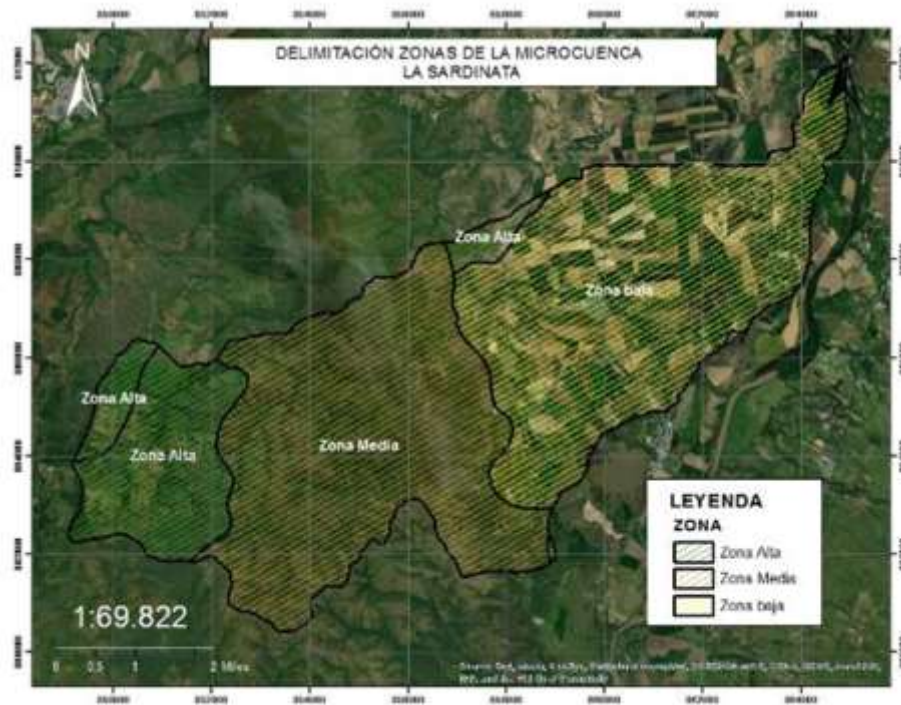
Del anterior mapa, se obtuvieron las respectivas áreas en hectáreas de cada polígono donde se evidencio que el manejo que mayor área ocupa son las zonas de producción agropecuaria ecoeficiente (ZPAE) con un 43,21%, en cambio para las zonas de preservación forestales protectoras (ZPFP) solo ocupa el 2,15%, como se refleja así:

Tabla 2 *Relación de áreas según el manejo de la microcuenca quebrada la sardinata*

Manejo	Siglas	Área (ha)	%
Zonas de producción agropecuaria ecoeficiente	ZPAE	3328,94	43,21
Zonas de manejo integrado, zonas de uso agropecuario conservacionista	ZMIUAC	3120,49	40,5
Zonas de manejo integrado, zonas de bosque productores. Polígono 1.	ZMIBpr	975,33	12,66
Zonas de manejo integrado, zonas de bosque productores. Polígono 2.	ZMIBpr	113,74	1,48
Zonas de preservación, zonas de preservación forestales protectoras	ZPFP	165,29	2,15
Totales		7703.79	100

4.1.4 Delimitación zona de estudio

Adentro de la microcuenca de la quebrada la Sardinata se pueden evidenciar tres grandes subzonas, las cuales son: zona alta, zona media y zona baja, para efectuar la delimitación de la zona de estudio se tuvo en cuenta la zona más alta de la microcuenca, puesto que en estas se encuentra el nacimiento de la quebrada y tiene entonces mayor relevancia por el papel ecosistémico que cumple para el mantenimiento del recurso hídrico, como se observa a continuación.

Figura 4 Delimitación zona de la microcuenca la sardinata

Dentro del área que se delimitó como zona de estudio se identificaron dos zonas mayores de manejo de gran importancia los cuales fueron:

- **Zonas de preservación (ZP):** Estas áreas se caracterizan por su jerarquía en términos de recursos naturales, estructuras, o la calidad del entorno. Estas áreas deben mantenerse en su estado original, conservando su valor natural o sucesional. En otras palabras, se requiere que estas zonas sean objeto de medidas restrictivas y de protección para preservar sus características ambientales significativas.
- **Zonas de manejo integrado (ZMI):** Estas zonas se encuentran en laderas y presentan ciertas condiciones edafológicas (relacionadas con el suelo), pendientes topográficas, condiciones climáticas favorables y ventajas socioeconómicas que permiten un uso agropecuario restringido o controlado. En estas áreas, se busca un equilibrio entre la

actividad humana y la conservación, de modo que se puedan aprovechar los recursos de manera sostenible sin comprometer significativamente el entorno.

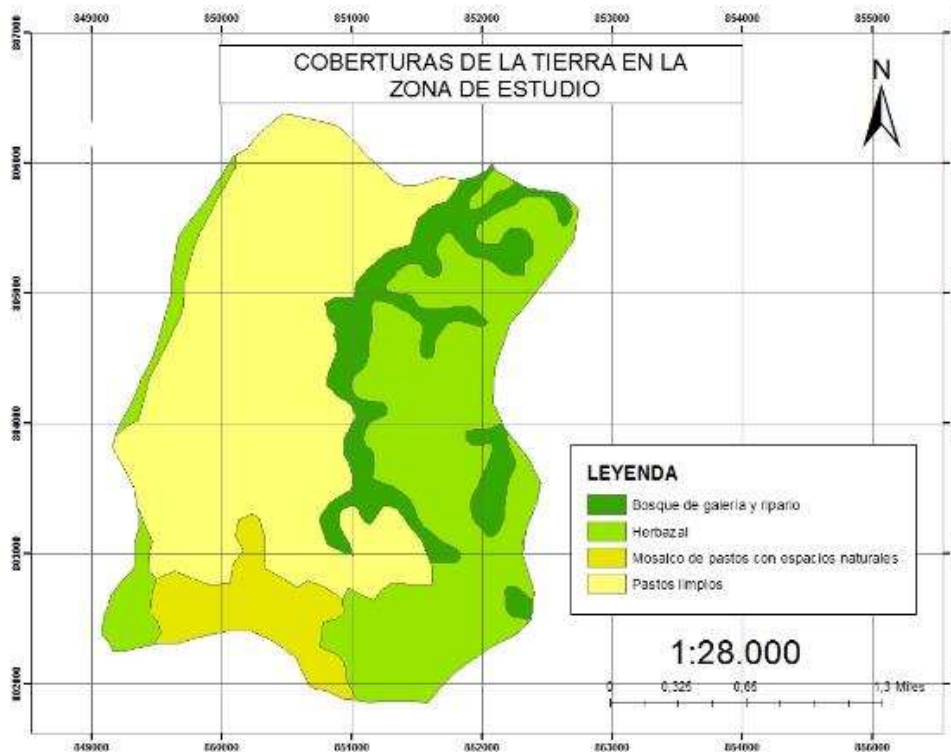
A continuación, se refleja la delimitación definida.

Figura 5 *Delimitación zona de estudio*



4.1.5 *Clasificación de las coberturas de la tierra en la zona de estudio*

Mediante los shape disponibles, se halló la clasificación de las coberturas de la tierra en la zona de estudio que corresponde a la parte alta de la microcuenca de la quebrada la sardinata, como se refleja a continuación.

Figura 6 Coberturas de la tierra en la zona de estudio

4.2 Zonificación de la microcuenca quebrada la Sardinata

4.2.1 Paso uno: integración cartográfica base

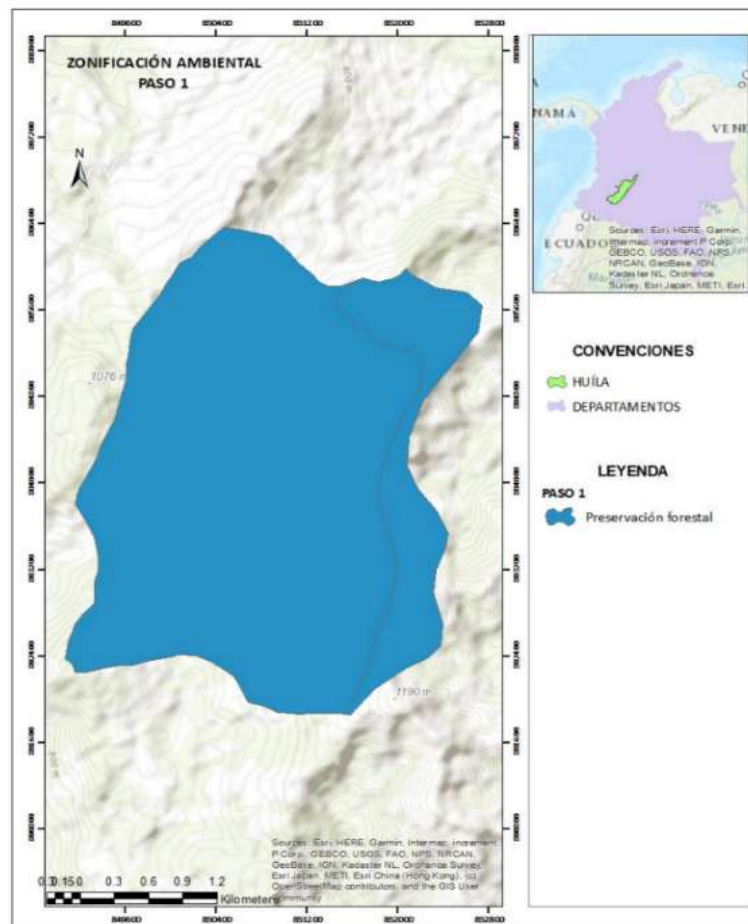
En el primer paso, se procedió a integrar en la cartografía base (shape de la zona de estudio) la delimitación de ecosistemas estratégicos relacionados con el área en cuestión. Estas capas proporcionaron información relevante, permitiendo así una representación más precisa y completa en la cartografía base. Para llevar a cabo esta tarea, se utilizaron las siguientes capas como referencia:

- Capa cartográfica de áreas de ecosistemas estratégicos definidos por el SINAP.
- Capa de áreas y ecosistemas estratégicos definidos en el diagnóstico.
- Capa cartográfica de usos del suelo y categoría de ordenamiento.

Se procedió a realizar un proceso de cruce cartográfico entre las capas mencionadas anteriormente y el área específica de la zona de estudio. Este cruce permitió identificar y delimitar de manera precisa las áreas y ecosistemas estratégicos que se encontraban dentro de los límites definidos del área de estudio.

Para llevar a cabo este proceso, se utilizó la técnica de clip, que consiste en recortar las capas de información geoespacial según los límites de un área determinada. De esta manera, se logró identificar y aislar las secciones de las capas que se superponían con el área de estudio, revelando así las áreas y ecosistemas estratégicos presentes dentro de dicho límite. Como resultado de integrar la información de este paso, se obtiene el siguiente mapa

Figura 7 Mapa zonificación paso uno



Como resultado de este paso, se logra la asignación y delimitación de la categoría de “preservación forestal” donde se define la estructura ecológica primordial del área de estudio. En cuanto a estas áreas de preservación forestal se encontró un problema de erosión severa, un relieve quebrado y un sistema de bosques para la protección, por lo anterior se definieron estas áreas dentro de la categoría de preservación forestal.

4.2.2 Paso dos: definición de categorías de zonificación intermedia

En este paso, se definen las categorías de zonificación intermedia según el uso determinado por capacidad agrológica de las tierras y el índice de uso del agua superficial a nivel de la zona definida como área de estudio. Al analizar y combinar esta información, es posible establecer categorías de zonificación intermedia que reflejen de manera precisa y detallada los diferentes usos y características de la tierra y el agua en la zona de estudio. Estas categorías permiten tomar decisiones informadas en cuanto a la asignación de usos del suelo y la gestión efectiva de los recursos naturales en el área específica. Para este paso se utilizan como insumos las siguientes capas:

- Capa de usos de la tierra definidos para el área de estudio.
- Capa de resultados y clasificación de índice de uso del agua.

Se realizó el cruce cartográfico de las capas mencionadas anteriormente para aceptar la categoría de uso definido por la primera capa, o en su defecto definir una nueva categoría de uso. Las consideraciones que se tuvieron en cuenta para definir esta categoría de uso fueron las siguientes:

- Cuando el índice de uso del agua superficial es moderado o bajo son aceptados los usos que vienen definidos por la capa de la capacidad de uso.

Cómo principales resultados en la ejecución de este paso, se obtienen las categorías de uso de la tierra válidas por condiciones del recurso hídrico con su respectiva capa cartográfica, para este caso y siguiendo la metodología mencionada anteriormente, la categoría escogida para el área de estudio es la de “protección-producción” ya que presenta un uso de menor intensidad por lo cual requiere poca disponibilidad de agua, lo cual es necesario cuando el índice de uso del agua superficial es alto o muy alto tal como se encuentra dentro de toda la extensión de área donde se desarrolla el presente estudio.

4.2.3 Paso tres: Calificación de capas resultantes paso dos

En este paso, se califica la capa resultante del paso anterior, con el índice del estado actual de las coberturas, el cual se obtuvo del análisis al componente biótico. Para este paso se utilizaron como insumos las siguientes capas:

- Capa resultante del paso 2.
- Capa de los tipos de cobertura de la tierra.
- Capa de índice de vegetación remanente (IVR).
- Capa de tasa de cambio de la cobertura (TSCC).
- Capa de fragmentación (FRAGM).
- Capa de ambiente crítico (AMB_CRT).

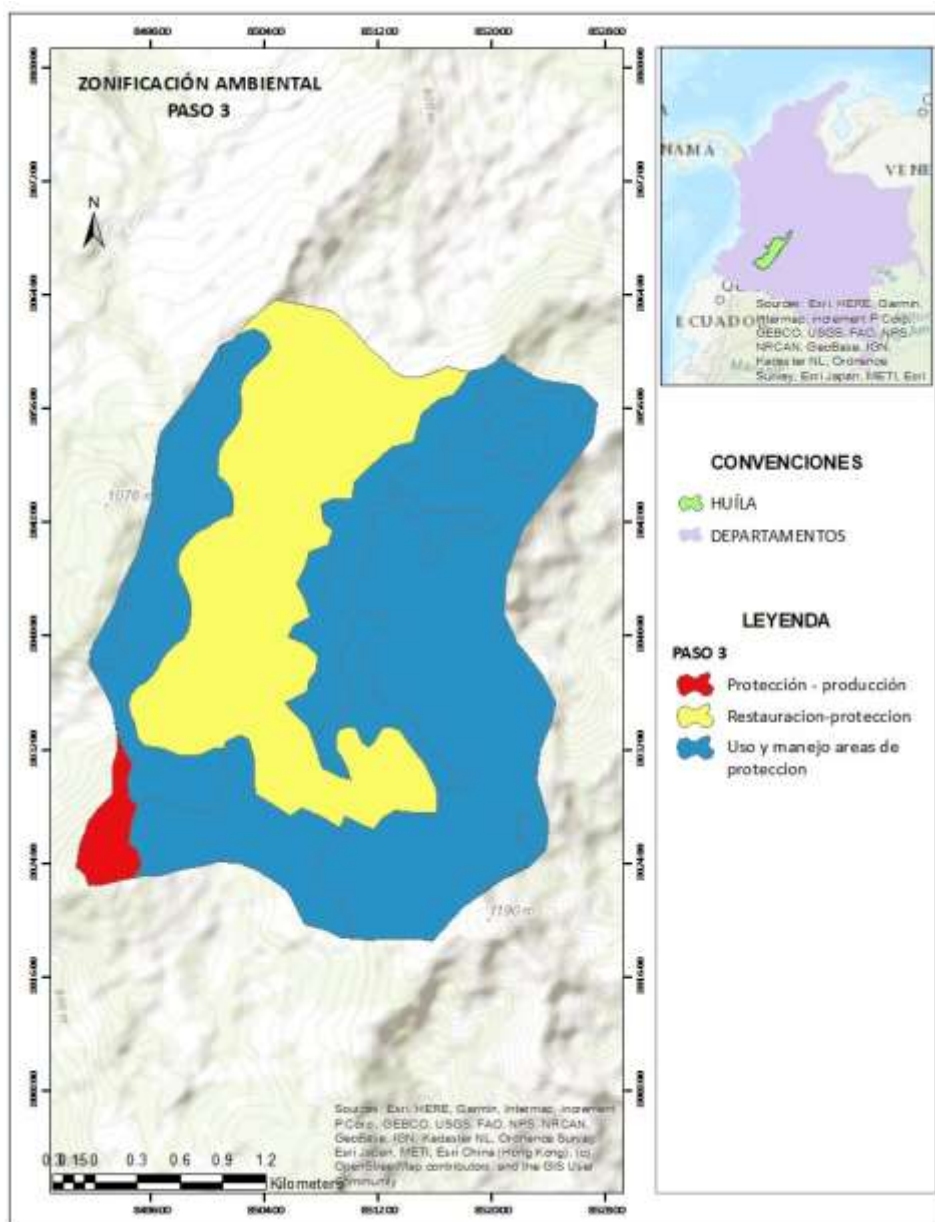
Se realizó el cruce cartográfico de las capas mencionadas anteriormente y se definió el índice del estado actual de las coberturas así: se realiza la sumatoria de los resultados de los indicadores e índices de vegetación remanente, tasa de cambio de la cobertura, fragmentación y ambiente crítico, con el fin de validar o definir la nueva categoría de uso. Las consideraciones que se tuvieron en cuenta para definir esta categoría de uso fueron las siguientes:

- Cuando se encuentra un polígono de cobertura natural calificado con más de 60 puntos y ocupa toda la extensión del polígono de uso a calificar, éste será definido para la zona de **uso de protección**.
- Cuando el índice de estado de la cobertura está entre 41 y 60 ésta será restaurada y posteriormente entrará a la **categoría de restauración-protección**.
- Si el índice de estado de la cobertura está entre 21 y 40 y el relicto de cobertura es un solo bloque o fragmento, éste debe ser clasificado en la zona de **uso y manejo de áreas de protección**.
- Si el índice de cobertura está entre 0 y 20 y la cobertura relictual está fragmentada, el polígono de uso en su totalidad podrá ser dedicado a la categoría de uso sugerida por el paso anterior (Paso 2), Como resultado se obtuvo la siguiente matriz:

Tabla 4 *Matriz paso tres*

Categoría de uso propuesto de la tierra validada por recurso hídrico (resultado del paso 2)	Índice del estado actual de las coberturas naturales (IEACN)	Nueva categoría de uso validada por recurso hídrico y estado actual de coberturas naturales
Protección - producción	15	Protección - producción
	30	
	35	Uso y manejo áreas de protección
	40	
	50	Restauración-protección

Figura 9 Mapa zonificación paso tres



Los resultados obtenidos en este paso son los de las categorías de usos de la tierra validadas o reclasificadas por el recurso hídrico y el estado actual de las coberturas naturales. Las categorías de reclasificación para el presente estudio fueron las siguientes:

- Protección-producción: Se escogió esta categoría para las zonas donde el índice de cobertura está entre 0 y 20, teniendo en cuenta esto se mantuvo la categoría de uso sugerida por el paso anterior (Paso 2).
- Restauración-protección: Esta categoría se escogió (según la metodología de POMCA) para las zonas donde el índice de estado de la cobertura está entre 41 y 60.
- Uso y manejo de áreas de protección: Si el índice de estado de la cobertura está entre 21 y 40, éste debe ser clasificado en la zona de uso y manejo de áreas de protección.

Con base es esta información se procede a reclasificar las áreas del presente estudio.

4.2.4 Paso cuatro: calificación de capas resultantes paso tres

En este paso, se calificó la capa resultante del paso anterior (paso 3), con la calificación del grado de amenaza natural, para validar o definir una nueva categoría de uso de la tierra. Para este paso se utilizaron como insumos las siguientes capas:

- Capa resultante del paso 3.
- Capa de amenaza sísmica del IGAC con su respectivo nivel de amenaza.

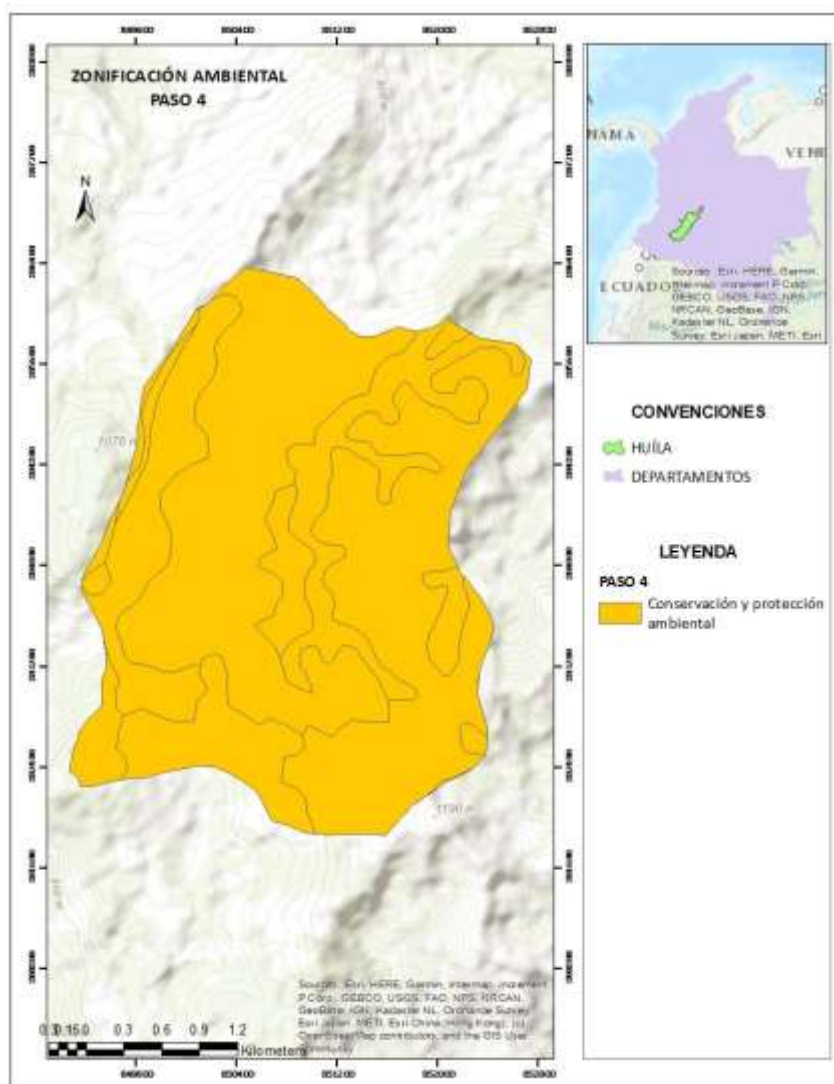
La capa cartográfica resultante del paso 3 se superpuso con la capa de amenaza natural (amenaza sísmica), que tiene influencia o actividad en el área de estudio y con los resultados de la calificación de la respectiva amenaza; con la superposición de esto se construye la nueva categoría de uso teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cuando la calificación de la amenaza identificada es baja, la categoría de uso aprobada por el paso anterior se valida.
- Cuando la calificación de la amenaza identificada es media, la categoría de uso aprobada por el paso anterior se valida de manera condicionada.

- Cuando la calificación de la amenaza es alta se califica con uso condicionado y se define como **categoría de conservación y protección ambiental**, como resultado se obtuvo la siguiente matriz.

Tabla 5 *Matriz paso cuatro*

Categoría de uso propuesto de la tierra validada por recurso hídrico y el estado actual de las coberturas naturales de la tierra (resultado paso 3)	Calificación del grado de amenaza natural (amenaza sísmica)	Nueva categoría de uso validada por recurso hídrico, estado actual de las coberturas naturales de la tierra y grado de amenaza natural
Restauración-protección	Alta	Conservación y protección ambiental
Uso y manejo áreas de protección		
Protección - producción		

Figura 10 Mapa zonificación paso cuatro

De esta forma, se obtiene una capa cartográfica intermedia denominada uso de la tierra validada por el recurso hídrico, el estado actual de las coberturas naturales y el grado de amenaza natural. Para este caso la única categoría resultante dentro de toda la extensión de área de la zona de estudio es la de “Conservación y protección ambiental”, ya que el resultado de la calificación de la amenaza (amenaza sísmica) es alta para toda el área de estudio y según la metodología de POMCA cuando esta calificación es alta, se clasifica con uso condicionado y se define como categoría de conservación y protección ambiental.

4.2.5 Paso cinco: calificación de capas resultantes paso cuatro

En este paso, se califica la capa resultante del paso anterior (paso 4), con la capa resultante del paso 1 y con la capa y calificación de los conflictos por uso y manejo de los recursos naturales, para validar o reclasificar nuevas zonas de uso y manejo. Para este paso se utilizaron como insumos las siguientes capas:

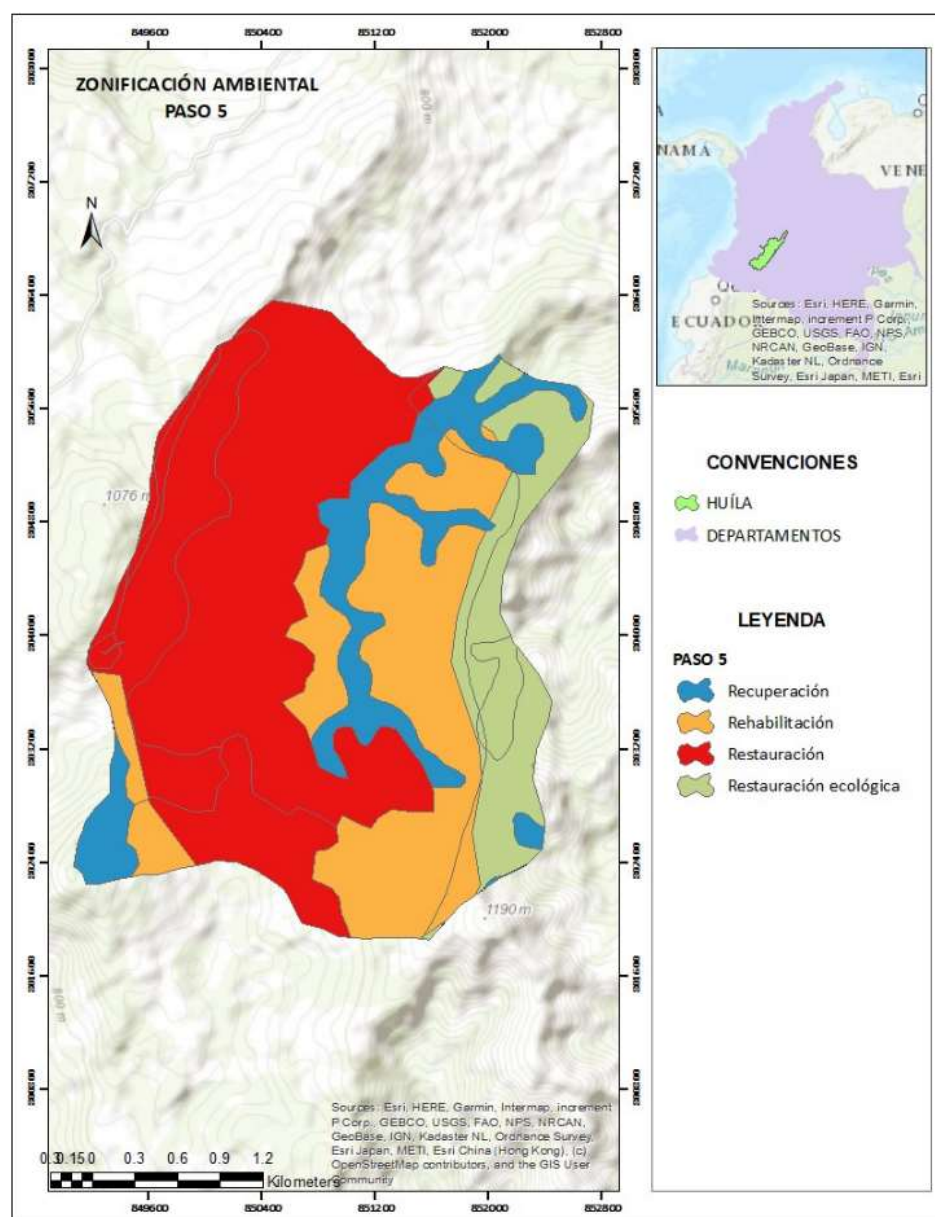
- Capa resultante del paso 4.
- Capa resultante del paso 2.
- Capa resultante del paso 1.
- Capa de conflictos por uso de tierra del área de estudio.

Cualquier área identificada con uno de estos tipos de conflictos de la última capa requiere restauración, que según sea el caso puede ser restauración ecológica, rehabilitación o recuperación, tal como se identifica en las siguientes consideraciones:

- Los conflictos de sobreutilización moderada y subutilización ligera serán definidos para un nuevo uso de rehabilitación.
- Los conflictos por sobreutilización severa serán definidos para un nuevo uso de restauración.
- Los conflictos por usos adecuados o sin conflicto serán definidos para un nuevo uso de recuperación.
- Los conflictos en áreas pantanosas con pastos serán definidos para un nuevo uso de restauración ecológica, como resultado se obtuvo la siguiente matriz:

Tabla 6 *Matriz paso cinco*

Categoría de uso propuesto de la tierra validada por recurso hídrico, estado actual de las coberturas naturales de la tierra y grado de amenaza	Conflicto por uso de la tierra y pérdida de cobertura en áreas y ecosistemas estratégicos	Categoría de uso y manejo f de la zonificación ambient
Conservación y protección ambiental	Conflictos en áreas pantanosas con pastos	Restauración ecológica
Conservación y protección ambiental	Sobreutilización moderada	Rehabilitación
Conservación y protección ambiental	Sobreutilización severa	Restauración
Conservación y protección ambiental	Subutilización ligera	Rehabilitación
Conservación y protección ambiental	Usos adecuados o sin conflicto	Recuperación

Figura 11 Mapa zonificación paso cinco

El resultado final del anterior procedimiento se obtiene la zonificación ambiental de la cuenca hidrográfica de la quebrada la Sardinata, en la cual se definieron las categorías de ordenación y las zonas y subzonas de uso y manejo, proceso efectuado mediante los siguientes criterios indicados en la (metodología de POMCA):

- Recuperación: Esta categoría de ordenamiento se definió para las zonas del área de estudio que presentan usos adecuados y/o sin conflictos.
- Rehabilitación: Esta categoría de ordenamiento se definió para las zonas del área de estudio que presentan subutilización ligera y moderada según la capa de conflicto por uso de la tierra y pérdida de cobertura en áreas y ecosistemas estratégicos.
- Restauración: Para las zonas del área de estudio que presentan un uso de sobreutilización severa se definió la nueva categoría de restauración.
- Restauración ecológica: Esta nueva categoría de clasificación se definió para las zonas que presentan conflictos en áreas pantanosas con pastos.

4.3 Estrategias de mejora propuestas

Con base en los análisis efectuados y de acuerdo a los criterios señalados en la metodología POMCA. A continuación, se presentan algunas estrategias como propuestas de mejoras para reducir el índice de desabastecimiento hídrico en la zona de estudio, de acuerdo a cada una de las categorías de ordenación definidas.

4.3.1 Propuesta de estrategias de recuperación

En cuanto a la recuperación de la zona de estudio se plantean las siguientes estrategias:

- Promover la conservación y el buen uso de las áreas que ya presentan usos adecuados y/o sin conflictos mediante la implementación de políticas de protección y manejo sostenible.

- Desarrollar programas de monitoreo y seguimiento para certificar el cumplimiento en las regulaciones ambientales en estas zonas.
- Fomentar la participación y educación de las asociaciones locales en la conservación y el uso responsable de los recursos naturales.

4.3.2 Propuesta de estrategias de rehabilitación

En cuanto a la rehabilitación de la zona de estudio se plantean las siguientes estrategias:

- Identificar las zonas con subutilización ligera y moderada y diseñar planes de uso y manejo que promuevan la recuperación de los ecosistemas afectados.
- Establecer incentivos económicos y fiscales para promover la adopción de prácticas sostenibles en las actividades productivas de estas áreas.
- Implementar estrategias de restauración ecológica, como la reforestación y la recuperación de coberturas vegetales, en los ecosistemas estratégicos.

4.3.3 Propuesta de estrategias de restauración

En cuanto a la restauración de la zona de estudio se plantean las siguientes estrategias:

- Realizar un análisis detallado de las zonas con sobreutilización severa para identificar las causas subyacentes y diseñar estrategias de reducción de la presión sobre los recursos naturales.
- Implementar medidas de control y regulación más estrictas para evitar la sobreexplotación de los recursos hídricos, suelos y vegetación en estas áreas.

- Fomentar la transición hacia prácticas productivas más sostenibles, como la agricultura orgánica y la gestión eficiente del agua, mediante la capacitación y el apoyo técnico a los agricultores y productores.

4.3.4 Propuesta de estrategias de restauración ecológica

En cuanto a la restauración ecológica de la zona de estudio se plantean las siguientes estrategias:

- Realizar estudios especializados para evaluar el estado de las áreas pantanosas con pastos y diseñar planes de restauración específicos para estos ecosistemas.
- Promover el mantenimiento y recuperación de los humedales a través de medidas de restauración hidrológica, como la restauración de cauces, el control de la erosión y la subsistencia de la biodiversidad.
- Establecer alianzas y colaboraciones con organizaciones locales y expertos en restauración ecológica para implementar acciones efectivas de restauración en las áreas pantanosas.

5. Conclusiones

La zonificación ambiental de la cuenca hidrográfica de la quebrada La Sardinada ha permitido identificar y definir categorías de ordenación, así como zonas y subzonas de uso y manejo. Esto es fundamental para una conveniente administración de los recursos naturales en la zona de estudio.

Se han identificado áreas en la cuenca hidrográfica que presentan usos adecuados y/o sin conflictos, las cuales se han categorizado como zonas de recuperación. Estas áreas deben ser promovidas y protegidas mediante políticas de conservación y manejo sostenible.

También se han identificado zonas con subutilización ligera y moderada, las cuales requieren acciones de rehabilitación. Estas áreas deben ser objeto de planes de uso y manejo que promuevan el rescate de los ecosistemas afectados, así como incentivos económicos y fiscales para fomentar prácticas sostenibles.

Se han detectado áreas con sobreutilización severa, las cuales requieren acciones de restauración. Es necesario realizar un análisis detallado de estas zonas para identificar las causas subyacentes y diseñar estrategias de reducción de la coacción sobre los recursos naturales. Además, se deben efectuar medidas de control y regulación más estrictas para evitar la sobreexplotación de los recursos hídricos, suelos y vegetación en estas áreas.

Se han identificado áreas pantanosas con pastos que presentan conflictos, las cuales requieren acciones de restauración ecológica. Para estas zonas, se deben realizar estudios especializados para evaluar su estado y diseñar planes de restauración específicos. Es fundamental promover la conservación y recuperación de los humedales mediante medidas de restauración hidrológica y la colaboración con expertos en restauración ecológica

Referencias

- Alcaldía de Palermo. (2007). *Acuerdo 031 de 2007 Esquema de ordenamiento territorial del municipio de Palermo Huila*. https://www.sirhuila.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/Acuerdo_N031_de_2007_Modificadorio_Palermo.pdf
- Alcaldía de Palermo. (2020). *Plan de Desarrollo –Palermo es Ahora 2020 -2023*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.sirhuila.gov.co/wp-content/uploads/2022-ACTUALIZACIONES/PlanDesarrollo/Plan-de-Desarrollo-Palermo-es-Ahora-2020-2023.pdf>
- Alcaldía de Palermo. (2023a, junio 10). *Información del Municipio*. Alcaldía municipio de Palermo. <https://www.palermo-huila.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Alcaldía de Palermo. (2023b, junio 15). *Detalle del municipio (ecología, economía y turismo)*. <https://www.palermo-huila.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Ecologia.aspx>
- Álvarez, A., Pérez, M., & Macías, A. (2015). Criterios de zonificación ambiental: Estudio de caso estero salado de Guayaquil - Ecuador. *Revista científica ecociencia*, 2(5), Article 5.
- CAM. (2016). *Evaluación regional del agua (ERA) en Huila*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pirma.cam.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/ERA_Huila_2016.pdf
- CAM. (2019a, enero 23). *Alerta sobre municipios que tendrían riesgo por desabastecimiento hídrico*. <https://cam.gov.co/1605-cam-alerta-sobre-municipios-que-tendr%C3%ADan-riesgo-por-desabastecimiento-h%C3%ADrico.html>

- CAM. (2019b, junio 13). *Acuerdo 2099 Zonificación de ordenación ambiental Neiva*.
<https://es.scribd.com/document/413279129/Acuerdo-20-99-Zonificacion-Ambiental-Huila>
- Domínguez, S., Velásquez, S., Jiménez, F., & Faustino, J. (2008). Zonificación ambiental para el ordenamiento territorial de la subcuenca bimunicipal del río aguas calientes, Nicaragua. *1*, 1(55), 64-73.
- Fierro, P., Forero, J., & Forero, K. (2019). *Evaluación de los impactos ambientales asociados a la oferta y la demanda hídrica de la Cuenca Alta del Río Bogotá* [Universidad Cooperativa de Colombia].
[chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/b031e446-83a3-4cfd-a6e5-5a5fca47dfce/content](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/b031e446-83a3-4cfd-a6e5-5a5fca47dfce/content)
- García, M., Piñeros, A., Bernal, F., & Ardila, E. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia*. *Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá D.C*, 1(36), 60-64.
- Gobernación del Huila. (2019). *Caracterización hídrica del sector agropecuario del departamento del Huila*. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-antonio-narino/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable/caracterizacion-hidrica-del-sector-agropecuario-del-departamento-del-huila/55569351>
- Henao, J., Cárdenas, M., & Fajardo, A. (2008). *Zonificación ambiental de la zona de reserva forestal del pacífico en jurisdicción del departamento de Córdoba, Caribe Colombiano*. 11(1), 175-200.

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (1-6). McGraw Hill Interamericana. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Humboldt. (2014, enero 25). *Bosques secos tropicales en Colombia*. <http://www.humboldt.org.co/en/research/projects/developing-projects/item/158-bosques-secos-tropicales-en-colombia>
- IDEAM. (2023, marzo 31). *Estudio Nacional de Agua 2022*. <https://n9.cl/7836d>
- Lopez, Á., Lozano, P., & Sierra, P. (2012). *Criterios de zonificación ambiental usando técnicas participativas y de información: Estudio de caso zona costera del departamento del Atlántico*. 41(1), 61-83.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2010). *Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico/>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2022, noviembre 30). *Microcuencas*. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/microcuencas/>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2023, junio 17). *Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCA*. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/cuenca-hidrografica/planes-de-ordenacion>
- Ontivero, M., Martínez, J., González, V., & Echavarría, P. (2008). Propuesta metodológica de zonificación ambiental en la serra de Altomira mediante sistemas de información

- geográfica. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 8, 12.
- Peña, K., Contreras, B., & Dugarte, B. (2020). Índice simplificado de la sostenibilidad del recurso hídrico (ISRH) en cuencas de montaña. Caso de estudio: Subcuenca hidrográfica de la quebrada La Fría, municipio Libertador, estado Mérida, Venezuela. *Ecodiseño & Sostenibilidad*, 11, Article 11.
- Peretto, C. (2016). Métodos para medir y evaluar la eficiencia de unidades productivas. *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, 24(39), Article 39. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/view/16540>
- Presidencia de Colombia. (2007, abril 19). *Decreto 1323 de 2007*. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1862277>
- Rojas, L., & López, V. (2017). Vulnerabilidad hídrica de la cuenca del río blanco, en el municipio de la calera, considerando los escenarios de cambio climático propuestos por la corporación autónoma regional de cundinamarca—Car. *Magazine specialized in Engineering*, 11(1), 77-88.
- SENA. (2012). *Zonificación Ambiental*. https://repositorio.sena.edu.co/sitios/zonificacion_ambiental_cuenca_hidrografica/modulo2/index.html#