



Propuesta de plan de prevención de incendios forestales para un sector rural del municipio de Aquitania perteneciente al Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá

Valentina Amador Moncayo
Laura Catalina Gutiérrez Fonseca

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 2023

Propuesta de plan de prevención de incendios forestales para un sector rural de Aquitania perteneciente al Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá

Proposal for a wildfire prevention plan for a rural sector of Aquitania that belongs to the Siscunsi-Ocetá Regional Natural Park.

Valentina Amador Moncayo
Laura Catalina Gutiérrez Fonseca

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Ricardo Antonio Tobón Rojas

Línea de Investigación:
Sistemas Territoriales
Salud Ambiental

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia

2023

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicatoria

Queremos dedicar este proyecto de grado a nuestros padres, Martha Liliana, Nubia, Juan Carlos y Martín, por acompañarnos, motivarnos y apoyarnos incondicionalmente durante el desarrollo de nuestro proyecto.

Agradecimientos

Expresamos nuestro sincero agradecimiento al director de nuestro proyecto de grado, Ricardo Antonio Tobón Rojas. Su orientación, mentoría y constante motivación fueron fundamentales para perseverar y disfrutar plenamente del proceso de desarrollo del proyecto.

Tabla de Contenido

1. Resumen	9
2. Abstract	9
3. Introducción	9
4. Planteamiento del problema	10
4.1. Pregunta de investigación	11
5. Justificación	11
6. Objetivos	12
6.1 Objetivo general	12
6.2 Objetivos específicos	12
7. Marcos de referencia	13
7.1 Estado del arte	13
7.2 Marco teórico - conceptual	15
7.3 Marco normativo	17
7.4 Marco institucional	19
7.5 Marco geográfico	20
8. Metodología	24
8.1 Enfoque	24
8.2 Alcance	24
8.3 Método	25
8.4 Técnicas e instrumentos	25
8.5 Unidad de análisis	27
8.6 Metodología por objetivo	27
8.6.1 Objetivo específico 1	27
8.6.2 Objetivo específico 2	28
8.6.2.1. Obtención y procesamiento de información por cada variable	28
8.6.2.2. Elaboración del mapa de amenaza por incendios forestales en la zona de estudio.	29
8.6.2.3. Procesamiento de datos sobre eventos por incendios forestales.	30
8.6.3 Objetivo específico 3	31
9. Plan de trabajo	32
10. Aspectos éticos	33
11. Resultados	33
11.1. Caracterizar el estado actual del PNR Siscunsi-Ocetá (Aquitania) mediante revisión bibliográfica y trabajo en campo, de las condiciones ecológicas, económicas y sociales presentes en la zona	33
11.2. Identificar las áreas susceptibles a presentar incendios forestales en la zona de estudio mediante herramientas SIG	42
11.2.1. Índices espectrales	42

> Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	42
11.2.2. Variable climática: Precipitación	44
11.2.3. Variable de relieve: Pendiente	45
11.2.4. Evaluación de la amenaza	46
11.2.5. Procesamiento de datos sobre eventos por incendios forestales.	52
11.3. Establecer medidas de prevención de incendios forestales por medio de un manual ilustrativo y explicativo dirigido a la comunidad próxima al sector rural de la zona de estudio.	54
12. Análisis y discusión de resultados	57
13. Conclusiones	61
14. Recomendaciones	62
15. Referencias	62
16. Anexos	68
Anexo 1. Cronograma de actividades	68
Anexo 2. Presupuesto estimado del proyecto	70

Listado de Tablas

Tabla 1. Marco normativo del proyecto.	17
Tabla 2. Marco institucional del proyecto.	19
Tabla 3. Técnica e instrumento de la investigación.	25
Tabla 4. Ponderación de variables	30
Tabla 5. Categorías de amenaza por incendios forestales por variables	47
Tabla 6. Pérdida de cobertura vegetal en el páramo Tota-Bijagual-Mamapacha en el periodo 2017-2022.	53

Listado de Figuras

Figura 1. Corredor de páramos del departamento de Boyacá.	22
Figura 2. Zonificación del PNR Siscunsi - Ocetá.	23
Figura 3. Metodología objetivo específico 1.	28
Figura 4. Metodología objetivo específico 2.	31
Figura 5. Metodología objetivo específico 3.	32
Figura 6. Plan de trabajo del proyecto	32
Figura 7. Localización del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá en el departamento de Boyacá	34
Figura 8. Reconocimiento en campo de la localización del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá en el municipio de Aquitania	35
Figura 9. Geología del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá en el departamento de Boyacá	36

Figura 10. Distribución de temperatura media mensual multianual en el del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá	37
Figura 11. Precipitación del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá	38
Figura 12. Relación de coberturas del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsi - Ocetá	39
Figura 13. Cobertura actual de la tierra y localización de los puntos de muestreo de fauna y flora en el área protegida PNR Unidad Biogeográfica Siscunsi-Ocetá	40
Figura 14. Lugar de origen de las personas entrevistadas	41
Figura 15. Actividades realizadas por la comunidad al visitar el PNR Siscunsi - Ocetá	42
Figura 16. Mapa Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania. Periodo 2016 - 2022.	43
Figura 17. Mapa Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) en el PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania. Periodo 2016 - 2022.	44
Figura 18. Mapa de precipitación del PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania. Periodo 2016 - 2022.	45
Figura 19. Mapa de pendientes del PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania.	46
Figura 20. Mapa amenaza por incendios forestales según NDVI, PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania. Periodo 2016 - 2022	48
Figura 21. Mapa amenaza por incendios forestales según NDWI, PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania. Periodo 2016 - 2022.	49
Figura 22. Mapa amenaza por incendios forestales según precipitación, PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania.	50
Figura 23. Mapa amenaza por incendios forestales según pendiente, PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania.	51
Figura 24. Mapa amenaza por incendios forestales en el PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania.	52
Figura 25. Mapa de incendios de cobertura vegetal registrados al interior del Páramo Tota-Bijagual-Mamapacha en el periodo 2017-2022.	54
Figura 26. Portada e índice manual de prevención de incendios forestales.	57

Listado de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación para cálculo NDVI	26
Ecuación 2. Ecuación para cálculo NDWI	26
Ecuación 3. Ecuación para cálculo de amenaza	27

1. Resumen

En Colombia, los eventos de incendios forestales se encuentran asociados a factores naturales, sin embargo, estos se han intensificado debido a factores antrópicos como la expansión agrícola. En el caso del municipio de Aquitania, se registraron eventos de incendios en ecosistemas estratégicos como en el Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá, en donde en el año 2021 se quemaron 270 hectáreas. No obstante, son escasos los estudios realizados por actores estratégicos sobre las zonas más propensas a presentar este fenómeno, la cantidad de eventos y acciones de prevención y gestión del riesgo. De esta forma, el objetivo del proyecto es proponer un plan de prevención de incendios forestales basado en herramientas SIG en un sector rural del Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá, municipio de Aquitania, Boyacá.

Para ello, se pretende caracterizar las condiciones ecológicas, económicas y sociales de la zona de estudio por medio de revisión bibliográfica y visitas a campo. Posteriormente, se identifican las áreas susceptibles a incendios mediante el cálculo de índices espectrales y elaboración de mapas de amenaza por medio del software QGIS. De este modo, se formulan las medidas con enfoque preventivo dispuestas en un manual, que involucren acciones ejecutadas por la comunidad que conlleven a preservar los bienes y servicios ambientales. Por medio de este proyecto se evidenció la importancia de proponer medidas de prevención, debido a la alta amenaza por incendios forestales y la ausencia de conocimiento de la comunidad frente su territorio y las acciones de prevención que se pueden implementar.

Palabras clave: Amenaza, Área protegida, Gestión del riesgo, Sistemas de Información Geográfica.

2. Abstract

In Colombia, forest fire events are associated with natural factors; however, they have intensified due to anthropogenic factors such as agricultural expansion. In the case of the municipality of Aquitania, fire events were recorded in strategic ecosystems such as in the Siscunsi-Ocetá Regional Natural Park, where 270 hectares burned in 2021. However, there are few studies carried out by strategic actors on the areas most prone to this phenomenon, the number of events, and risk prevention and management actions. Thus, the objective of the project is to propose a forest fire prevention plan based on GIS tools in a rural sector of the Siscunsi-Ocetá Regional Natural Park, municipality of Aquitania, Boyacá.

To this purpose, the ecological, economic and social conditions of the study area will be characterized by means of a bibliographic review and field visits. Subsequently, the areas susceptible to fires are identified through the calculation of spectral indices and the elaboration of threat maps using QGIS software. In this way, preventive measures are formulated in a manual, involving actions executed by the community that lead to the preservation of environmental goods and services. Through this project, the importance of proposing preventive measures became evident, due to the high threat of forest fires and the lack of knowledge of the community about their territory and the preventive actions that can be implemented.

Keywords: Threat, Protected area, Risk management, Geographic Information Systems.

3. Introducción

Los incendios forestales se han convertido en un problema de importancia ambiental en Colombia a causa de factores naturales como el cambio climático, representado por largos periodos de sequía y temperaturas elevadas, características geomorfológicas y procesos orogénicos que rigen el territorio, los cuales a pesar de favorecer a la diversidad ambiental, generan un entorno propicio para la manifestación de amenazas naturales como los incendios forestales (Corpoboyacá, 2021, p. 170). No obstante, la gran mayoría de estos se debe a factores antrópicos, un ejemplo claro son las prácticas derivadas por el cambio de uso del suelo, producto de la agricultura y ganadería, además el desconocimiento de los eventos amenazantes en los respectivos territorios, uso del fuego como alternativa de las comunidades para la renovación de pastos, entre otros (Corpoboyacá, 2016, p. 6; UNGRD, 2012, p. 10).

Lo anterior, trae como consecuencia la reducción de los servicios ecosistémicos, en especial la oferta hídrica, la migración de fauna silvestre, la reducción de la cobertura vegetal nativa, cambios en las propiedades del suelo, disminución de la diversidad de microorganismos y procesos erosivos (Corpoboyaca, 2016, p. 6). Desde una perspectiva económica y social, los incendios forestales conllevan a la paralización de procesos productivos, la reducción de oportunidades laborales, deterioro de la salud pública debido a la contaminación de suelos, agua y atmósfera (Urzúa & Cáceres, 2011, p. 6).

De esta manera, a nivel nacional se han generado reportes sobre los incendios forestales, por medio de las bases de datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), donde se muestra que desde 1921 hasta el año 2020, los departamentos que han presentado mayor número de reportes son: Cundinamarca con 7.908; Boyacá con 4.107; Tolima con 3.052 y Huila con 2.345 registros (UNGRD, 2022, párr. 9). En particular para lo corrido del año 2020, los incendios forestales afectaron alrededor de 2.089 hectáreas, correspondientes a 59 de los 87 municipios que se encuentran dentro de la jurisdicción de Corpoboyacá, los cuales han repercutido en ecosistemas estratégicos como lo es el Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá (Corpoboyacá, 2020, párr. 5).

A pesar de conocer el número de hectáreas que fueron afectadas en el departamento de Boyacá, son escasos los estudios sobre las zonas más propensas a presentar este fenómeno y la cantidad de incendios que se han evidenciado en el Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá, específicamente en el municipio de Aquitania. De igual manera, pese a que el Plan de Manejo de la Unidad Biogeográfica Siscunsi-Ocetá fue actualizado en el año de 2018, dentro de su contenido sólo se establece la atención de emergencias mediante infraestructura como torres de observación de incendios forestales y tanques provisionales de almacenamiento de agua. De modo que, se requiere de la disposición de medidas de prevención frente a esta amenaza específicamente dirigidas para esta área que involucren a la comunidad local.

Es por esto que, el presente proyecto tiene como objetivo proponer un plan de prevención de incendios forestales mediante el uso de herramientas SIG, identificando las áreas susceptibles a presentar el fenómeno en un sector rural del Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá, municipio de Aquitania. De esta manera, es relevante el estudio y contribuye al área de la ingeniería ambiental por medio de la gestión del riesgo, puesto que se evalúan aspectos económicos, ecológicos y sociales del territorio propenso a presentar los incendios forestales, los cuales en la actualidad constituyen una problemática de importancia ambiental a nivel nacional.

4. Planteamiento del problema

El departamento de Boyacá se caracteriza por tener una dinámica económica representada por actividades agropecuarias como cultivos de cebolla larga, papa, arveja, entre otros productos agrícolas, además, el sector ganadero, el cual es considerado como un enorme potencial para el crecimiento económico del departamento (Alcaldía Municipal de Aquitania, 2016, p. 78). Dichas actividades económicas, han generado presión sobre los ecosistemas estratégicos del territorio, en especial por que vuelve el suelo más vulnerable ante la manifestación de amenazas naturales como los incendios forestales. De acuerdo con reportes presentados por Corpoboyacá, durante el periodo de 1995 - 2014, el departamento ha presentado 582 eventos asociados a incendios de cobertura vegetal, siendo así el segundo departamento, seguido de Cundinamarca, con mayor número de reportes (Corpoboyaca, 2016, p. 3).

Por tanto, dichos incendios se han generado en áreas de importancia ecológica como lo es el Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá, principalmente en el municipio de Aquitania, en vista de que Corpoboyacá, entidad encargada de la gestión de esta área protegida, ha informado que para el año 2021 sólo en el PNR Siscunsi-Ocetá se quemaron 270 hectáreas de las 49.793,51 hectáreas que posee (El Tiempo, 2022, párr. 8). Estas quemas han surgido por causa del aumento de la expansión de la frontera agrícola, lo que ha conllevado una pérdida significativa de cobertura vegetal nativa de este tipo de ecosistema.

Como puede apreciarse, los incendios forestales se relacionan directamente con los conflictos por el uso, manejo y conservación del páramo de la vertiente húmeda, de manera que se vinculan diferentes tipos de actores pertenecientes al municipio de Aquitania, siendo estos el alcalde municipal, Corpoboyacá, Consejo Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres (CDGRD), Comités Municipales para la Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD), la sociedad civil urbana y en especial los campesinos de las zonas rurales aledañas a este ecosistema de páramo.

No obstante, son escasos los estudios realizados por dichos actores sobre las zonas más propensas a presentar este fenómeno, la cantidad de eventos y acciones de prevención y gestión del riesgo. Por ende, ante estos incendios forestales, es necesario la formulación de un plan de prevención por medio de herramientas como los sistemas de información geográfica para identificar en detalle la zona de estudio, índices espectrales para la determinación de la amenaza por incendios forestales y el estudio de las características económicas y culturales del territorio.

4.1. Pregunta de investigación

¿De qué manera la herramienta tecnológica SIG contribuye al desarrollo e implementación de un plan de prevención de incendios forestales?

5. Justificación

Los incendios forestales son amenazas socio-naturales que se originan por la intersección entre el ambiente natural y las acciones humanas (UNGRD, 2019), entre las cuales se encuentran: actos intencionales, como la expansión de la frontera agrícola; accidentales, por rupturas de líneas eléctricas; negligencia o descuido, como por ejemplo prácticas arraigadas a la cultura (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Fondo Acción, 2021, p. 12). De este modo, las acciones humanas conducen a la conversión de recursos naturales en amenazas y a su vez a generar implicaciones en los bienes y servicios que presta el ambiente natural, en la población, las actividades económicas y la infraestructura.

De esta forma, es de importancia identificar las áreas susceptibles a presentar incendios forestales en el PNR Siscunsi-Ocetá, por medio de herramientas SIG que permiten además obtener la caracterización del estado actual de la vegetación presente en este ecosistema. Lo anterior debido a que, se evidencian limitados estudios cartográficos sobre las áreas a presentar este fenómeno en las temporadas más secas, que en el caso de la región Andina se presentan desde inicios de diciembre y finales de marzo (UNGRD, 2019).

Por medio de esta investigación, entidades como Corpoboyacá, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y demás instituciones competentes, pueden emplearlo como información base para la toma de decisiones, facilitando el manejo interinstitucional en relación a la gestión del riesgo a nivel municipal y departamental (IDEAM & CONIF, 2009). A nivel social, la investigación contribuye a disminuir los impactos en las viviendas y actividades económicas de los campesinos próximos al área de estudio, por causa de los incendios forestales. A nivel ecológico, se podrá conservar los servicios ecosistémicos que provee el Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá dado que se reducirá el riesgo a presentarse incendios dentro de su área. De este modo, las medidas de prevención que se fundamentan en herramientas SIG, contribuyen a la conservación, preservación y uso sostenible de un ecosistema de alta montaña como lo es el área de estudio, el cual es una zona de gran importancia en la producción y recarga hídrica para un sector importante del departamento de Boyacá (Fonseca, 2022, párr. 2).

De este modo, la integración de los componentes ecológicos, económicos y sociales, conlleva a que un ingeniero ambiental por medio de sus competencias, se desenvuelva en la propuesta de un plan de prevención. De esta manera, para el desarrollo del proyecto también se incluye los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial el ODS 6 “Agua limpia y saneamiento”, el cual tiene como fin conservar y recuperar los ecosistemas vinculados al recurso hídrico, como por ejemplo: montañas, ríos, bosques, humedales, entre otros (Naciones Unidas, 2022). Así mismo, el ODS 15 “Vida de ecosistemas terrestres”, pretende conservar los ecosistemas montañosos para mejorar la capacidad de proporcionar beneficios basados en el desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2022). Por último, el ODS 13 “Acción por el clima”, busca fortalecer la educación y la capacidad de adaptación ante los riesgos vinculados al clima y los desastres naturales en el país (Naciones Unidas, 2022)

6. Objetivos

6.1 Objetivo general

Proponer un plan de prevención de incendios forestales basado en herramientas de sistema de información geográfica (SIG) en un sector rural del Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá, municipio de Aquitania, Boyacá.

6.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar el estado actual del PNR Siscunsi-Ocetá (Aquitania) mediante revisión bibliográfica y trabajo en campo, de las condiciones ecológicas, económicas y sociales presentes en la zona.
2. Identificar las áreas susceptibles a presentar incendios forestales en la zona de estudio mediante herramientas SIG.
3. Establecer medidas de prevención de incendios forestales por medio de un manual ilustrativo y explicativo dirigido a la comunidad próxima al sector rural de la zona de estudio.

7. Marcos de referencia

7.1 Estado del arte

La revisión de artículos de investigación a nivel internacional y nacional, es una base fundamental para la investigación, en vista de que se analizan conceptos, factores, características y metodologías realizadas por otros investigadores sobre la prevención de incendios forestales mediante el empleo de herramientas SIG. De esta manera, se lleva a cabo una descripción de los documentos seleccionados, donde a nivel internacional se encuentran Vietnam, Grecia y Brasil, quienes basan sus investigaciones en el empleo de SIG. Por el contrario, en Colombia, específicamente en el departamento de Boyacá, se elaboró un documento donde se consolida la gestión del riesgo de incendios forestales.

A nivel internacional, en primer instancia el artículo de investigación titulado “*GIS-based spatial prediction of tropical forest fire danger using a new hybrid machine learning method*” desarrollado por Tien Bui et al., en el año 2018, contextualiza sobre la problemática que enfrenta Vietnam por incendios forestales a causa de actividades económicas expansivas que conllevan además a la deforestación (Tien Bui et al., 2018, p. 2). Es por ello que se han realizado investigaciones sobre sensores remotos y SIG como base para producir mapas de riesgo, sin embargo, estos análisis se consideran de naturaleza multivariante y requieren técnicas que puedan manejar muchas variables y grandes conjuntos de datos, por tal razón, surgen los algoritmos de aprendizaje automático (Tien Bui et al., 2018, p. 4).

De este modo, el objetivo del artículo es establecer un nuevo método híbrido para entrenar el modelo de predicción espacial de incendios forestales basado en red neuronal artificial (Ann) en el área de estudio, la cual es Lam Dong, una provincia montañosa con el 70% de su superficie cubierta por bosques (Tien Bui et al., 201, p. 6). Con el fin de llevar a cabo lo anterior, se analizan los factores que influyen en los incendios forestales y las base de datos SIG, se describen y estudian algoritmos, los cuales son: Red neuronal artificial y retropropagación de mini lotes y Algoritmo metaheurístico de polinización diferencial de flores, los cuales permiten el modelado espacial del peligro de incendios forestales tropicales y por ende el mapa espacial de riesgo (Tien Bui et al., 2018, p. 9).

Adicionalmente, se destaca el proyecto de investigación realizado en Grecia titulado “*Virtual Fire: A web-based GIS platform for forest fire control*”, elaborado por Kalabokidis et al. en el año 2013, el cual expone la importancia de los SIG web en la gestión de incendios forestales que se ha enfatizado principalmente en las áreas de Infraestructuras de datos espaciales, ya que brindan una ayuda valiosa para las comunidades de usuarios sobre el conocimiento del riesgo, las estrategias de prevención, los esquemas de gestión y la difusión de información (Kalabokidis et al., 2013, p. 3). Por lo tanto, se propone como objetivo principal integrar tecnologías, herramientas y protocolos avanzados en una aplicación SIG basada en la web de última generación, para ayudar en la alerta temprana de incendios, el control de incendios y la coordinación de las fuerzas de extinción de incendios (Kalabokidis et al., 2013, p. 4).

Por consiguiente, se debe mencionar que la plataforma GIS basada en la web presentada, llamada Virtual Fire, está diseñada para respaldar la alerta temprana, el control y la protección civil de incendios forestales mediante el intercambio de información y herramientas. Así mismo, su prototipo se aplica para la isla de Lesbos, Egeo del Norte, Grecia, pero su arquitectura de sistema abierto permite su expansión a áreas más amplias (Kalabokidis et al., 2013, p. 4).

De acuerdo a lo anterior, se estipula una metodología para el control integrado de incendios forestales por medio de modelos de tecnología de la información (TI) y geoinformática, siendo los siguientes pasos de metodología: Información de control de incendios, Datos del tiempo, Índice de ignición de fuego, Simulación de propagación de incendios. Dando como resultado, la plataforma Virtual Fire la cual brinda una gran ayuda para organizar planes mejores y más confiables para la confrontación de incendios (Kalabokidis et al., 2013, p. 3). Además, permite a los usuarios finales consultar las bases de datos y obtener respuestas de inmediato, ubicar puntos de interés en imágenes satelitales de alta resolución y descargar información a sus computadoras portátiles.

Por otra parte, el proyecto de investigación realizado en Brasil titulado “*Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil*”, desarrollado por Eugenio et al. en el año 2016, resalta la relevancia de la información sobre la distribución espacial de los incendios y de igual forma la correspondiente zonificación del riesgo, con el fin de proponer y mejorar estrategias de prevención de incendios y para la protección de áreas forestales (Eugenio et al., 2016, p. 4). De esta forma, se plantea como objetivo principal realizar un modelo estadístico con el fin de elaborar un mapa de riesgo por incendios forestales implementado sistemas de información geográfica (SIG), en Espírito Santo, Estado del Sudeste de Brasil (Eugenio et al., 2016, p. 5).

Para lo anterior, se tuvieron en consideración nueve variables que tienen relación directa con la ocurrencia de incendios forestales, las cuales son: factores climáticos; evapotranspiración, déficit hídrico, temperatura y precipitación y factores físicos del sitio: proximidad a caminos, terreno orientación, altitud, pendiente del terreno y uso/ocupación del suelo (Eugenio et al., 2016, p. 5).

Por tanto, se propone una serie de pasos metodológicos para el mapeo del riesgo por incendios forestales, los cuales son: 1) Modelo de elevación digital; 2) Preparación de los datos meteorológicos; 3) Generación de mapas base; 4) Generación de pesos estadísticos para el modelo; 5) Generación del modelo de riesgo por incendios forestales; 6) Generación de mapa de riesgo por incendios forestales; 7) Cruce del mapa de riesgo por incendios forestales con los focos de calor (Eugenio et al., 2016, p. 2). Esta metodología dio como resultado un mapa de riesgo por incendios forestales para el área de estudio, en el cual se ilustra las áreas de alto riesgo, muy alto riesgo y riesgo extremo a presentar el fenómeno.

Por el contrario, a nivel nacional, en particular en el departamento de Boyacá, la Corporación Autónoma Regional de Boyacá desarrolló un documento donde el capítulo VII se enfoca en la gestión del riesgo, en él se documentan los fenómenos susceptibles de presentarse en el departamento, como incendios forestales, inundaciones y remoción en masa. Para el caso de los incendios forestales, se evidencian mapas de eventos registrados, susceptibilidad y vulnerabilidad de la cobertura vegetal, entre otros, además de las causas y consecuencias del fenómeno (Corpoboyaca, 2016, p. 11).

En definitiva, los documentos mencionados anteriormente presentan similitudes referente a la necesidad de emplear sistemas de información geográfica como metodología eficiente para formular medidas de prevención de incendios forestales y proporcionar información sobre la distribución de eventos del fenómeno. Es importante resaltar que las investigaciones requirieron de un análisis de factores físicos y climáticos que se relacionan con la aparición de eventos de incendios. De este modo, los conceptos y metodologías empleadas en estos documentos serán implementados en la investigación y desarrollo del presente proyecto.

7.2 Marco teórico - conceptual

Para el desarrollo del proyecto de investigación se consideran conceptos y teorías básicas de relevancia.

❖ Gestión del riesgo de desastre

La **gestión de riesgo y desastres** se fundamenta bajo la ley 1523 de 2012, en la cual se establece que “es un proceso social que permite la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes orientadas al conocimiento, mitigación, reducción del riesgo y el manejo de desastres” (Ley 1523, 2012, p. 1). De igual forma, la gestión del riesgo involucra la toma de decisiones a partir de una evaluación del riesgo, la cual permita contribuir al bienestar, calidad de vida de la comunidad, seguridad y al desarrollo sostenible (Ley 1523, 2012, p. 1).

Es de importancia que se adopten y empleen enfoques de la gestión del riesgo por parte de corporaciones, autoridades ambientales e instituciones privadas, en vista de que proporcionan herramientas bases para la consolidación de decisiones de planificación de la conservación y la gestión (UNESCO-WHC, 2012, p. 16). De igual forma, dentro de esta teoría, es importante tener en cuenta conceptos como riesgo, amenaza y vulnerabilidad.

En primera instancia, el **riesgo** se define como la probabilidad de que se produzca un determinado tipo de daño. Estos son el resultado de amenazas naturales o de origen humano, en cuanto a las naturales, se incluyen eventos catastróficos y repentinos, procesos continuos, acumulativos y lentos. Por el contrario, los riesgos antropogénicos son causados por actividades humanas, la falta de mantenimiento, el abandono y la gestión inadecuada (UNESCO-WHC, 2012, p. 26). Estos riesgos se desarrollan en una zona en específico, es decir, una **zona de riesgo** de incendio, la cual se define en función de la causa de los eventos y el patrón de su ocurrencia, además se identifican por las características ambientales comunes que se traducen en el mismo riesgo potencial (Eugenio et al., 2016, p. 3).

Por otro lado, la ley 1523 de 2012 define la **amenaza** como:

Un peligro latente de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana, se presente y sea suficiente para causar implicaciones en la vida humana, genere daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. (Ley 1523, 2012, p. 3)

En cuanto a la **vulnerabilidad**, según la ley 1523 de 2012, la explica como “la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente” (Ley 1523, 2012, p. 5).

Dentro de la gestión del riesgo, se encuentran procesos fundamentales para su correcto desarrollo, los cuales son: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres. Respecto al **conocimiento del riesgo**, este se define como aquel proceso en el cual se identifican, analizan y evalúan los escenarios de riesgo, seguido de un monitoreo y seguimiento de los componentes del riesgo, con el fin de promover una mayor conciencia (Ley 1523, 2012, p. 3).

Además la **reducción del riesgo**, corresponde a la intervención mediante medidas orientadas a la modificación y/o disminución de las condiciones de riesgo, con el fin de reducir la exposición, amenaza y disminuir la vulnerabilidad en el territorio (Ley 1523, 2012, p. 5). Finalmente, el **manejo de desastres** involucra la planificación de respuestas a emergencias, la recuperación posdesastre, la correcta ejecución de dicha respuesta y de la respectiva recuperación (Ley 1523, 2012, p. 4).

❖ Incendios forestales

Los **incendios forestales** se consideran uno de los peligros más extendidos en un paisaje boscoso, dado que tienen una seria amenaza para el bosque y su flora y fauna. Cabe destacar que, los incendios forestales abruptos e imprevistos son una de las principales causas de la degradación forestal, mientras que un incendio controlado para gestionar y controlar la propagación de incendios forestales no deseados sirve como acción para mejorar el bosque. Aunque, hay varias pérdidas tangibles e intangibles debido a los incendios forestales, y causan una amenaza ambiental para el área afectada (Kumar et al., 2021, p. 7).

Del mismo modo, este fenómeno con sus rangos extremos de intensidades, duraciones y extensiones, producen una alteración de los suelos indirectamente, a través de depósitos de ceniza, carbón vegetal y basura parcialmente quemada. Aunque, también alteran a los suelos directamente, lo cual depende de las temperaturas impartidas en los efectos sobre los organismos del suelo, sistemas de raíces, materia orgánica, características químicas y propiedades físicas (Boyle, 2005, p. 6). Adicionalmente, los incendios pueden ser:

- **Incendio aéreo o de copas:** “Incendio forestal propagado por las copas de los árboles (altura superior a 1,5 m del suelo)” (UNGRD, 2019, p. 11).
- **Incendio subterráneo:** “Incendio forestal propagado por el humus y material orgánico no incorporado al suelo del bosque” (UNGRD, 2019, p. 11).
- **Incendio superficial:** “Incendio forestal que se propaga consumiendo dosel arbustivo, herbáceo y hojarasca en el piso del bosque o terreno rural (entre 0 y 1,5 m del suelo)” (UNGRD, 2019, p. 11).

❖ Sistemas de Información Geográfica

Los **Sistemas de Información Geográfica (SIG)** son sistemas informáticos capaces de almacenar, manipular y visualizar datos referenciados geográficamente (DeFries, 2013, p. 5). De igual forma, tienen la capacidad de mostrar múltiples tipos de información sobre múltiples ubicaciones geográficas en un solo mapa lo que permite evaluar patrones y relaciones entre diferentes puntos de información (Huang, 2016, p. 6). Dicho de otra forma, los SIG son un grupo de sistemas de información que almacenan y representan datos asociados con lugares específicos del mundo real (Cantwell & Milem, 2010, p. 3).

Además, los SIG se relacionan con técnicas como el **Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)**, el cual “es un índice adimensional que describe la diferencia entre la reflectancia visible e infrarroja cercana de la cubierta vegetal y se puede utilizar para estimar la densidad del verde en un área de tierra” (Schinasi et al., 2018, p. 4). Así mismo, el NDVI se deriva de datos de sensores remotos (satélite), que se encuentran estrechamente relacionados con las condiciones de sequía. Aunque, “para determinar la densidad del verde en una parcela de tierra, se deben observar los distintos colores

(longitudes de onda) de la luz solar visible e infrarroja cercana reflejada por las plantas” (Drisy et al., 2018, p. 5).

De igual manera, el **Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)** el cual es un indicador del contenido de agua líquida de la vegetación, que permite identificar el estrés hídrico de las plantas. En otras palabras, el NDWI es un índice derivado de la teledetección que estima la cantidad de agua de las hojas a nivel del dosel (JRC European Commission, 2011. p. 2).

❖ **Áreas protegidas**

Dentro del Sistema de Áreas Protegidas se encuentran los **Parques Naturales Regionales**, los cuales son considerados como espacios geográficos caracterizados por tener paisajes y ecosistemas estratégicos, además se pretende en ellos mantener su estructura, composición y función, y de igual forma procesos ecológicos, evolutivos y sus valores naturales y culturales. En estos, la población humana emplea las áreas para usos como: preservación, restauración, conocimiento y disfrute. Es importante resaltar que estos son administrados y supervisados por las Corporaciones Autónomas Regionales, a través de sus Consejos Directivos (Decreto 2372, 2010). Dentro de ellos, se pueden clasificar diferentes zonas, las cuales son:

- **Zona de Preservación:** “Incluye las áreas de páramo, matorral y bosque alto andino bien conservadas y destinadas a protección y conservación absoluta” (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 40).
- **Zona de Restauración:** “Aquellas áreas con afectaciones severas sobre el ecosistema ocasionadas actividades como: tala, desarrollo de cultivos y la quema del páramo para generación de potreros para la ganadería. Por ello, requiere del desarrollo de procesos de restauración ecológica” (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 48).
- **Zona de Uso Sostenible:** “Corresponde a las áreas productivas ubicadas en cercanías de las zonas de conservación y recuperación ecológica” (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 51).

7.3 Marco normativo

En este apartado se expone el conjunto de leyes, normas, decretos y acuerdos que fundamentan el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 1. Marco normativo del proyecto.

Norma	Autoridad que expide	Descripción
Decreto ley 2811 de 1974	Presidencia de la República de Colombia	“Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Se organizan medidas de prevención y control de incendios forestales en el territorio nacional, con la colaboración de los cuerpos y entidades

		públicas” (UNGRD, 2019, p. 14).
Ley 99 de 1993	Congreso de la República de Colombia	“Se establece que la prevención de desastres será materia de interés colectivo y sus medidas de mitigación son de obligatorio cumplimiento. Además, el Estado fomentará el uso de instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental” (UNGRD, 2019, p. 15).
Decreto 2340 de 1997	Ministerio de Medio Ambiente	“Medidas para la organización en materia de prevención y mitigación de incendios forestales” (UNGRD, 2019, p. 16).
Decreto 93 de 1998	Presidencia de la República de Colombia	Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
Decreto 2372 de 2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	“Se reglamenta el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y las categorías de manejo que lo conforman” (UNGRD, 2019, p. 14).
Acuerdo 12 de 26 de agosto de 2011	Corporación Autónoma Regional de Boyacá	“Se modifica el Acuerdo No. 027 del 15 diciembre 2008, que declara y alindera el PNR "Unidad Biogeográfica de Siscunsi - Ocetá" en jurisdicción de los Municipios de Sogamoso, Aquitania, Monguí y Mongua” (UNGRD, 2019, p. 15).
Decreto 4147 de 2011	Presidencia de la República de Colombia	“Creación de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, se establece su objeto y estructura” (UNGRD, 2019, p. 17).
Ley 1523 del 2012	Congreso de la República de Colombia	“Se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres” (UNGRD, 2019, p. 17).

Tomado y adaptado de: (UNGRD, 2019)

7.4 Marco institucional

A continuación se hace hincapié en las instituciones públicas y privadas que brindan información y datos para el desarrollo del proceso investigativo del presente proyecto relacionados con las herramientas SIG y los incendios forestales.

Tabla 2. Marco institucional del proyecto.

Nombre de la institución	Descripción
Alcaldía Municipal de Aquitania	“Entidad local que se enfoca en promover el desarrollo social, ambiental, económico, institucional y cultural del municipio, con equidad social, eficiencia económica y administrativa, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de los Aquitanenses” (Alcaldía Municipal de Aquitania, 2018, párr. 1)
Corporación Autónoma Regional de Boyacá	“Tiene como fin la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre el ambiente y recursos naturales renovables. Igualmente, aplica las disposiciones legales vigentes sobre la administración, manejo y aprovechamiento según la directriz del Ministerio de Medio Ambiente” (Corpoboyaca, 2020, párr. 2).
Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres	“Grupo operativo que dirige la implementación de la gestión del riesgo de desastres, atendiendo las políticas de desarrollo sostenible, y coordina el funcionamiento y el desarrollo continuo del sistema nacional para la prevención y atención de desastres – SNPAD” (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, s. f., párr. 2)
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)	“Tiene como propósito producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia; a su vez realizar el inventario de las características de los suelos; adelantar investigaciones geográficas; capacitar y formar profesionales en tecnologías de información geográfica y coordinar ICDE” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, s. f., párr. 1)
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)	Entidad que tiene como finalidad generar “conocimiento y producir y suministrar información ambiental, además de realizar manejo de la información que sirvan para suministrar las bases para el ordenamiento ambiental del territorio, el manejo, el uso y el aprovechamiento de los recursos naturales biofísicos del país” (IDEAM, 2011a, párr. 4).

Universidad El Bosque	“Institución de Educación Superior con acreditación de Alta Calidad de formación, multidisciplinaria, con un foco que articula su desarrollo (en formación, investigación, transferencia y servicio) en la Salud y Calidad de Vida” (Universidad El Bosque, s. f., párr. 2).
-----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7.5 Marco geográfico

El municipio de Aquitania se ubica estratégicamente sobre la cordillera Oriental, especialmente en la Región Andina. Además, forma parte de los 123 municipios que componen el departamento de Boyacá y pertenece a la provincia de Sugamuxi, según el Concejo Municipal de Aquitania (Concejo Municipal de Aquitania, Acuerdo 008 de 2008, p. 3). Por otra parte, Aquitania se encuentra a una altura de 3.030 m.s.n.m, cuenta con un clima frío, una temperatura de 12° centígrados y su patrón de precipitación es de tipo monomodal, con meses de alta precipitación que van de junio a agosto, mientras que los meses con menor precipitación abarcan de diciembre a marzo. Es importante resaltar que el régimen pluviométrico registrado es de 2600 mm/año (Concejo Municipal de Aquitania, Acuerdo 008 de 2008, p. 3).

En cuanto a la población del municipio, según el último censo realizado por el DANE en 2018, se encontraban 13.860 habitantes. Además, de acuerdo con proyecciones poblacionales realizadas por la entidad (DANE), el municipio cuenta con una población total de 14.469 habitantes para el año 2019, donde en el área urbana 6.392 habitantes correspondiente al 44,2 % y para el área rural es de 8.077 habitantes equivalente al 55,8 % (Mesa, 2019, p. 26)

De igual forma, el municipio limita al norte con los municipios de Cuitiva, Sogamoso y Mongua; al sur con Zetaquirá, San Eduardo y Paez; al este con Labranzagrande, Pajarito, Recetor y Chámeza; y al oeste con Cuitiva y Tota (Concejo Municipal de Aquitania, Acuerdo 008 de 2008, p. 3). En términos de superficie, el municipio abarca una extensión total de 856,80 km, de los cuales 1,0735 km corresponden al área urbana, con un valor representativo de 0,13% y 855,72 km pertenecen al área rural, representado por un valor de 99.87% (Mesa, 2019, p. 16).

En específico, el área urbana cuenta con barrios y urbanizaciones como: El Mirador, La Esperanza, Villa Alejandra, Torres de Aquitania, San Luis de Guáquira, El Oasis, Paraíso. Por otra parte, el área rural se caracteriza por contar con 16 veredas: Hatolaguna, Hatoviejo, Daitó, Cajón, Hirva, Mombita, Maravilla, Pérez, Soriano, Susacá, Quebradas, Sisvaca, Suse, Vargas, Tobal y Toquilla (Cadena, 2016, p. 18).

Respecto a la hidrología, Aquitania posee una extensa red hidrológica conformada por las cuencas de los ríos Lengupá, Upía, Cravo Sur, Tobal, Olarte y Cusiana, además le corresponde el 72% de la superficie del Lago de Tota, el cual es considerado como un potencial hídrico (Concejo Municipal de Aquitania, Acuerdo 008 de 2008, p. 5). En particular, el río Upia entrega sus aguas al río Meta y el río Cusiana nace en el páramo de La Sarna y se alimenta de afluentes provenientes de otros páramos como Toquilla, Hirva y Soriano, los cuales hacen parte del municipio. Por otra parte, lo conforman quebradas como: Quebrada la Boquita, Quebrada la Sarna, Quebrada el Gacal, Quebrada de las Ortigas, entre otras y lagunas, las cuales son: Laguna Negra y Laguna Cítame (Mesa, 2019, p. 18).

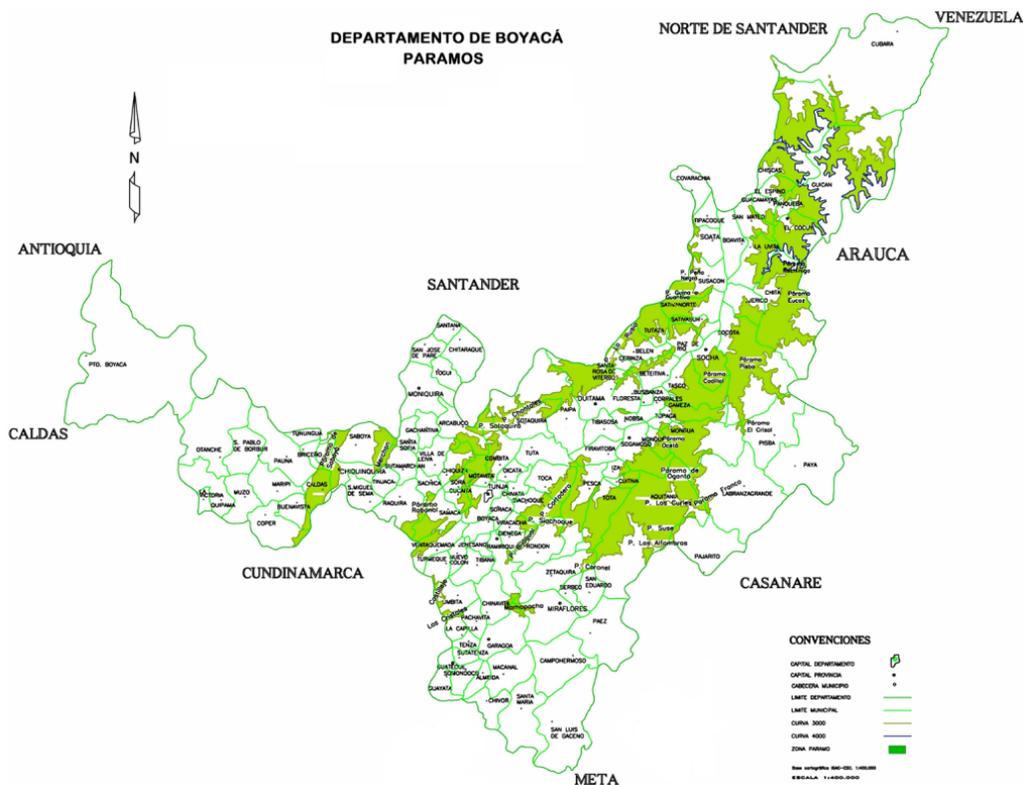
En el municipio, se identifican cinco zonas de vida de acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge, las cuales son: Bosque Subhúmedo Pluvial Montano, caracterizado por montes nativos y secundarios y áreas de potreros, los cuales ocupa un área de 11.709 hectáreas; Bosque Subhúmedo montano, con un área de 25.237 hectáreas; Bosque Húmedo Montano, encontrado en la parte alta de las colinas que muestran sequedad ambiental; Bosque Subandino Montano Bajo Páramo, posee un área de 8.060 hectáreas; Bosque Subandino Montano (bsa-M) Páramo, ocupa un área de 37.738 hectáreas (Concejo Municipal de Aquitania, Acuerdo 008 de 2008).

La dinámica económica del municipio se fundamenta en actividades agropecuarias, donde en el sector agrícola se encuentran principalmente cultivos de arveja, papa, zanahoria, haba y cebolla larga, los cuales han permitido que Aquitania sea uno de los mayores productores en el país (Concejo Municipal de Aquitania, Acuerdo 008 de 2008, p. 4). Por otra parte, el sector ganadero es considerado como un potencial de crecimiento económico para el municipio, por tanto, es realizado a escala moderada en las veredas de Sisvaca, Maravilla y Mombita y en menor escala en las veredas de Hirba, Toquilla y Soriano. Finalmente, el sector del comercio, transporte, minería, turismo y la industria piscícola han ampliado sus horizontes y actividades para involucrarse dentro de la economía del municipio (Concejo Municipal de Aquitania, Acuerdo 008 de 2008, p. 4).

Por consiguiente, a partir del contexto general de Aquitania, es importante especificar el contexto geográfico del área de estudio, el Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá. Esta área se encuentra localizada al oriente del departamento de Boyacá, abarcando un área comprendida entre el Parque Nacional Natural Pisba y el Lago de Tota, dentro de la jurisdicción de los municipios de Mongua, Monguí, Sogamoso y Aquitania (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 9). Este abarca aproximadamente 35.000 hectáreas en un rango altitudinal que va desde los 3.000 m.s.n.m. en algunos sectores de Toquilla y Soriano en Aquitania y de Sirguazá en Mongua, hasta más de 4.000 m.s.n.m. en el cerro Volcán Amarillo, en la confluencia de los municipios de Sogamoso y Monguí (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 9).

De la misma manera, es importante mencionar que el macizo está conformado por los páramos de Toquilla – Siscunsi – Ocetá – San Ignacio los cuales hacen parte del PNR Siscunsi – Ocetá. De hecho constituye “el corredor de conexión entre los páramos adyacentes al lago de Tota y los asociados al PNN Pisba, dando continuidad al ecosistema en esta área estratégica del nororiente colombiano” (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 7).

Figura 1. Corredor de páramos del departamento de Boyacá.

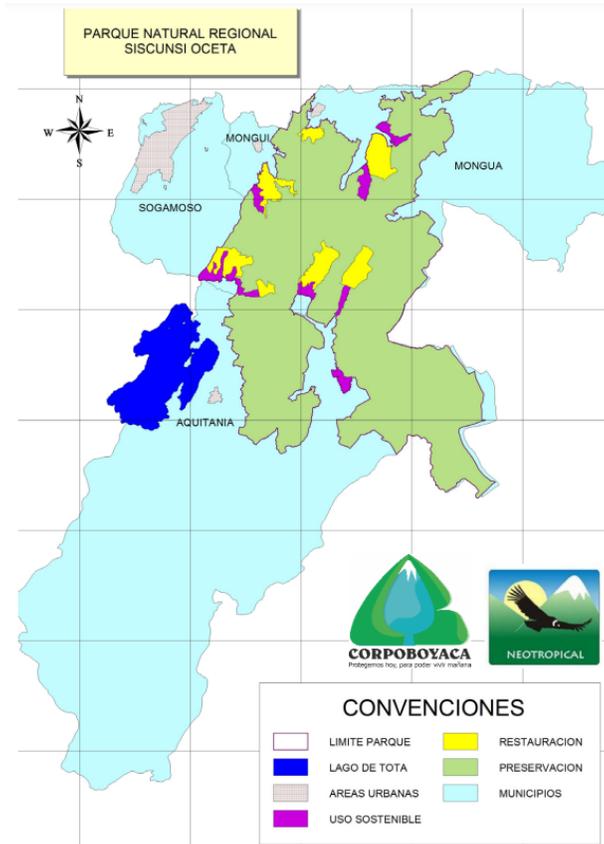


Tomado de: (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 7)

Así mismo, el PNR Siscunsi – Ocetá fue declarado y alinderado por CORPOBOYACA a través del Acuerdo 27 del 16 de diciembre de 2008, en el cual se realizó un proceso de caracterización y análisis del estado de las zonas de páramo, para este fin se tomaron en cuenta sus riquezas representadas en bienes y servicios ambientales tan importantes como el suelo, la fauna silvestre, la vegetación y el agua. Por tal razón, dentro de la delimitación y declaratoria del parque se incluyó una zonificación para dar un uso adecuado a cada sector del parque, con el propósito de conservar los recursos vitales del páramo (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 12).

Por ende, este proceso de zonificación del parque se basó en definir y delimitar áreas para desarrollar diferentes tipos de uso del suelo, en la cual se tomó en cuenta su vocación y las necesidades de protección y conservación del páramo y sus fuentes hídricas, también la restauración o recuperación de áreas degradadas o la producción para beneficio y sostenimiento de la comunidad (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 13). Exactamente, en este marco se definen tres tipos de áreas dentro del parque, de acuerdo con el uso adecuado del suelo siendo estas la zona de preservación, conservación y uso sostenible.

Figura 2. Zonificación del PNR Siscunsi - Oceta.



Tomado de: (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 14)

Por consiguiente, la zona de Preservación corresponde a un área de 44.568 hectáreas y se emplea principalmente para la conservación de recursos tan valiosos como el suelo, la fauna silvestre, la vegetación y el agua; a su vez en esta zona se permite la investigación controlada y el ecoturismo con un manejo adecuado (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 40). Aunque, está prohibida la minería, el desarrollo de proyectos de infraestructura, la agricultura intensiva o mecanizada, la ganadería extensiva y la extracción de flora y fauna.

Con respecto a la zona de Restauración, se evidencia que esta abarca aproximadamente 3.877 hectáreas, las cuales se localizan específicamente en las partes altas de las veredas de Soriano (Aquitania), Cañas y Cintas (Sogamoso), Hato Viejo (Monguí), Centro y Duce, sector Leonera (Mongua) (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 48). Finalmente, la zona de Uso Sostenible posee cerca de 1.349 hectáreas que son ocupadas por las comunidades del páramo, en donde pueden desarrollar actividades productivas sostenibles por ejemplo los cultivos tradicionales con tendencia a la agricultura orgánica, la reconversión ganadera, agroturismo y ecoturismo (Corpoboyaca & NEOTROPICAL, 2019, p. 51).

Es importante resaltar que el municipio de Aquitania es uno de los municipios del departamento con mayor área de páramo y de hecho posee un extenso territorio sobre el macizo; dado que dentro de este

municipio se encuentran 25.409 hectáreas pertenecientes al PNR Siscunsi – Ocetá (Parques Nacionales Naturales, 2022, párr. 1).

8. Metodología

8.1 Enfoque

La investigación se desarrolla mediante un enfoque mixto para los objetivos 1 y 2. Este enfoque involucra la recolección, análisis y vinculación de datos tanto cualitativos como cuantitativos, que permiten comprender la investigación desde una visión holística y una perspectiva amplia sobre las causas y consecuencias de los incendios forestales (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 534). Además, mediante el enfoque mixto, se logra determinar la caracterización de las condiciones ecológicas, económicas y sociales presentes en la zona, donde a partir de cifras y fundamentos cualitativos como mapas, proporcionan una amplia gama de evidencia para fortalecer y ampliar los datos de la investigación (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 534).

Por otra parte, en cuanto al objetivo específico 3 se presenta un enfoque cualitativo ya que a través de este se realiza la recolección y análisis de datos de los diferentes planes de prevención de incendios forestales que permitan obtener información simbólica verbal, en forma de texto e imágenes para el desarrollo de la propuesta del plan de prevención (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 7). Así mismo, este tipo de enfoque emplea “técnicas para recolectar datos, como la observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, discusión en grupo, evaluación de experiencias personales, registro de historias de vida, e interacción e introspección con grupos o comunidades” (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 7), por lo tanto las diferentes actividades mencionadas anteriormente serán un aporte para la realización del manual de prevención puesto que cada una proporcionará información para la elaboración de este mismo.

8.2 Alcance

El presente proyecto cuya finalidad es proponer un plan de prevención de incendios forestales para un sector rural del Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá, puntualmente en el municipio de Aquitania, Boyacá, pretenderá ser una herramienta de educación ambiental en torno a la gestión del riesgo de desastres por incendios forestales a nivel municipal. De este modo, se formulará un manual ilustrativo y explicativo dirigido a la comunidad presente en el sector rural de la zona de estudio que tendrá como contenido medidas de prevención de incendios forestales.

Por este motivo, la presente investigación posee tres tipos de alcance por los objetivos específicos a desarrollar. El primer objetivo específico, presenta un alcance descriptivo puesto que “busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 92), para el caso, se pretende recoger y analizar información sobre aspectos económicos, ecológicos y sociales de la zona de estudio, para reconocer las características y condiciones que rigen el territorio actualmente.

Por otro lado, el segundo objetivo específico tiene un alcance correlacional, ya que tiene como propósito medir, cuantificar, analizar y establecer relaciones entre dos o más variables en un contexto particular (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 93). En el caso de esta investigación, se busca establecer la relación entre las variables climáticas, de vegetación y relieve para identificar las áreas más

susceptibles de presentar incendios forestales. Finalmente, el tercer objetivo tiene un alcance explicativo, en vista de que se centra en determinar las causas de los incendios forestales fenómeno y las condiciones en que se manifiesta (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 95). Lo anterior se desarrolla con el fin de establecer medidas de prevención acorde a las condiciones y asociaciones presentes en el territorio.

8.3 Método

En la presente investigación se aplican tres métodos por cada objetivo específico planteado. Para el primer objetivo específico se emplea el método sintético, puesto que se analiza y sintetiza información investigada en campo y fuentes bibliográficas sobre el área de estudio para articular ideas y teorías (Maya, 2014, p. 13). El segundo objetivo específico aplica un método analítico, debido a que se estudia cada una de las variables y cómo influye en la aparición de incendios forestales, con el fin de articularlas en un SIG y obtener las áreas susceptibles al fenómeno (Maya, 2014, p. 13). Finalmente, el último objetivo específico emplea el método deductivo, en vista de que al analizar cada variable por separado, se pretende llegar a conclusiones, en el presente caso, a proponer medidas de prevención acorde a las características del territorio (Maya, 2014, p. 14).

8.4 Técnicas e instrumentos

A continuación se ilustran las técnicas e instrumentos a emplear en cada una de las actividades para dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados.

Tabla 3. Técnica e instrumento de la investigación.

Objetivo general	Objetivos específicos	Actividades	Técnica	Instrumento	Resultados esperados
Proponer un plan de prevención de incendios forestales basado en herramientas de sistema de información geográfica (SIG) en un sector rural del Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá, municipio de Aquitania, Boyacá	Caracterizar el estado actual del PNR Siscunsi-Ocetá (Aquitania) mediante revisión bibliográfica y trabajo en campo, de las condiciones ecológicas, económicas y sociales presentes en la zona.	Revisión bibliográfica.	Análisis documental y de información.	Fuentes de datos como: Planes de Desarrollo, Plan de Manejo del PNR Siscunsi-Ocetá, entre otros.	Informe de caracterización a nivel económico, social y ecológico de la zona de estudio.
		Diseño de entrevistas para la comunidad de la zona de estudio	Adaptación de modelos de entrevistas	Formato de entrevistas	Recopilación de respuestas ante las preguntas semiestructuradas.
		Visita técnica en campo	Observación directa, cartografía social.	Videos, fotografías y diario de campo	Comparar y reconocer la información recolectada en campo de la zona de estudio frente a la revisión

					bibliográfica relacionados con factores económicos, sociales y ecológicos de la zona y los incendios forestales
		Desarrollo de entrevistas para la comunidad de la zona de estudio.	Entrevistas.	Formato de entrevista, diario de campo, cámara fotográfica	Obtener información de la población sobre sus actividades económicas, cuál es su percepción frente a los eventos de los incendios forestales y las medidas de prevención que emplean frente a los incendios.
Identificar las áreas susceptibles a presentar incendios forestales en la zona de estudio mediante herramientas SIG.		Recolección de información climática y del relieve.	Análisis documental y de información.	Bases de datos como IDEAM, imágenes satelitales, Modelos de Elevación Digital (DEM).	Exponer la información climática y del relieve del área de estudio por medio de cartografía.
		Cálculo de índices espectrales.	Comprensión de la metodología para la visualización y procesamiento de bandas espectrales.	Sistemas de Información Geográfica, imágenes satelitales, bandas espectrales.	Exponer los índices NDVI y NDWI mediante cartografía.
		Definir la amenaza por incendios forestales por cada variable a analizar.	Categorización de variables frente a la amenaza por incendios.	Capas shapefile, Sistemas de Información Geográfica.	Conjunto de mapas mediante los cuales se visualice la amenaza a incendios de acuerdo con los índices espectrales, precipitación y pendiente del área de estudio.
		Elaboración del mapa de amenaza por incendios forestales en la zona de estudio.	Cálculo y ponderación de variables frente a la representatividad en la amenaza.	Mapas de los índices NDVI y NDWI, precipitación y pendiente.	Cartografía que evidencie las zonas más propensas a presentar incendios forestales.

		Procesamiento de datos sobre eventos por incendios forestales.	Interpretación de datos de eventos por incendios forestales en la zona de estudio.	Documentación solicitada por PQR a Corpoboyacá.	Tabla que registre los eventos por incendios forestales, ubicación y hectáreas afectadas.
Establecer medidas de prevención de incendios forestales por medio de un manual ilustrativo y explicativo dirigido a la comunidad próxima al sector rural de la zona de estudio.		Investigar y seleccionar las medidas y líneas de acción viables para la propuesta del plan de prevención	Revisión bibliográfica y visita a campo.	Documentos oficiales como: Planes de prevención realizados en otros países. Información recolectada en campo.	Determinar las medidas y líneas de acción para disponer en el plan de prevención.
		Definición de la modalidad de presentación del plan de prevención	Revisión bibliográfica, adaptación de modelos de plan de prevención.	Documentos oficiales, resultados obtenidos, lineamientos del plan de prevención.	Establecer el modelo del manual para presentar el plan de prevención.
		Diseño del plan de prevención	Revisión bibliográfica, desarrollo del contenido ilustrativo y explicativo.	Software del diseño, imágenes, información recolectada y analizada.	Diseñar el manual explicativo e ilustrativo de acuerdo con las medidas de prevención a proponer.

Fuente: Elaboración propia.

8.5 Unidad de análisis

Amenaza de incendios forestales en el Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá, municipio de Aquitania, Boyacá.

8.6 Metodología por objetivo

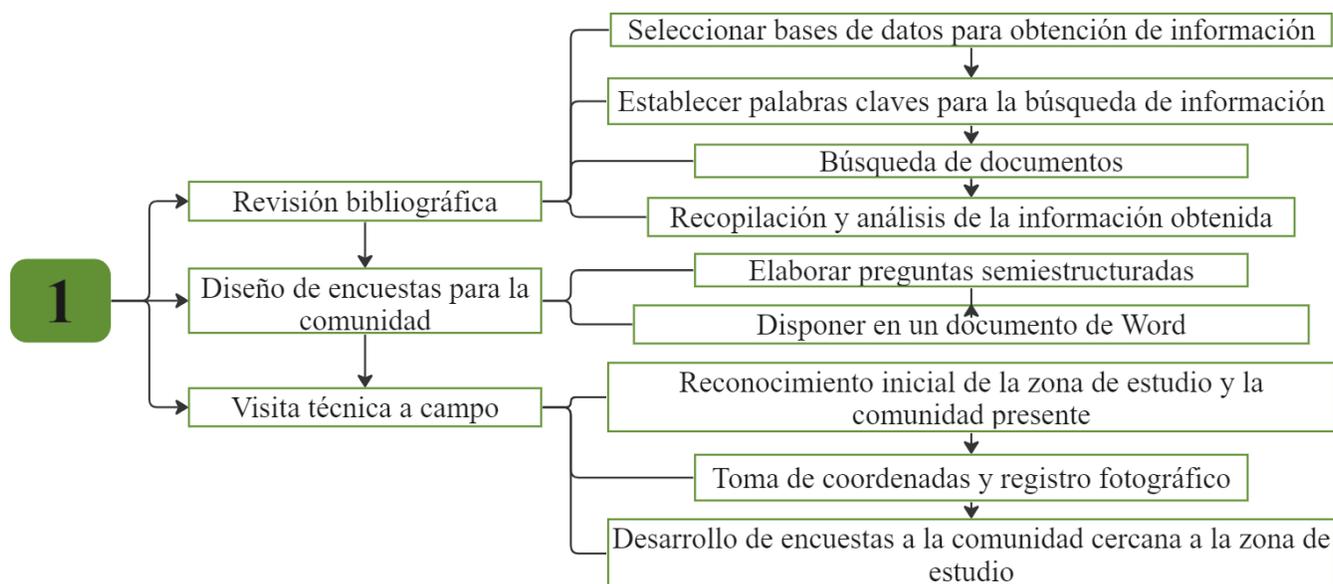
8.6.1 Objetivo específico 1

Con el propósito de desarrollar el primer objetivo específico, el cual es “*Caracterizar el estado actual del PNR Siscunsi-Ocetá (Aquitania) mediante revisión bibliográfica y trabajo en campo, de las condiciones ecológicas, económicas y sociales presentes en la zona*”, se plantea realizar revisión bibliográfica basada en la selección de base de datos, planteamiento de palabras clave y su posterior búsqueda, recopilación y análisis de la información obtenida. Luego, se propone el diseño de

entrevistas para la comunidad y entidades de la zona de estudio, el cual consta de la elaboración de preguntas semiestructuradas. Finalmente, se plantea una visita técnica a campo con el fin de realizar un reconocimiento inicial de la zona de estudio, toma de coordenadas y registro fotográfico y desarrollar las entrevistas a la comunidad, para ello se requiere de diarios de campo, cámara fotográfica y GPS.

A continuación se evidencia mediante un diagrama de flujo, la metodología anteriormente descrita para el objetivo específico 1.

Figura 3. Metodología objetivo específico 1.



Fuente: Elaboración propia.

8.6.2 Objetivo específico 2

El segundo objetivo específico, el cual es “Identificar las áreas susceptibles a presentar incendios forestales en la zona de estudio mediante herramientas SIG”, está constituido por 3 fases principales: 1) Obtención y procesamiento de información por cada variable a analizar (índices espectrales, precipitación y pendiente); 2) Elaboración del mapa de amenaza por incendios forestales en la zona de estudio; 3) Procesamiento de datos sobre eventos por incendios forestales.

8.6.2.1. Obtención y procesamiento de información por cada variable

➤ Variable climática: Precipitación

Frente a esta variable climática, se lleva a cabo la descarga de una imagen satelital con información acumulada de precipitación para la zona de estudio, en el periodo comprendido de 2016 a 2022, en formato NetCDF de la interfase web de la NASA “Giovanni”. Luego, se realiza la interpolación de los valores en QGIS y el recorte de la información obtenida al polígono del PNR Siscunsi - Océta correspondiente al municipio de Aquitania.

➤ *Variable de relieve: Pendiente*

En primera instancia, se lleva a cabo la descarga de un Modelo de Elevación Digital (DEM) de 90 m por medio de la plataforma EOC Geoservice sobre el área de estudio. Posteriormente, se realiza el recorte del DEM al polígono del PNR Siscunsi - Ocetá y por medio de la herramienta de procesamiento de QGIS “*Pendiente*”, se elabora el mapa de pendientes.

➤ *Índices espectrales*

En principio, se realiza la descarga de imágenes satelitales Landsat 8, por medio del portal de datos USGS Earth Explorer, de la zona de estudio para los años comprendidos entre 2016 y 2022. Posteriormente, se calculan los índices espectrales NDVI y NDWI en el software QGIS mediante la herramienta de procesos “*Raster calculator*” y se operan matemáticamente cada una de las bandas descargadas. Este proceso se realiza anualmente, abarcando el período anteriormente mencionado.

En particular para determinar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), se emplea la ecuación 1, donde se relacionan la banda multiespectral 4 (Red) y la banda 5 (NIR), de acuerdo con lo establecido por Landsat 8 (Dávila Sguerra, 2023, p. 179):

Ecuación 1. *Ecuación para cálculo NDVI*

$$NDVI = \frac{Banda\ 5\ (NIR) - Banda\ 4\ (Red)}{Banda\ 5\ (NIR) + Banda\ 4\ (Red)}$$

Por otra parte, para determinar el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI), se realiza aplicando el Método de McFeeters (1996), en que se relaciona la banda multiespectral 3 (Green) y la banda 5 (NIR), de acuerdo con lo establecido por Landsat 8, a partir de la ecuación (Dávila Sguerra, 2023, p. 178):

Ecuación 2. *Ecuación para cálculo NDWI*

$$NDWI = \frac{Banda\ 3\ (Green) - Banda\ 5\ (NIR)}{Banda\ 3\ (Green) + Banda\ 5\ (NIR)}$$

Posteriormente, se realiza el recorte de los índices espectrales calculados al polígono del PNR Siscunsi - Ocetá correspondiente al municipio de Aquitania. Adicionalmente, se ajusta la simbología de los mapas generados de acuerdo con la escala de color establecida para cada índice espectral. Finalmente se realiza un promedio para cada índice, con el objetivo de obtener una visión general de la información.

8.6.2.2. *Elaboración del mapa de amenaza por incendios forestales en la zona de estudio.*

Esta fase consiste en la elaboración del mapa de amenaza por incendios forestales a partir de una reclasificación de las variables anteriormente procesadas en valores de 1, 2, 3 y 4, correspondientes a las categorías de amenaza (Muy Alta, Alta, Media y Baja). Para ello, se toma como referencia el “Protocolo para la realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a incendios de la cobertura

vegetal” realizado por el IDEAM (IDEAM, 2011b, p. 25). Después, se asigna un porcentaje de cada variable en función de su influencia en la amenaza por incendios forestales (Tabla 4).

Tabla 4. *Ponderación de variables*

Variable	Porcentaje (%)
Índice de Vegetación de Diferencia no Normalizada (NDVI)	30
Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)	30
Precipitación	35
Pendiente	5

Fuente: Elaboración propia.

Con base en los porcentajes, se emplea la ecuación 3 en la herramienta “*Raster calculator*”, con el fin de realizar el mapa de amenaza por incendios forestales en el PNR Siscunsi - Ocetá correspondiente al municipio de Aquitania.

Ecuación 3. *Ecuación para cálculo de amenaza*

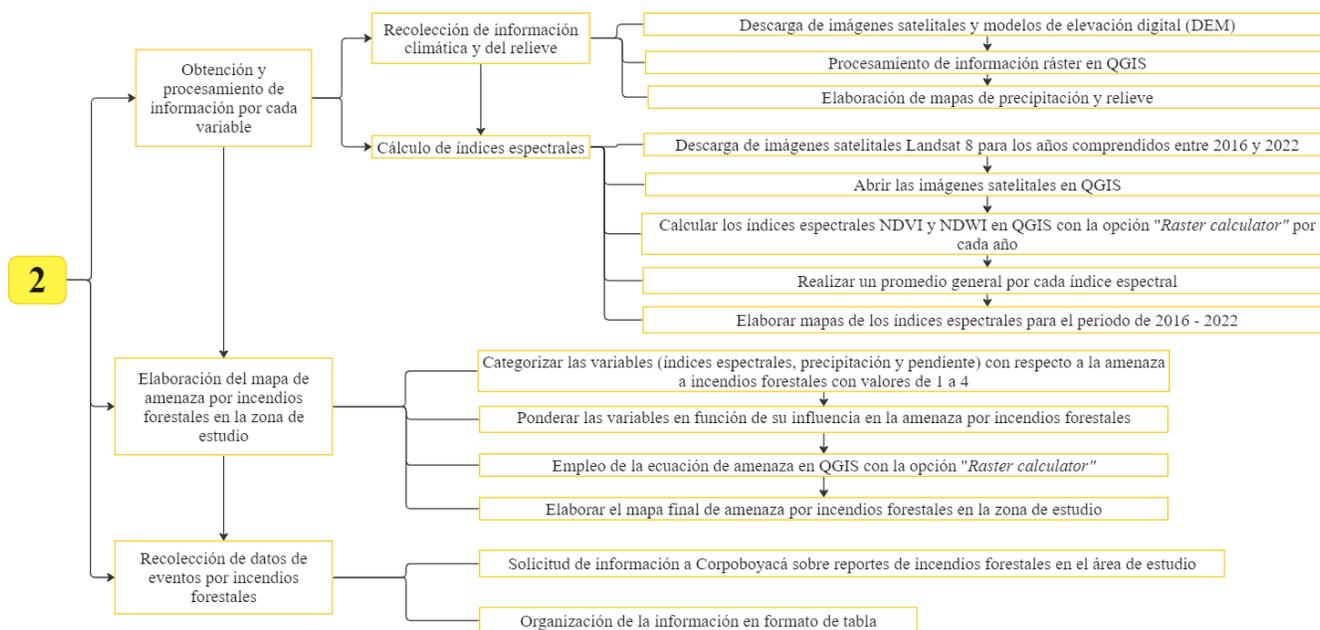
$$Amenaza = [(NDVI * 0,30) + (NDWI * 0,30) + (Precipitación * 0,35) + (Pendiente * 0,05)]$$

8.6.2.3. *Procesamiento de datos sobre eventos por incendios forestales.*

En vista de que la información disponible en la literatura y páginas oficiales del área de estudio sobre reportes de incendios forestales es limitada, se envía una Petición, Queja y Reclamo (PQR) a la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá), con el objetivo de obtener información detallada sobre los eventos por incendios forestales en el área de estudio. Posterior a ello, se organiza la información en un formato de tabla, donde se enlista cada evento de incendio, con su respectiva ubicación y hectáreas de pérdida de cobertura vegetal.

A continuación se evidencia mediante un diagrama de flujo, la metodología anteriormente descrita para el objetivo específico 2.

Figura 4. Metodología objetivo específico 2.



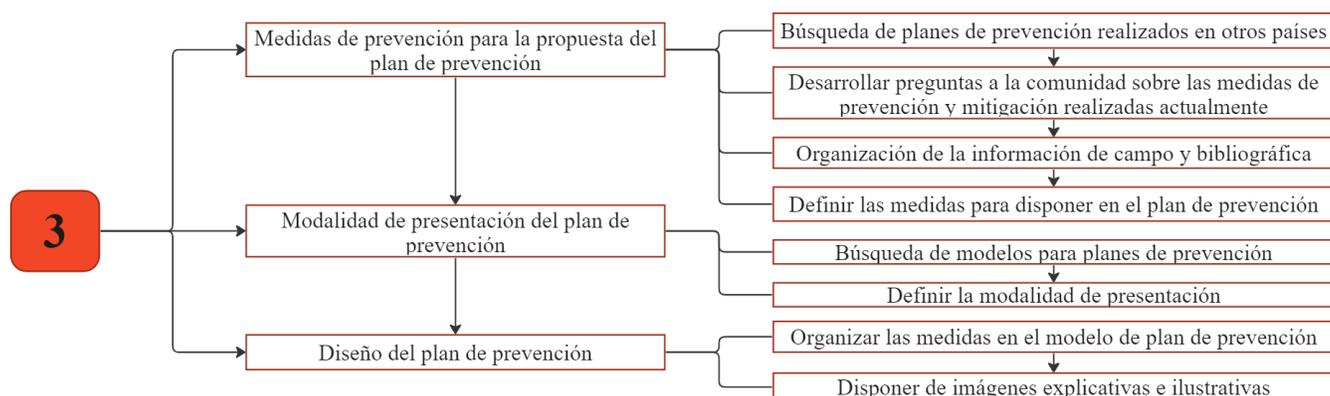
Fuente: Elaboración propia.

8.6.3 Objetivo específico 3

El tercer objetivo específico corresponde a “Establecer medidas de prevención de incendios forestales por medio de un manual ilustrativo y explicativo dirigido a la comunidad próxima al sector rural de la zona de estudio”, para ello se propone la búsqueda en fuentes secundarias sobre planes de prevención de incendios forestales realizados en otros países, luego organizar la información adquirida en campo y bibliográfica para posteriormente definir las medidas de prevención acorde a las condiciones y características del territorio propuesto en la presente investigación. Finalmente, se diseña el plan de prevención, el cual contendría las medidas acordadas, imágenes explicativas e ilustrativas, lo anterior mediante un software.

A continuación se evidencia mediante un diagrama de flujo, la metodología anteriormente descrita para el objetivo específico 3.

Figura 5. Metodología objetivo específico 3.

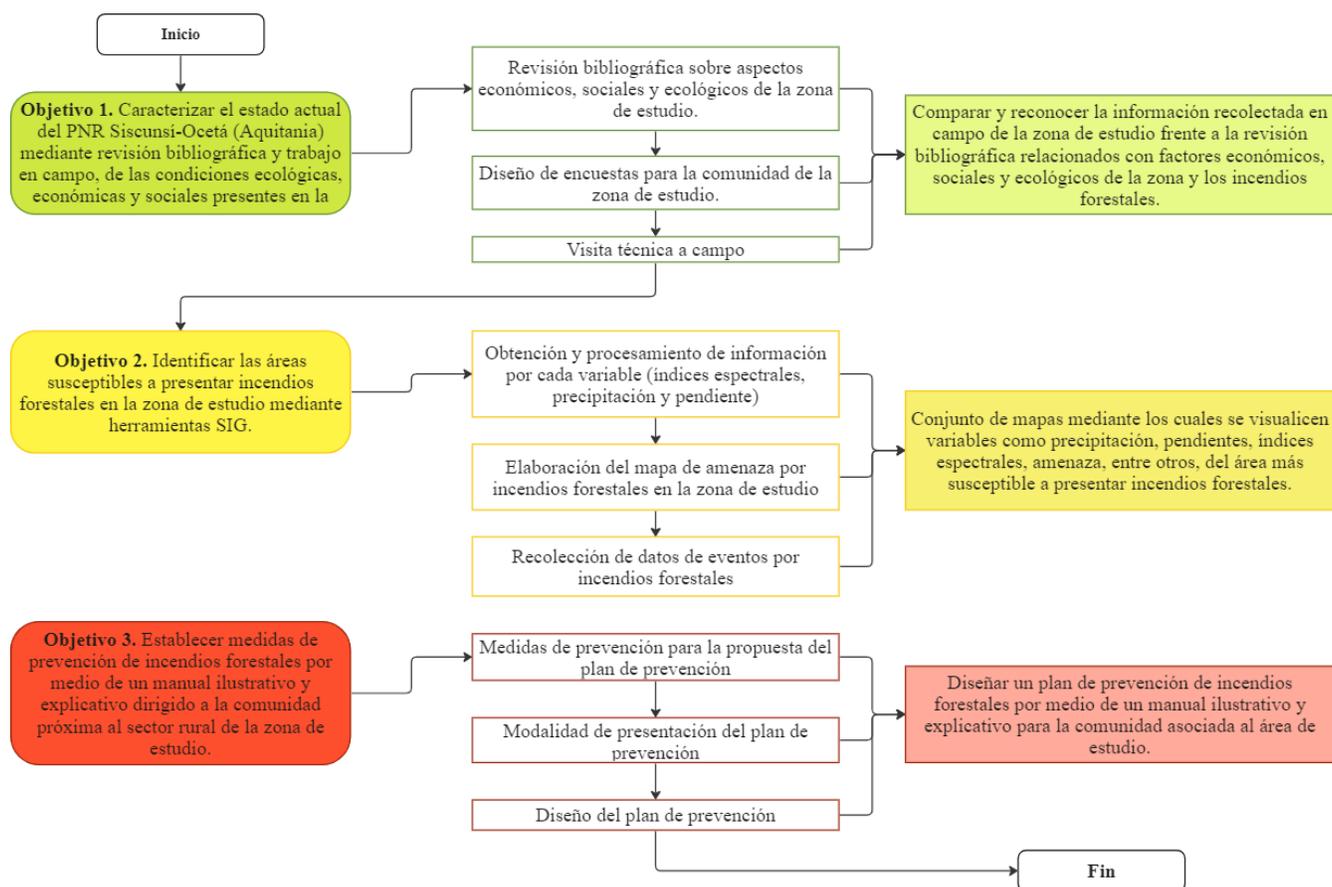


Fuente: Elaboración propia.

9. Plan de trabajo

A continuación se ilustra el plan de trabajo propuesto para la presente investigación, el cual se encuentra dividido en 3 principales fases diferenciadas por colores, para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

Figura 6. Plan de trabajo del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

10. Aspectos éticos

Con el objetivo de desarrollar las metodologías y técnicas propuestas se plantearon compromisos u obligaciones para la ejecución de los objetivos planteados en la presente investigación. Adicionalmente, es relevante destacar que la información contenida y analizada en el documento es producto de la investigación de los autores, con base en fuentes primarias y secundarias como documentos científicos, investigaciones, documentación institucional, normatividad, información adquirida en campo, entre otros, la cual es debidamente referenciada en el documento de acuerdo con las normas aprobadas según el reglamento de la División de Investigaciones de la Universidad, evitando incurrir en plagio.

De igual forma, como se prevé dentro de la metodología de la investigación, las visitas técnicas a campo para la recolección de información son acordadas previamente con los actores estratégicos que se encuentran relacionados directamente con la problemática y la propuesta de investigación. A su vez, las preguntas y temáticas abordadas en cada intervención con los actores, fueron tratadas con total transparencia y coherencia, y además fue comunicado el propósito de la visita de campo y el tratamiento de la información a nivel académico.

11. Resultados

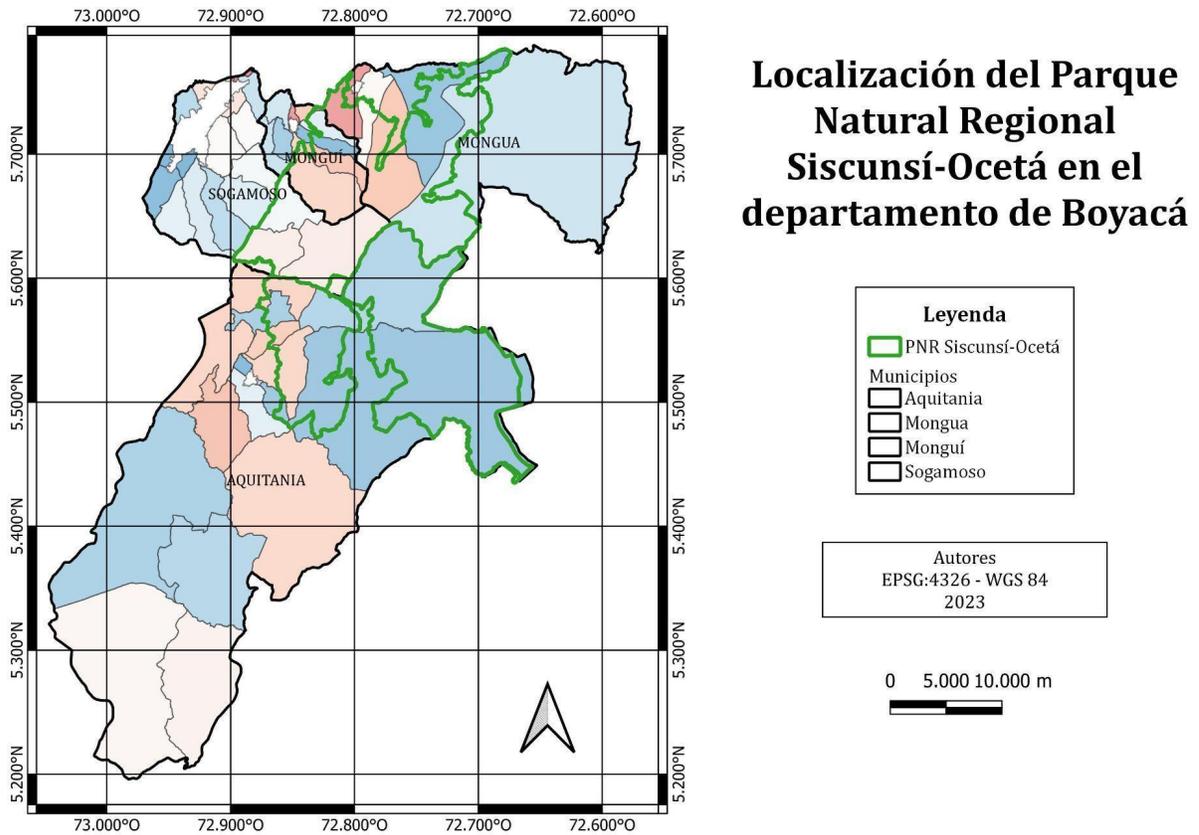
11.1. Caracterizar el estado actual del PNR Siscunsi-Ocetá (Aquitania) mediante revisión bibliográfica y trabajo en campo, de las condiciones ecológicas, económicas y sociales presentes en la zona

Dentro de la caracterización del estado actual del PNR Siscunsi - Ocetá se presentan las condiciones ecológicas (factores bióticos y abióticos), económicas y sociales que determinan e influyen dentro del territorio. A continuación, se describen dichas características.

➤ Ubicación geográfica

El Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá se encuentra localizado en el departamento de Boyacá con un área de 49793.50 hectáreas, en jurisdicción de los municipios: Aquitania, Sogamoso, Monguí y Mongua (ver Figura 7). Adicionalmente, el municipio con mayor participación dentro del área protegida es Aquitania con un 51.3 % y el que tiene menor representación es Monguí con un 9% (Corpoboyaca, 2018, p. 37).

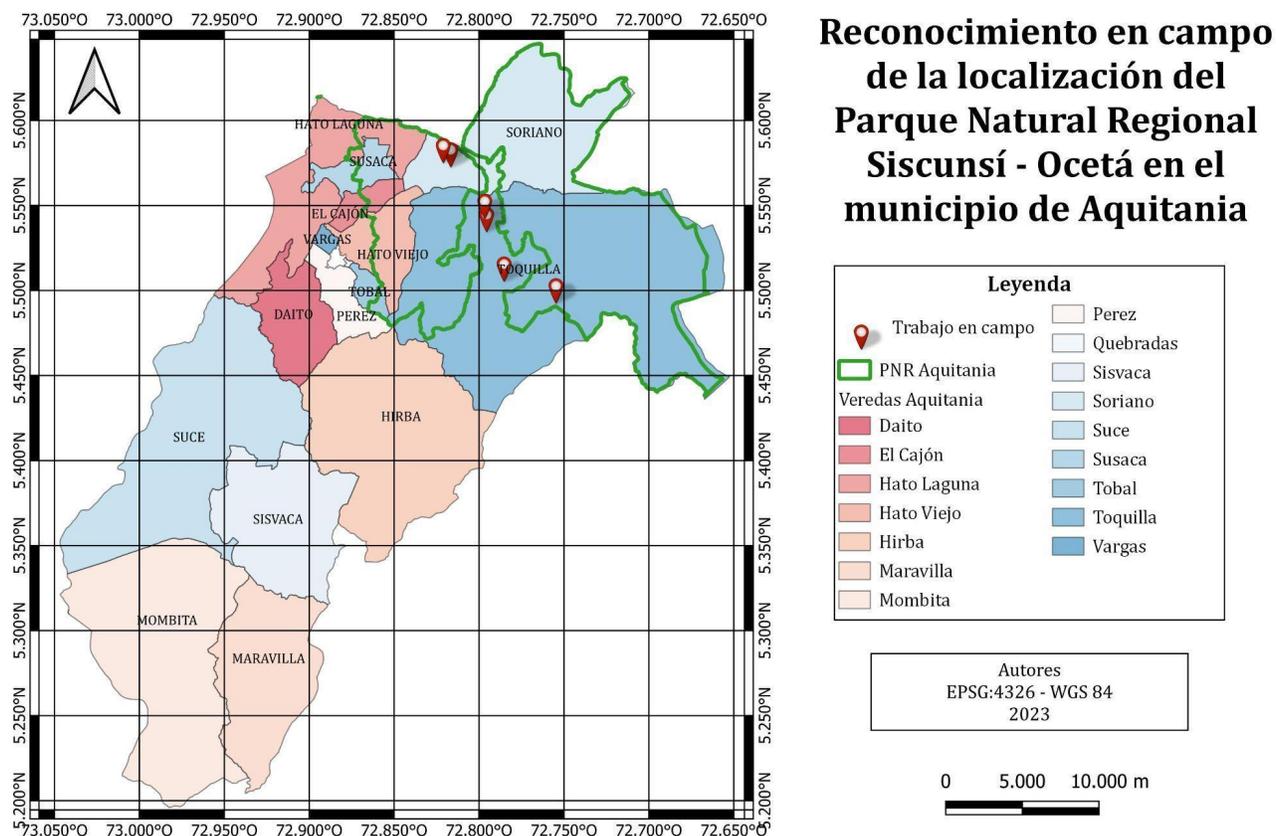
Figura 7. Localización del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá en el departamento de Boyacá



Fuente: Elaboración propia.

En particular, el municipio de Aquitania posee mayor número de veredas en el área protegida, representando el 51,3%, dentro del cual Toquilla y Soriano son las veredas más representativas, con 29,32% y 14,22% respectivamente (ver Figura 8) (Corpoboyaca, 2018, p. 41).

Figura 8. Reconocimiento en campo de la localización del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá en el municipio de Aquitania

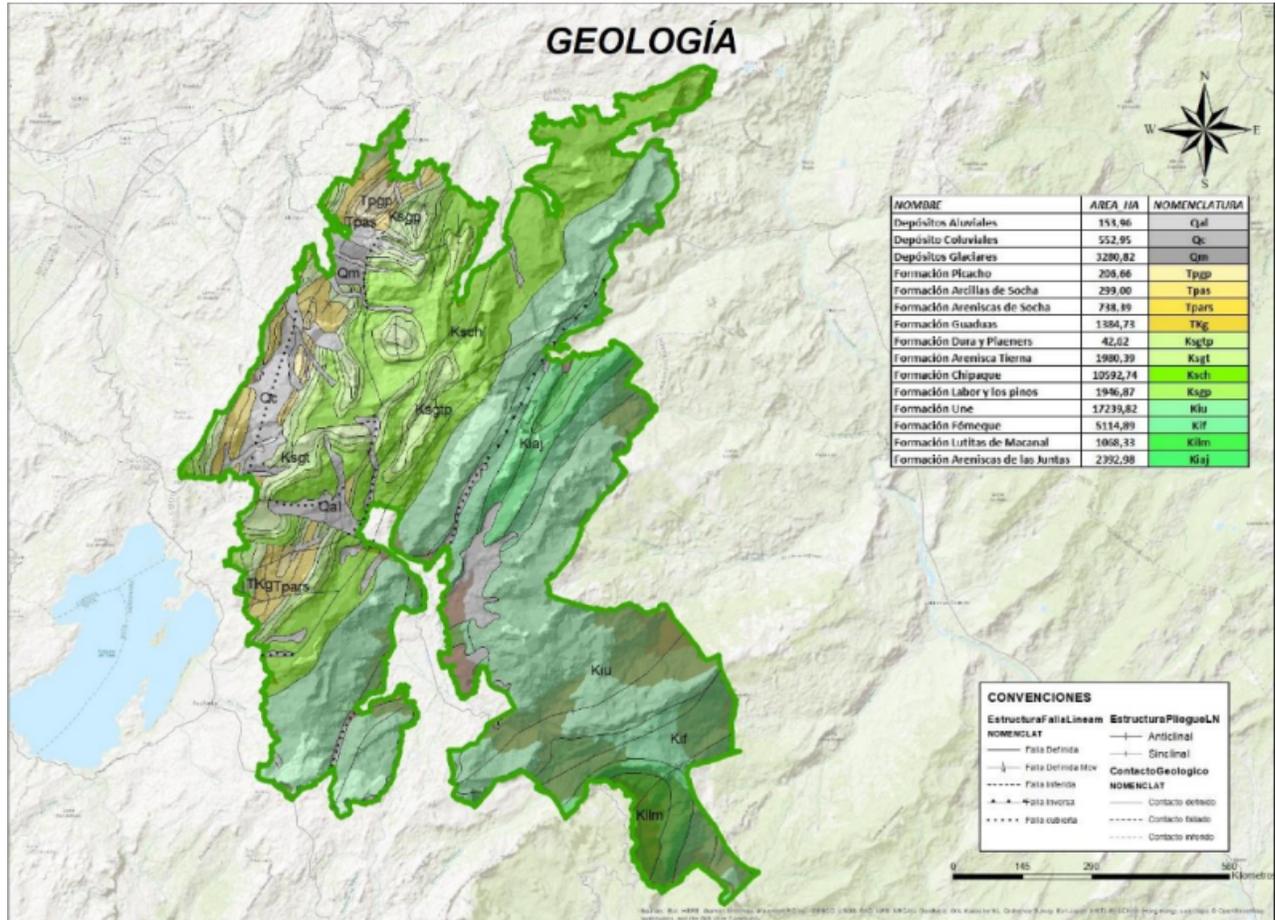


Fuente: Elaboración propia.

➤ *Geología*

El Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá se encuentra localizado en la Cordillera Oriental, la cuál se caracteriza por presentar afloramientos de rocas sedimentarias cretácicas y en algunos sectores cubiertas por depósitos sedimentarios cuaternarios de origen coluvial y aluvial (Corpoboyaca, 2018, p. 55). En el siguiente mapa se ilustra la geología del área protegida, en la cual se destaca la afloración en una alta proporción de la formación Une en el municipio de Aquitania, alcanzando 17.240 Ha, es decir ocupa el 34.6% (Corpoboyaca, 2018, p. 55).

Figura 9. Geología del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá en el departamento de Boyacá



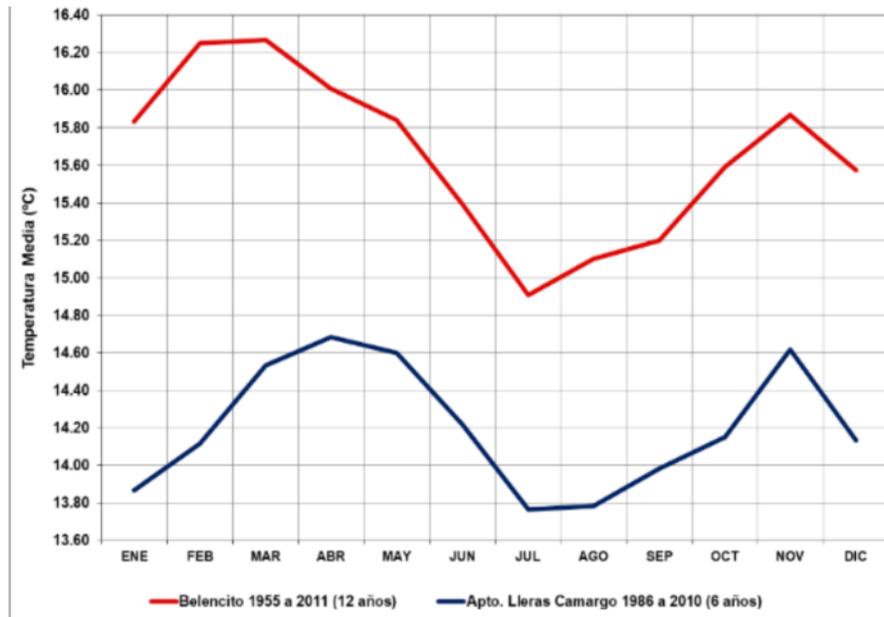
Fuente: (Corpoboyaca, 2018)

➤ *Clima*

El componente climático contiene parámetros como precipitación, temperatura, humedad relativa, vientos, entre otros. El departamento posee 5 estaciones meteorológicas tipo PM (pluviométrica) y tipo PG (pluviográfica). Para el caso de la temperatura media anual, las estaciones Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo registran datos de temperatura de 15.7°C y 14.2°C, siendo los meses de marzo, abril y noviembre los de mayor temperatura media, mientras que los meses de menor temperatura son enero, julio y agosto (Corpoboyaca, 2018, p. 93).

La siguiente gráfica muestra la distribución de temperatura media mensual multianual de las estaciones Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo proporcionada por el IDEAM.

Figura 10. Distribución de temperatura media mensual multianual en el del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá

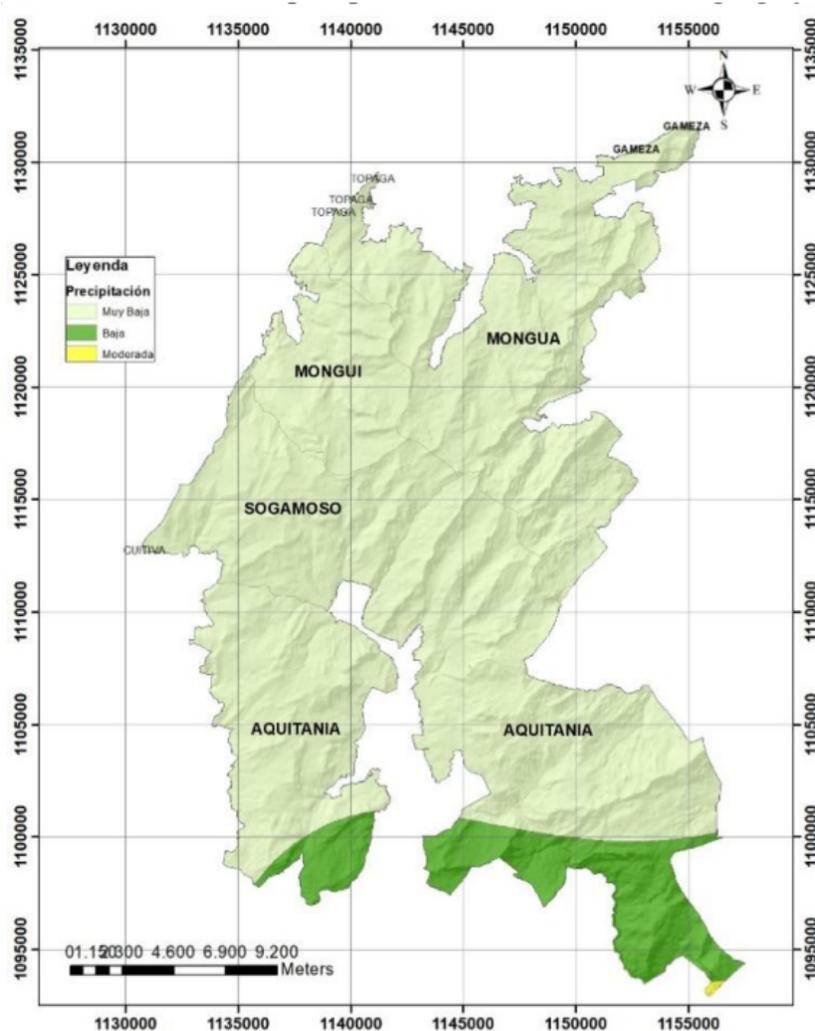


Fuente: (Corpoboyaca, 2018, p.93)

Por otra parte, la humedad relativa registrada en las estaciones Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo muestra una distribución de tipo bimodal durante el año, la cual se destacan mayores valores de humedad durante los meses de Abril y Mayo en el primer semestre y octubre en el segundo, mientras que los meses de Enero y Febrero son los de menor humedad relativa (Corpoboyaca, 2018, p. 95).

En cuanto a la precipitación en el Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá se presenta en temporadas invernales las cuales se caracterizan por variables que se encuentran definidas por la duración, la intensidad y la distribución espacial que posea el área protegida (Corpoboyaca, 2018, p. 339). Por tal motivo, se debe mencionar que la relación lluvia-deslizamiento es diferente de un sitio a otro dado que depende de las condiciones que se desarrollen en la zona de estudio, como el tipo de suelo, la humedad y la topografía, entre otras que se presenten en la zona. Considerando que en el PNR Siscunsi-Ocetá no existen datos de deslizamientos naturales que tengan relación con las lluvias se toman en cuenta los valores del mapa que se encuentra a continuación (Corpoboyaca, 2018, p. 339).

Figura 11. *Precipitación del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá*



Fuente: (Corpoboyaca, 2018, p. 339)

➤ *Hidrología*

El Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá posee un área total de subcuencas de 582.7 Km², dentro de las cuales se encuentran los cuerpos lénticos, caracterizados por lagunas ubicadas en zonas de páramo, puesto que es donde inician los nacedores de las corrientes hídricas. Por otra parte, se analiza que la mayor demanda de agua en el parque se dirige al uso piscícola, posteriormente del uso doméstico y en menor porcentaje las demandas agrícola y pecuaria al mismo nivel (Corpoboyaca, 2018, p. 107).

Por otra parte, se identifican 1,330 humedales, los cuales se encuentran representados por espejos de agua, pantanos, chucuas y similares. Estos ecosistemas en su mayoría se localizan en zona de cobertura de páramo con un porcentaje de 35,79%, seguido de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales con un 28,20% y el mosaico de pastos y cultivos representando el 26,77% (Corpoboyaca, 2018, p. 130).

➤ *Cobertura vegetal*

Dentro del área del PNR Siscunsi - Ocetá se identifican 5 unidades de coberturas de bosques y áreas seminaturales, 2 unidades de coberturas de territorios agrícolas y 1 unidad de cobertura con superficies de agua. En las figuras, se evidencia el tipo de cobertura con su respectiva área en hectáreas y el porcentaje que representa, en la cual se destaca la cobertura de tipo herbazal denso de tierra firme (Corpoboyaca, 2018, p. 158).

Figura 12. *Relación de coberturas del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsi - Ocetá*

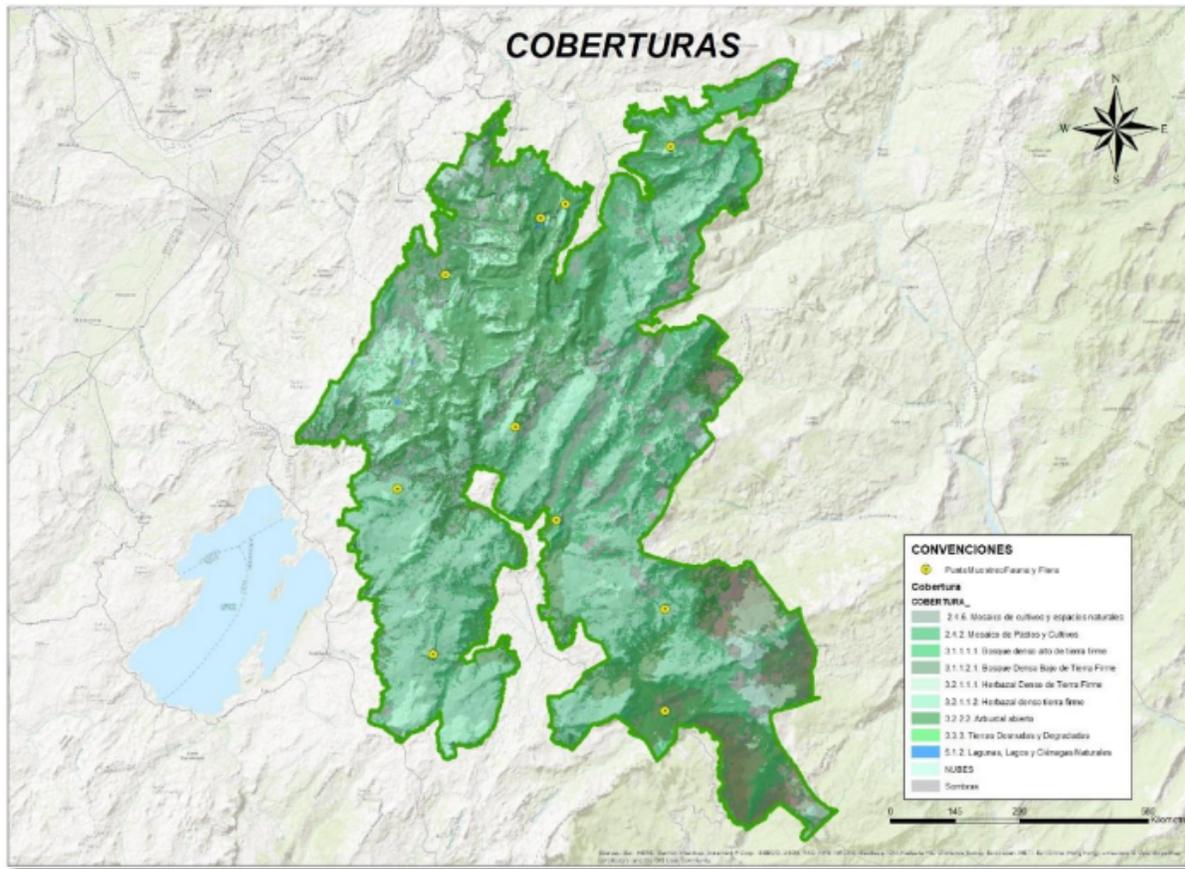
Cobertura	Área en ha	%
2.4.2. Mosaico de Pastos y Cultivos	13272.79	26.66%
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5424.19	10.89%
3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	37.95	0.08%
3.1.1.2.1. Bosque Denso Bajo de Tierra Firme	2423.12	4.87%
3.2.1.1.1. Herbazal Denso de Tierra Firme	16358.65	32.85%
3.2.2.2. Arbustal abierto	9423.50	18.93%
3.3.3. Tierras Desnudas y Degradadas	36.42	0.07%
5.1.2. Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales	23.43	0.05%
Nubes y Sombras	2793.45	5.61%
Total	49793.50	100.00%

Fuente: (Corpoboyaca, 2018, p. 158)

En la cobertura herbazal denso de tierra se presentan 39 especies de flora (82,98 del total), en el bosque denso alto de tierra firme 16 especies (34,04%) y 8 especies (17,02%) se encuentran en los dos tipos de coberturas estudiadas. Por otra parte, en el bosque denso alto de tierra firme las especies más abundantes son: el encenillo macho (*Weinmannia tomentosa*), el romero paramuno (*Diplostephium floribundum*) y el encenillo montaño (*Weinmannia fagaroides*) (Corpoboyaca, 2018, p. 158).

Por el contrario, en el herbazal denso de tierra firme las especies más abundantes pertenecen a la familia *Asteraceae*, la cual está constituida por el frailejón botón de oro (*Espeletia grandiflora*), el frailejón común (*Espeletia argentea*) y el frailejón alto (*Espeletia chocontana*).

Figura 13. Cobertura actual de la tierra y localización de los puntos de muestreo de fauna y flora en el área protegida PNR Unidad Biogeográfica Siscunsi-Ocetá



Fuente: (Corpoboyaca, 2018, p. 157)

➤ *Ecosistemas*

Los ecosistemas del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá se localizan en el orobioma andino de la cordillera Oriental (altiplano Cundiboyacense) del zonobioma húmedo tropical, con un total de 110 ecosistemas, donde su origen radica del tipo de cobertura vegetal, clima y la geomorfología. Estos ecosistemas abarcan una superficie de 28.266,65 ha, representando el 56,77% de la extensión del PNR (Corpoboyaca, 2018, p. 206). Por el contrario, la superficie restante del PNR se encuentra cubierta por ecosistemas transformados como mosaico de pastos y cultivos, mosaico de cultivos y espacios naturales y tierras desnudas y degradadas.

➤ *Conflicto de suelos*

En el área protegida, el 56,78% del área posee un uso adecuado del suelo, puesto que dichas áreas cuentan con vegetación natural y son consideradas como conservación (incluyendo las superficies de agua como son lagunas y humedales); sin embargo, el 37,62% del área se encuentra en uso inadecuado, dado que son empleadas para desarrollar actividades agropecuarias y plantaciones forestales, sin tener en consideración que dicho territorio tiene como vocación la preservación (Corpoboyaca, 2018, p.

210). Adicionalmente, hay un 5.61% del área, cuyo uso no puede ser clasificado por cuanto corresponden a nubes y sombras.

➤ *Trabajo en campo*

De igual manera, durante el trabajo en campo se realizaron entrevistas dirigidas a la comunidad perteneciente a la zona de estudio y entidades que poseen jurisdicción en Aquitania, las cuales fueron: Defensa civil, Secretaría de Planeación, Unidad de Servicios Públicos y Empresa turística. Dicha entrevista abordó temas referentes al lugar de origen del entrevistado, su conocimiento sobre el Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá y finalmente conocer la percepción de los mismos frente a los incendios forestales y su prevención.

De este modo, se entrevistaron cinco personas de la vereda de Toquilla (Aquitania) y Las Cañas (Sogamoso) y una persona por cada entidad anteriormente mencionada, dando así un total de 9 personas entrevistadas. Respecto al total de la población entrevistada, se obtuvo como resultado que el 66,67% de las personas son oriundas de Aquitania y residen en este municipio, mientras que el 33,33% son de Sogamoso (ver Figura 14). Adicionalmente, el 88,89% de los entrevistados conocen el páramo perteneciente al Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá a pesar de no visitarlo frecuentemente y el 11,11% no lo conocen. Por otro lado, el 100% de las personas entrevistadas han presenciado algún evento de incendio forestal durante su residencia en Aquitania y Sogamoso.

Figura 14. *Lugar de origen de las personas entrevistadas*



Elaboración propia

Respecto a las preguntas efectuadas a la comunidad perteneciente a la zona de estudio, se obtuvo como resultado que las principales actividades que se realizan al visitar el páramo son: pesca deportiva (1 persona), visita de lote con ganado (1 persona) y ocio (2 personas) (ver Figura 15). Así mismo, las cinco personas de las veredas aseguran que no han recibido información (campañas o capacitaciones) por parte de la alcaldía o alguna otra entidad referente a la prevención de incendios. De igual forma, están de acuerdo con la importancia de adoptar medidas y acciones de prevención frente a los incendios forestales. Igualmente, les gustaría recibir información por medio de un manual ilustrativo y explicativo de carácter físico como se plantea en el presente proyecto de investigación.

Figura 15. *Actividades realizadas por la comunidad al visitar el PNR Siscunsi - Ocetá*



Elaboración propia

Con relación a las preguntas efectuadas a las entidades de Aquitania, se destaca que no se realiza monitoreo constantemente al PNR Siscunsi-Ocetá, por el contrario, es el deber de Corpoboyacá efectuarlo, además no han sido capacitados por esta entidad sobre la gestión del riesgo. Por el contrario, las medidas de prevención y mitigación son responsabilidad de dichas entidades superiores frente a los incendios forestales dentro del territorio en jurisdicción, dentro de las cuales se mencionan: proyecto de sembrar frailejones y vegetación nativa en el eje ambiental; capacitaciones a colegios sobre la importancia del agua, de los frailejones y el cuidado de los páramos; campañas de prevención en la zona rural y urbana, especialmente en la vereda Suce, Hato Viejo, Pérez y Toquilla; recomendaciones a los turistas al visitar el páramo. Finalmente, los entrevistados concordaron que es importante elaborar un plan de prevención de incendios forestales para Aquitania.

11.2. Identificar las áreas susceptibles a presentar incendios forestales en la zona de estudio mediante herramientas SIG

11.2.1. Índices espectrales

Con base en el procesamiento de las imágenes satelitales del área de estudio obtenidas del satélite Landsat 8, para el periodo de tiempo de 2016 a 2022, se obtuvieron inicialmente los índices NDVI y NDWI.

➤ Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

De acuerdo con la ecuación 1, para determinar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se emplearon las bandas multiespectrales 4 (Red) y 5 (NIR), de ello se obtuvo el estado y salud de la vegetación. Este procedimiento se llevó a cabo anualmente, desde 2016 hasta 2022, con el propósito de analizar el promedio del índice NDVI durante el periodo de tiempo mencionado.

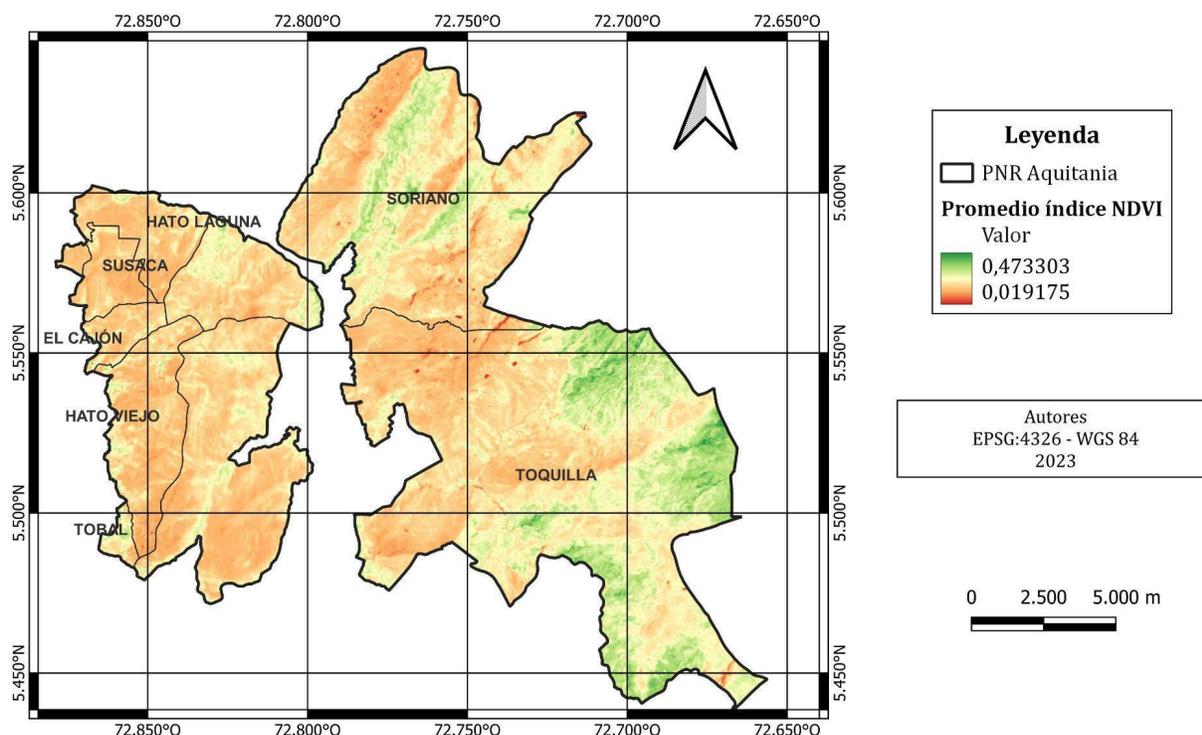
Los resultados se representan por medio de una simbología específica (Escala rojo-verde), donde cada color representa un rango específico de valores. Las tonalidades de color rojo, señalan que las áreas

corresponden a suelo expuesto, vegetación escasa/muerta y/o objetivos inanimados, por otra parte, las tonalidades de color piel o naranjas corresponden a la vegetación medianamente sana, mientras que todos los tonos de verde indican la presencia de una cobertura de vegetación densa y saludable (Dávila Sguerra, 2023, p. 82).

A continuación, en la Figura 16 se evidencia la cartografía obtenida para el promedio del índice de vegetación NDVI en el área de estudio durante el periodo de 2016 al 2022.

Figura 16. Mapa Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania. Periodo 2016 - 2022.

**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el PNR
Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania.
Periodo 2016 - 2022**



Fuente: Elaboración propia.

➤ *Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)*

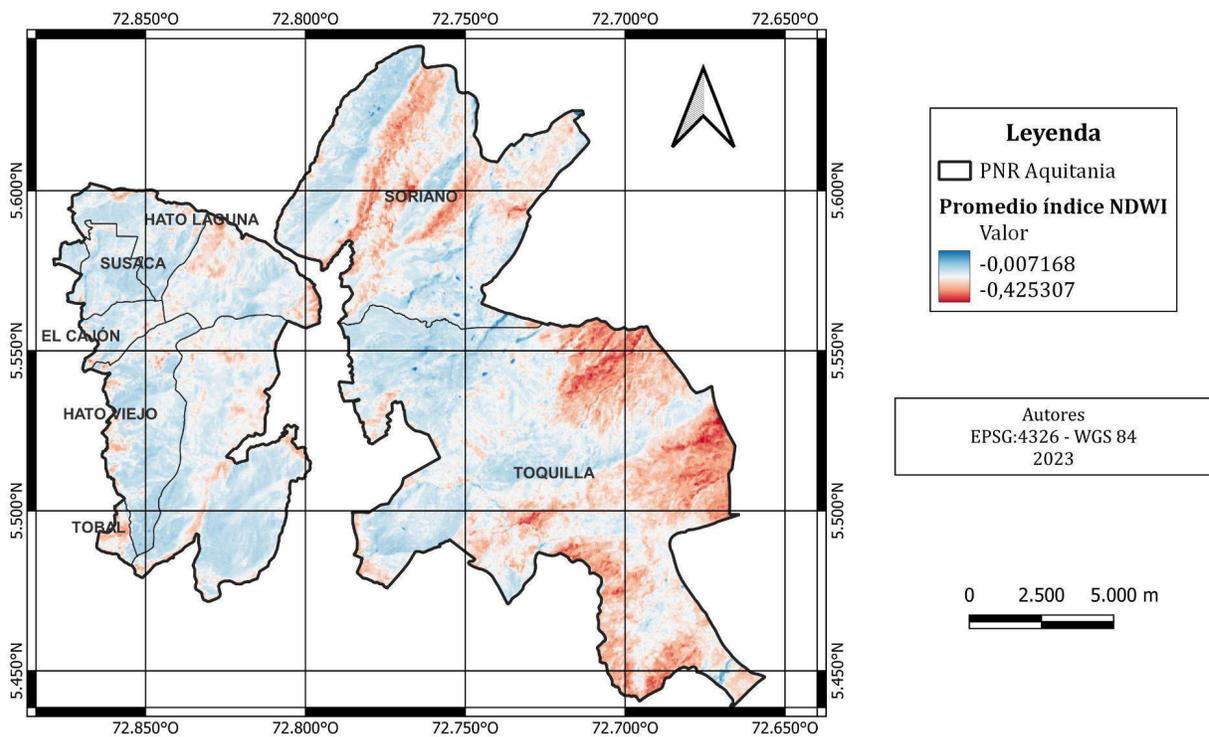
Con base en la ecuación 2, para determinar el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) se emplearon las bandas multispectrales 3 (Green) y 5 (NIR), de ello se identifica el estrés hídrico de las plantas. Este procedimiento se llevó a cabo anualmente, desde 2016 hasta 2022, con el propósito de analizar el promedio del índice NDVI durante el periodo de tiempo mencionado.

Los resultados se representan por medio de una simbología específica (Escala rojo-azul), donde cada color representa un rango específico de valores. Las tonalidades de color azul, corresponden a un alto contenido en agua de la vegetación y a una alta cobertura de la fracción vegetal, mientras que los tonos de color rojo indican un bajo contenido en agua de la vegetación y a una baja cobertura de la fracción de vegetación (JRC European Commission, 2011, p. 4).

A continuación, en la Figura 17 se evidencia la cartografía obtenida para el promedio del índice de agua NDWI en el área de estudio durante el periodo de 2016 al 2022.

Figura 17. Mapa Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) en el PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania. Periodo 2016 - 2022.

**Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) en el PNR Siscunsi -
Ocetá, municipio de Aquitania.
Periodo 2016 - 2022**



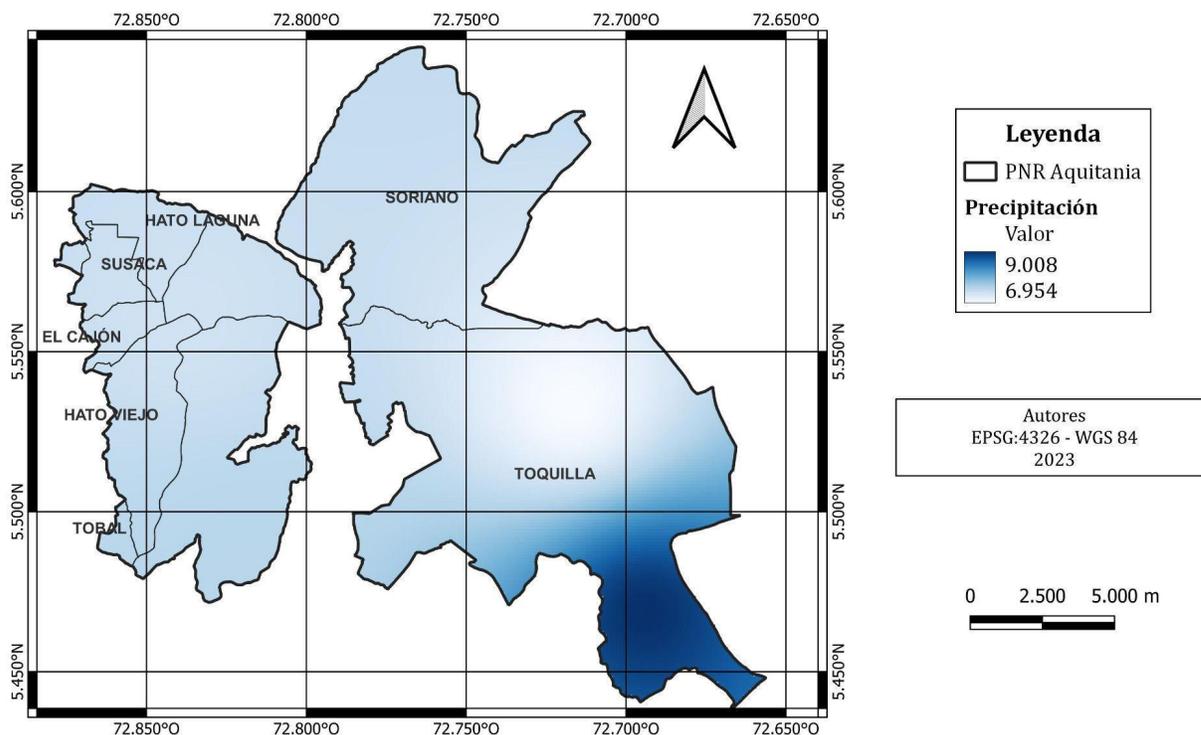
Fuente: Elaboración propia.

11.2.2. Variable climática: Precipitación

A partir de la interpolación de los datos de precipitación en mm/mes en el periodo de 7 años (2016 - 2022) del área de estudio, se obtuvo el mapa de precipitaciones (ver Figura 18), con valores comprendidos entre 6.954 mm/mes, con tonalidades azul claro en la zona norte del PNR y 9.008 mm/mes con tonalidades azul oscuro específicamente en la vereda de Toquilla.

Figura 18. Mapa de precipitación del PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania. Periodo 2016 - 2022.

Mapa de precipitación del PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania



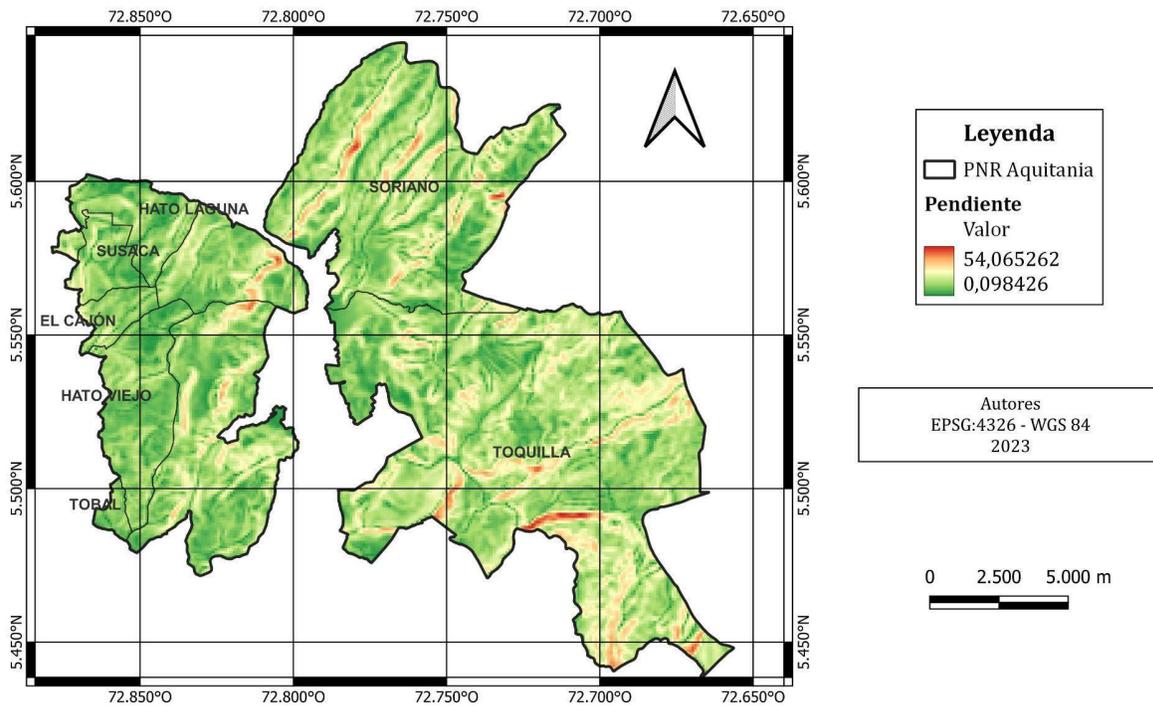
Fuente: Elaboración propia.

11.2.3. Variable de relieve: Pendiente

Por medio del modelo digital de elevación (DEM) del área de estudio, se obtiene el mapa de pendientes (ver Figura 19), en el cual se observan en color rojo las áreas con mayores pendientes y en color verde las áreas con pendientes bajas.

Figura 19. Mapa de pendientes del PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania.

Mapa de pendientes del PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania



Fuente: Elaboración propia.

11.2.4. Evaluación de la amenaza

De acuerdo con los mapas obtenidos anteriormente y el Protocolo para la realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a incendios de la cobertura vegetal realizado por el IDEAM (IDEAM, 2011b, p. 25), se lleva a cabo la reclasificación de las variables con respecto a la amenaza a incendios forestales, generando así una clasificación de Muy Alta, Alta, Media y Baja, como se muestra en la siguiente tabla:

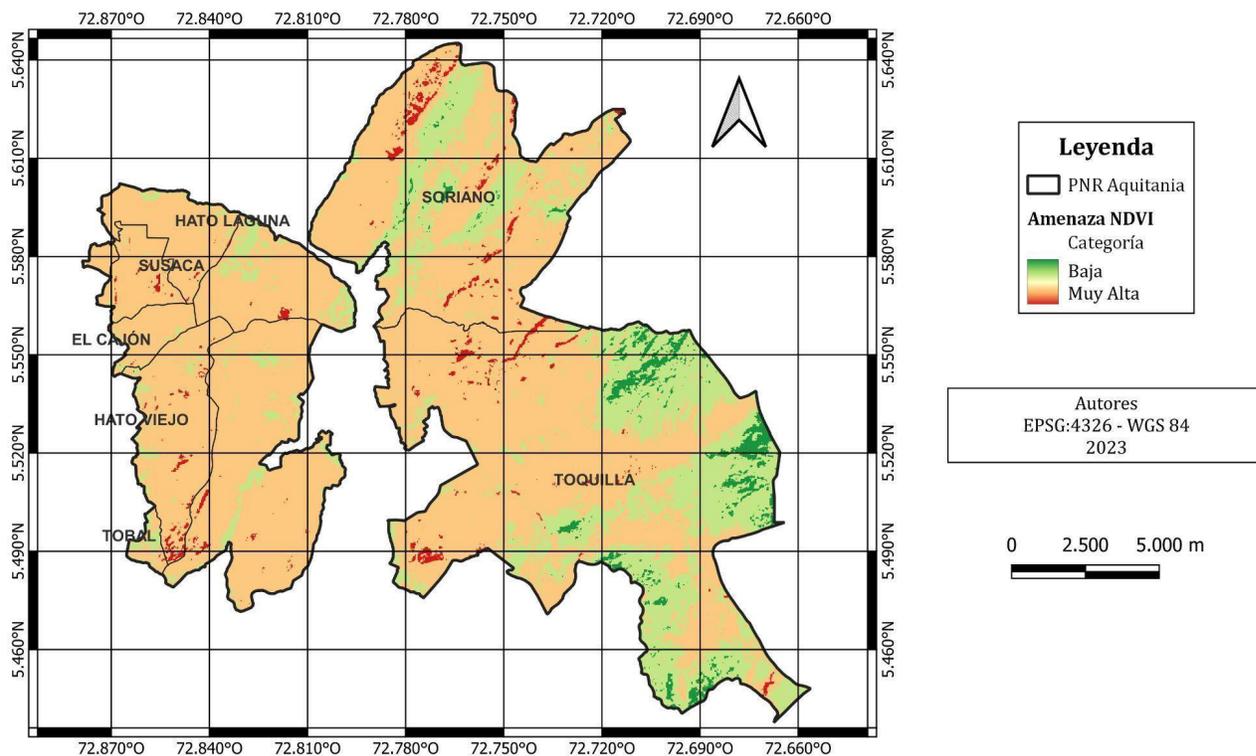
Tabla 5. *Categorías de amenaza por incendios forestales por variables*

Variable	Amenaza por incendios forestales			
	Muy Alta	Alta	Media	Baja
NDVI	0.019 a 0.132	0.132 a 0.246	0.246 a 0.359	0.359 a 0.473
NDWI	-0.425 a -0.32	-0.32 a -0.215	-0.216 a -0.111	-0.111 a -0.007
Precipitación	6954 a 7467	7467 a 7981	7981 a 8494	8494 a 9008
Pendiente	54.06 a 40.57	40.57 a 27.08	27.08 a 13.59	13.59 a 0.098

A partir de la categorización frente a la amenaza por incendios forestales, se obtuvieron los mapas de amenaza para cada variable, como se muestra en las Figuras 20 y 21 para los índices espectrales y Figuras 22 y 23 para la precipitación y pendiente respectivamente.

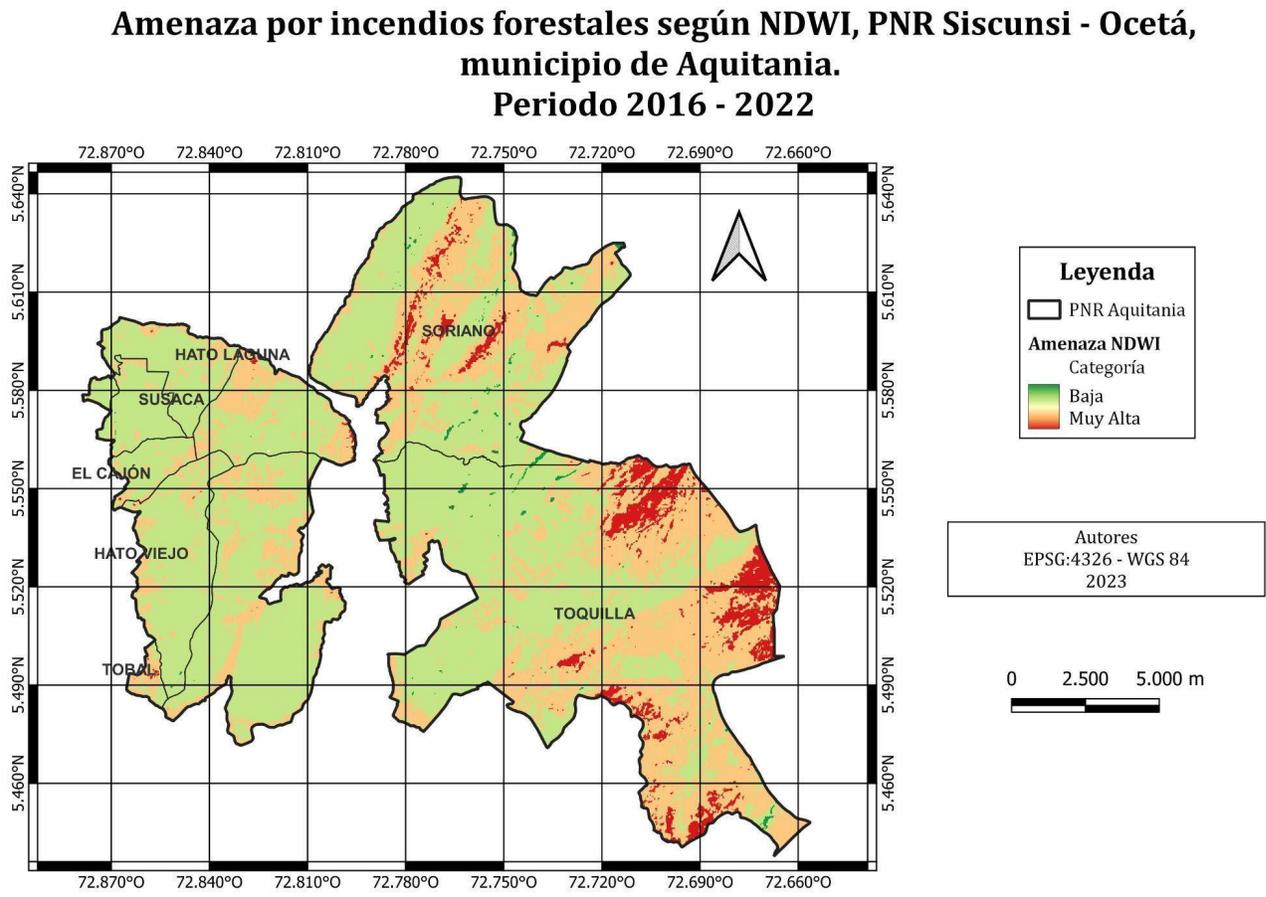
Figura 20. Mapa amenaza por incendios forestales según NDVI, PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania. Periodo 2016 - 2022

**Amenaza por incendios forestales según NDVI, PNR Siscunsi - Ocetá,
municipio de Aquitania.
Periodo 2016 - 2022**



Fuente: Elaboración propia.

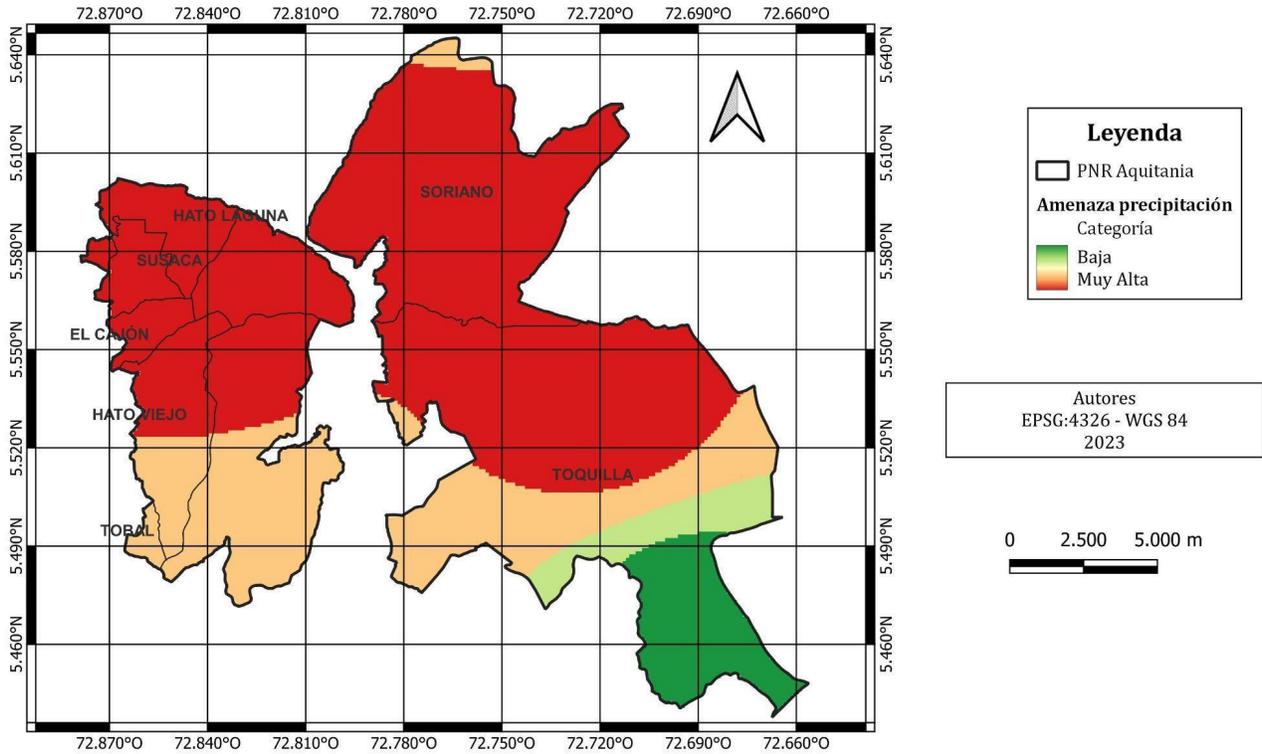
Figura 21. Mapa amenaza por incendios forestales según NDWI, PNR Siscunsi - Ocotá, municipio de Aquitania. Periodo 2016 - 2022.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Mapa amenaza por incendios forestales según precipitación, PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania.

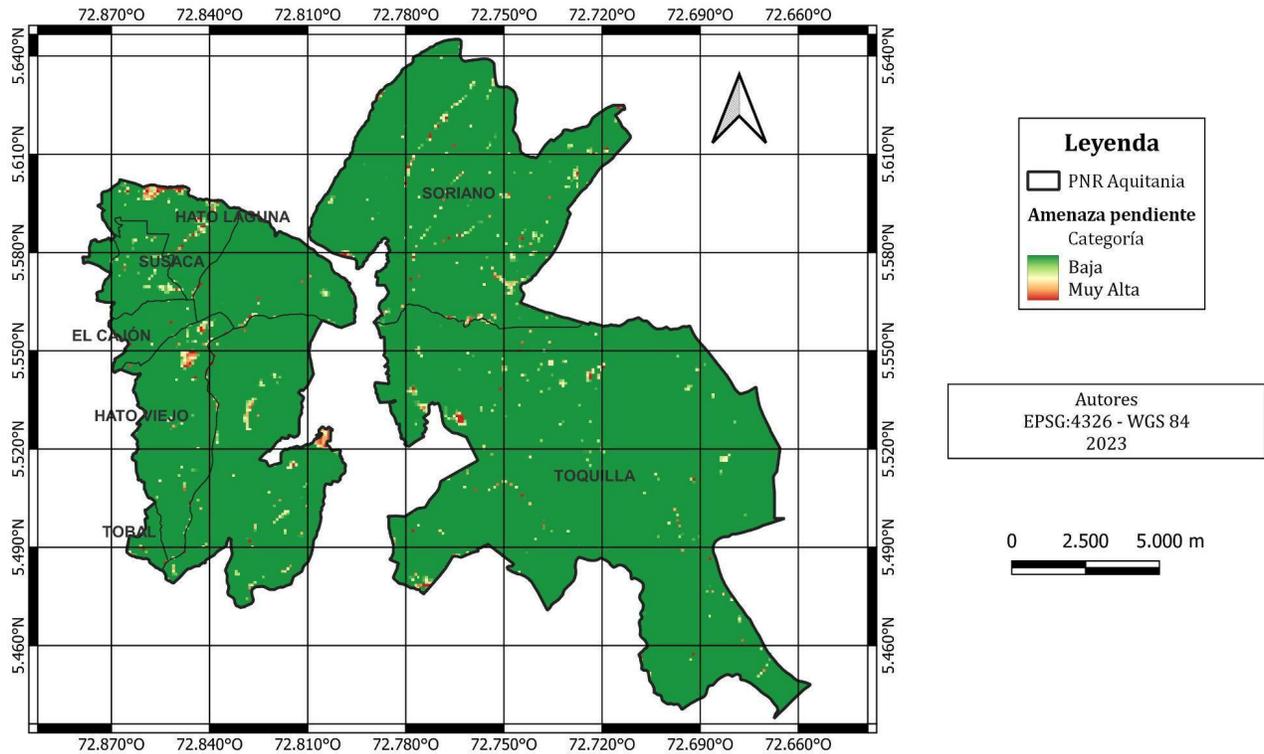
Amenaza por incendios forestales según precipitación, PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Mapa amenaza por incendios forestales según pendiente, PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania.

Amenaza por incendios forestales según pendientes, PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania

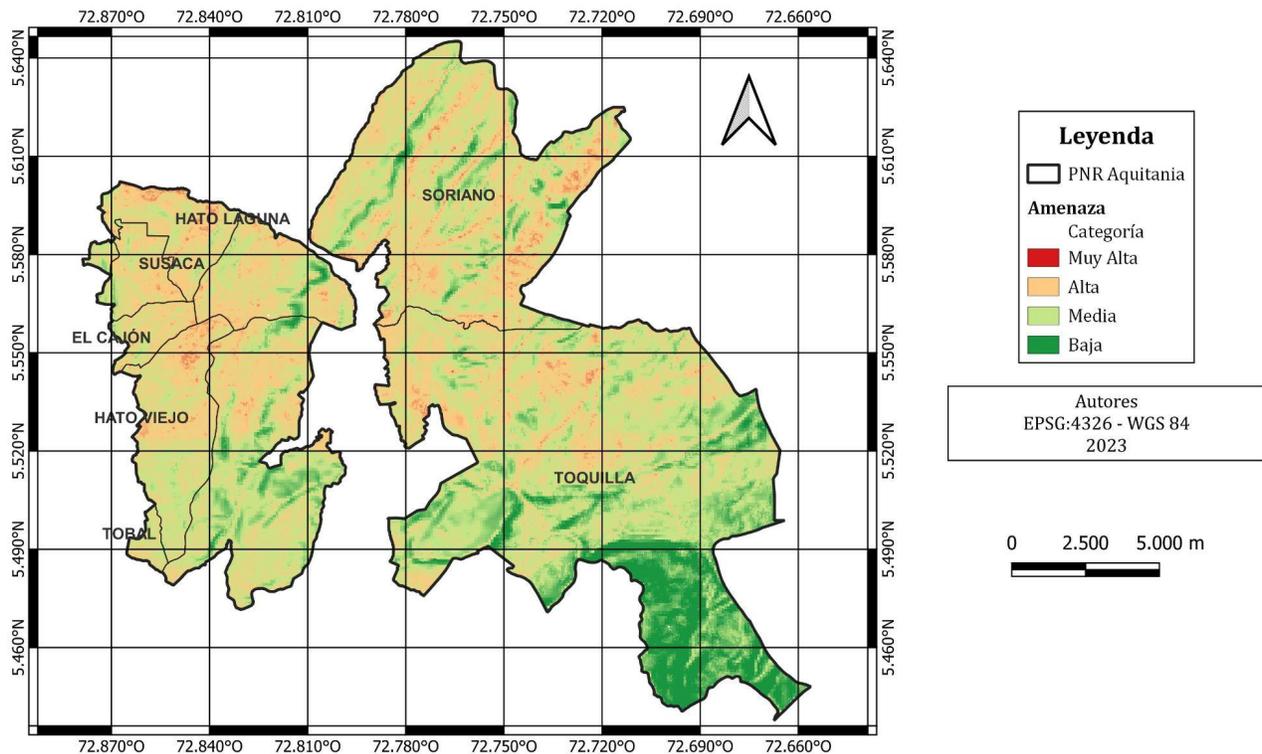


Fuente: Elaboración propia.

De modo que, por medio de la reclasificación de la amenaza por cada variable, se empleó la ecuación (3) para realizar el mapa final de amenaza por incendios forestales, logrando así identificar que la amenaza que presenta cada vereda presente en el PNR Siscunsi - Ocetá, correspondiente al municipio de Aquitania, se encuentra entre Media y Alta.

Figura 24. Mapa amenaza por incendios forestales en el PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania.

Amenaza por incendios forestales en el PNR Siscunsi - Ocetá, municipio de Aquitania



Fuente: Elaboración propia.

11.2.5. Procesamiento de datos sobre eventos por incendios forestales.

A raíz de la solicitud ante Corpoboyacá, se obtuvo un informe técnico de las visitas en áreas afectadas y consolidado de conceptos emitidos por incendios de cobertura vegetal en el páramo Tota-Bijagual-Mamapacha y el Parque Natural Regional - PNR Unidad Biogeográfica Siscunsi - Ocetá. De la misma forma, la entidad proporcionó el reporte de incendios generado a partir de la información registrada por las Autoridades Ambientales al SNIF, en donde ambos documentos cuentan con el registro de incendios forestales en el área de estudio.

A continuación, en la Tabla 6 se enlistan los eventos por incendios forestales que se han presentado en la zona de estudio, con su respectiva ubicación y hectáreas afectadas.

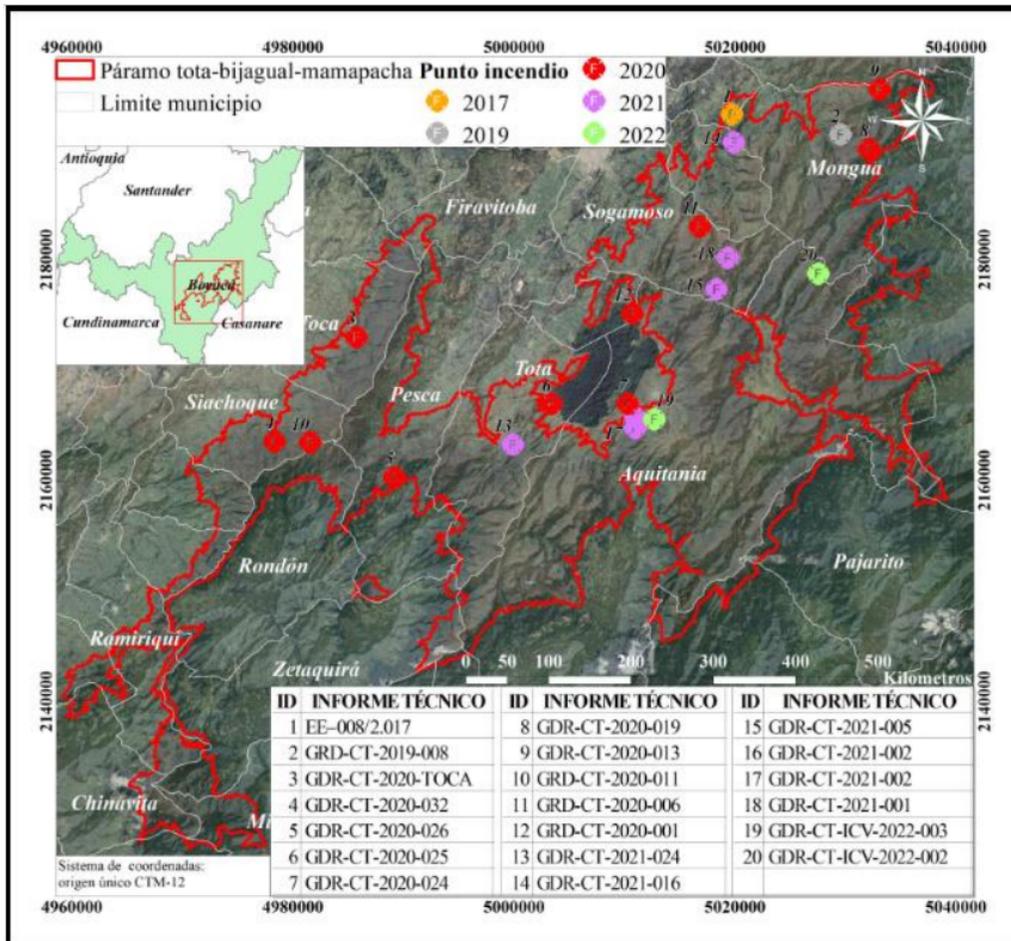
Tabla 6. Pérdida de cobertura vegetal en el páramo Tota-Bijagual-Mamapacha en el periodo 2017-2022.

ID	Municipio	Hectáreas
1	Tópaga	25,15
2	Mongua	39
3	Toca	
4	Siachoque	48,85
5	Pesca	29,55
6	Tota Lago de Tota	0,55
7	Aquitania Lago de Tota	1,19
8	Mongua	44,975
9	Mongua	144
10	Siachoque	344,29
	Rondón	78,71
11	Sogamoso	16,0561
12	Cuitiva Lago de Tota	6,72
13	Tota	9,36
14	Mongua	8,04
15	Sogamoso	126,72
16	Aquitania	0,65
17	Aquitania	7,65
18	Sogamoso	155,35
19	Aquitania	49,1
20	Aquitania	34,81

Fuente: (Corpoboyacá, 2022)

Dichos eventos se ven reflejados en la siguiente figura:

Figura 25. Mapa de incendios de cobertura vegetal registrados al interior del Páramo Tota-Bijagual-Mamapacha en el periodo 2017-2022.



Fuente: (Corpoboyacá, 2022, p. 5)

11.3. Establecer medidas de prevención de incendios forestales por medio de un manual ilustrativo y explicativo dirigido a la comunidad próxima al sector rural de la zona de estudio.

Posterior a determinar las condiciones ecológicas, económicas y sociales del área de estudio y determinar las zonas más propensas a presentar incendios forestales, se llevó a cabo inicialmente la búsqueda y revisión de 4 manuales de prevención realizados en otros países, con el objetivo de tener una línea base para formular las medidas de prevención a la zona de estudio.

Inicialmente, el “Manual de buenas prácticas en prevención de incendios forestales” desarrollado por Generalitat Valenciana en el año 2012 en España (Generalitat Valenciana, 2012), cuenta con una explicación sobre las generalidades de los incendios forestales, las acciones y medidas agrupadas en 3 grupos: 1) Trabajar en el monte: Detalla información y medidas para actuar en los campos agrícolas con el terreno forestal; 2) Vivir en el monte: Se exponen las medidas de prevención que la población que vive en la interfaz urbano-forestal debería adoptar; 3) Disfruta en el monte: Se describe por

actividad que se desarrolla en el monte o en sus proximidades, las recomendaciones y medidas a acoger para evitar un incendio forestal por accidente o negligencia.

Por otra parte, el “Manual con Medidas para la Prevención de Incendios Forestales Región de Magallanes y Antártica Chilena” desarrollado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) en el año 2007 (Corporación Nacional Forestal, 2007), detalla información sobre qué es un incendio forestal, el origen, daños y efectos, dónde pueden ocurrir los incendios en Chile, cómo puede la comunidad prevenir los incendios forestales, dónde se pueden aplicar las medidas, qué medidas se pueden aplicar, entre otros aspectos base para la información del manual propuesto en la presente investigación. De igual manera, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), elaboró un “Manual con Medidas para la Prevención de Incendios Forestales - Región Metropolitana” en el año 2011, donde se adaptaron la información y medidas al contexto de la región metropolitana (Corporación Nacional Forestal, 2011).

Finalmente, se revisó el documento “Como orientar la gestión del riesgo de desastres por incendios forestales a nivel municipal” elaborado por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Fondo Acción en el año 2021 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Fondo Acción, 2021), el cual contiene un marco conceptual, legal y político asociado a los incendios forestales en Colombia, las instancias de orientación y coordinación del SNGRD en incendios forestales a nivel territorial, operativo y nacional, y finalmente las líneas estratégicas para la formulación de un Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, del cual se destaca la información frente a las medidas de intervención en conocimiento y reducción del riesgo y para el manejo del desastre.

Posterior a la revisión de información y establecer el contenido relacionado con los conceptos básicos de los incendios forestales y las medidas de prevención que se pueden ajustar al plan de prevención de incendios forestales para las veredas del municipio de Aquitania con amenaza alta comprendidas en el Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá y la modalidad de presentación, se disponen la información en un manual ilustrativo y explicativo en el siguiente orden de presentación:

1. **Portada:** Guardianes del páramo Siscunsi - Ocetá, Aquitania.
2. **Tabla de contenido.**
3. **Introducción:** Se detalla información sobre la localización, extensión, ecosistemas y declaratoria del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá.
4. **¿Qué está sucediendo?:** Se informa a la comunidad sobre un evento por incendios forestales presentado en el año 2021 en el PNR Siscunsi - Ocetá. Adicionalmente, los actores involucrados en la gestión del riesgo y las limitaciones de estudios sobre las zonas más propensas a presentar incendios.
5. **¿Qué es un incendio forestal?:** Se expone que el incendio forestal es una amenaza socio-natural que ocurre cuando el fuego se propaga de manera descontrolada y afecta los bosques, selvas y zonas áridas y semiáridas. Además, se detallan las causas principales de este tipo de eventos y el triángulo del fuego.
6. **Efectos de los incendios forestales:** Se listan los efectos que generan los incendios en el suelo, agua, aire, biodiversidad, cambio climático y a nivel socioeconómico.
7. **¿Qué tipo de incendio forestal se presenta en el área protegida?:** Se explican los tipos de incendios forestales, destacando que los incendios superficiales son los más representativos en la zona de estudio.
8. **¿Cómo prevenir los incendios forestales?:** En esta sección del manual, se detallan mediante ilustraciones y cuerpos de texto sobre las medidas de prevención que la comunidad debe

adoptar para prevenir la ocurrencia de incendios forestales y contribuir con la conservación del área protegida. Estas se encuentran comprendidas en 3 grandes grupos:

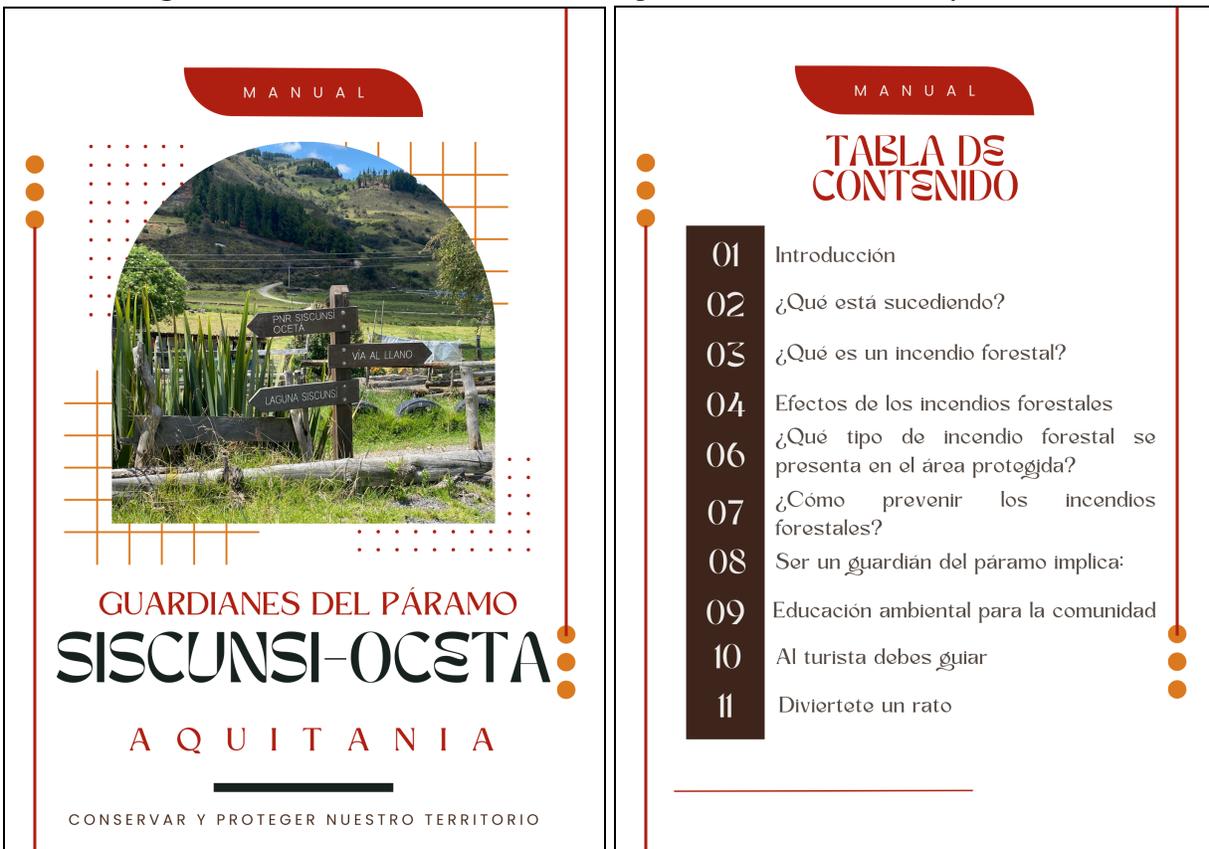
- a. Ser un guardián del páramo implica
- b. Educación ambiental para la comunidad
- c. Al turista debes guiar

Algunas de las medidas que se describen e ilustran en el manual del plan de prevención de incendios forestales se enlistan a continuación. No obstante, en el anexo 3 del presente documento, se encuentra el manual ilustrativo y explicativo para ver a detalle el contenido.

- No encender fuego y/o quemar hojas u otros restos vegetales en días de mucho calor o viento ni sin autorización.
- Apagar bien las cerillas y los cigarrillos y no arrojarlos nunca por la ventanilla del carro.
- No abandonar botellas, objetos de cristal o basuras
- Evitar eliminar desechos agrícolas y forestales con fuego
- Jornadas de capacitación a la comunidad de las veredas sobre incendios forestales y su prevención.
- Talleres de reconocimiento de las entidades encargadas de la gestión del riesgo de incendios forestales y el procedimiento de contacto.
- Visitas de reconocimiento del páramo presente en el PNR Siscunsi - Ocetá con el objetivo de que la comunidad se apropie de su territorio y la riqueza que este posee.
- Difusión de las medidas de prevención y actividades relacionadas, por medio del manual ilustrativo y explicativo, emisoras radiales, y presencia en eventos culturales.
- En la entrada al área protegida y durante el recorrido, es recomendable proporcionar información mediante volantes o de forma verbal, sobre la importancia del ecosistema de páramo que se encuentra visitando y las medidas para prevenir incendios forestales, por ejemplo: no realizar fogatas sin autorización, evitar botar basuras, cigarrillos, fósforos, entre otros.

A continuación, se ilustra la portada e índice del manual de prevención de incendios forestales. No obstante, por cuestiones de derechos de autor, el manual ilustrativo y explicativo no es compartido en el documento del trabajo de grado. Exclusivamente, será presentado a los jurados durante la sustentación del proyecto.

Figura 26. Portada e índice manual de prevención de incendios forestales.



Fuente: Elaboración propia.

12. Análisis y discusión de resultados

El Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá, localizado en el departamento de Boyacá, posee jurisdicción de los municipios: Aquitania, Sogamoso, Monguá y Mongua, en donde se destaca que el área protegida posee mayor representatividad en el municipio de Aquitania, con un valor de 51,3%, dentro del cual Toquilla y Soriano son las veredas más representativas, con 29,32% y 14,22% respectivamente.

Las condiciones ecológicas, económicas y sociales que caracterizan el área protegida y las veredas que forman parte del territorio, son evaluadas a través de revisión bibliográfica y el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG); este análisis, revela que existe una estrecha relación entre estas condiciones y la amenaza de incendios forestales que afecta a la zona de estudio. Las variables climáticas, en particular la precipitación, es uno de los factores de fundamental importancia en la generación y propagación de los incendios, debido a que al encontrarse precipitaciones bajas que abarcan más del 50% del área protegida, tal como se evidencia en la Figura 18, **el contenido de humedad de los tejidos vegetales hace que la vegetación sea menos resistente a la afectación del fuego (IDEAM, 2011b, p. 35)**

De esta manera, se establece una relación directamente proporcional entre los valores de precipitación del PNR Siscunsi - Ocetá y la amenaza por incendios forestales, donde a menor precipitación, la amenaza se categoriza como Muy Alta (ver Figura 22), en particular se presenta en la región norte del

área protegida. Por el contrario, en la vereda Toquilla, al presentarse una alta precipitación la amenaza de incendios forestales es categorizada como baja.

Por otro lado, es relevante destacar que el Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá se localiza en el orobioma andino de la cordillera Oriental, un bioma caracterizado por la topografía montañosa. No obstante, a partir de la cartografía de pendientes (Figura 19), se evidencia que una extensa área de la zona de estudio presenta valores de pendiente relativamente bajos, representados por tonalidades verdes y tonos piel, lo cual indica que su sistema montañoso no se caracteriza por tener colinas pronunciadas. Sin embargo, en áreas de mayor altitud dentro del área protegida, se aprecian pendientes más pronunciadas, representadas por tonalidades rojas.

En términos generales, la variabilidad topográfica presente en la zona, no representa una alta amenaza de incendios forestales, como se evidencia en la Figura 23, donde la categoría de amenaza es mayoritariamente baja, siendo la amenaza alta exclusivamente en las zonas de mayor altitud. De manera que, su amenaza no es representativa, debido a que, los incendios son más intensos y se propagan con mayor rapidez en una fuerte pendiente que en una zona menos inclinada, ya que el calor que generan calienta el combustible (vegetación) de manera más efectiva en estas condiciones (Centro para la Defensa contra el Fuego, 2014, p. 37)

Frente a la carga combustible, constituido por la vegetación viva o muerta o infraestructura contigua a grandes extensiones de bosques (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Fondo Acción, 2021, p. 9), es otro de los factores de fundamental importancia en la generación y propagación de los incendios y se relaciona directamente por las características de la vegetación. En particular, el Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá, en su mayoría cuenta con una cobertura vegetal de herbazal denso de tierra firme, representando el 32.85% de la superficie del área protegida y está constituida por especies de frailejón (Corpoboyaca, 2018, p. 10). Dicha vegetación, puede presentar o no elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos, los cuales generan incendios superficiales, y por ende la pérdida de cobertura vegetal y modificación del paisaje presente en la zona de estudio.

Con base en lo anterior, las imágenes satelitales y la información espectral del área de estudio para el periodo comprendido entre 2016 y 2022, fueron empleadas para determinar los índices espectrales NDVI y NDWI, los cuales permiten identificar las características de la vegetación presente en el área de interés, con resultados de mayor precisión. En particular, el índice NDVI establece la diferencia entre la reflectancia visible e infrarroja cercana de la cubierta vegetal y estima la densidad de la vegetación en un área específica (Schinasi et al., 2018, p. 4). Los valores varían de -1 a +1, donde los valores cercanos a 1 corresponden a áreas que se reflejan más en el espectro del infrarrojo cercano, es decir una vegetación densa y saludable, representada por tonalidades verdes; por el contrario, los valores negativos y cercanos a 0 (tintes rojo, naranja o amarillo) indican suelo desnudo o vegetación muerta / escasa (Dávila Sguerra, 2023, p. 82).

Para el caso del índice NDWI, la combinación de las bandas espectrales de Landsat 8 NIR y Green permiten establecer el contenido de agua de las hojas a nivel del dosel (JRC European Commission, 2011, p. 2). Los valores varían entre -1 y +1, donde los valores entre 0 y 1 de NDWI, representadas por tonalidades azules corresponden a un alto contenido en agua de la vegetación y a una elevada cobertura de la fracción vegetal; en cambio, los valores negativos (tinte rojo), precisan un bajo contenido en agua de la vegetación y a una baja cobertura de la fracción vegetal (JRC European Commission, 2011, p. 4)

De manera que, en el área del PNR Siscunsi - Ocetá, correspondiente al municipio de Aquitania, se evidencia en mayor proporción la vegetación escasa o suelo desnudo, representada por la tonalidad roja; particularmente, en la vereda de Toquilla, en la región Sur - Este del área protegida, la densidad de la vegetación aumenta a valores de 0.47, como se observa en la Figura 16. No obstante, de acuerdo con los fundamentos del índice NDVI, los valores mayores o iguales a 0.6, se considera que la vegetación es densa y vigorosa (Dávila Sguerra, 2023, p. 84). Por ende, se puede afirmar que el área protegida, a pesar de contar con un alto porcentaje de cobertura vegetal de tipo herbazal denso de tierra firme, ésta no es predominante y densa.

A partir de la recategorización de los valores obtenidos por el índice NDVI, se obtuvo que mayoritariamente el área protegida tiene un peligro latente alto frente a los eventos por incendios forestales, a raíz de que predominan áreas donde la vegetación es escasa (tonalidades rojas), como se ilustra en la Figura 20. Por el contrario, para el área donde los valores de NDVI se encontraron entre 0.359 y 0.473, es decir, la densidad de la vegetación es mayor, la amenaza se manifiesta como media - baja. En consecuencia, la condición de la vegetación que se encuentra con amenaza alta, da lugar a que el combustible sea fácil de encenderse y extenderse rápidamente, en especial en caso de presentarse condiciones de sequía o altas temperaturas.

Simultáneamente, en la cartografía del índice NDWI se evidencian valores negativos en la totalidad del área protegida, destacando las tonalidades azules de las rojas. En específico, en la vereda de Toquilla, en la región Sur - Este de la zona, el contenido de agua de la vegetación aumenta negativamente, llegando a obtener valores de -0.42, identificados por las tonalidades rojas, como se evidencia en la Figura 17. De modo que, en conformidad con los fundamentos del índice NDWI, se determina que la vegetación del área protegida posee bajo contenido en agua y baja cobertura de la fracción de vegetación (JRC European Commission, 2011, p. 5), en vista de los valores negativos para el índice espectral.

Por consiguiente, la recategorización realizada a los valores obtenidos por el índice NDWI frente a la amenaza por incendios forestales, refleja que el área con categoría de amenaza alta y muy alta, se encuentra en la región Sur - Este del área protegida, zona en la cual el contenido de agua de la vegetación es muy bajo, puesto que los valores del índice llegan a -0.42, como se evidencia en la Figura 21. No obstante, es importante señalar que toda el área posee un grado de amenaza significativo frente al contenido de agua, pues de manera general cuenta con valores negativos. Por lo tanto, al correlacionar los resultados obtenidos para la amenaza del índice NDVI, se observa que cuando la densidad y contenido de agua de la vegetación es bajo, esta se vuelve más inflamable, en vista de que estos factores restringen la propagación del fuego dentro del área.

Como resultado de la evaluación de los índices espectrales, la precipitación y pendiente frente a su relevancia o probabilidad de generar un impacto significativo en la amenaza por incendios forestales, se obtuvo que la región norte y noroeste del Parque Natural Siscunsi - Ocetá, correspondiente al municipio de Aquitania, presenta una amenaza media y alta principalmente (ver Figura 24). Debido a que, esta zona se caracterizó por presentar precipitaciones muy bajas y las condiciones de densidad y contenido de agua de la vegetación que cubre el área es relativamente baja. Dichas factores configuran que el peligro a presentarse eventos por incendios forestales sean mayores que en zonas donde la cobertura vegetal está en mejores condiciones de calidad y cantidad, como es el caso en la vereda de Toquilla en su parte sur.

Los anteriores resultados se correlacionan con informes y reportes registrados por las Autoridades Ambientales sobre eventos por incendios forestales en la zona. En este sentido, el informe técnico de las visitas en áreas afectadas y consolidado de conceptos emitidos por incendios de cobertura vegetal en el páramo Tota-Bijagual-Mamapacha y el Parque Natural Regional - PNR Unidad Biogeográfica Siscunsi - Ocetá, elaborado por Corpoboyacá y su Subdirección de Planeación y Sistemas de Información en el año 2022, en el cual se reporta que se presentaron 5 eventos de incendios en el área identificada con categoría de amenaza media y alta en el periodo de 2017 a 2021. El primero de ellos, se presentó en el año 2022 en los límites entre el municipio de Aquitania y Mongua, el cual ocasionó la pérdida de 34.81 hectáreas de cobertura vegetal en las áreas de restauración y preservación del área protegida (Corpoboyacá, 2022, p.10).

De igual manera, a pesar de no situarse en el área del PNR Siscunsi - Ocetá, es relevante tener en cuenta que se presentaron 3 incendios en los años 2020, 2021 y 2022 cerca del Lago de Tota, los cuales ocasionaron la pérdida de cobertura vegetal en áreas de páramo de 1.19 hectáreas, 8.15 hectáreas y 49.1 hectáreas respectivamente (Corpoboyacá, 2022, p. 3). Adicionalmente, en el año 2021 en los límites entre el municipio de Sogamoso y Aquitania, se presentó un incendio que implicó la pérdida de cobertura vegetal de 126.72 hectáreas del PNR Siscunsi-Ocetá (Corpoboyacá, 2022, p. 4). A su vez, el reporte de incendios generado a partir de la información registrada por las Autoridades Ambientales al SNIF en el año 2022, detalla que las principales veredas de Aquitania donde se han presentado incendios forestales de tipo superficial son: Hato viejo, Toquilla, Perez y Daito, durante los meses de Enero y Marzo.

No obstante, dicha amenaza de incendios no se deriva exclusivamente de las características de la vegetación, climáticas y de relieve del territorio, también está influida por las actividades económicas y sociales desarrolladas por la comunidad presente. En particular, mediante la literatura y las entrevistas en campo, se evidencia que las principales causas de la generación de incendios radica en la tradición del uso del fuego como alternativa de la comunidad para el “mejoramiento del suelo” y renovación de pastos (Corpoboyaca, 2016), además de las malas prácticas en actividades turísticas, como fogatas sin autorización, arrojar basuras, cigarrillos, entre otros. Igualmente, la ausencia de campañas o capacitaciones a cargo de las autoridades ambientales e institucionales a la comunidad frente a la importancia del ecosistema de páramo, los incendios forestales y su prevención en el área protegida, conduce al desconocimiento y falta de apropiación de la comunidad frente a su territorio, que se traduce en un factor relevante en la vulnerabilidad a presentarse incendios forestales.

Así mismo, la comunidad al reconocer únicamente a los bomberos como autoridad encargada de la gestión del riesgo a nivel municipal, denota que existe una ausencia de entidades municipales enfocadas en el control y prevención en la gestión del riesgo, y que la población posee conocimiento únicamente del proceso de acción posterior a un evento de incendio en la zona. Por lo cual, se resalta que la prevención no recibe una atención prioritaria en este contexto. A pesar de ello, la comunidad entrevistada manifiesta la importancia de adoptar medidas y acciones de prevención frente a los incendios forestales y su interés en recibir dicha información por medio de un manual ilustrativo y explicativo.

En consecuencia, la articulación entre la herramienta tecnológica SIG, el trabajo en campo y la revisión de literatura, contribuye a fundamentar la propuesta de un plan de prevención de incendios forestales es vital para la comunidad asentada en las veredas comprendidas en el Parque Natural Regional (PNR) Siscunsi - Ocetá, al definir e identificar las zonas que poseen amenaza alta ante el fenómeno

socio-natural y la importancia de brindar información a la comunidad sobre las generalidades de los incendios forestales y sus respectivas medidas de prevención y acción a acoger.

Este plan de prevención de incendios forestales, como estrategia de educación ambiental para la comunidad, se fundamenta como un manual ilustrativo y explicativo que detalla información en 2 aspectos principalmente. El primero corresponde a información general sobre el Parque Natural Regional (PNR) Siscunsi - Ocetá, la problemática que presenta ante los eventos por incendios forestales y comprender el fenómeno natural de forma integral detallando información como: qué son, cómo se forman, cuáles tipos de incendios existen por qué se forman, qué efectos trae a nivel ambiental y socioeconómico. Como segundo aspecto, se detallan las medidas de prevención sugeridas para que sean acogidas por la comunidad en sus lugares de trabajo, actividades turísticas y en el hogar, además de describir medidas para fortalecer la educación ambiental sobre los incendios forestales y su prevención a partir de jornadas de capacitación, talleres, vistas y demás.

Al comprender de forma sólida las generalidades del evento amenazante y su territorio, toda la población, independientemente de la edad o nivel educativo, reconocen la importancia de adoptar medidas preventivas con el objetivo de salvaguardar su comunidad y el entorno en el que viven, generando así cultura ciudadana y apropiación del territorio.

13. Conclusiones

El presente proyecto de investigación que tuvo como objetivo proponer un plan de prevención de incendios forestales en un sector rural del Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá correspondiente al municipio de Aquitania, se fundamenta en la integración entre el análisis de las condiciones de la vegetación, climáticas y de relieve por medio de las herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), el trabajo en campo con enfoque de entrevistas a la comunidad y entidades del territorio y revisión de literatura, con el propósito de analizar la mayoría de los aspectos fundamentales que intervienen en la gestión de riesgo ante incendios forestales.

A partir de ello, se obtuvo principalmente, una estrecha relación entre la precipitación y la pendiente de la zona con la amenaza de incendios forestales. La precipitación, en particular, se destaca como un factor crucial en la generación y propagación de incendios, ya que las bajas precipitaciones (que cubren más del 50% del área) disminuyen la resistencia de la vegetación al fuego. Por el contrario, la variabilidad topográfica en la zona no representa una amenaza alta de incendios forestales, por ende la mayoría de la zona tiene una amenaza baja, a excepción de las áreas de mayor altitud, puesto que presentan una amenaza más alta al propagarse el calor de manera más efectiva en esas condiciones.

De igual manera, se logra establecer que la salud de la vegetación presente en el PNR Siscunsi - Ocetá, analizada durante el periodo de tiempo de 2016 a 2022 y a partir del análisis del índice NDVI, que evalúa la densidad de la vegetación y el índice NDWI empleado para identificar el contenido de agua de la vegetación, es relativamente baja y origina un ambiente propicio para la generación y propagación de incendios forestales en la zona. De este modo, la región norte y noroeste del Parque Natural Regional Siscunsi - Ocetá, correspondiente al municipio de Aquitania, presenta una amenaza media y alta debido a las bajas precipitaciones y vegetación de baja densidad y contenido de agua; únicamente la vereda de Toquilla, con mayor densidad de vegetación, presenta una amenaza baja.

Así mismo, la falta de apropiación del territorio y conocimiento de los eventos amenazantes por parte de la comunidad presente en las veredas, contribuye al incremento del peligro de ocasionar incendios forestales de forma antrópica. Por lo tanto, el manual ilustrativo y explicativo que aborda las generalidades de los incendios forestales y detalla las medidas preventivas se convierte en una herramienta esencial para la educación ambiental de toda la comunidad local. Este recurso no solo contribuye a la preservación de un ecosistema de gran importancia ecológica, sino que también sienta las bases para la toma de decisiones y el manejo interinstitucional en la gestión del riesgo a nivel municipal.

14. Recomendaciones

A partir de este proyecto investigativo se plantea una iniciativa de prevención de incendios forestales a nivel municipal, lo que permite que se dé la pauta para que se pueda incorporar en los otros municipios que abarca el PNR y así esta área protegida contemplaría el establecer un plan de prevención de incendios forestales para el total de su territorio, que permitiría la conservación de un ecosistema de tan vital importancia para el departamento.

Adicionalmente, se considera necesario el implementar capacitaciones con la comunidad de las veredas donde se evidencio una amenaza alta con el fin de que se dé a conocer el riesgo y medidas de prevención, para así generar una apropiación en el territorio. De igual manera, las entidades involucradas deben ver la importancia de que exista una comunicación efectiva entre estas con el objetivo de que se conserve este ecosistema por medio de estrategias colectivas que busquen la prevención de desastres y/o fenómenos como lo son los incendios forestales.

Finalmente, es de vital importancia evaluar temperatura, frecuencia y accesibilidad en el área de estudio del proyecto de investigación ya que son variables que permiten un desarrollo adecuado de un “Protocolo para la realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a incendios de la cobertura vegetal”.

15. Referencias

- Alcaldía Municipal de Aquitania. (2016). *Plan de Desarrollo del Municipio de Aquitania (Boyacá)*. 2008(008), 246.
https://aquitaniaboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/aquitaniaboyaca/content/files/000582/29081_plan-de-desarrollo-aquitania-20202023-juliofinal-revisado-concejo-15.pdf
- Alcaldía Municipal de Aquitania. (2018, 2 febrero). Funciones y deberes. Alcaldía Municipal de Aquitania en Boyacá. Recuperado 10 de octubre de 2022, de <http://www.aquitania-boyaca.gov.co/alcaldia/funciones-y-deberes>
- Boyle, J. (2005). FOREST SOILS. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 73-79.
<https://doi.org/10.1016/b0-12-348530-4/00033-3>
- Cadena, L. (2016). *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, Municipio de Aquitania Boyacá 2016* (pp. 1–157).

- Cantwell, B. & Milem, J. (2010). Locating Space and Place in the College Access Debate: New Tools for Mapping and Understanding Educational Inequity and Stratification. *International Encyclopedia of Education*, 636-648. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-044894-7.00120-2>
- Centro para la Defensa contra el Fuego. (2014). Manual de extinción de incendios forestales para cuadrillas. Obtenido de https://www.pfcyl.es/sites/default/files/biblioteca/documentos/manual_de_extincion_de_incendios_forestales_para_cuadrillas.pdf
- Concejo Municipal de Aquitania. (30 de Mayo de 2008). Acuerdo 008 de 2008. Por el cual se adopta el plan de desarrollo económico, social y de obras públicas para el municipio de Aquitania, Boyacá, 2008 - 2011 – “Aquitania para todos”. <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/12409/10393-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Congreso de Colombia. (24 de abril de 2012). Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. [Ley 1523 de 2012]. DO: 48.411.
- Corpoboyaca. (2016). *Capítulo VII Gestión del Riesgo*. <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/03/Gestion-del-riesgo.pdf>
- Corpoboyaca. (2018). *Actualización del Plan de Manejo Parque Natural Regional Unidad Biogeográfica Siscunsi - Ocetá de acuerdo a lo establecido en el decreto 1076 de 2015*. Informe técnico.
- Corpoboyaca, & NEOTROPICAL. (2019). Parque Natural Regional Unidad Biogeográfica Siscunsi-Ocetá. In *Corpoboyaca* (pp. 1–57).
- Corpoboyaca. (2020, 2 enero). Misión, visión y objetivos - Corpoboyaca. Recuperado 10 de octubre de 2022, de <https://www.corpoboyaca.gov.co/la-corporacion/mision-vision-y-objetivos/>
- Corpoboyacá (2020, 10 de Julio). *Corpoboyacá lanza campaña para la prevención de incendios forestales*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá. <https://www.corpoboyaca.gov.co/noticias/corpoboyaca-lanza-campana-para-la-prevencion-de-incendios-forestales/#:~:text=Cifras%20de%20incendios%20en%20la,de%20la%20jurisdicci%C3%B3n%20de%20Corpoboyac%C3%A1>
- Corpoboyacá. (2021). *Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR) 2021 - 2031*. 1–666. <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2023/06/DOCUMENTO-PLAN-DE-GESTION-AMBIENTAL-REGIONAL-PGAR-2021.pdf>

- Corpoboyacá. (2022). Informe tecnico de las visitas en areas afectadas y consolidado de conceptos emitidos por incendios de cobertura vegetal en el Páramo Tota-Bijagual-Mamapacha y el Parque Natural Regional - PNR Unidad Biogeografica Siscunsi - Ocetá. Documento PQR.
- Corporación Nacional Forestal. (2007). Manual con Medidas para la Prevención de Incendios Forestales Región de Magallanes y Antártica Chilena. Obtenido de <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29345/manual%20medidas%20prevencion%20XII.pdf?sequence=1>
- Corporación Nacional Forestal. (2011). Manual con Medidas para la Prevención de Incendios Forestales - Región Metropolitana. Obtenido de https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1367248086manual_RMbaja.pdf
- Dávila Sguerra, M. (2023). Algoritmos para el procesamiento de imágenes utilizando satélites del programa COPERNICUS de la Unión Europea. Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios. doi:<https://doi.org/10.26620/uniminuto/978-958-763-633-8>
- DeFries, R. (2013). Remote Sensing and Image Processing. Encyclopedia of Biodiversity, 389-399. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384719-5.00383-x>
- Drisy, J., Kumar, D. S., & Roshni, T. (2018). Spatiotemporal variability of soil moisture and drought estimation using a distributed hydrological model. In *Integrating Disaster Science and Management: Global Case Studies in Mitigation and Recovery*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812056-9.00027-0>
- Eugenio, F. C., dos Santos, A. R., Fiedler, N. C., Ribeiro, G. A., da Silva, A. G., dos Santos, Á. B., Paneto, G. G., & Schettino, V. R. (2016). Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 173, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.021>
- El Tiempo. (2022, 24 de febrero). Fotos desgarradoras: El páramo de Siscunsi volvió a ser quemado. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/denuncian-quemas-en-paramos-del-pnr-siscunsi-oceta-654116#:~:text=Solo%20en%202021%20fueron%20quemadas,PNR%20Siscunsi%20AD%20Ocet%C3%A1%20seg%C3%BA%20Corpoboyac%C3%A1.&text=No%20era%20la%20primera%20vez,quemadas%20cerca%20de%2070%20hect%C3%A1reas>
- Fonseca, M. (2022, 3 mayo). Cordillera Oriental, hogar del Parque Natural Regional Siscunsi-Ocetá. Corpoboyacá. <https://www.corpoboyaca.gov.co/noticias/cordillera-oriental-hogar-del-parque-natural-region-al-siscunsi-oceta/>

- Generalitat Valenciana. (2012). Manual de buenas prácticas en prevención de incendios forestales. Murcia. Obtenido de <https://www.112cv.gva.es/documents/163565706/163566495/Manual+de+Buenas+Pr%C3%A1cticas+en+Prevenci%C3%B3n+de+Incendios+Forestales+-+Castellano/7d26e008-b585-4331-ac2a-a3e976c90231>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). Metodología de la investigación (6.a ed.). Marcela I. Rocha Martínez. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Huang, B. (2016). Comprehensive Geographic Information Systems. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/referencework/9780128047934/comprehensive-geographic-information-systems#book-description>
- IDEAM, & CONIF. (2009). Capítulo 4. Gestión sobre los ecosistemas de bosque. In *Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia - Bosques 2009* (pp. 1–88).
- IDEAM. (2011a). Plan Estratégico Consolidado 2015-2018. 2018, 107. <http://www.ideam.gov.co/documents/24189/359107/INFORME+DE+GESTION+2011.pdf/4d20ae68-73e3-4302-9b2b-250950c7d638?version=1.0>
- IDEAM. (2011b). Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000. Bogotá. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/11769/68985506/PROTOCOLO+AJUSTADO_MAPAS+DE+ZRICV+copia.pdf/77d37bb7-3e62-44b1-b8a8-dcd5079b6883
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s. f.). Funciones. Recuperado 10 de octubre de 2022, de <https://beta.igac.gov.co/el-igac/funciones>
- JRC European Commission. (2011). NDWI (Normalized Difference Water Index). *Product Fact Sheet*, 5(July), 6–7. http://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet_ndwi.pdf
- Kalabokidis, K., Athanasis, N., Gagliardi, F., Karayiannis, F., Palaiologou, P., Parastatidis, S., & Vasilakos, C. (2013). Virtual Fire: A web-based GIS platform for forest fire control. *Ecological Informatics*, 16, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2013.04.007>
- Kumar, M., Nisha Phukon, S., & Singh, H. (2021). The role of communities in sustainable land and forest management. In *Forest Resources Resilience and Conflicts*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822931-6.00024-1>
- Maya, E. (2014). Métodos y técnicas de investigación (1.a ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.

http://www.librosoa.unam.mx/bitstream/handle/123456789/2418/metodos_y_tecnicas.pdf?sequence=3&isAllowed=y

- Mesa, D. (2019). *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, Municipio de Aquitania Boyacá 2019* (pp. 1–119).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Fondo Acción. (2021). *Cómo Orientar La Gestión Del Riesgo De Desastres Por Incendios Forestales a nivel municipal* (pp. 1–46).
- Naciones Unidas. (2022, 5 octubre). 17 objetivos para transformar nuestro mundo. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado 10 de octubre de 2022, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Parques Nacionales Naturales. (2022, 19 agosto). Unidad Biogeográfica de Siscunci Oceta. RUNAP. Recuperado 10 de octubre de 2022, de <https://runap.parquesnacionales.gov.co/area-protegida/486>
- Presidencia de la República de Colombia. (1 de julio de 2010). Por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones. [Decreto 2372 de 2010]. DO: 47.757
- Schinasi, L. H., Benmarhnia, T. & De Roos, A. J. (2018). Modification of the association between high ambient temperature and health by urban microclimate indicators: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, 161, 168-180. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.004>
- Tien Bui, D., Le, H. Van, & Hoang, N. D. (2018). GIS-based spatial prediction of tropical forest fire danger using a new hybrid machine learning method. *Ecological Informatics*, 48, 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.08.008>
- UNESCO-WHC. (2012). Risk management at heritage sites: A case study of the petra world heritage site. In *Unesco*.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (s. f.). Objetivos y funciones de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Recuperado 10 de octubre de 2022, de <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Objetivos.aspx>
- Universidad El Bosque. (s. f.). Alma Mater. Recuperado 10 de octubre de 2022, de <https://www.unbosque.edu.co/nuestro-bosque/alma-mater>

- UNGRD. (2012). Causas, efectos y perspectivas de los Incendios Forestales en Colombia. *Unidad Nacional Para La Gestión Del Riesgo de Desastres*.
<http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/conocimiento-in.aspx>
- UNGRD. (2019). *Lo que usted debe saber sobre incendios de cobertura vegetal*.
<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/28309>
- UNGRD. (2022). *Riesgo por incendio forestal (Caracterización general)*. Unidad Nacional para la para la Gestión del Riesgo de Desastres.
<http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/36815/Riesgo-Incendio-Forestal.html>
- Urzúa, N., & Cáceres, F. (2011). Incendios forestales: principales consecuencias económicas y ambientales en Chile Forest fires: major economic and environmental consequences in Chile. *Interamerican Journal of Environment and Tourism*, 7(1), 18–24.
https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/ECONOMICAS_6/Ingenieria_Comercial/60.pdf

16. Anexos

Anexo 1. Cronograma de actividades

Actividad	Mes							
	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Objetivo específico 1								
Revisión bibliográfica en bases de datos								
Diseño de entrevistas para la comunidad de la zona de estudio								
Visita técnica en campo								
Desarrollo de entrevistas para la comunidad de la zona de estudio								
Objetivo específico 2								
Recolección de información climática y del relieve.								
Cálculo de índices espectrales.								
Definir la amenaza por incendios forestales por cada variable a analizar.								
Elaboración del mapa de amenaza por incendios forestales en la zona de								

estudio.								
Procesamiento de datos sobre eventos por incendios forestales.								
Objetivo específico 3								
Investigar y seleccionar las medidas y líneas de acción viables para la propuesta del plan de prevención								
Definición de la modalidad de presentación del plan de prevención								
Diseño del plan de prevención								

2. Anexo 2. Presupuesto estimado del proyecto

Rubros	Desembolso nuevo		Total desembolso nuevo	Desembolso en especie		Total desembolso en especie	Total proyecto
	Año 2022	Año 2023		Año 2022	Año 2023		
1. Personal				9.667.200	5.800.320	15.467.520	15.467.520
2. Equipos especializados	0	0	0	0	0	0	0
2.1. Equipos propios				112.360	0	112.360	112.360
3. Materiales y reactivos	0	5.618	5.618	0	0	0	5.618
4. Salidas de campo	0	678.000	678.000	0	0	0	678.000
5. Refrigerios	0	400.000	400.000	0	0	0	400.000
6. Servicios técnicos	0	0	0	0	0	0	0
7. Capacitaciones	0	0	0	0	0	0	0
8. Adquisición o actualización de software	0	0	0	0	0	0	0
9. Evaluación	0		0	0	0	0	0
10. Otros	0	0	0	0	0	0	0
TOTALES	0	1.083.618	1.083.618	9.779.560	0	15.579.880	16.663.498