

**“EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE PANELA EN EL MUNICIPIO DE
GUAYABAL DE SÍQUIMA”**

ALISON TATIANA SEGURA MORALES

ADRIAN SANTIAGO TORRES GONZALEZ

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

2024

**“EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE PANELA EN EL MUNICIPIO DE
GUAYABAL DE SÍQUIMA”**

ALISON TATIANA SEGURA MORALES

ADRIAN SANTIAGO TORRES GONZALEZ

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTORA DEL PROYECTO DE GRADO

DIONNE PAOLA BALLESTEROS PINTOR

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

TABLA DE CONTENIDO

Lista de Tablas.....	6
Lista de Figuras.....	7
Lista de Ecuaciones.....	8
Lista de Fotografías.....	9
Lista de Anexos.....	10
Resumen.....	13
1 Introducción.....	14
2 Planteamiento del problema.....	16
3 Justificación.....	18
4 Objetivos.....	20
4.1 Objetivo general.....	20
4.2 Objetivos Específicos.....	20
5 Marco referencial.....	21
5.1 Marco conceptual.....	21
5.2 Marco teórico.....	25
5.3 Marco legal.....	29
6 Diseño metodológico.....	31
7 Resultados.....	50
7.1 Encuestas.....	50
7.2 Toma de datos y análisis ambiental.....	50
7.2.1 Caracterización Física.....	50
7.2.1.1 Geosférico y Biogeográfico.....	50
7.2.1.2 Climatológico.....	58
7.2.1.3 Hidrológico.....	67
7.2.1.4 Atmosférico.....	69
7.2.2 Caracterización Biótica.....	72
7.2.2.1 Revisión de Fauna para el Municipio.....	72
7.2.2.2 Revisión de Flora para el Municipio.....	73

7.2.2.3	Índices de Biodiversidad de artrópodos	77
7.2.2.4	Identificación de Flora y Fauna según los propietarios	82
7.2.3	Caracterización Agrícola	82
7.2.3.1	Cultivo	82
7.2.3.2	Post Cosecha	89
7.3	Determinación de las debilidades y fortalezas del sistema de producción	95
7.3.1	Matriz de identificación de puntos críticos por POE	95
7.3.2	Identificación de Puntos Críticos y Relación con Atributos Ambientales	99
7.4	Análisis de indicadores de la evaluación ambiental	104
8	Discusión	107
9	Conclusiones	114
10	Bibliografía	116
11	Anexos	127

Lista de Tablas

Tabla 5-1 Normatividad correspondiente al recurso suelo y la minería en Colombia.....	29
Tabla 6-1 Información general preliminar.....	34
Tabla 6-2 Determinantes para la caracterización del componente ambiental.....	36
<i>Tabla 6-3 Factores de emisión en g/kg de combustible.....</i>	<i>43</i>
Tabla 7-1 Unidades cronoestratigráficas presentes en el área de estudio.....	50
Tabla 7-2 Tipos de erosión presentes en el área de estudio.....	51
Tabla 7-3 Tipos de coberturas presentes en el área de estudio.....	53
<i>Tabla 7-4 Unidades cartográficas de suelo presentes en el área de estudio.....</i>	<i>54</i>
Tabla 7-5 Descripción taxonómica de los suelos presentes en el área de estudio.....	54
<i>Tabla 7-6 Características del suelo identificadas en campo.....</i>	<i>57</i>
Tabla 7-7 Estaciones IDEAM para datos de precipitación.....	58
Tabla 7-8 Precipitación total media mensual multianual.....	60
Tabla 7-9 Estaciones IDEAM para datos de temperatura.....	63
<i>Tabla 7-10 Temperatura total media mensual multianual.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 7-11 Fuentes de vertimientos.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 7-12 Fuentes de emisiones atmosféricas.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 7-13 Emisiones atmosféricas calculadas en kg/día.....</i>	<i>71</i>
Tabla 7-14 Revisión de Fauna relacionada para Guayabal de Siquima.....	72
Tabla 7-15 Revisión de Flora relacionada para Guayabal de Siquima.....	74
Tabla 7-16 Interpretación de los índices de Simpson y Shannon.....	77
Tabla 7-17 Calculo e interpretación de los Índices de Simpson y Shannon.....	78
<i>Tabla 7-18 Características de los Ordenes encontrados en las trampas.....</i>	<i>80</i>
Tabla 7-19 Flora y Fauna vista por propietarios.....	82
Tabla 7-20 Generalidades del cultivo.....	83
Tabla 7-21 Características de la Fertilización por POE.....	84
Tabla 7-22 Características de manejo.....	85
Tabla 7-23 Manejo de arvenses, plagas y enfermedades.....	86
Tabla 7-24 Cantidad de panela producida en cargas y kilos por POE.....	94
Tabla 7-25 Matriz de identificación de resultados generales por POE.....	95
Tabla 7-26 Determinantes relacionadas con los atributos MESMIS, puntos críticos e indicadores.....	99
Tabla 7-27 Valoración de indicadores cualitativos por categoría.....	104
Tabla 7-28 Valoración de indicadores por POE.....	104
Tabla 7-29 Valores de referencia usados para el cálculo del índice IFS.....	105
Tabla 7-30 Cálculo del índice IFS por POE.....	106
Tabla 8-1 Relación de Indicadores.....	110

Lista de Figuras

Figura 6-1 Geolocalización del área de estudio	35
Figura 6-2 Estaciones meteorológicas usadas para el estudio de clima.....	39
Figura 6-3 Puntos de muestreo en el área de estudio	44
Figura 7-1 Perfil de elevación en los POE (m.s.n.m.)	52
Figura 7-2 Diagrama de velocidad del viento en Guayabal de Siquima	69
<i>Figura 7-3 Rosa de los vientos de Guayabal de Siquima</i>	70
Figura 7-4 Diagrama de proceso de post cosecha para la caña panelera	89
<i>Figura 11-1 Geología y geomorfología del área de estudio</i>	136
<i>Figura 11-2 Zonificación de degradación por erosión en el área de estudio</i>	137
<i>Figura 11-3 Topografía general del área de estudio</i>	138
<i>Figura 11-4 Coberturas en el área de estudio</i>	139
Figura 11-5 Suelos del área de estudio	140
<i>Figura 11-6 Distribución espacial de la precipitación media multianual para el área de estudio</i>	141
<i>Figura 11-7 Distribución espacial de la precipitación media mensual multianual para el área de estudio</i>	142
Figura 11-8 Distribución espacial de la temperatura media multianual para el área de estudio	143
<i>Figura 11-9 Distribución espacial de la temperatura media mensual multianual para el área de estudio</i>	144
<i>Figura 11-10 Distribución espacial de la evapotranspiración potencial media anual para el área de estudio</i>	145
<i>Figura 11-11 Red de drenaje calculada para el área de estudio</i>	146

Lista de Ecuaciones

Ecuación 6-1	40
Ecuación 6-2	40
Ecuación 6-3	42
Ecuación 6-4	42
Ecuación 6-5	42
Ecuación 6-6	46
Ecuación 6-7	46

Lista de Fotografías

Fotografía 6-1 Realización de encuestas.....	33
Fotografía 6-2 Muestreo de suelos.....	45
Fotografía 6-3 Instalación de trampa pitfall.....	47
Fotografía 7-1 Estufa de leña.....	71
Fotografía 8-1 Área de cultivo	112

Lista de Anexos

Anexo 1. Modelo de encuesta.....	127
Anexo 2. Mapas	136

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre y hermana, cuya constancia y amor incondicional han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. A Santiago, quien ha sido mi apoyo y sostén en este camino profesional y personal. Finalmente, a mí misma, por la perseverancia, esfuerzo y dedicación que me han permitido superar cada desafío y llegar hasta este punto.

Alison Segura

Dedico este trabajo a todas las personas que, de una forma u otra, contribuyeron a mi crecimiento personal y académico. A todos aquellos que, con sus acciones, palabras y ejemplos, me enseñaron el valor de la perseverancia, el esfuerzo y la amistad.

Adrian Torres

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la vida por permitirme llegar a este momento y por las oportunidades y desafíos que he enfrentado en el camino. A mi madre y hermana, les debo un reconocimiento especial por su apoyo incondicional, su amor y comprensión constantes que han sido mi mayor fortaleza. A Santiago, mi brújula, bastón y lámpara en esta carrera profesional, gracias por tu orientación, cariño y compañía incansable. Extiendo mi gratitud a nuestra directora Dionne, por confiar en nosotros para desarrollar este proyecto y por brindarnos todo el apoyo necesario durante el proceso. A mis amigos y amigas por su comprensión y apoyo también hacen parte de este logro. Finalmente, a todos los miembros del semillero de investigación CIA, les agradezco por acogernos dentro de su iniciativa y proporcionarnos la asesoría imprescindible para llevar a cabo un estudio tan complejo. A todos ustedes, gracias por ser pilares fundamentales en la realización de este trabajo.

Alison Segura

En primer lugar, a Alison, por su dedicación incansable y su arduo trabajo que fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto. Más allá de ser una colaboradora excepcional, fue un pilar de apoyo constante, y por ello le estoy inmensamente agradecido. A mis padres, Diego y Adriana, les debo todo lo que soy, su apoyo incondicional fue esencial para que pudiera llegar hasta aquí, gracias por ser un ejemplo de amor y dedicación, y por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas, estoy orgulloso de ser su hijo y les agradezco profundamente por lo todo lo que han hecho por mí. A mis amigos y maestros, aquellos que me brindaron su guía y compañía, aquellos que se quedaron y me consideran su amigo. Su presencia hizo de este proceso una experiencia enriquecedora y memorable.

Adrian Torres

Resumen

La evaluación ambiental del sistema de producción de panela en el municipio de Guayabal de Siquima, Cundinamarca, Colombia, cobró relevancia en un contexto donde la producción local de panela enfrentaba desafíos críticos, como el cambio climático y la baja productividad. A pesar de que Colombia se situaba como el segundo mayor productor de panela a nivel mundial, la producción local a menudo adolecía de costos elevados y tecnología obsoleta. La mayoría de los productores en Guayabal de Siquima eran pequeños agricultores que dependían en gran medida de este sector para su sustento. Esta investigación tuvo como propósito fundamental evaluar el componente ambiental del sistema de producción de panela en Guayabal de Siquima como parte del proyecto del semillero CIA, con el fin de evaluar la sostenibilidad y diseñar estrategias de mejora.

La metodología de esta evaluación incluyó la caracterización ambiental mediante la recopilación de datos a través de encuestas asistidas, el uso de drones para la captura de información geoespacial, y la identificación abiótica y biótica utilizando la metodología MESMIS. Los resultados obtenidos sirvieron de base sólida para la toma de decisiones informadas y la propuesta de mejoras destinadas a garantizar la perdurabilidad y sostenibilidad de este sistema productivo esencial.

Las principales conclusiones de este estudio destacaron la necesidad de implementar prácticas de manejo del suelo y conservación del agua más efectivas para mitigar la erosión y mejorar la retención de humedad. Además, se identificó la importancia de promover la biodiversidad en los sistemas agrícolas para fortalecer la resiliencia del ecosistema. Estas conclusiones fueron fundamentales para recomendar estrategias específicas que puedan optimizar el rendimiento y la sostenibilidad ambiental del cultivo de panela en Guayabal de Siquima.

1 Introducción

La panela, un producto de la agroindustria ampliamente consumido en todo el país, se produce a partir de la deshidratación de los jugos extraídos de la caña de azúcar, sin someterlos a procedimientos de cristalización. El cultivo de caña de azúcar y su posterior procesamiento se distribuyen por toda la región andina de Colombia (Forero & Rudas, 2012). Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021), Colombia representa el segundo mayor productor de panela, con el 16% de participación en los últimos años, en el año 2020 se registraron 192,863 hectáreas de cultivos de caña panelera, lo que resultó en una producción total de 1,085,567 toneladas. Los departamentos con la mayor participación en este sector se dividen en núcleos, incluyendo el Nororiental (que abarca Boyacá, Santander y Norte de Santander), el Sur (Nariño, Huila y Tolima), el Centro Occidente (Caldas, Quindío, Risaralda, Cauca y Valle del Cauca), el Central (Cundinamarca) y el Occidental (Antioquia). Cabe destacar que el núcleo Nororiental fue el principal productor en esta industria, se estima que la producción de caña de azúcar y panela genera aproximadamente 287,500 empleos, lo que posiciona a la agroindustria panelera como la segunda fuente de empleo en el sector agrícola, después del café. Además, Colombia ostenta el título de ser el mayor consumidor mundial de panela, con un promedio de 24 kg por persona al año, aportando 236 kcal diarias por persona, por lo que la panela se considera un elemento fundamental para garantizar la seguridad alimentaria (García et al., 2016).

En Cundinamarca la caña es el segundo cultivo de importancia, el área cosechada es del 16.2 %, después de la papa (24.8 %), el rendimiento promedio es de 4.5 toneladas de panela por hectárea, sin embargo los sistemas productivos se consideran conservadores y tradicionales (Rodríguez et al., 2020), El 30.7% de los municipios de Cundinamarca tienen un cultivo de caña panelera, y de los 35 municipios paneleros, 11 dependen en un 80% de este sector (Sarmiento, 2016), como es el caso del municipio de

Guayabal de Siquima, de vocación agropecuaria, con un sistema de autoconsumo donde el café, la panela y el maíz se comercializan por intermediarios (Quiroga et al., 2017).

2 Planteamiento del problema

Las implicaciones del cambio climático para Colombia reflejan aumentos en la temperatura entre 1°C y 1.5°C, con alteraciones de la precipitación de aumento o disminución del 15%, de acuerdo con la distribución en el territorio (Pabón, 2003), el 47% del territorio enfrenta un alto o muy alto nivel de riesgo climático, evidenciado en factores de peligro como la inundación fluvial, deslizamientos de tierra y variación de temperatura (Grupo Banco Mundial, 2023). Según modelos que proyectan el comportamiento del rendimiento hídrico para el período de 2071 a 2100, se espera que nueve departamentos de la región Andina experimenten una disminución de más del 30% en su disponibilidad de agua. Entre estos departamentos, Cundinamarca se encuentra entre los más afectados, lo que tendrá implicaciones significativas en términos de abastecimiento de agua potable, generación de energía y agricultura (García et al., 2012), siendo este último de gran vulnerabilidad, no solo por el avance de la desertificación, sino por la relación del clima con las plantas, plagas y enfermedades, y los posibles cambios en los pisos térmicos, reduciendo áreas potenciales para los cultivos de clima templado y frío (Ruiz, 2011).

Según los análisis del IDEAM para el período 2010-2100, se prevé que los sectores más vulnerables en Colombia serán la ganadería, la agricultura y la pesca, con una proyección de reducción promedio del 7.4% en los rendimientos de cultivos como maíz, arroz y papa en el ámbito agrícola. Para mitigar estos impactos, es esencial fortalecer la resiliencia en los sistemas productivos, ya que son altamente vulnerables ante la falta de estrategias de manejo sustentable (Altieri & Nicholls, 2013). El impulso al desarrollo agropecuario con un enfoque en sostenibilidad contribuirá a reducir la contaminación, que, a su vez, provoca alteraciones climáticas con el potencial de afectar la producción de alimentos y la seguridad alimentaria. La adopción de tecnologías orientadas hacia la sostenibilidad en la producción es una necesidad evidente (Arteaga & Burbano, 2018). En respuesta a esta necesidad, el gobierno colombiano ha adoptado enfoques

globales de sostenibilidad para contrarrestar los impactos ambientales a través de prácticas éticas de consumo y políticas operacionales que transformen los sistemas productivos hacia modelos respetuosos con el medio ambiente (Ramirez & Antero, 2013).

El sistema productivo de la panela, está determinado por la diferenciación de los contextos económicos en que se desarrolla la actividad y que en general revela índices de baja productividad, altos costos de producción y uso de tecnologías rudimentarias, lo que dificulta, a su vez, la aplicación de sistemas sostenibles (Manrique, 1997), a pesar de que en Colombia el 61 % del área total cultivada de caña se dedica a la producción de panela, en los últimos años ha perdido cobertura e importancia por el declive de precios del producto terminado, la sobreproducción de caña y productos sustitutos. Para 1992 se estimaron 70,000 productores de caña y 20,000 trapiches conformados (Federación Nacional de Productores de Panela, 2001), sin embargo, estas cifras siguen sin renovarse en la página oficial de la federación, demostrando desactualización. Actualmente, se han lanzado Proyectos Integrales de Desarrollo Agropecuario y Rural que pretenden mejorar los medios de producción agrícola en pro del bien común (Agencia de Desarrollo Rural, 2023), no obstante, el acceso a dichos programas se presenta como un desafío para individuos y empresas de recursos económicos limitados debido a la necesidad de llevar a cabo estudios ambientales, caracterizaciones, y evaluaciones de sostenibilidad que respalden la situación actual del sistema de producción. Estos requisitos son indispensables para obtener la aprobación por parte de las autoridades gubernamentales locales o regionales, de manera que los programas puedan ser considerados para su inclusión en iniciativas similares.

Pregunta Problema: ¿Cuáles son las condiciones ambientales que caracterizan los sistemas de producción de panela en el municipio de Guayabal de Siquima?

3 Justificación

El 88.8% de los productores en el sector panelero se encuentran en la pequeña escala, con un 10.5% operando en la mediana escala, y solo un 0.7% trabajando a gran escala, lo que refleja la prevalencia de unidades productoras que enfrentan desafíos debido a la limitación de recursos para expandir su producción, según la clasificación de FEDEPANELA (Rodríguez et al., 2020). No obstante, el sistema productivo de la panela desempeña un papel esencial en la economía rural del país, destacándose como uno de los principales cultivos agroindustriales en términos de extensión de tierra y su contribución a la generación de empleo, tanto en la fase de cultivo como en el proceso de elaboración en el trapiche. Esto lo consolida como un pilar fundamental para la economía nacional. Además, es crucial destacar que la panela posee un valor nutricional significativo y desempeña un papel esencial en la seguridad alimentaria del territorio (Tarazona, 2011). La panela puede considerarse como el auténtico azúcar integral de caña, caracterizado por su pureza. Sin embargo, lamentablemente, su consumo ha sido desplazado por los azúcares refinados, lo que ha llevado a subestimar sus propiedades nutricionales y ha resultado en su predominancia en estratos sociales más bajos (Obando, 2013).

En el contexto específico de Cundinamarca, la baja productividad del sector panelero se debe a la mano de obra mayoritariamente familiar, lo que da lugar a prácticas agrícolas rutinarias, una falta de renovación adecuada de cultivos y un manejo fitosanitario deficiente. A pesar de los esfuerzos por implementar tecnologías desarrolladas por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), como la introducción de nuevas variedades de cultivos y el uso de hornillas más eficientes en otras regiones del país, no se han obtenido resultados satisfactorios. Según las cifras del primer semestre de 2024 del Sistema de Información Panelero, Risaralda se destacó como el departamento con el promedio de precios más alto, con \$4030 por kilo de panela. En contraste, Cundinamarca se ubicó en el décimo lugar,

con \$3041, lo que genera una diferencia de casi \$1000. Actualmente, Boyacá ocupa la última posición, en el puesto trece, con un precio de \$2916 por kilo

Dada la situación actual en este sector, surge la imperante necesidad de evaluar la sostenibilidad del sistema de producción de panela en Guayabal de Siquima en respuesta al cambio climático, y de diseñar estrategias que aseguren su perdurabilidad en el tiempo. En este contexto, la evaluación ambiental se erige como uno de los componentes esenciales. Esta evaluación busca abordar múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Al promover prácticas agrícolas sostenibles y eficientes en el uso de recursos, contribuye al ODS 2: Hambre Cero, al asegurar la disponibilidad de alimentos para las comunidades locales, la promoción de prácticas sostenibles contribuye al ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles y la colaboración con diversas partes interesadas para diseñar estrategias sostenibles refleja el espíritu del ODS 17: Alianzas para lograr los Objetivos.

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Evaluar ambientalmente el sistema de producción de panela en el municipio de Guayabal de Siquima, Cundinamarca

4.2 Objetivos Especificos

- Caracterizar el componente ambiental del sistema de producción de panela en Guayabal de Siquima, Cundinamarca.

- Determinar las debilidades y fortalezas ambientales del sistema de producción de panela en Guayabal de Siquima.

- Analizar los indicadores de la evaluación ambiental del sistema de producción de panela en Guayabal de Siquima

5 Marco referencial

5.1 Marco conceptual

Evaluación Ambiental: Corresponde a la determinación de consecuencias o impactos ambientales de proyectos o actividades, sean negativos o positivos, es el estudio de esos posibles cambios desde distintas perspectivas, socioeconómicas y biofísicas; implica el desarrollo de acciones para describir los factores implicados en el sistema y su entorno, para luego identificarlos y analizarlos (Jain et al., 2002). Es una herramienta fundamental en la gestión ambiental, su propósito radica en suministrar datos acerca del entorno y sus fluctuaciones, las cuales son el resultado tanto de factores ambientales como de las actividades humanas. Esta información permite establecer relaciones entre las causas y los efectos, con el propósito de diseñar políticas y estrategias orientadas a mejorar la gestión ambiental (Ambala & Ocholla, 2006). La evaluación ambiental es un concepto que tiende a confundirse con la evaluación de impacto ambiental y la evaluación ambiental estratégica, sin embargo, esta se refiere a describir las evaluaciones sistemáticas realizadas por un grupo de trabajo para identificar, estimar y evaluar impactos ambientales asociados a actividades humanas, con el propósito de mitigar posibles efectos negativos y posteriormente el planteo de decisiones para la gestión ambiental, es la herramienta que permite la planificación integral que considera los sistemas socioculturales económicos y ecológicos, el EIA y el SEA corresponden solo a enfoques de esta evaluación ambiental (Matemilola & Salami, 2021).

Seguridad Alimentaria: Se trata de la condición en la que todas las personas pueden obtener tanto económicamente como físicamente los alimentos que son adecuados en cantidad y calidad para cubrir sus necesidades nutricionales y llevar una vida saludable. Este objetivo se encuentra dentro de los 17 objetivos del desarrollo sostenible establecidos en la agenda 2030 (Ramirez et al., 2020). Se basa en cuatro pilares: disponibilidad, accesibilidad, estabilidad y utilización biológica de los alimentos, tomando la idea de promover

dietas sostenibles que, al ser nutritivas y saludables, sean respetuosas con la biodiversidad y el medio ambiente (Medina et al., 2021).

Sistema de producción: Es considerado la conformación de micro y pequeñas empresas que se desenvuelven en un sistema especializado, con el uso de recursos disponibles y tecnología, consecuente de las interacciones sociales, políticas y culturales (Iglesias & Ramirez, 2008).

Panela: Es el jugo obtenido de una caña de azúcar madura con alto contenido de sacarosa libre, que es cocido a altas temperaturas hasta formar una melaza densa, para obtenerla en estado sólido se pasa a unos moldes en diferentes formas como prismas o casquetes esféricos, donde se deja secar y se solidifica, o de forma granulada donde la temperatura de moldeo es más alta y el batido más intenso, lo que hace que las partículas se separen en gránulos con menor contenido de humedad (Masciotti, 2014).

Trapiche: Es la planta de proceso para la producción de panela o miel de caña, su instalación consiste en los equipos necesarios para la transformación de la caña en panela, suele ubicarse en el punto central de la finca, con equidistancia a los cultivos, está compuesto por el área de apronte (recepción, limpieza y preparación de la caña), procesamiento, elaboración, almacenamiento, secado de bagazo e instalaciones sanitarias (Albarracín et al., 2007).

Maquila: La subcontratación es una práctica en la que un productor emplea a operarios para ejecutar ciertas etapas de su proceso productivo, con el propósito de reducir costos mediante la contratación de mano de obra a salarios más bajos. Esta estrategia es comúnmente empleada por grandes industrias que contratan trabajadores en el extranjero. Sin embargo, también existen empresas nacionales que, por diversas razones logísticas, económicas o estratégicas, buscan tercerizar su producción (Castagnino, 2021).

Bagazo: Residuo obtenido durante la molienda de la caña, cuya humedad depende del grado de extracción del molino, este es llevado y almacenado en cobertizos hasta que disminuya su humedad y pueda ser empleado como combustible en los procesos térmicos para la elaboración de la panela, y que en muchos casos no es suficiente por lo que se emplea la leña como complemento (Albarracin et al., 2007).

Marco Para La Evaluación De Sistemas De Manejo De Recursos Naturales Incorporando Indicadores De Sustentabilidad (MESMIS): Corresponde a un método que identifica las fortalezas y debilidades de la forma de producción y guía el proceso para la toma de decisiones en pro de volver el sistema más sustentable y por tanto con mayores beneficios tanto económicos como ambientales, se basa en cuatro premisas, la sustentabilidad medida en atributos, la evaluación se debe realizar sobre un sistema real en espacio y tiempo, es un proceso participativo, y debe compararse de forma transversal, dos sistemas en el mismo tiempo, o un sistema en distintos momentos (Astier et al., 2008).

Según Fonseca y Narváez, (2020), la metodología MESMIS considera algunas premisas, es válida para sistemas específicos en un lugar y contexto social y político determinados, con una escala espacial como la unidad de producción, y una escala temporal de tipo transversal, es decir, una comparación simultánea de los sistemas de manejo; y los siete atributos de la sostenibilidad:

- **Productividad:** Habilidad del sistema productivo para proporcionar los bienes y servicios necesarios para el sustento de la familia residente.
- **Estabilidad:** Habilidad del sistema productivo para mantenerse operativo a lo largo del tiempo, incluso frente a desafíos climáticos, económicos, del mercado, tecnológicos y laborales.
- **Confiabilidad:** Habilidad del sistema productivo para autorregularse o adaptarse en respuesta a perturbaciones ambientales.

- **Resiliencia:** Habilidad innata del sistema para recuperar su equilibrio tras enfrentarse a perturbaciones climáticas o fluctuaciones del mercado.
- **Adaptabilidad:** Habilidad del sistema productivo para efectuar ajustes internos cuando se ve afectado por cambios.
- **Equidad:** Habilidad para repartir responsabilidades y beneficios entre sus miembros, así como para involucrarlos en la toma de decisiones.
- **Autogestión:** Habilidad para suministrarse de insumos, procesos y recursos necesarios para operar de manera eficiente.

Degradación del suelo: La degradación del suelo se define como el deterioro de la salud del terreno, y se produce cuando la capacidad del ecosistema para generar bienes y servicios disminuye (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023). Este proceso de degradación involucra una disminución sustancial de la productividad biológica, siendo resultado principalmente de actividades humanas en lugar de eventos naturales. Cabe destacar que cualquier área, sin importar sus características climáticas, topográficas u otros factores ambientales, puede verse afectada por la degradación. Para que un terreno degradado pueda recuperarse, debe cumplir con dos condiciones esenciales: la perturbación debe ser temporal y de duración limitada, de modo que no modifique de manera permanente las condiciones ambientales inherentes del área. De lo contrario, la degradación se considerará irreversible (Johnson, 2007). La degradación de los suelos representa una amenaza significativa para la producción de cultivos y la seguridad alimentaria, ya que aproximadamente el 40 % de las tierras agrícolas en todo el mundo muestran signos de degradación moderada, mientras que el 9 % experimenta un nivel alto de degradación (Mohamed et al., 2019).

5.2 Marco teórico

Sistema de producción de la panela

La caña panelera suele ser un cultivo permanente que inicia su etapa productiva a los 18 meses, tiene un promedio de 15 cosechas al año (Orjuela & Chavarrio, 2011). La producción de subproductos de la caña de azúcar se realiza mediante métodos ancestrales transmitidos de generación en generación en instalaciones llamadas trapiches, el proceso para obtener la panela inicia con la extracción del jugo de caña mediante la compresión en molinos; posteriormente, este jugo se filtra, purifica y clarifica. Los jugos son concentrados por evaporación en recipientes metálicos que se calientan mediante la combustión del mismo bagazo residual de la molienda; la consistencia y el tiempo de calentamiento son determinados por la experiencia de los operadores. Finalmente, el material concentrado se transfiere a un recipiente de batido, y la panela se moldea y envasa como producto final (Gutierrez et al., 2018)

Las unidades de producción panelera de pequeña escala se caracterizan por su falta de mecanización y la falta de eficiencia técnica en la producción, lo cual presenta desafíos para la sostenibilidad y competitividad de esta industria (Guerrero & Escobar, 2015). Dentro de la estructura de producción se distinguen cinco eslabones: proveedores, agricultores, procesadores, comerciantes y clientes. El tercer componente de esta cadena, que corresponde a los procesadores de la caña panelera, está compuesto en su mayoría por los propietarios de pequeñas instalaciones agroindustriales, también se incluyen trapiches cooperativos, organizados como empresas de trabajo asociado, y algunas empresas de maquila (Nath et al., 2015). Esta industria agroalimentaria abarca un amplio espectro de actividades que involucran la agricultura, la transformación de productos, la intermediación y la distribución, así como el consumo final, englobando diversos sectores de la economía (Torres et al., 2010).

El sistema productivo de la panela se compone de varias fases, La producción de panela comienza con la extracción de la materia prima, donde se corta la caña de azúcar en dos modalidades: el corte parejo, un proceso tecnificado que produce jugos con concentración de azúcar homogénea, y el entresaque, que cosecha cañas aparentemente maduras, pero con concentración de azúcar variable. Luego, se realiza el alce y transporte de la caña al trapiche. La recepción y acondicionamiento ocurre en el trapiche, donde se almacena, pesa y dispone la caña cerca del molino para facilitar el proceso. La obtención de mieles para la panela involucra la molienda, pre-limpieza, clarificación y encalado de jugos, seguido de la concentración de mieles. Finalmente, la elaboración de panela incluye el batido y el moldeo o tamizado, dependiendo de la presentación del producto (Albarracin et al., 2007).

Caña de azúcar

La caña de azúcar se clasifica en seis especies, con dos de ellas que se encuentran en la naturaleza y las otras cuatro existen sólo en cultivo. De estas especies, tres son estériles y han dado origen a híbridos que forman la base de la caña de azúcar utilizada en la producción comercial. Estas cuatro especies son *S. officinarum*, *S. barberi*, *S. sinense* y *S. edule*. Sin embargo, la primera especie, *S. officinarum*, ha sido la principal impulsora de la producción comercial de azúcar (Irvine, 1999). La caña de azúcar empleada para la producción de panela pertenece a la familia Gramineae y su género y especie es *Saccharum Officinarum* (Torres et al., 2010), es una gramínea tropical emparentada con el sorgo y el maíz. Su tallo almacena jugos ricos en sacarosa que se procesan. Tiene raíces que se extienden hasta 80 cm de profundidad, un tallo con nudos y entrenudos esenciales para los subproductos, hojas en forma de vaina, flores hermafroditas poco usadas en la producción y semillas empleadas en programas de mejora o hibridación su cultivo se desempeña bien en suelos sueltos, profundos y fértiles, no se recomienda para suelos franco-limosos y limosos, se adapta bien a los suelos con pH que va desde 4 a 8.3 (Diaz & Portocarrero, 2002).

La caña de azúcar atraviesa cinco etapas, germinación, crecimiento vegetativo y maduración, en esta última la planta detiene el crecimiento y empieza a almacenar los azúcares desde la base del tallo hasta el ápice, en esta etapa son recomendables las temperaturas bajas, para aumentar la producción de sacarosa (Reyes, 2021), de acuerdo a las condiciones edafológicas con respecto al requerimiento del cultivo, se recomienda un pH de 5.5 a 7.5, humedad relativa del 70 al 75 %, temperatura entre los 20 y 30 °C, precipitaciones de 1550 a 1700 mm, y una altura 500 a 2000 m.s.n.m. (Realpe, 2023).

Enfermedades y plagas

El Barrenador de los tallos (*Diatraea saccharalis* F.) es la plaga más perjudicial para el cultivo de caña en la región, con un impacto económico significativo. Sus efectos se manifiestan a través de la muerte de cogollos, la destrucción de yemas asexuales y la formación de perforaciones circulares en los nudos y entrenudos de la caña, estos daños reducen la cantidad de tallos, retrasan el crecimiento de las plantillas y disminuyen el contenido de sacarosa en la caña. Controlar el Barrenador de los tallos es esencial para preservar la calidad y cantidad de fibra de la caña y proteger la economía de la región (Albarracin et al., 2007). La principal característica de presencia de barrenadores es la perforación que hacen las larvas al ingresar al tallo, una sola larva puede afectar varios entrenudos, con respecto a otros insectos están los Salivazos (*Mahanarva trifisa* o *Mahanarva bipars*), se localiza en la base del tallo de la caña, la Hormiga loca (*Paratrechina fulva*), se alimenta de las sustancias azucaradas (Tarazona, 2011), el *Physalospora tucumanensis* que genera la pudrición de la semilla, nemátodos como *Criconemoides* spp, *Xiphinema* spp y *Trichodorus* spp producen lesiones necróticas y destrucción de raicillas secundarias; igualmente *Meloidogyne* spp y *Radopholus* spp pueden afectar las raíces de la planta produciendo agallas o nudosidades (Insuasty & Manrique, 1997)

Importancia económica

La importancia económica del cultivo de caña en Colombia es innegable, ya que desempeña un papel fundamental en el ámbito de las actividades agropecuarias. Los subproductos de la caña representan un pilar económico en numerosos departamentos del país. No obstante, la producción de caña implica una serie de gastos que resultan onerosos para los productores a lo largo de todo el proceso, agravados por el bajo precio de los productos finales. Esta situación ha llevado al sector panelero a enfrentar una crisis económica que pone en riesgo su sostenibilidad (Lopez, 2015). A pesar de que el cultivo de caña panelera ocupa un extenso territorio y requiere una considerable cantidad de mano de obra, sus rendimientos económicos se ven limitados por deficiencias en el proceso de procesamiento (Mosquera et al., 2007). Estas circunstancias se traducen en que su participación como cultivo permanente sea del 10.7%, ya que es cultivado en prácticamente todo el país durante todo el año. Además, este cultivo representa la base económica de 236 municipios y da empleo al 12% de la población rural, posicionándose como el segundo generador de empleo después del café. Es importante destacar que la producción de panela constituye un porcentaje significativo del gasto en alimentos de los colombianos, alcanzando el 2.18%, y este porcentaje puede ser aún mayor, llegando al 9% en los sectores con menores ingresos (Ortega et al., 2008).

Índices de biodiversidad

Según Magurran, (2021) el índice de Simpson, utilizado en ecología para medir la diversidad biológica en comunidades de especies, se centra en la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. Valores bajos de Simpson indican una alta diversidad, donde ninguna especie domina el ecosistema, mientras que valores altos sugieren baja diversidad con una o pocas especies predominantes. El índice de Simpson invertido ($1 - D$) es una medida complementaria al índice de Simpson estándar en ecología. Este índice transforma la métrica original de Simpson para facilitar la interpretación, donde valores más altos de ($1 - D$) indican una mayor equidad y diversidad entre las especies presentes en la comunidad. Por otro lado, el índice de Shannon (H') es una medida integral de la diversidad que considera

tanto la riqueza de especies como la equidad en la distribución de individuos entre esas especies. Valores más altos de H' reflejan una mayor diversidad, donde cada especie contribuye de manera más equitativa a la comunidad, proporcionando una visión más completa de la estructura y la equidad de la biodiversidad en un ecosistema

5.3 Marco legal

Se determina la normativa vigente y de interés para la investigación en la **Tabla 5-1** en orden cronológico, y con una breve descripción de los temas tratados en cada documento.

Tabla 5-1 Normatividad correspondiente al recurso suelo y la minería en Colombia.

NOMBRE DE LA NORMATIVA		DESCRIPCIÓN
Decreto de 1974	2811 Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente"	Tiene por objeto preservar, restaurar y conservar el ambiente, prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables, y regular la conducta humana, individual o colectiva y la Administración Pública.
Constitución Política de Colombia de 1991		La Constitución de 1991 en Colombia se centra en proteger el ambiente y los recursos naturales, incluyendo los suelos. Promueve el desarrollo sostenible, que requiere la conservación responsable de los suelos y otros recursos para preservar la biodiversidad y prevenir desastres naturales.
Resolución de 2006	779 Por el cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que se deben cumplir en la producción y comercialización de la panela para consumo humano y se dictan otras disposiciones	Establece los requisitos para la fabricación y comercialización de panela para consumo humano.
Resolución 3462 de 2008	Por la cual se modifica el artículo 9 de las condiciones sanitarias de los trapiches y el artículo 15 sobre requisitos para la exportación de panela de la Resolución 779 de 2006 y se dictan otras disposiciones.	Establece la inscripción tanto de Trapiches Paneleros como de las Centrales de Acopio de mieles provenientes de trapiches paneleros y amplía el plazo de cumplimiento de los siguientes requisitos hasta septiembre de 2011: Separación de la vivienda, Delimitación física entre las áreas de recepción, producción, almacenamiento y servicios sanitarios, Servicios sanitarios conectados a un sistema de disposición de residuos, Flujo secuencial del proceso en la fábrica.

Resolución 3544 de 2009	Por la cual se modifican los artículos 11 y 13 de la Resolución 779 de 2006.	Amplía los plazos para el cumplimiento de los requisitos del envase individual y rotulado de la panela hasta septiembre de 2011.
Política para la Gestión Sostenible del Suelo del 2016		Promueve el manejo sostenible del suelo en Colombia, en un contexto en el que se armonicen la conservación de la biodiversidad, el agua y el aire, el ordenamiento territorial y la gestión del riesgo, en pro del desarrollo sostenible y el bienestar comunitario.
Ley 2294 de 2023	Por el cual se expide el plan nacional de desarrollo 2022- 2026 “Colombia potencia mundial de la vida”	Contiene el articulado, del Plan Plurianual de Inversiones y las bases del Plan Nacional de Desarrollo aprobado por el Congreso de la República. El objetivo de la ley es sentar las bases para que el país se convierta en un líder de la protección de la vida a partir de la construcción de un nuevo contrato social que propicie la superación de injusticias y exclusiones históricas, el fin del conflicto armado, un nuevo relacionamiento con el ambiente y una transformación productiva en armonía con la naturaleza.

6 Diseño metodológico

Objetivo 1: Caracterizar el componente ambiental del sistema de producción de panela en Guayabal de Síquima, Cundinamarca.

Guayabal de Síquima, un municipio principalmente agropecuario, se distingue por sus pequeñas unidades agrícolas familiares, típicamente de menos de cinco hectáreas. Estas familias dependen de la agricultura de subsistencia y la comercialización de cultivos como café, caña panelera y maíz (Bueno & Torres, 2018). La vereda Torres, ubicada al norte del municipio, alberga aproximadamente unas 30 familias que enfrentan condiciones adversas debido a las pendientes pronunciadas y problemas de calidad del suelo, lo cual incrementa el riesgo de deslizamientos (Torres C. , 2010).

En este contexto, se estableció contacto con varias familias productoras de caña panelera interesadas en participar en un proyecto de análisis transversal de los sistemas productivos. A continuación, se presenta la información recopilada de cinco predios que corresponde a quienes decidieron activamente participar en el proyecto y que, durante las visitas a campo, demostraron tener características distintas entre sí. Este análisis se realizó teniendo en cuenta los indicadores necesarios para determinar el componente ambiental de la metodología MESMIS de evaluación de sustentabilidad.

➤ **Encuestas:** Se realizó una encuesta asistida a los líderes de cada sistema productivo por predio (Ver **Fotografía 6-1**). Esta encuesta recopiló datos detallados sobre el proceso productivo y los sistemas involucrados, incluyendo componentes biofísicos, insumos y materias primas requeridas o extraídas, enmiendas orgánicas y químicas utilizadas, descripciones y tipos de prácticas, interacciones con subsistemas internos y externos, y la metodología de trabajo empleada.

La encuesta aplicada en los distintos puntos de Guayabal de Siquima para evaluar el sistema productivo de caña panelera abarcó varios ejes temáticos clave, con el fin de definir las unidades productivas a evaluar, sus características y el contexto ambiental de la evaluación, proporcionando una visión integral de los procesos y prácticas involucradas. Los temas cubiertos incluyeron la identificación de proveedores y el tipo de insumos adquiridos, detallando la inversión económica en maquinaria, herramientas y productos agroquímicos. Se exploró el área de cultivo y trapiche, los costos operativos, la tenencia de la tierra y la antigüedad de los cultivos, así como los modelos de siembra y prácticas de manejo, como la distancia entre plantas y surcos, y el establecimiento en pendientes. La encuesta también abordó aspectos de la producción, como el tiempo entre cortes de caña, el rendimiento por hectárea, y el precio de venta del producto final. Además, se investigaron los métodos de fertilización, control de plagas y enfermedades, y preparación del suelo, así como las prácticas de riego y las fuentes de agua utilizadas. El cuestionario incluyó preguntas sobre la disposición de residuos, las condiciones ecológicas de las fincas, y las condiciones sociales de los productores, incluyendo la tenencia de la vivienda, el acceso a servicios públicos y el nivel de educación de los trabajadores. Finalmente, se indagó sobre la satisfacción del productor con el sistema productivo y la valoración de las labores realizadas, proporcionando una comprensión exhaustiva de las fortalezas y debilidades del sistema productivo de caña panelera en la región. Las cinco encuestas obtenidas fueron completadas y registradas en una base de datos para facilitar la identificación de los diferentes factores característicos de cada sistema. El análisis de los datos no fue compilatorio; en lugar de eso, cada encuesta fue evaluada de forma individual para asegurar una comprensión detallada y específica de cada sistema productivo.



Fotografía 6-1 Realización de encuestas

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Toma de datos y análisis ambiental:** Para la toma de datos en campo se realizaron diferentes recorridos para la identificación y muestreo de algunos de los componentes, y posteriormente el uso de fuentes secundarias de información para determinar los siguientes aspectos.

- Selección del Área de Estudio: En campo, se identificaron 5 sistemas productivos con características significativamente diversas para asegurar una representación amplia y exhaustiva de la producción de panela en el área de estudio. La selección se basó en criterios específicos, considerando las diferencias relevantes en términos de insumos y materias primas utilizadas, tamaño de las áreas de cultivo, procesos de producción, variedad de productos de panela elaborados y prácticas de manejo.

Teniendo en cuenta la participación comunitaria y las personas contactadas para el proyecto se evidencia a continuación, los predios correspondientes a las áreas de estudio ubicadas sobre la vereda Torres, en total se tienen 14.52 ha o 145,224.42 m².

Teniendo en cuenta el análisis inicial de los POE (Predios Objeto de Estudio) de la

identificación realizada, se determinó que el eje de transversalidad para la evaluación será por su tipo de fertilización. En la **Tabla 6-1** se presenta la Información principal de los propietarios y/o participantes del estudio.

Tabla 6-1 Información general preliminar

Código	Numero Predial	Nombres y Apellidos del Propietario	Área del Predio		Fertilización identificada
			Ha	m ²	
POE 1	2532800000000012007600000000	Gloria Bernal	1.65	16520.80	Gallinaza
POE 2	2532800000000012014500000000	Nubia Riaño	3.12	31209.07	No empleada
POE 3	2532800000000012014600000000	Leider Penagos	6.82	68225.60	Química
POE 4	2532800000000012004000000000	Uriel Felacio	1.17	11676.12	No empleada
POE 5	2532800000000012012700000000	Lucila Arias	1.76	17592.82	Gallinaza

Fuente: Elaboración propia.

- Georreferenciación: En una visita directa a las áreas seleccionadas, para la identificación puntual y actualizada del área de estudio, se realizaron dos vuelos de dron para generar una ortofotografía que permitió la delimitación actualizada de los predios objeto de estudio y la generación de algunos de los recursos implementados. La determinación del tamaño de estas áreas se basó en un análisis integral considerando factores clave relacionados con la topografía, vegetación, fuentes de agua, prácticas agrícolas y otros elementos del entorno ambiental. En la **Figura 6-1** se puede apreciar los predios seleccionados, pertenecientes a la Vereda Torres, ubicada en el municipio de Guayabal de Siquima, Cundinamarca – Colombia.

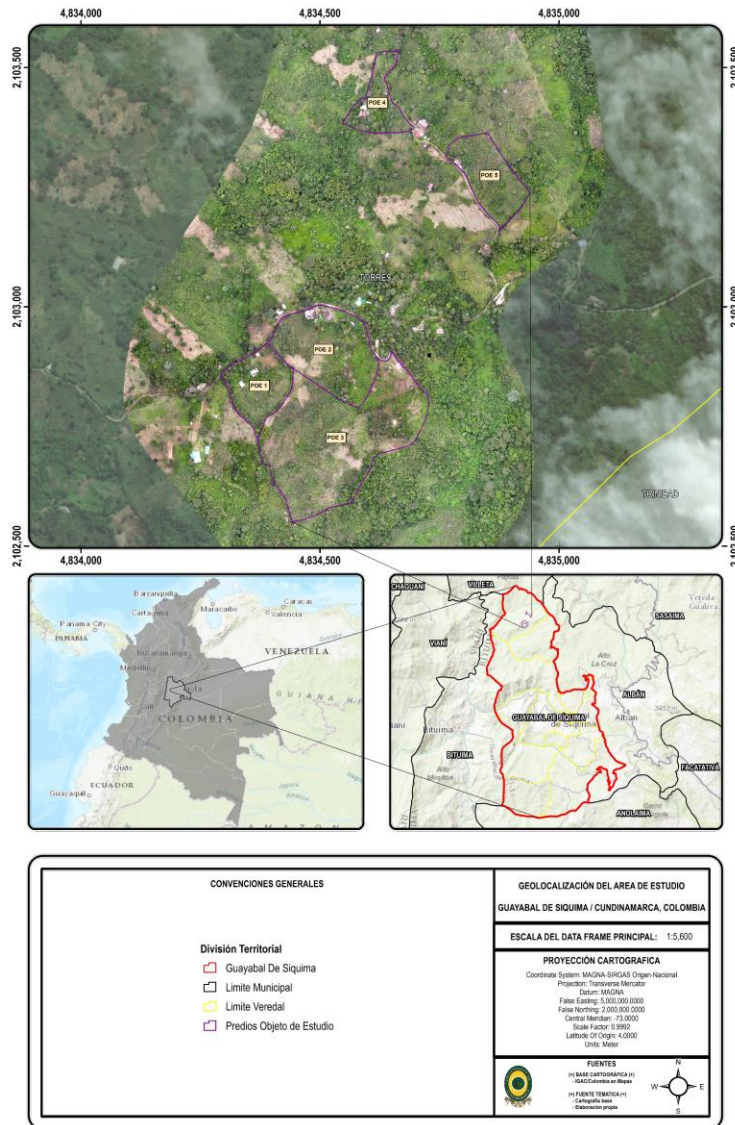


Figura 6-1 Geolocalización del área de estudio

Fuente: IGAC (2022), Elaboración propia.

Estableciendo los POE se eligieron los puntos de muestreo mostrados en la **Figura 6-3**. Una vez seleccionados, se caracterizaron las unidades productivas teniendo en cuenta tres determinantes, biofísicas, tecnológicas y de manejo, socioeconómicas y culturales, sin embargo, se considerarán en la **Tabla 6-2**, solo las que tendrán injerencia en el área evaluativa ambiental, que son propuestas por la metodología MESMIS.

Tabla 6-2 Determinantes para la caracterización del componente ambiental

Determinantes	Descripción		
Biofísicas	Caracterización Física	Geosférico y Biogeográfico	Geología y Geomorfología Erosión Topografía Coberturas Suelos Áreas protegidas
		Climatológico	Precipitación Temperatura Evapotranspiración potencial
		Hidrológico	Hidrología Puntual Fuentes generadoras de vertimientos
		Atmosférico	Velocidad y Dirección del Viento Fuentes generadoras de emisiones
	Caracterización Biótica	Diversidad	Revisión de Fauna y Flora en el municipio Fauna y Flora identificada por los propietarios Índices de Biodiversidad de artrópodos
		Medición de agrobiodiversidad	Cobertura Vegetal Especies cultivadas
Tecnológicas y de manejo	Caracterización Agrícola	Cultivo	Fertilización Manejo de arvenses Control de plagas y enfermedades Labranza Riego Cosecha
		Post cosecha	Apronte Extracción de jugos Limpieza Evaporación, concentración y punteo Moldeo Empaque Comercialización

Fuente (Astier et al., 2008): *Elaboración propia.*

➤ Caracterización Física:

- Se utilizaron bases de datos para recopilar los siguientes datos en forma de tablas, gráficas, vectoriales o ráster según fuese necesario:
 - Geosférico y Biogeográfico:

- Geología: Se descargaron de "Colombia en Mapas" (IGAC) las capas de unidades cronoestratigráficas, así como las fallas y pliegues que configuran la región de interés según la base del Servicio Geológico Colombiano.
- Erosión: A través del portal de Datos Abiertos del Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), se descargó la capa de zonificación de la degradación de suelos por erosión. Esta incluye áreas con diferentes niveles de susceptibilidad a la erosión.
- Suelos: En Colombia, existe una delimitación geográfica específica que representa un tipo o grupo particular de suelo, con ciertas características específicas asociadas. A esta se le llama Unidad Cartográfica de Suelo, estas unidades se descargaron de Colombia en Mapas, en la capa de suelos de Cundinamarca que representa la distribución de suelos determinada mediante un levantamiento general de suelos del país, luego en ArcMap se recortó esta capa al área de estudio para determinar las unidades presentes. Por último, se usó una guía taxonómica de suelos para determinar las características generales del suelo en la zona.
- Topografía: Se descargó un modelo de elevación digital de la zona y a partir de este se calcularon las curvas de nivel del área de observación con una distancia vertical de 20 metros entre cada una utilizando la herramienta "Contour" en ArcMap. Luego se trazó una línea con "Interpolate Line" abarcando los límites de los predios y se visualizó el perfil de elevación del terreno a través de una gráfica representativa de dicha línea (Profile Graph). Utilizando el mismo modelo de elevación digital, se aplicó la herramienta "Slope" para generar un modelo de pendientes expresado en grados.

- Coberturas vegetales: Se clasificaron los tipos de coberturas en 6; Vegetación arbórea, vegetación arbustiva, pastos, suelo desnudo, cultivos e infraestructura. Luego mediante fotointerpretación de la ortofotografía obtenida anteriormente, se digitalizan distintos polígonos en los POE para clasificar y calcular las áreas en el software ArcMap. Las áreas de cultivos identificadas fueron las seleccionadas para los análisis referentes a la producción (Ver **Tabla 7-24**), dado que, durante la clasificación, bajo algunas clases de vegetación se oculta área cultivada de caña, se sumaron a las áreas de cultivos un total de 0.05 ha a cada POE con el objetivo de cubrir un ligero déficit productivo, dado que es un aproximado del área ocupada.
 - Áreas protegidas: Se corroboró, a través de la plataforma de Datos Abiertos, en el visualizador en línea, que el área de estudio y las áreas cercanas se superpongan o no con algún área protegida, en cuyo caso positivo, se mostrará mediante cartografía su ubicación.
- Climatológico:
- Precipitación y temperatura: Para analizar la frecuencia o probabilidad de las variables, se utilizaron métodos estadísticos basados en datos hidrometeorológicos del IDEAM, extrayendo información de las normales climatológicas estándar de 1991 a 2020. Se aplicó el Método de Distancia Inversa Ponderada (IDW) del software ArcGIS para analizar cómo se distribuye y se comporta la lluvia en el área. Este método es determinista y calcula los valores en lugares donde no hay datos a través de una combinación lineal de los valores conocidos más cercanos. Se realizaron 2 recortes para las estaciones climatológicas con los datos requeridos. En el caso de la precipitación, se hizo un

recorte con una zona de influencia de 50 km respecto de Guayabal de Siquima, para la temperatura debido a su escasez, se realizó un recorte sobre una zona de influencia de 100 km respecto de Guayabal de Siquima (Ver Figura 6-2).

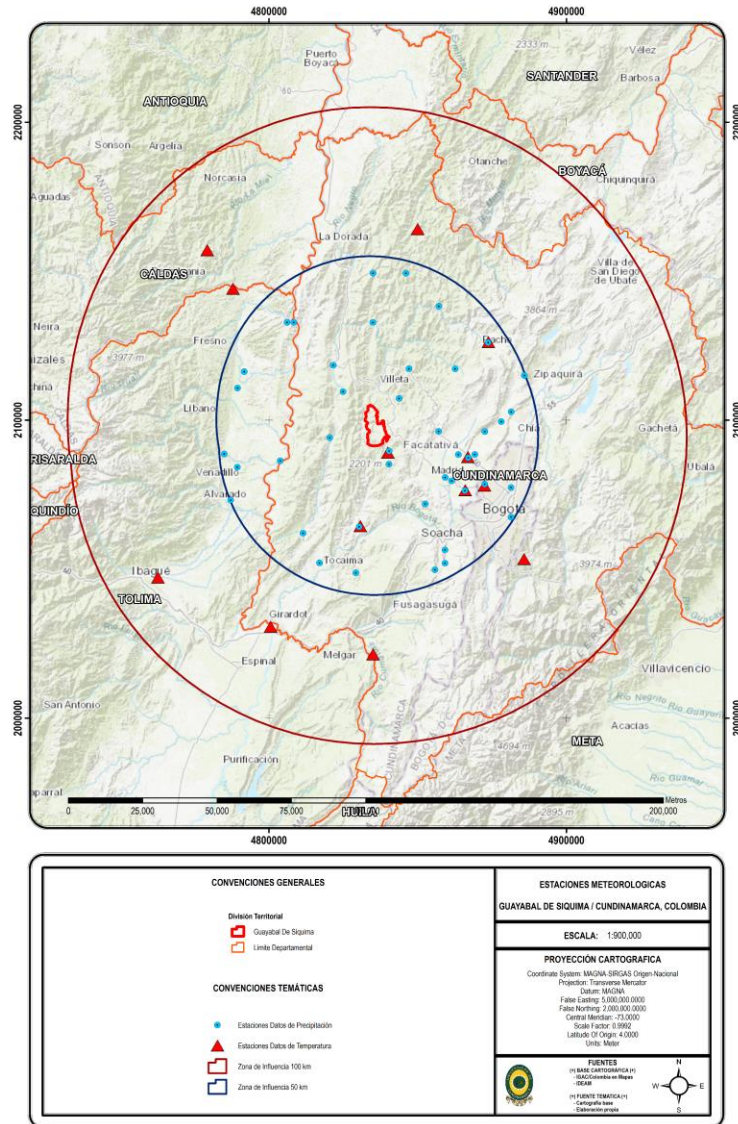


Figura 6-2 Estaciones meteorológicas usadas para el estudio de clima

Fuente: IDEAM (2024), Elaboración propia.

- Evapotranspiración potencial: Para su determinación, se consultó el Manual de Zonificación Climática para Levantamiento de Suelos y se aplicó el método de

Holdridge. Al clasificar el área de estudio según las zonas morfoclimáticas de (Castro & Agualimpia, 2017), se identificó que pertenece a la región ORIENTAL-OCCIDENTAL. Esta clasificación se utilizó junto con modelos de regresión lineal para calcular la temperatura del aire. Para ello se empleó un Modelo Digital de Elevación (DEM) descargado del servicio ASF de la NASA para generar un modelo de temperatura media del aire en función de la altitud utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Temperatura del Aire (}^{\circ}\text{C)} = 29.711 + (- 0.0061 * h)$$

Ecuación 6-1

h = Elevación (m.s.n.m)

Utilizando la calculadora de ráster. Dado que las temperaturas del aire oscilan entre 6 y 24 °C, se asumió que el ráster de temperatura del aire es igual a la biotemperatura. Con esta información, se calculó la evapotranspiración potencial mediante la **ETP Holdridge = Biotemperatura * 58.93**

Ecuación , que incorpora el modelo de temperatura media del aire calculado previamente.

$$\text{ETP Holdridge} = \text{Biotemperatura} * 58.93$$

Ecuación 6-2

- Hidrológico:
 - Hidrología puntual: Utilizando la herramienta de hidrología de ArcMap, primero se aplicó la herramienta “Fill” para eliminar imperfecciones en el modelo de elevación digital obtenido anteriormente. Luego, se empleó “Flow Direction” para determinar la dirección de flujo según la elevación en ocho direcciones distintas. Posteriormente, se utilizó la herramienta “Flow Accumulation” para generar una

nueva capa con el flujo acumulado en cada celda, basada en las direcciones de flujo. A continuación, se utilizó "Ráster Calculator" con la fórmula "Log10("FLOW_ACCUMULATION_RASTER")" para determinar toda la red de drenaje de la subzona hidrográfica. Una vez aquí, se usó nuevamente "ráster calculator" usando la ecuación "Con("RED_DRENAJE" > 2,"RED_DRENAJE")" para generar un ráster con solo los drenajes de orden 2 en adelante.

- Fuentes generadoras de vertimientos: Mediante inspección visual en campo, se identificaron los vertimientos generados durante las actividades del predio. Debido a la falta de equipos para la caracterización de aguas, se determinó cualitativamente el grado de afectación. Esta evaluación se basó en el conocimiento de las áreas donde se generaron o no vertimientos y en el tipo de vertimientos producidos en el área de estudio.
- Atmosférico:
 - Velocidad y dirección del viento: Se descargó una modelación de datos de viento de Meteoblue, que indican el comportamiento de los vientos (velocidades mensuales acumulativas y la rosa de los vientos) en el área basándose en los puntos cercanos medibles y utilizando datos históricos a nivel internacional con promedios climatológicos.
 - Fuentes generadoras de emisiones atmosféricas: Se identificaron mediante inspección visual en campo, aquellas emisiones generadas durante las actividades del predio. Para el bagazo de caña, debido a que no existe un dato certero de uso de bagazo como combustible, este se calculó a partir de la producción de panela mensual y el rendimiento de producción de caña. Para calcular la emisión de contaminantes derivada de las actividades, se tuvo en

cuenta que, de acuerdo con la **Tabla 7-24**, se producen entre todos los POE, cerca de 592.8 (redondeado a 593) kg de panela al mes. Teniendo en cuenta que según Diaz (1972), de 1 tonelada de caña se extraen aproximadamente 120 kg de panela:

$$\text{Caña utilizada} = \frac{593 \text{ kg panela} \times 1000 \text{ kg caña}}{120 \text{ kg panela}} = 4941.6 \approx 4942 \text{ kg de caña}$$

Ecuación 6-3

Conforme lo establecido por Vanegas (2016), el bagazo representa entre el 25 y el 40% del total de la caña procesada, se utilizará un valor intermedio de 33% para este ejercicio (Ver **Bagazo obtenido** = 4942 kg de caña × 0.33 = 1630.8 ≈ 1631 kg de bagazo

). Además, el autor menciona cerca del 50% del bagazo es agua, es decir que tiene una humedad del 50%, y para ser usado como combustible debe tener una humedad del 30% (Ver **Bagazo seco** = 1631 kg de bagazo × 0.7 = 1141.7 ≈ 1142 kg de bagazo) o menos (70% materia seca o más), por lo que deberá permanecer almacenado hasta reducir su contenido de agua, entonces:

$$\text{Bagazo obtenido} = 4942 \text{ kg de caña} \times 0.33 = 1630.8 \approx 1631 \text{ kg de bagazo}$$

Ecuación 6-4

$$\text{Bagazo seco} = 1631 \text{ kg de bagazo} \times 0.7 = 1141.7 \approx 1142 \text{ kg de bagazo}$$

Ecuación 6-5

Teniendo en cuenta los factores de emisión propuestos (Ver **Tabla 6-3**) por (Diaz et al., 2021) y (Aquino et al., 2017), Se calcularon las emisiones promedio diarias del área de estudio, considerando que todo el bagazo generado es en un punto

utilizado como combustible durante las actividades de los trapiches y el consumo promedio de 27.61 kg de leña al día en una familia según Ramírez y Tabora (2014). Además de que las cocinas funcionan de manera permanente por las actividades domésticas, sin embargo, el trapiche funciona un promedio de 23 días al mes, de lunes a viernes.

Tabla 6-3 Factores de emisión en g/kg de combustible

Combustible	CO ₂	CO	CH ₄	PM ₁₀	PM _{2.5}
Leña	1569.5	74.65	5.47	16.85	5.89
Caña de Azúcar	1617.98	25.7	2.29	1.81	1.19

Fuente: Elaboración propia.

El muestreo e inspección visual de las diferentes variables se realizó teniendo en cuenta que los predios abarcan entre una y siete hectáreas. Según la Red de Buenas Prácticas Agropecuarias (2020) se estableció la técnica conforme a las recomendaciones de muestro para suelo. Partiendo de la delimitación de los predios, se generó un muestreo simple en cinco puntos de cada uno de los POE, debido a que se identificaron suelos homogéneos. Si se contara con extensiones mayores de cultivo, se requeriría la evaluación mediante muestreo compuesto. La forma del muestreo se estableció como sinuosa, es decir, no se mantuvo un estándar de simetría entre los puntos. Cada punto fue seleccionado con la ayuda de los propietarios de la finca, considerando características particulares de cada sistema, como las variedades de caña, plantas con enfermedades, cercanía a otros tipos de plantas, entre otros aspectos. Se mantuvo la misma cantidad de puntos por POE por razones prácticas, ya que, según las recomendaciones de muestreo, es posible tomar una muestra cada dos o tres hectáreas; en cuyo caso, se hubiera obtenido solo una muestra en algunos POE.

La distribución de los puntos se encuentra georreferenciada en la **Figura 6-3**.

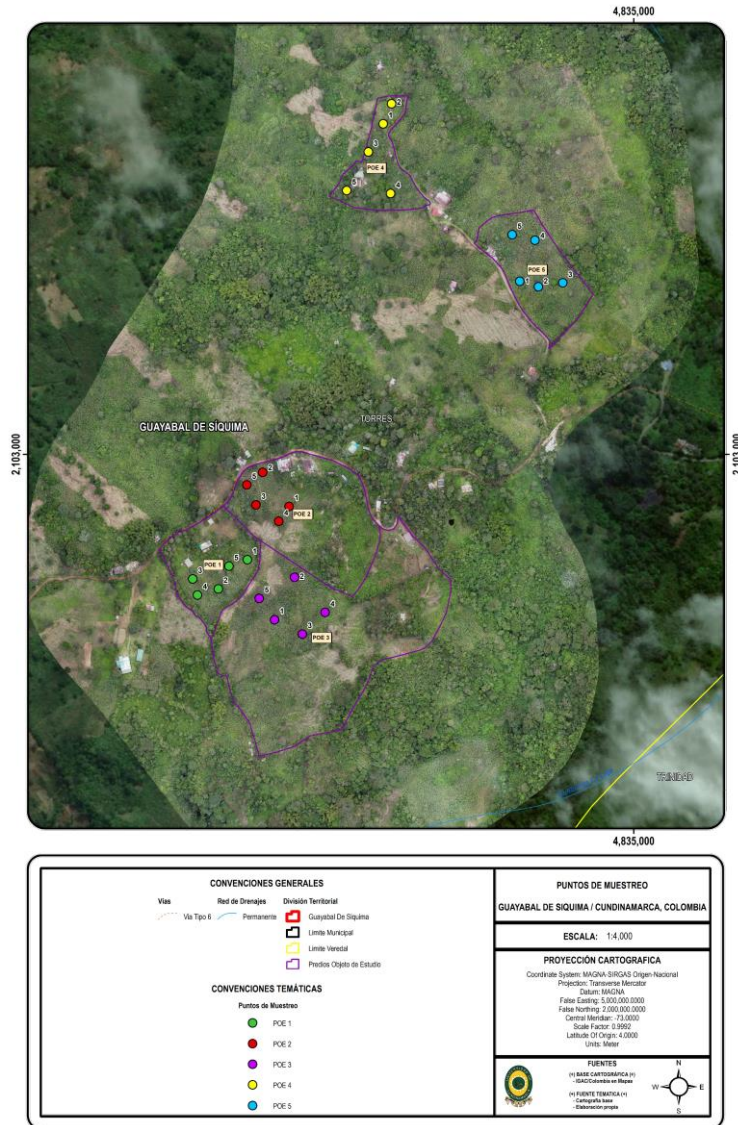


Figura 6-3 Puntos de muestreo en el área de estudio

Fuente: IGAC (2022), Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la figura anterior, por cada punto de muestreo se realizaron los siguientes análisis:

- Suelos: (Estructura, textura, pH, porcentaje de Humedad, materia orgánica, color, densidad aparente y pendiente). Durante el estudio de campo, se implementó un diseño de muestreo utilizando cajuelas de 40x40 cm en cada uno de los cinco POE (Ver **Fotografía 6-2**), permitiendo la recolección de muestras representativas del suelo y sus

características específicas. El pH se midió en solución utilizando un pH metro, mientras que el porcentaje de humedad se calculó a partir del peso inicial y final de las muestras, obtenido tras el secado en mufla. La materia orgánica se determinó visualmente mediante la reacción con agua oxigenada, y el color del suelo se clasificó utilizando la tabla Munsell. La densidad aparente se calculó mediante el método de flotación, y la pendiente del terreno se determinó utilizando aplicaciones móviles directamente en la superficie del suelo.



Fotografía 6-2 Muestreo de suelos

Fuente: Elaboración propia.

- Aguas: Se identificaron mediante inspección visual en campo, la disponibilidad de fuentes hídricas cercanas a los POE.
- Caracterización Biótica:
 - Mediante bases de datos del SiB Colombia, red nacional de datos abiertos se recopilaban inventarios de especies de flora y fauna.

- Índices de Biodiversidad de artrópodos: Para evaluar la biodiversidad local de artrópodos, se desplegaron trampas pitfall durante un período de muestreo de 24 horas (Ver **Fotografía 6-3**), en los mismos puntos de muestreo de suelo, con el fin de caracterizar las mismas condiciones dentro del cultivo. Los organismos capturados fueron identificados y tabulados de acuerdo con su jerarquía taxonómica. No obstante, es importante señalar que se descartaron tres puntos de muestreo de dos de los predios estudiados debido a problemas relacionados con la integridad de las muestras. Para estos puntos de muestreo descartados, se estimaron los datos promediando los valores obtenidos por taxón en los otros puntos del predio para cada caso. Finalmente, se calcularon los índices de biodiversidad de Simpson invertido y Shannon utilizando las siguientes fórmulas:

Índice de Simpson

$$1 - D = 1 - \frac{\sum n(n-1)}{N(n-1)}$$

Ecuación 6-6

Índice de Shannon

$$H' = (-1) \times \left(\sum p_i * \ln p_i \right)$$

Ecuación 6-7



Fotografía 6-3 Instalación de trampa pitfall

Fuente: Elaboración propia.

Objetivo 2: Determinar las debilidades y fortalezas del sistema de producción de panela en Guayabal de Siquima

- Se midieron las fortalezas y debilidades de los sistemas productivos evaluados, utilizando el marco de la Evaluación de Sustentabilidad para el Manejo de Sistemas Naturales bajo la metodología MESMIS (Astier et al., 2008).
 - Identificación de puntos críticos y relación con atributos ambientales: Se realizó una evaluación inicial de cada determinante establecida para cada predio, de acuerdo con su componente, lo que permitió establecer un punto de comparación entre cada sistema productivo desde una perspectiva ambiental. Los atributos establecidos (productividad, el conjunto estabilidad, confiabilidad, resiliencia y autogestión) se relacionaron con una determinante de interés. Se describió el enfoque de cada uno y, mediante el análisis realizado, se identificó un punto crítico y un indicador para medir el efecto de dicho punto crítico en el sistema. Este punto crítico fue el resultado del análisis de debilidades y fortalezas de todos los sistemas evaluados. A través de estos puntos, se compararon las distintas áreas de evaluación en el desarrollo de las actividades de cada predio, y aquellos más representativos sirvieron como base para la generación de los indicadores relevantes. Por lo que se estableció una matriz de puntos críticos

por POE donde se relacionan los componentes y determinantes, y se compilan los datos cuantitativos y cualitativos de cada POE, esta matriz permitió la visualización generalizada de cada POE y permite el hallazgo de las similitudes y diferencias.

Objetivo 3: Analizar los indicadores de la evaluación ambiental del sistema de producción de panela en Guayabal de Siquima

- Se realizó la determinación, medición y análisis de indicadores de los sistemas productivos evaluados, utilizando el marco de la Evaluación de Sustentabilidad para el Manejo de Sistemas Naturales bajo la metodología MESMIS (Astier et al., 2008).
 - Determinación de Indicadores:
 - Identificación de Indicadores Relevantes: Se utilizaron los atributos representativos del área técnico ambiental y se relacionaron con un posible punto crítico que puede generarse en el cultivo teniendo en cuenta la matriz de puntos críticos, y se determinaron indicadores de medición tanto cualitativa como cuantitativa, que por las diferencias entre sistemas y la influencia destacada entre sí, lo cual redujo el listado a 10 indicadores para el análisis de evaluación ambiental con su respectiva fórmula o factor de medición.
 - Índice de Mantenimiento de Cultivo
 - Rendimiento por Hectárea
 - Índice de Manejo de Arvenses
 - Uso de Fertilizante
 - Índice de Erosión Hídrica
 - Tasa de Retención de Humedad
 - Índice de Biodiversidad

- Índice de Rotación de Cultivos
- Índice de Factibilidad del Suelo
- Índice de Cobertura Vegetativa
- Índice de Precipitación

○ Análisis de Indicadores:

- Medición de Indicadores: Una vez definidos los indicadores, estos fueron medidos para cada POE tomando los valores obtenidos previamente y reemplazándolos directamente en las fórmulas de cada indicador, para los indicadores de carácter cualitativo se implementó la forma categórica o binaria de cada punto crítico con el fin de realizar un análisis final de forma numérica
- Comparación con Valores Óptimos: Los valores óptimos de cada indicador son los del POE mediante el cual se realizará la evaluación, ya que este sistema productivo será el ejemplo o la base de análisis de los demás.
- Interpretación de Resultados: Los resultados de los indicadores se analizaron por medio del valor óptimo o esperado, y el valor actual obtenido, relacionando en conjuntos de tres a cuatro indicadores, como método de evaluación transversal de la sostenibilidad del sistema de producción de panela en Guayabal de Siquima.
- Posibilidades de Mejora: En función de los resultados, se consideraron posibles mejoras en el sistema de producción, incluyendo cambios en las prácticas agrícolas, la gestión de recursos, o la implementación de estrategias de sostenibilidad junto con la evaluación continua de los procesos de manejo.

7 Resultados

7.1 Encuestas

El modelo de encuesta puede ser visualizado en el **Anexo 1**, es necesario aclarar que dentro de la metodología MESMIS se consideran tres áreas de evaluación, ambiental (A), económica (E) y social (S), por lo tanto, fue empleada una encuesta recopilatoria para la obtención de información, sin embargo, el área económica y social serán contempladas en documentos complementarios.

7.2 Toma de datos y análisis ambiental

7.2.1 Caracterización Física

7.2.1.1 Geosférico y Biogeográfico

7.2.1.1.1 Geología y Geomorfología

- Unidades presentes

El área de estudio está conformada por las Unidades Cronoestratigráficas comprendidas en la **Tabla**

7-1.

Tabla 7-1 Unidades cronoestratigráficas presentes en el área de estudio

Símbolo UC	UC	Edad	Descripción
b2b6-Sm	Shales con yeso, cherts, calizas y arenitas.	Valanginiano-Albiano	Origen de capas de rocas sedimentarias del Cretácico temprano (aprox. 113 – 139 millones de años de antigüedad) con un ambiente muy diverso y complejo

Fuente: IGAC (2022), Elaboración propia.

A pesar de que se detallan dos tipos de fallas diferentes cerca de la zona, ninguna atraviesa directamente el área de estudio (Ver **Figura 11-1**). Igualmente, no se encuentran pliegues visibles, por lo que la estructura geológica de la zona parece ser relativamente estable y sin deformaciones significativas a la escala de observación disponible.

7.2.1.1.2 Erosión

➤ Unidades presentes

El área de estudio se encuentra conformada por los tipos de erosión descritos en la **Tabla 7-2** y presentados en la **Figura 11-2**. Siendo la erosión hídrica laminar la más representativa para el área de estudio, se caracteriza por la acción uniforme del agua sobre la superficie, que tiene un impacto significativo que puede afectar la fertilidad y estructura, mientras que la erosión hídrica terracea, es la que ocupa el resto del área, siendo de grado ligero y caracterizada por depresiones o surcos, que conlleva típicamente una pérdida menor y más dispersa del suelo, lo que generalmente permite una productividad y estructura estable del terreno.

Tabla 7-2 Tipos de erosión presentes en el área de estudio

Tipo	Clase	Grado	Tipo de Observación	Cobertura de Área
Erosión hídrica	Laminar	Moderada	Interpretación Visual	59.51 %
	Terraceo (Pata de Vaca)	Ligera	Interpretación Visual	40.50 %

Fuente: IGAC (2022), Elaboración propia.

Debido a la forma del terreno, la alteración de las capas superficiales del suelo por acción del agua está presente en el área. Aunque un punto favor a considerar es que debido a que el riego realizado sobre los cultivos solo es por acción de las precipitaciones, no es una erosión tan constante.

7.2.1.1.3 Topografía

Los detalles de la topografía general se pueden apreciar en la **Figura 11-3**. El área corresponde a un valle montañoso, con diferencias de nivel abruptas entre sí, muchas deformaciones y ninguna zona plana constante. Los predios se encuentran delimitados sobre las vías principalmente, ninguno de ellos sigue algún patrón referente a la forma del terreno. Gracias al perfil de elevación obtenido en la cartografía (Ver **Figura 7-1**) se puede apreciar que existe una diferencia de niveles entre sí de hasta 80 metros, lo cual dificulta los traslados dentro de los predios y las tareas realizadas durante el día. Esto confirma los resultados referentes a la erosión del suelo y las geformas presentes debido a las pendientes excesivas entre 0° y 40° , con una pendiente promedio de 19° .

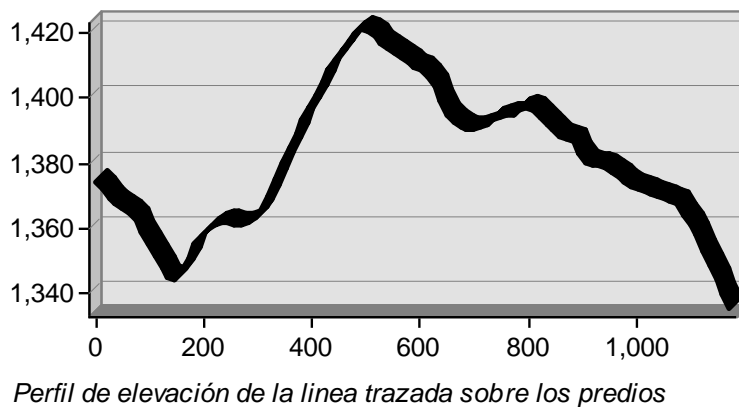


Figura 7-1 Perfil de elevación en los POE (m.s.n.m.)

Fuente: NASA (2024), Elaboración propia.

7.2.1.1.4 Coberturas

- Unidades presentes

El área de estudio se encuentra conformada por las coberturas descritas en la **Tabla 7-3** y presentados en la **Figura 11-4**. Las áreas descritas a continuación son aproximadas, se debe tener en cuenta que hay presencia de arbustos y pastos casi siempre bajo la vegetación arbórea y que así mismo mediante la

fotointerpretación habrá ligeras variaciones en las áreas dada la interpretación realizada en el software. Se puede observar que el POE 3 tiene la mayor área de cultivo visible con unos 44546.2 m² sin embargo el POE 5 tiene la mayor cobertura de cultivo con un 86.33% del área total del predio. En general, la infraestructura ocupa la menor área en toda el área de estudio, con apenas 2305.3 m². El área de cultivo representa el 57.49% del área de estudio, seguido de la vegetación arbórea, que comprende un 20.42%, luego la vegetación arbustiva con un 12.82%, seguidamente los pastos con un 5.49% y por ultimo los suelos desnudos y la infraestructura con un 2.19% y 1.58% respectivamente. También se identificó vegetación de bosque de galería cerca a los drenajes identificados en la hidrografía, sin embargo, estos no se encuentran dentro de los predios.

Tabla 7-3 Tipos de coberturas presentes en el área de estudio

POE	Suelo Desnudo		Pastos		Vegetación Arbustiva		Vegetación Arborea		Infraestructura		Cultivos	
	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%
1	173.4	1.02	2501.6	14.66	171.7	1.01	5638.7	33.05	378.7	2.22	8194.5	48.04
2	564.3	1.8	1429	4.57	10191.8	32.59	6771.2	21.65	875	2.8	11441.6	36.59
3	1850.6	2.71	3516.4	5.15	7525.7	11.01	10539.4	15.42	352.2	0.52	44546.2	65.19
4	576.6	4.94	565.7	4.85	779.6	6.68	4729.3	40.52	492.3	4.22	4528	38.8
5	28	0.16	0	0	45.7	0.26	2124.1	12.07	207.2	1.18	15187.8	86.33
TOTAL	3192.9	2.19	8012.7	5.49	18714.4	12.82	29802.9	20.42	2305.3	1.58	83898.1	57.49

Fuente: Elaboración propia.

7.2.1.1.5 Suelos

- Unidades presentes

El área de estudio se encuentra conformada por las Unidades Cartográficas de Suelo descritos en la

Tabla 7-4 y presentados en la Figura 11-5.

Tabla 7-4 Unidades cartográficas de suelo presentes en el área de estudio

UCS	Tipo de Relieve y Litología	Características del Relieve	Características de los Suelos	Componentes Taxonómicos
MQVf - Montaña	Rocas clásticas limo arcillosas y químicas carbonatadas	Relieve ligero a moderadamente escarpado con pendientes de 25-75%, afectado en sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero, presencia sectorizada de afloramientos rocosos	Suelos superficiales a profundos, bien drenados, con texturas finas a medias, reacción extremadamente ácida a medianamente alcalina, saturación de aluminio baja y fertilidad moderada a alta	Asociación: Typic Udorthents (50%), Lithic Hapludolls (20%), Humic Eutrudepts (20%).

Fuente: IGAC (2022), Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los componentes taxonómicos del suelo, se pueden deducir las características presentadas en la **Tabla 7-5** para cada parte de la asociación:

Tabla 7-5 Descripción taxonómica de los suelos presentes en el área de estudio

Componente Taxonómico	Descripción			
	Subgrupo	Gran Grupo	Suborden	Orden
Typic Ud-orth-ents	Typic: Presenta las condiciones típicas del gran grupo al que pertenece.	Ud: El suelo no se seca por más de 90 días acumulativos al año. La precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial aún en periodos secos. (este indicador está directamente relacionado con las condiciones pluviométricas de la zona).	Orth: Condiciones muy comunes, con relación al Orden al que pertenece.	(Entisol) Ents: Suelos muy poco evolucionados. Se encuentran en sitios donde la velocidad de erosión excede a la de formación de horizontes o donde el material parental no permite la formación de suelo. Dominio de características heredadas por el material de origen. Ausencia de características diagnósticas en los horizontes, sin embargo, puede presentar un horizonte superficial ócrico. Se puede formar en zonas donde la evapotranspiración excede la precipitación.
Lithic Hapl-ud-olls	Lithic: El suelo reposa sobre un material rocoso, a una profundidad < 50 cm	Hapl: Horizonte poco desarrollado	Ud: El suelo no se seca por más de 90 días acumulativos al año. La precipitación es mayor que la	(Molisol) Olls: Suelo profundo de color oscuro. En los primeros 50 cm del perfil presenta menos de 30% de arcilla. Saturación de bases mayor o igual a 50 %. Predominio de calcio entre las bases de cambio en los horizontes A y B. Dominio de minerales de arcilla cristalina, con CIC moderada o alta

Componente Taxonómico	Descripción			
	Subgrupo	Gran Grupo	Suborden	Orden
Humic Eutr-ud-epts	Humic: El horizonte superficial contiene una cantidad significativa de materia orgánica	Eutr: Alta saturación de bases (> 35%)	evapotranspiración potencial aún en periodos secos.	(Inceptisol) Epts: Suelos poco evolucionados, con una amplia gama de características. Generalmente pueden presentar: Más del 1,0% de MO*, Fósforo < 250 mg kg-1, Saturación de bases** < 50%, Horizontes poco profundos.

Fuente (Lince et al., 2021), Elaboración propia.

7.2.1.1.5.1 Características del suelo identificadas en campo

En el POE 1, el suelo muestra una diversidad notable en sus características físicas y químicas. Predominantemente arcillo arenoso con estructuras variadas como granular y laminar, presenta un rango de pH ligeramente ácido a neutro (6.67 a 7.63). La humedad varía de baja a alta (28.88% a 36.40%), reflejando una distribución irregular de materia orgánica, que va desde baja a alta. La densidad aparente se encuentra moderadamente distribuida (1.52 g/cm³ a 2.38 g/cm³). La pendiente del terreno es predominantemente moderada, y el color del suelo varía entre 2.5Y y 10YR, indicativo de contenido moderado de minerales férricos. Estas características sugieren una capacidad variable de retención de agua y nutrientes, influida por la combinación de texturas y niveles de materia orgánica presentes.

En el POE 2, el suelo exhibe una consistencia más homogénea en comparación con el POE 1. Predominantemente arcillo limoso, con estructura laminar, muestra un pH que va desde neutro a ligeramente ácido (5.1 a 7.47), con humedad que varía de baja a alta (26.36% a 41.20%). La materia orgánica es de baja a media, y la densidad aparente es moderada (1.72 g/cm³ a 2.05 g/cm³). La pendiente es principalmente media, y el color predominante es 2.5Y y 10YR, indicando contenido moderado de minerales férricos. Estas condiciones sugieren una moderada capacidad de retención de agua y nutrientes, influenciada por la textura arcillosa y los niveles de materia orgánica.

En el POE 3, el suelo se caracteriza por estructura laminar con una textura predominantemente arcillosa. El pH del suelo varía de moderadamente ácido a neutro (4.76 a 7.22), con niveles de humedad que van desde media a alta (32.01% a 53.67%). La materia orgánica es alta, y la densidad aparente es moderada a alta (1.66 g/cm³ a 2.13 g/cm³). La pendiente del terreno es variada, y el color predominante es 2.5Y, indicativo de un contenido elevado de minerales férricos. Estas condiciones sugieren una capacidad notable de retención de agua y nutrientes, beneficiada por la textura arcillosa y los altos niveles de materia orgánica presentes.

En el POE 4, el suelo muestra una estructura principalmente laminar con una textura que varía de arcillosa a franco arcillosa. El pH del suelo es neutro a ligeramente ácido (5.33 a 7.63), con humedad que va desde baja a alta (30.48% a 42.03%). Los niveles de materia orgánica son moderados, y la densidad aparente es de moderada a baja (1.42 g/cm³ a 1.58 g/cm³). La pendiente es mayormente media a alta, y el color predominante es 10YR, indicativo de un contenido significativo de minerales férricos. Estas condiciones sugieren una capacidad variable de retención de agua y nutrientes, influenciada por la textura y los niveles de materia orgánica presentes.

En el POE 5, el suelo presenta una estructura laminar con una textura predominantemente arcillosa. El pH varía de moderadamente ácido a neutro (6.13 a 7.43), con humedad que varía de baja a alta (35.31% a 52.36%). Los niveles de materia orgánica son variables, y la densidad aparente es moderada a alta (1.5 g/cm³ a 2.1 g/cm³). La pendiente es mayormente baja a media, y el color predominante es 10YR y 2.5Y, indicando una variabilidad en el contenido de minerales férricos. Estas condiciones sugieren una capacidad mixta de retención de agua y nutrientes, influenciada por la textura arcillosa y los niveles variables de materia orgánica presentes.

En la

Tabla 7-6 se presentan las variables analizadas para cada punto, que incluyen la estructura y textura del suelo determinadas in situ siguiendo la metodología estándar de (Álvarez et al., 2010).

Tabla 7-6 Características del suelo identificadas en campo

Código	Punto	Estructura	Textura	pH	% Humedad	Materia Orgánica	Color	Densidad aparente	Pendiente
POE 1	1	Granular	Arcillo Arenoso	6.67	29.45	Baja	2.5Y 3/2	1.89	35
	2	Laminar	Arcilloso	6.88	36.40	Media Alta	10YR 3/2	1.52	37
	3	Laminar	Arcilloso	7.62	28.88	Media	10YR 2/2	1.64	27.8
	4	Laminar	Arcillo Limoso	7.3	33.35	Alta	10YR 2/2	1.71	40.6
	5	Laminar	Arcilloso	7.63	29.96	Alta	2.5Y 4/4	2.38	43.2
POE 2	1	Laminar	Arcillo Limosa	6.58	36.83	Baja Media	2.5Y 1	1.87	21
	2	Laminar	Arcillo Limosa	7.47	26.36	Media	10YR 3/2	1.75	24.4
	3	Laminar	Arcillo Limosa	5.58	41.20	Baja	10YR 3/2	1.72	16.2
	4	Laminar	Arcillo Limosa	6.27	21.14	Media Alta	10YR 4/2	1.89	29.6
	5	Laminar	Arcillo Limosa	5.1	31.32	Alta	10YR 2/2	2.05	24.2
POE 3	1	Laminar	Arcilloso	4.76	32.01	Media	2.5Y 4/3	2.13	37.2
	2	Laminar	Arcilloso	7.05	37.05	Media	2.5Y 4/2	1.66	34.5
	3	Laminar	Arcilloso	7.22	53.67	Alta	2.5Y 3/2	1.76	27.9
	4	Laminar	Arcilloso	7.01	36.01	Alta	2.5Y 4/2	2.05	27.9
	5	Laminar	Arcilloso	5.38	32.79	Media	2.5Y 4/4	1.72	33.4
POE 4	1	Laminar	Arcilloso	6.66	42.03	Baja	10YR 2/2	1.48	23
	2	Laminar	Arcilloso	5.33	37.03	Baja	10YR 3/2	1.45	34
	3	Laminar	Franco Arcilloso	6.53	41.05	Media Alta	10YR 3/1	1.58	32
	4	Laminar	Franco Arcilloso	7.33	32.05	Media Alta	10YR 4/2	1.54	27
	5	Laminar	Franco Arcilloso	7.63	30.48	Alta	10YR 3/2	1.42	22
POE 5	1	Laminar	Arcilloso	6.13	44.73	Baja	10YR 4/2	2.1	24
	2	Laminar	Arcilloso	7.28	35.31	Baja	10YR 4/4	1.6	28

Código	Punto	Estructura	Textura	pH	% Humedad	Materia Orgánica	Color	Densidad aparente	Pendiente
	3	Laminar	Franco Arcilloso	7.43	52.36	Baja Media	10YR 3/2	2.05	21
	4	Laminar	Franco Arcilloso	6.16	44.18	Media	2.5Y 1	1.5	19
	5	Laminar	Franco Arcilloso	7.29	45.22	Baja	2.5Y 4/3	1.5	36

Fuente: *Elaboración propia.*

7.2.1.1.6 Áreas Protegidas

Estas áreas poseen valores únicos para el patrimonio natural del Distrito Capital, la región o la nación, y su conservación es fundamental para el funcionamiento saludable de los ecosistemas. Mediante el portal de Datos Abiertos, se verificaron los límites de estas zonas en relación con el área de estudio observada. Gracias a esta verificación, se puede confirmar que no existen áreas protegidas dentro del área de estudio, ni en el mismo municipio ni en sus proximidades con los municipios aledaños.

7.2.1.2 Climatológico

7.2.1.2.1 Precipitación

➤ Análisis de estaciones

El estudio de esta variable climática se realizó con un total de 43 estaciones del IDEAM (Ver **Tabla 7-7**), las cuales cumplen con una serie de 30 años y cuentan con un 80% o más de completitud de datos, dando cumplimiento con la publicación No. 1203 del año 2017 (Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas).

Tabla 7-7 Estaciones IDEAM para datos de precipitación

Código	Categoría	Estación	Municipio	Departamento
21206280	CP	Acapulco	Bojacá	Cundinamarca
21201920	PM	Alto San Miguel	Sibaté	Cundinamarca

Código	Categoría	Estación	Municipio	Departamento
21230090	PM	Arrancaplumas	Guaduas	Cundinamarca
21205770	CO	Base Aérea Madrid	Madrid	Cundinamarca
23060110	PM	Caparrapí	Caparrapí	Cundinamarca
21206060	ME	Casablanca	Madrid	Cundinamarca
21201070	PM	El Corazón	Facatativá	Cundinamarca
21205791	SP	El Dorado Catam - AUT	Bogotá	Cundinamarca
21201210	PM	El Hato	Tenjo	Cundinamarca
23060180	PM	El Peñón	El Peñón	Cundinamarca
21201550	PM	El Roble	Madrid	Cundinamarca
21255080	CP	El Salto	Ambalema	Tolima
23060290	PM	El Silencio	Sasaima	Cundinamarca
23060140	PM	El Túsculo	Guaduas	Cundinamarca
21201230	PM	Enmanuel D Alzón	Bogotá	Cundinamarca
23060260	PM	Finca Chilagua	Nocaima	Cundinamarca
21255090	CP	Granja Armero	Armero (Guayabal)	Tolima
21205980	CO	Granja Providencia	Tenjo	Cundinamarca
21201630	PG	Granja Tabio	Tabio	Cundinamarca
21250450	PM	Hacienda Potosí	Armero (Guayabal)	Tolima
23010080	PM	Idema-Honda	Honda	Tolima
21235010	CO	Jerusalén	Jerusalén	Cundinamarca
21230120	PM	La Belleza	Chaguaní	Cundinamarca
23065120	CO	La Cabrera	Pacho	Cundinamarca
21201140	PM	La Esperanza	Tenjo	Cundinamarca
21250100	PM	La Estrella	Venadillo	Tolima
21205670	CO	La Florida	Anolaima	Cundinamarca
23060170	PM	La Palma	La Palma	Cundinamarca
21250070	PM	La Sierra	Lérida	Tolima

Código	Categoría	Estación	Municipio	Departamento
21201320	PM	La Unión	Sibaté	Cundinamarca
21205660	CP	Mercedes	Anapoima	Cundinamarca
21201060	PG	Pantano Redondo 1	Zipaquirá	Cundinamarca
21201310	PM	Preventorio Infant	Sibaté	Cundinamarca
21206180	CO	Primavera de Matima	Anolaima	Cundinamarca
21230070	PM	San Juan de Rioseco	San Juan De Rioseco	Cundinamarca
21206020	ME	Santillana	Tabio	Cundinamarca
21201600	PG	Sede Ideam Kra 10	Bogotá	Cundinamarca
23060200	PM	Supatá	Supatá	Cundinamarca
21205420	AM	Tibaitata	Mosquera	Cundinamarca
21208900	LM	Tocaima	Tocaima	Cundinamarca
23060190	PM	Útica	Útica	Cundinamarca
21250460	PM	Venadillo	Venadillo	Tolima
21201090	PM	Viotá	Viotá	Cundinamarca

Fuente: IDEAM, 2024. Elaboración propia

➤ Precipitación Media Mensual Multianual

De acuerdo con los registros, se evidencia un régimen bimodal en las estaciones, con valores máximos promedio que llegan hasta los 330 mm, y un periodo seco alcanzando registros de hasta 13 mm de lluvia en algunas de las estaciones. Los valores de la precipitación total media mensual multianual se presentan en la **Tabla 7-8**.

Tabla 7-8 Precipitación total media mensual multianual

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Media (mm)													
Acapulco	43.4	58.4	76.4	108.5	91.8	45.6	38.8	34.6	59.1	119.0	101.8	70.9	848.3

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Alto San Miguel	59.7	59.4	95.8	119.1	106.0	63.9	52.2	43.6	50.7	127.4	109.4	53.6	940.8
Arrancaplumas	85.1	103.0	158.3	195.4	201.2	73.0	62.7	93.7	163.9	240.8	221.4	120.4	1719.0
Base Aérea Madrid	14.3	31.4	49.3	79.8	93.7	58.9	41.0	33.3	44.8	75.8	76.9	34.3	633.5
Caparrapí	62.6	82.7	145.0	243.9	192.4	108.7	42.2	69.1	131.8	253.6	215.4	95.7	1643.2
Casablanca	13.3	19.4	51.1	58.0	75.5	34.4	31.0	28.9	28.8	52.2	54.0	27.4	473.9
El Corazón	50.4	62.9	103.6	104.0	101.1	63.1	46.5	47.1	50.3	100.4	115.5	55.3	900.2
El Dorado Catam - AUT	32.9	51.4	83.4	116.7	109.0	57.4	48.6	44.3	56.7	108.2	107.2	61.4	877.3
El Hato	19.0	42.3	80.4	100.6	92.7	60.9	51.3	49.3	58.9	84.3	79.9	38.1	757.6
El Peñón	171.2	199.0	304.3	302.5	231.8	124.2	79.3	83.9	161.6	289.9	289.7	219.2	2456.6
El Roble	28.0	46.6	90.3	109.8	102.8	65.6	54.1	43.4	58.3	101.3	102.7	51.7	854.7
El Salto	60.9	78.9	118.7	183.7	164.4	62.2	41.9	69.0	136.8	167.9	140.8	70.4	1295.5
El Silencio	186.7	216.2	258.6	278.2	234.9	102.5	55.6	64.7	111.7	300.5	330.3	228.2	2367.9
El Túscolo	65.5	90.8	146.5	211.6	172.1	68.4	54.4	71.4	114.6	230.2	191.9	122.9	1540.3
Enmanuel D Alzón	56.2	66.4	102.9	109.0	97.8	41.8	33.5	36.6	55.3	103.0	138.8	84.1	925.5
Finca Chilagua	127.8	178.6	202.8	226.3	181.5	73.7	47.7	57.2	103.3	224.0	233.8	153.2	1809.8
Granja Armero	85.4	110.8	149.5	225.7	228.8	93.8	79.3	113.7	170.2	212.8	177.1	105.8	1753.0
Granja Providencia	29.0	45.0	84.5	102.8	107.5	69.2	56.2	45.4	61.5	98.5	102.8	50.0	852.4
Granja Tabío	39.0	56.1	73.0	111.0	98.6	60.1	63.3	56.0	67.2	106.9	118.4	63.9	913.5
Hacienda Potosí	97.5	102.5	153.2	245.9	233.7	91.3	71.0	111.2	146.1	222.7	190.3	102.6	1768.0
Idema-Honda	54.4	74.4	97.8	162.9	149.2	49.6	42.6	75.3	111.8	167.1	163.2	74.1	1222.5
Jerusalén	51.2	65.4	106.1	156.2	130.5	43.5	34.3	36.2	88.8	129.1	107.0	62.2	1010.6
La Belleza	74.4	114.0	186.2	218.8	152.9	54.1	50.8	45.7	81.2	238.7	213.5	125.6	1556.0
La Cabrera	116.4	125.8	163.9	210.4	132.8	49.7	43.6	44.9	100.9	194.9	231.1	133.2	1547.6
La Esperanza	24.0	36.6	63.3	81.0	83.0	48.1	42.7	36.9	47.9	78.8	78.5	39.7	660.4
La Estrella	73.6	93.2	129.0	233.3	237.2	96.4	82.5	103.1	139.0	176.2	133.0	71.8	1568.4

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
La Florida	64.8	81.0	119.4	156.8	129.3	56.3	43.0	66.2	94.8	166.0	160.4	87.4	1225.2
La Palma	114.3	159.9	260.2	288.1	251.0	172.0	100.5	106.0	173.5	286.0	242.7	149.7	2303.8
La Sierra	84.3	96.1	131.7	219.5	248.9	104.4	78.4	114.5	161.0	177.0	142.3	90.8	1649.1
La Unión	29.4	43.1	71.9	98.2	93.3	55.1	45.5	42.9	52.0	92.3	88.6	50.4	762.7
Mercedes	76.1	93.2	134.5	130.0	139.6	45.5	37.7	37.6	79.0	127.3	157.1	86.1	1143.7
Pantano Redondo 1	42.7	60.3	102.7	132.8	146.0	107.9	116.6	91.6	86.3	133.4	121.0	56.7	1197.9
Preventorio Infant	30.5	41.6	65.8	93.1	89.9	53.7	56.3	42.5	49.1	94.2	82.1	44.4	743.3
Primavera de Matima	54.0	78.7	109.7	122.3	98.6	54.8	39.0	37.0	74.7	123.5	133.1	74.2	999.4
San Juan de Rioseco	58.3	88.8	128.7	163.3	130.4	45.8	40.9	40.7	92.4	152.8	153.4	99.4	1194.8
Santillana	31.3	50.3	72.7	102.1	106.0	66.2	68.2	66.8	61.8	87.4	120.4	58.3	891.3
Sede Ideam Kra 10	71.9	83.9	114.2	123.1	115.0	61.2	55.3	46.5	47.9	123.6	162.4	88.3	1093.2
Supata	155.7	177.5	226.2	257.0	164.7	66.6	51.9	51.6	97.9	251.4	280.5	168.5	1949.5
Tibaitata	21.6	35.4	68.9	89.7	94.9	58.7	46.2	37.7	44.7	76.6	87.4	42.6	704.4
Tocaima	58.6	75.5	118.7	169.9	150.1	54.5	23.6	42.6	92.8	132.2	125.4	84.1	1127.9
Útica	75.6	89.9	137.4	147.1	160.6	71.4	45.5	53.6	99.8	208.4	153.6	82.7	1325.5
Venadillo	84.0	81.7	133.8	210.9	235.8	108.0	84.9	75.6	141.3	163.8	120.1	77.1	1516.9
Viotá	79.4	101.4	162.2	183.0	150.7	61.4	43.4	37.0	80.5	181.5	180.5	98.9	1360.1

Fuente: IDEAM, 2024. Elaboración propia

➤ Precipitación Media Anual

La **Figura 11-6** ilustra la distribución geográfica de la precipitación, señalando que las mayores cantidades de lluvia se concentran en la región noreste del área de estudio. En este punto, la precipitación alcanza un máximo de aproximadamente 2400 mm/año y disminuye gradualmente a medida que nos desplazamos hacia el sur, llegando a unos 950 mm/año. Además, la figura **Figura 11-7** muestra una

representación de la distribución mensual multianual de la precipitación, que destaca las menores precipitaciones observadas en los meses de junio a agosto, y las precipitaciones más altas en los meses de octubre y noviembre para el área de estudio.

7.2.1.2.2 Temperatura

➤ Análisis de estaciones

El estudio de esta variable climática se realiza con un total de 13 estaciones del IDEAM (Ver **Tabla 7-9**), las cuales cumplen con una serie de 30 años y cuentan con un 80% o más de completitud de datos, dando cumplimiento con la publicación No. 1203 del año 2017 (Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas).

Tabla 7-9 Estaciones IDEAM para datos de temperatura

Código	Categoría	Estación	Municipio	Departamento
21245040	SS	Aeropuerto Perales	Ibagué	Tolima
21185040	CP	Aeropuerto Santiago Vila	Flandes	Tolima
23025040	CO	Albania	Mariquita	Tolima
21205791	SP	El Dorado Catam - AUT	Bogotá	Cundinamarca
21205980	CO	Granja Providencia	Tenjo	Cundinamarca
23065120	CO	La Cabrera	Pacho	Cundinamarca
35025050	CO	Llano Largo	Ubaque	Cundinamarca
21205660	CP	Mercedes	Anapoima	Cundinamarca
21195060	CO	Pandi	Pandi	Cundinamarca
21206180	CO	Primavera de Matima	Anolaima	Cundinamarca
23055040	CO	Samaná	Samaná	Caldas
21205420	AM	Tibaitata	Mosquera (Cundinamarca)	Cundinamarca
23065110	CP	Yacopí - AUT	Yacopí	Cundinamarca

Fuente: IDEAM (2024). Elaboración propia

➤ Temperatura Media Mensual Multianual

Según los datos registrados, la temperatura promedio mensual varía entre 20.9°C y 30.5°C entre todas las estaciones, alcanzando sus niveles medios más elevados durante los meses que van desde abril hasta septiembre. Para las temperaturas máximas siguen estando presentes los meses entre julio y septiembre, sin embargo, también son notables los aumentos entre diciembre y febrero, en general los valores presentan aumentos de hasta de 7.5°C por encima del promedio siendo agosto el mes más caluroso. Las temperaturas mínimas muestran paralelamente que las mayores disminuciones de temperatura se encuentran también en los meses de julio, agosto, septiembre, enero y febrero, donde los datos decrecen entre 2.6°C y 8.2°C, siendo enero el mes más frío. Estos datos están representados en la siguiente tabla:

Tabla 7-10 Temperatura total media mensual multianual

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Media (C°)													
Aeropuerto Perales	23.9	24.3	24.0	23.8	23.8	24.2	24.7	25.4	24.9	23.7	23.1	23.5	24.1
Aeropuerto Santiago Vila	29.2	29.4	28.9	28.5	28.4	28.5	29.2	30.0	29.6	28.6	28.0	28.7	28.9
Albania	24.9	25.0	24.9	24.9	25.0	25.2	25.7	25.9	25.4	24.7	24.4	24.6	25.1
El Dorado Catam - AUT	13.6	14.0	14.1	14.3	14.3	14.2	13.8	13.8	13.8	13.7	13.8	13.7	13.9
Granja Providencia	13.4	13.9	14.1	14.3	14.4	14.1	13.8	13.8	13.8	13.9	14.0	13.8	13.9
La Cabrera	16.4	16.4	16.4	16.7	16.8	17.0	17.1	17.2	17.0	16.6	16.3	16.4	16.7
Llano Largo	11.7	11.6	11.6	11.5	11.4	10.7	10.2	10.4	11.0	11.5	11.8	11.7	11.3
Mercedes	25.7	25.8	25.4	25.1	25.0	25.1	25.5	26.4	26.4	25.4	24.7	25.0	25.5
Pandi	24.1	24.4	24.2	23.9	23.8	23.9	24.1	24.7	24.8	24.1	23.5	23.8	24.1
Primavera de Matima	17.7	17.7	17.7	17.8	17.8	17.5	17.4	17.8	18.0	17.9	17.6	17.7	17.7
Samaná	19.3	19.5	19.5	19.7	19.6	19.9	20.2	20.5	20.1	19.3	19.1	19.2	19.7

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Tibaitata	13.0	13.5	13.6	13.9	13.9	13.7	13.4	13.3	13.3	13.4	13.4	13.2	13.5
Yacopí - AUT	21.2	21.4	21.4	21.3	21.5	21.6	21.7	21.9	21.6	21.2	20.9	21.0	21.4
Máxima (C°)													
Aeropuerto Perales	29.2	29.5	28.9	28.6	28.6	29.2	30.4	31.6	30.8	28.9	27.8	28.4	29.3
Aeropuerto Santiago Vila	34.1	34.4	33.5	32.9	32.8	33.3	34.4	35.5	35.0	33.3	32.4	33.1	33.7
Albania	28.7	28.9	28.7	28.7	28.6	29.0	29.8	30.4	29.7	28.5	27.8	28.2	28.9
El Dorado Catam - AUT	20.1	20.2	19.8	19.5	19.4	18.9	18.5	18.8	19.2	19.4	19.4	19.8	19.4
Granja Providencia	20.3	20.6	20.2	19.9	19.6	19.2	18.9	19.0	19.5	19.7	19.7	20.0	19.7
La Cabrera	21.3	21.3	21.5	21.7	21.9	22.0	22.2	22.6	22.6	21.6	20.9	21.1	21.7
Llano Largo	14.8	14.9	14.6	14.1	13.7	12.8	12.2	12.5	13.5	14.1	14.4	14.4	13.8
Mercedes	30.6	30.8	30.3	29.9	29.6	29.9	30.6	31.6	31.7	30.2	29.3	29.5	30.3
Pandi	29.0	29.1	28.7	28.4	28.1	28.4	29.1	29.8	30.0	28.8	27.9	28.4	28.8
Primavera de Matima	21.4	21.6	21.3	21.2	21.0	20.8	20.6	21.4	21.7	21.3	20.7	21.0	21.2
Samaná	21.7	22.0	22.0	22.1	22.0	22.3	23.0	23.2	22.6	21.6	21.4	21.2	22.1
Tibaitata	20.5	20.6	20.3	19.9	19.7	19.3	19.0	19.3	19.8	19.9	19.7	20.1	19.8
Yacopí - AUT	24.8	25.2	25.0	25.1	25.5	25.6	26.0	26.4	26.0	25.3	24.7	24.6	25.4
Mínima (C°)													
Aeropuerto Perales	19.2	19.5	19.5	19.4	19.5	19.2	19.2	19.5	19.2	19.1	19.2	19.2	19.3
Aeropuerto Santiago Vila	23.3	23.6	23.4	23.4	23.2	22.7	22.5	23.0	23.1	23.2	23.2	23.2	23.1
Albania	20.4	20.6	20.4	20.5	20.6	20.8	20.7	20.4	20.2	20.1	20.3	20.4	20.4
El Dorado Catam - AUT	6.4	7.6	8.6	9.6	9.6	9.1	8.6	8.4	7.8	8.3	8.6	7.5	8.3
Granja Providencia	5.3	6.3	7.7	8.7	8.9	8.2	7.7	7.4	6.8	7.5	7.8	6.4	7.4
La Cabrera	12.4	12.7	13.3	13.8	14.0	13.9	13.6	13.6	13.4	13.2	13.2	12.8	13.3

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Llano Largo	6.2	6.5	7.1	7.6	7.6	7.2	6.8	6.7	6.7	7.0	7.4	6.9	7.0
Mercedes	19.7	20.1	20.1	20.3	20.4	20.0	19.8	19.9	20.0	19.9	19.8	19.6	20.0
Pandi	19.8	20.0	20.0	20.0	20.0	20.1	20.0	20.3	20.4	19.9	19.6	19.7	20.0
Primavera de Matima	13.8	14.1	14.3	14.5	14.6	14.2	13.9	14.0	14.3	14.3	14.2	14.0	14.2
Samaná	16.7	16.8	16.7	16.8	16.9	17.3	16.8	17.0	16.8	16.6	16.5	16.9	16.8
Tibaitata	5.0	6.1	7.3	8.5	8.5	7.9	7.4	7.0	6.3	7.1	7.6	6.1	7.1
Yacopí - AUT	17.5	17.7	17.5	17.7	17.8	17.8	17.6	17.8	17.7	17.6	17.5	17.7	17.6

Fuente: IDEAM (2024). Elaboración propia

➤ Temperatura Media Anual

Se aplicó el Método de Distancia Inversa Ponderada (IDW) del software ArcGIS para analizar cómo se distribuye y se comporta la temperatura en el área. Este método es determinista y calcula los valores en lugares donde no hay datos a través de una combinación lineal de los valores conocidos más cercanos. La premisa subyacente es que los valores cercanos tienen mayor representatividad para estimar los valores en lugares sin registros conocidos.

A partir de lo anterior, se elabora la distribución espacial de la temperatura media anual mediante la interpolación de los datos disponibles, generando isotermas dentro del rango de 17.5°C a 18.5°C para el área de estudio, tal como se ilustra en la **Figura 11-8**. Además, la **Figura 11-9** exhibe una representación de la distribución mensual multianual de la temperatura, evidenciando una notable estabilidad en las temperaturas a lo largo del año. Se observa ligeramente una disminución en las temperaturas durante los meses de junio y noviembre, mientras que los meses de agosto y septiembre muestran las temperaturas más elevadas en el área de estudio.

7.2.1.2.3 Evapotranspiración Potencial

Los resultados se ilustran en la **Figura 11-10**, que muestra que el área de estudio tiene una evapotranspiración potencial anual de entre 1200 y 1300 mm. Guayabal de Siquima contempla una ETP entre 900 a 1400 mm, sin embargo, los mayores valores se encuentran al norte, justo en la vereda Torres, donde se encuentran ubicados los POE.

7.2.1.3 Hidrológico

7.2.1.3.1 Hidrología Puntual

Actualmente, no se dispone de información cartográfica precisa y corregida para esta zona y sus alrededores. La cartografía base nacional a escala 1:25.000 presenta un vacío en esta área, y la única hidrografía disponible corresponde a la cartografía base nacional a escala 1:100.000 pero su nivel de detalle no es muy alto. Debido a la vegetación riparia y contigua, la fotointerpretación no permite trazar los drenajes debido a la falta de visibilidad. Por estos factores considerados, se calculó la red de drenaje a partir del modelo de elevación digital de la cuenca.

De forma general, la capa ráster presentada en la **Figura 11-11** logro recrear con un gran nivel de detalle, la red de drenajes sencillos y dobles presentes en la cartografía base 1:25k y 1:100k (en las áreas con datos disponibles). El trazado coincide con la imagen aérea de referencia, con varios drenajes presentes cubiertos por bosque de galería, por lo que se considerará así, la real red de drenajes presentes en el área de estudio.

El drenaje que pasa entre los límites o intercepta con los POE 1, 2 y 3, no pertenece exactamente a ese lugar, sin embargo, dada la forma del terreno, si es un trazado adecuado de línea donde se acumula todo posible vertimiento generado en la ladera de montaña de las zonas aledañas y drena hacia la Quebrada

Nocura. De igual manera para los que intersecan con los POE 4 y 5, y drenan hacia la Quebrada San Cayetano.

7.2.1.3.2 Fuentes Generadoras de Vertimientos

En la **Tabla 7-11** se encuentran identificados los distintos tipos de vertimientos generados en cada POE y como son manejados. Se puede observar que 4 de 5 predios dejan verter libremente las aguas grises en su punto de generación, de la misma manera, 2 de 5 predios no tienen un manejo especializado para las aguas negras provenientes de los baños, y uno de estos reutiliza dichas aguas como riego para el área del cultivo. El resto de los predios cuenta con pozos sépticos para el tratamiento de sus aguas negras.

Tabla 7-11 Fuentes de vertimientos

Código	Fuente de vertimiento identificada	Tipo de aguas vertidas	Lugar del vertimiento
POE 1	Cocina Lavaderos	Grises	Directo al suelo
	Baños	Negras	Pozo séptico
POE 2	Cocina Lavaderos Trapiche	Grises	Directo al suelo
	Baños	Negras	Pozo séptico
POE 3	Cocina Lavaderos	Grises	Directo al suelo
	Baños	Negras	
POE 4	Cocina Lavaderos Trapiche	Grises	Directo al suelo
	Baños	Negras	Pozo séptico
POE 5	Cocina Lavaderos	Grises	Directo al suelo
	Baños	Negras	

Fuente: Elaboración propia.

7.2.1.4 Atmosférico

7.2.1.4.1 Velocidad y Dirección del Viento

Según la información de la **Figura 7-2** se presentan velocidades en el viento entre los 0 y 19 km/h, donde los meses de mayo a septiembre son los que presentan las mayores velocidades y especialmente el mes de Julio, la mayor cantidad de días con altas velocidades, siendo 2.5 días con 19 km/h, 24 días con 12 km/h, y 30 días con 5 km/h en promedio.

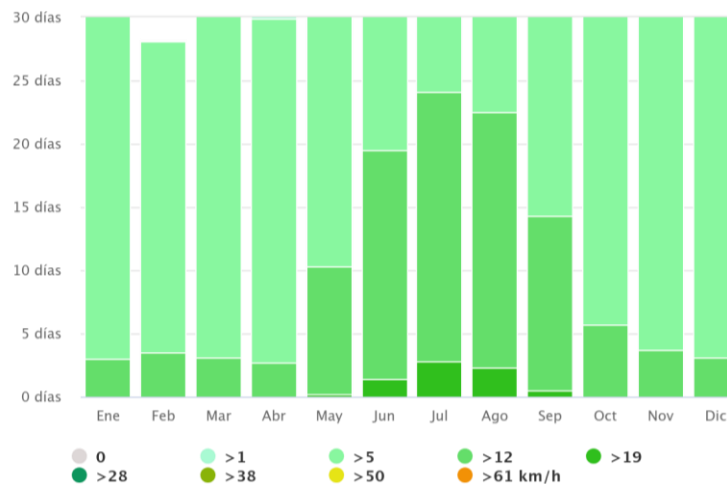


Figura 7-2 Diagrama de velocidad del viento en Guayabal de Siquima

Fuente: Meteoblue (2024).

La **Figura 7-3** muestra nuevamente velocidades de 0 a 19 km/h donde los más representativos provienen del sur, sureste y sursuroeste de mayor a menor respectivamente. No se presentan o se presentan en cantidad muy reducida, vientos del nor-noreste, noreste y este-noreste.

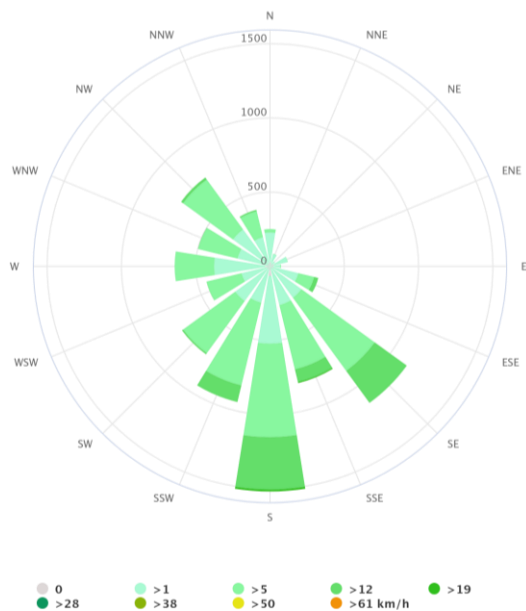


Figura 7-3 Rosa de los vientos de Guayabal de Siquima

Fuente: Meteoblue (2024).

7.2.1.4.2 Fuentes generadoras de emisiones atmosféricas

En la **Tabla 7-12** se encuentran identificadas las fuentes de emisiones detectadas durante las visitas a campo, donde la fuente más representativa de emisiones corresponde a los trapiches encontrados, donde por la quema de materiales combustibles y dado su uso prolongado, se considera uno de los impactos más significativos de la actividad.

Tabla 7-12 Fuentes de emisiones atmosféricas

Código	Fuente de emisión identificada	Observación
POE 1	Estufa de leña	Cocinan diario Envían al trapiche aledaño para la transformación de la caña
POE 2	Trapiche Estufa de leña	Cocinan diario Cuenta con chimenea, emite el humo de la quema. Usan madera o bagazo como combustible. Este funciona durante 13 horas continuas en el día y permanece en uso durante 1 a 4 días en promedio, dependiendo de la cantidad de caña por procesar puede durar hasta 2 semanas en uso.

Código	Fuente de emisión identificada	Observación
POE 3	Estufa de leña	Cocinan diario Envían al trapiche aledaño para la transformación de la caña
POE 4	Trapiche Estufa de leña	Cocinan diario Cuentan con chimenea, emite el humo de la quema. Usan madera o bagazo como combustible. Se usa 1 día a la semana, y permanece encendido de 4 a 5 horas continuas.
POE 5	Estufa de leña	Cocinan diario Envían al trapiche aledaño para la transformación de la caña

Fuente: *Elaboración propia.*

También se destaca que en todos los POE fue identificado el uso de las estufas de leña, a pesar de que en algunos hogares ya se cuenta con estufa convencional y se compra gas en cilindros, prefieren usar el primer tipo de estufa por practicidad y tradicionalismo (Ver **Fotografía 7-1**).



Fotografía 7-1 Estufa de leña

Fuente: *Elaboración propia.*

Las emisiones calculadas para toda el área de estudio se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 7-13 Emisiones atmosféricas calculadas en kg/día

Fuente	CO ₂	CO	CH ₄	PM ₁₀	PM _{2.5}
Cocinas	216.67	10.31	0.76	2.33	0.81
Trapiches	80.34	1.28	0.11	0.09	0.06

Fuente	CO ₂	CO	CH ₄	PM ₁₀	PM _{2.5}
TOTAL (%)	94.97	3.70	0.28	0.77	0.28

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el contaminante con la mayor emisión es el dióxido de carbono (CO₂), que representa casi el 95% de las emisiones totales generadas diariamente, seguido por el monóxido de carbono (CO), que constituye el 3.7%. Las cocinas son responsables de más del 70% de las emisiones totales, debido principalmente a su contribución significativa de CO₂.

7.2.2 Caracterización Biótica

7.2.2.1 Revisión de Fauna para el Municipio

La fauna encontrada, relacionada a Guayabal de Siquima, se encuentra presentada en la **Tabla 7-14**. Se encontraron 15817 especies distintas de fauna, pertenecientes a 23 órdenes y 3 clases, donde la más representativa es la de Aves, el orden Passeriformes con 11518 especies identificadas.

Tabla 7-14 Revisión de Fauna relacionada para Guayabal de Siquima

Clase	Orden	Cantidad de especies
Arachnida	Araneae	2
Subtotal		2
Aves	Accipitriformes	589
	Anseriformes	1
	Apodiformes	1012
	Caprimulgiformes	91
	Charadriiformes	52
	Columbiformes	405
	Coraciiformes	16
	Cuculiformes	265

Clase	Orden	Cantidad de especies
	Falconiformes	103
	Galliformes	92
	Gruiformes	93
	Nyctibiiformes	57
	Passeriformes	11518
	Pelecaniformes	266
	Piciformes	759
	Podicipediformes	3
	Psittaciformes	247
	Strigiformes	143
	Tinamiformes	78
Subtotal		15790
Insecta	Coleoptero	16
	Díptera	1
	Himenóptera	3
Subtotal		20
TOTAL		15812

Fuente: (Global Biodiversity Information Facility, 2024), *Elaboración propia.*

7.2.2.2 Revisión de Flora para el Municipio

La flora encontrada, relacionada a Guayabal de Siquima, se encuentra presentada en la **Tabla 7-15**. Se encontraron 81 especies distintas de flora, pertenecientes a 4 filos, 39 familias y 70 géneros para rangos de altitudes entre los 1300 a 1600 m.s.n.m., donde la familia Orchidaceae es la más representativa con 13 géneros y 18 especies registradas.

Tabla 7-15 Revisión de Flora relacionada para Guayabal de Siquima

Reino	Filo	Familia	Genero	Nombre Especifico	Rango de Altitudes
Fungi	Ascomycota	Graphidaceae	Graphis	Graphis disserpens	1300 - 1300
	Ascomycota	Collemataceae	Leptogium	Leptogium denticulatum	1300 - 1300
	Ascomycota	Lobariaceae	Sticta	Sticta cordillerana	1300 - 1300
Plantae)	Magnoliopsida	Asteraceae	Acmella	Acmella oleracea	1300 - 1300
	Pteridophyta	Cyatheaceae	Alsophila	Alsophila firma	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Araceae	Anthurium	Anthurium leptocaulis	1300 - 1320
	Magnoliopsida	Begoniaceae	Begonia	Begonia crassicaulis	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Melastomataceae	Blakea	Blakea tetroici	1300 - 1500
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Bletia	Bletia candida	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Malpighiaceae	Bunchosia	Bunchosia retusa	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Arecaceae	Chamaedorea	Chamaedorea ponderosa	1300 - 1520
	Magnoliopsida	Arecaceae	Chamaedorea	Chamaedorea woodsoniana	1300 - 1520
	Magnoliopsida	Clusiaceae	Chrysochlamys	Chrysochlamys conferta	1300 - 1500
	Magnoliopsida	Primulaceae	Clavija	Clavija neglecta	1300 - 1600
	Magnoliopsida	Clusiaceae	Clusia	Clusia neurophylla	1300 - 1500
	Magnoliopsida	Rubiaceae	Coffea	Coffea liberica	1300 - 1500
	Magnoliopsida	Gesneriaceae	Columnea	Columnea mira	1300 - 1500
	Magnoliopsida	Urticaceae	Coussapoa	Coussapoa darienensis	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Euphorbiaceae	Croton	Croton croizatii	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Euphorbiaceae	Croton	Croton speciosus	1300 - 1520
	Pteridophyta	Dryopteridaceae	Ctenitis	Ctenitis microchlaena	1300 - 1600
	Pteridophyta	Cyatheaceae	Cyathea	Cyathea haughtii	1300 - 1500
	Pteridophyta	Dennstaedtiaceae	Dennstaedtia	Dennstaedtia vagans	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Cyclanthaceae	Dicranopygium	Dicranopygium wedelii	1300 - 1300
	Pteridophyta	Dryopteridaceae	Dryopteris	Dryopteris nobilis	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Asparagaceae	Echeandia	Echeandia pittieri	1300 - 1300
Pteridophyta	Dryopteridaceae	Elaphoglossum	Elaphoglossum hieracioides	1300 - 1500	
Magnoliopsida	Zingiberaceae	Elettaria	Elettaria cardamomum	1300 - 1400	

Reino	Filo	Familia	Genero	Nombre Especifico	Rango de Altitudes
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Encyclia	Encyclia parkeri	1300 - 1400
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Epidendrum	Epidendrum euchroma	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Epidendrum	Epidendrum microcarpum	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Epidendrum	Epidendrum scharffii	1300 - 1500
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Eurystyles	Eurystyles cristata	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Moraceae	Ficus	Ficus popayanensis	1300 - 160
	Magnoliopsida	Moraceae	Ficus	Ficus schultesii	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Meliaceae	Guarea	Guarea rhopalocarpa	1300 - 1520
	Magnoliopsida	Annonaceae	Guatteria	Guatteria pilosula	1300 - 1500
	Magnoliopsida	Heliconiaceae	Heliconia	Heliconia darienensis	1300 - 152
	Magnoliopsida	Aquifoliaceae	Ilex	Ilex bullata	1300 - 1500
	Magnoliopsida	Convolvulaceae	Ipomoea	Ipomoea aristolochiifolia	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Convolvulaceae	Ipomoea	Ipomoea rubens	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Acanthaceae	Justicia	Justicia novogranatensis	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Rubiaceae	Ladenbergia	Ladenbergia moritziana	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Lepanthes	Lepanthes anemica	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Liparis	Liparis jamaicensis	1300 - 1600
	Magnoliopsida	Apocynaceae	Mandevilla	Mandevilla lancibracteata	1300 - 1500
	Magnoliopsida	Sapindaceae	Matayba	Matayba glaberrima	1300 - 1420
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Maxillaria	Maxillaria dichotoma	1300 - 1350
	Pteridophyta	Dryopteridaceae	Megalastrum	Megalastrum ctenitoides	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Melastomataceae	Miconia	Miconia centrodesmoides	1300 - 1600
	Magnoliopsida	Melastomataceae	Miconia	Miconia gentryi	1300 - 1520
	Magnoliopsida	Melastomataceae	Miconia	Miconia tenuis	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Microchilus	Microchilus andrei	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Asteraceae	Neomirandea	Neomirandea cuatrecasasiana	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Notyliopsis	Notyliopsis beatricis	1300 - 130
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Oncidium	Oncidium decorum	1300 - 1500

Reino	Filo	Familia	Genero	Nombre Especifico	Rango de Altitudes
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Otoglossum	Otoglossum sancti-pauli	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Rubiaceae	Palicourea	Palicourea tumidonodosa	1300 - 1500
	Magnoliopsida	Piperaceae	Peperomia	Peperomia ricautensis	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Pescatoria	Pescatoria hirtzii	1300 - 1500
	Magnoliopsida	Picramniaceae	Picramnia	Picramnia villosa	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Urticaceae	Pilea	Pilea ceratocalyx	1300 - 1330
	Magnoliopsida	Piperaceae	Piper	Piper echinvarium	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Bromeliaceae	Pitcairnia	Pitcairnia palmoides	1300 - 130
	Magnoliopsida	Sapotaceae	Pouteria	Pouteria macrophylla	1300 - 1400
	Pteridophyta	Pteridaceae	Pteris	Pteris gigantea	1300 - 1600
	Magnoliopsida	Zingiberaceae	Renealmia	Renealmia pirrensis	1300 - 1520
	Magnoliopsida	Acanthaceae	Rhombochlamys	Rhombochlamys rosulata	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Asteraceae	Rudbeckia	Rudbeckia laciniata	1300 - 1300
	Bryophyta	Dicranaceae	Schliephackea	Schliephackea meteoroides	1300 - 1600
	Magnoliopsida	Cyperaceae	Scleria	Scleria huberi	1300 - 1300
	Pteridophyta	Lindsaeaceae	Sphenomeris	Sphenomeris spathulata	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Stelis	Stelis auriculata	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Stelis	Stelis chocoensis	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Stelis	Stelis duquei	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Orchidaceae	Stelis	Stelis neurubens	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Araceae	Syngonium	Syngonium foreroanum	1300 - 1300
	Magnoliopsida	Bromeliaceae	Tillandsia	Tillandsia brevior	1300 - 130
	Magnoliopsida	Verbenaceae	Verbena	Verbena officinalis	1300 - 1400
	Magnoliopsida	Bromeliaceae	Werauhia	Werauhia paniculata	1300 - 1600
	Magnoliopsida	Araceae	Xanthosoma	Xanthosoma mexicanum	1300 - 1600

Fuente: (Bernal et al., 2020), Elaboración propia.

7.2.2.3 Índices de Biodiversidad de artrópodos

. En la **Tabla 7-16** se visualiza la interpretación de estos índices de acuerdo con los rangos de valor establecidos en la metodología correspondiente a cada uno.

Tabla 7-16 Interpretación de los índices de Simpson y Shannon

Índice	Rango	Interpretación
Simpson Invertido (1-D)	$0 \leq 1 - D < 0.5$	Baja diversidad, dominancia de una o pocas especies
	$0.5 \leq 1 - D < 0.75$	Moderada diversidad, varias especies con algunas dominantes
	$0.75 \leq 1 - D < 0.9$	Alta diversidad, buena equidad en la distribución de especies
	$1 - D \geq 0.9$	Muy alta diversidad, alta equidad en la distribución de especies
Shannon (H')	$0 \leq H' < 1$	Baja diversidad, dominancia de una o pocas especies
	$1 \leq H' < 2$	Diversidad moderada, varias especies presentes con algunas dominantes
	$2 \leq H' < 3$	Alta diversidad, buena equidad en la distribución de especies
	$H' \geq 3$	Muy alta diversidad, alta equidad en la distribución de especies

Fuente: Magurran, (2004), Elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantean las cantidades de organismos capturados en las trampas pitfall, ubicadas en los mismos puntos que hace referencia la

Tabla 7-6, en los respectivos POE, que fueron caracterizados posteriormente en el laboratorio hasta alcanzar la clasificación taxonómica de Orden, según fuera posible la identificación. Se determinó el número total de organismos para cada una de estas categorías taxonómicas, a partir de los cuales se calcularon los índices presentados en la

Tabla 7-17 teniendo en cuenta la $1-D=1 - \frac{\sum_{i=1}^n n_i(n_i-1)}{N(n-1)}$ y $H' = (-1) \times (\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i)$

Ecuación 6-7.

Tabla 7-17 Calculo e interpretación de los Índices de Simpson y Shannon

CÓDIGO	ORDENES	HAPLOTAXIDA	COLEOPTERA	HYMENOPTERA	DYPTERA	HEMIPTERA	ORTHOPTERA	LEPIDOPTERA	THYSANOPTERA	BLATTODEA	ARANEAE	COLLEMBOLA	ACARI	ISOPODA	NEUROPTERA	DIPLOPODA	ARCHAEOGNATHA	DIPLURA	MANTODEA	TOTAL	SIMPSON	INTERPRETACIÓN	SHANNON	INTERPRETACIÓN
POE 1	1	0	14	10	1	0	2	0	0	0	0	9	3	0	0	0	0	0	0	39	0.757981828	0.75 ≤ 1 - D < 0.9	1.602076966	1 ≤ H' < 2
	2	0	10	7	0	2	1	0	0	0	0	21	2	0	0	0	1	0	0	44				
	3	0	14	10	1	0	2	0	0	0	0	9	3	0	0	0	0	0	0	39				
	4	0	12	4	1	0	3	0	0	0	0	4	4	1	0	0	0	0	0	29				
	5	0	19	20	1	0	2	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	1	0	48				
	TOTAL	0	69	51	4	2	10	0	0	0	0	45	15	1	0	0	1	1	0	199				
POE 2	1	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	10	1	0	0	1	0	0	0	18	0.767451322	0.75 ≤ 1 - D < 0.9	1.773382761	1 ≤ H' < 2
	2	0	34	7	1	4	0	0	0	1	3	12	6	0	0	0	0	0	1	68				
	3	0	8	1	4	0	2	0	0	0	0	4	1	1	0	0	0	0	0	21				
	4	0	6	5	1	2	4	0	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	26				
	5	0	15	5	2	0	1	0	0	0	1	26	3	0	0	0	0	0	0	53				
	TOTAL	0	65	18	10	6	9	0	0	1	7	57	11	1	0	1	0	0	1	186				
POE 3	1	0	6	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0.80952381	0.75 ≤ 1 - D < 0.9	1.811142821	1 ≤ H' < 2
	2	3	8	1	5	0	1	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	25				
	3	3	6	2	3	0	1	0	0	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	23				
	4	5	7	5	2	1	3	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	48				
	5	2	4	5	1	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	16				
	TOTAL	13	31	13	13	1	5	0	0	0	1	36	7	0	0	0	0	0	0	120				
POE 4	1	0	13	1	2	1	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	25	0.75125523	0.75 ≤ 1 - D < 0.9	1.650280553	1 ≤ H' < 2
	2	0	27	17	5	3	2	0	1	0	1	10	6	0	0	1	0	0	0	73				
	3	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5				
	4	0	33	6	7	2	0	0	0	0	1	36	4	0	1	0	0	0	0	90				

CÓDIGO	ORDENES	HAPLOTAXIDA	COLEOPTERA	HYMENOPTERA	DYPTERA	HEMIPTERA	ORTHOPTERA	LEPIDOPTERA	THYSANOPTERA	BLATTODEA	ARANEAE	COLLEMBOLA	ACARI	ISOPODA	NEUROPTERA	DIPLOPODA	ARCHAEOGNATHA	DIPLURA	MANTODEA	TOTAL	SIMPSON	INTERPRETACIÓN	SHANNON	INTERPRETACIÓN
	5	0	20	6	2	3	2	0	0	0	0	11	3	0	0	0	0	0	0	47				
	TOTAL	0	93	31	20	9	4	0	1	0	2	65	13	0	1	1	0	0	0	240				
POE 5	1	1	9	2	2	2	0	0	1	0	0	9	3	1	0	0	1	0	0	31	0.794643711	0.75 ≤ 1 - D < 0.9	1.833109503	1 ≤ H' < 2
	2	0	12	3	0	0	3	0	0	0	1	5	1	0	0	0	0	0	0	25				
	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2				
	4	1	20	6	5	2	2	0	0	0	3	31	25	0	0	0	0	0	0	95				
	5	0	8	3	3	2	1	0	1	0	6	23	4	0	0	1	0	0	0	52				
	TOTAL	2	51	14	10	6	6	0	2	0	10	68	33	1	0	1	1	0	0	205				

Fuente: Elaboración propia.

En términos de diversidad, los valores de Shannon varían entre 0.8417 y 0.8603, revelan una moderada a alta diversidad biológica en los sitios de muestreo. Este índice considera tanto la cantidad de especies presentes como la uniformidad en su distribución, lo que refleja la presencia de una amplia variedad de especies con una distribución relativamente equitativa entre ellas en las comunidades estudiadas (**Tabla 7-16**). El POE 3 destaca con el valor más alto de Shannon, 0.8603, indicando la mayor diversidad biológica observada en ese punto específico. En contraste, el POE 1 muestra el valor más bajo de Shannon, 0.8417, sugiriendo una diversidad moderada en comparación con los otros sitios evaluado.

En cuanto a los valores de Simpson, que varían entre 2.0702 y 2.2411, muestran una relativa equidad en la distribución de especies en los diferentes POE. Se observa una leve tendencia hacia la dominancia de algunas especies en el POE 5, donde el índice de Simpson alcanza su valor más alto. Por el contrario, el POE 1 exhibe el valor más bajo de Simpson, indicando una distribución más equitativa entre las especies presentes.

Teniendo en cuenta la identificación realizada de los puntos de muestreo en cada POE, se describen a continuación diferentes servicios ecosistémicos que ofrece de forma general cada uno de los 18 Ordenes clasificados, con su grupo funcional y nombre común.

Tabla 7-18 Características de los Ordenes encontrados en las trampas

Orden	Nombre común	Grupo Funcional	Servicios Ecosistémicos
Haplotaxida	Lombrices de tierra	Detritívoros e ingenieros del suelo	Transforman las propiedades físicas del suelo, porosidad y condiciones hídricas.
Coleoptera	Escarabajos	Detritívoros, Herbívoros y Depredadores	Principales depredadores de larvas y trips que atacan las raíces o partes subterráneas de las plantas.
Hymenoptera	Hormigas	Omnívoros, Depredadores e Ingenieros del suelo	Alteran la estructura del suelo y mejoran su fertilidad, mediante la construcción de hormigueros, galerías y depósitos que excavan, diseminan la materia orgánica
Diptera	Larvas moscas y mosquitos	Detritívoros y Depredadores	Habitan los suelos con acumulación de materia orgánica y de excrementos.
Hemíptera	Chinches	Herbívoros	Atacan las raíces y hojas.
Orthoptera	Grillos	Herbívoros	Son eficientes cavadores que abren galerías en el suelo evitando la compactación.
Lepidoptera	Larvas de Mariposas	Herbívoros	Bioindicadores de cambios físicos y químicos por contaminantes, también son usados para el control de macrófitas.
Thysanoptera	Trips	Herbívoros	Son considerados en su mayoría como perjudiciales para las plantas, succionan las células de hojas y flores, causando daños y la muerte.
Blattodea	Cucarachas	Detritívoros, Herbívoros y Omnívoros	Consideradas vectores de enfermedades, sin embargo, pueden promover la descomposición de materia orgánica en hábitats silvestres.
Araneae	Arañas	Depredadores	Indican calidad de hábitat ya que requieren de recursos alimenticios y del suelo para subsistir.
Collembola	Colémbolos o colas de resorte	Detritívoros, Herbívoros, Depredadores.	Contribuyen en la descomposición de materia orgánica y mejoran la estructura del suelo, con la formación de agregados.

Orden	Nombre común	Grupo Funcional	Servicios Ecosistémicos
Acari	Acaros	Detritívoros y Depredadores	Estimulan el crecimiento de hongos y bacterias y contribuyen a la mejora del suelo con sus excrementos.
Isopoda	Cochinillas	Detritívoros	Colaboran en la descomposición de la hojarasca, restos animales, y son acumuladores de metales pesados
Neuroptera	Neurópteros	Depredadores	Control biológico e integrado de potenciales plagas que afectan los agroecosistemas
Diplopoda	Milpiés	Detritívoros	Trituran la materia orgánica de la hojarasca, son excavadores y dispersan nutrientes, mejorando la porosidad y fertilidad del suelo
Archaeognatha	Arqueognatos o Pececillos de plata	Detritívoros y Herbívoros	Ciclaje de nutrientes y la formación del suelo, ya que facilita la liberación de nutrientes esenciales para las plantas y mejora la estructura del suelo.
Diplura	Dipluros	Detritívoros y Herbívoros	Bioindicadores de la sostenibilidad de los agroecosistemas
Mantodea	Mantis	Depredadores	Útiles auxiliares de la agricultura ya que consumen grandes cantidades de insectos, como los dípteros.

Fuente: (Observatorio de Biodiversidad Agraria, 2023); (Cabrera, 2014); (Tauber et al., 2019); (Romero & Navarro, 2009);

(Goldarazena, 2015); (Pascual, 2015a); (Pascual, 2015b); (Baquero & Jordana, 2015). *Elaboración propia*

En la **Tabla 7-18** se evidencia que los servicios ecosistémicos más representativos son la degradación de materia orgánica y la contribución a las características físicas del suelo, principalmente debido a las conductas excavadoras de la mayoría de las especies. Estas actividades incrementan la porosidad del suelo.

También destacan otros servicios, como su papel como bioindicadores de sostenibilidad y el control biológico en cultivos. Sin embargo, algunas especies no aportan beneficios y son consideradas vectores o plagas.

7.2.2.4 Identificación de Flora y Fauna según los propietarios

En la **Tabla 7-19** se pueden observar los datos de fauna y flora obtenidos a través de las encuestas realizadas. Se puede observar que existen coincidencias entre las especies mencionadas y las halladas en la literatura, como lo son los Gavilanes y runchos (Accipitriformes), Loros (Psittaciformes), Toches (Passeriformes), Cardenales (Passeriformes), Azulejos (Passeriformes), Colibrís (Apodiformes), Guacharacas (Galliformes), Pavas (Galliformes), Arditas amarillas (Passeriformes) y Gallinas (Galliformes).

Tabla 7-19 Flora y Fauna vista por propietarios.

Código	Flora	Fauna
POE 1	No hubo reporte	No hubo reporte
POE 2	Guamo, guásimo, Guayaba, naranja, mango, opero, madre de agua, cedro, ocobo, vallo, amapola, sábila, orquídeas	Diferentes aves, gavilanes y runchos
POE 3	Plátano, yuca, banano, Guayaba, naranja	Armadillos
POE 4	Flor morado, Uruapan, Dilde, Orquídeas	Loros, Toches, Cardenales, Azulejos, Colibrís, Guacharacas, Aves, Pavas, Arditas amarillas
POE 5	Plátanos, yuca, ocobos y nuches	Mulas, gallinas, perros y gatos

Fuente: Elaboración propia

7.2.3 Caracterización Agrícola

7.2.3.1 Cultivo

Los diferentes POE analizados muestran una variedad de enfoques en cuanto a la siembra y renovación del cultivo de caña de azúcar. En términos de variedades de caña sembrada, todos los POE utilizan Manuelita, ZC y POJ, lo que sugiere una preferencia común por estas variedades en la región. En cuanto al modelo de siembra, la mayoría opta por una siembra sin distancia estándar entre plantas y sin surcos, lo que puede indicar una adaptación a terrenos con pendiente, como se evidencia en **Tabla 7-20**.

Tabla 7-20 Generalidades del cultivo

Código	Variedad de caña sembrada	Modelo de siembra	Renovación de cultivo
POE 1	Manuelita y POJ	Sin distancia estándar entre plantas, sin surcos, en pendiente	No realiza renovación
POE 2	Manuelita, ZC y POJ	Siembra a 70 cm distancia entre plantas, sin surcos, en pendiente	Si se realiza, de forma anual por secciones
POE 3	Manuelita, ZC, POJ y Palmira	Siembra de 10 cm entre plantas, algunos surcos, en pendiente por zonas	No realiza renovación
POE 4	Manuelita, ZC y POJ	Siembra de 50 a 60 cm de distancia entre plantas, sin surcos, en pendiente	Solo se resiembra las plantas que no sobreviven
POE 5	Manuelita, ZC y POJ	Sin distancia estándar entre plantas, sin surcos, en pendiente.	No realiza renovación

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, existen diferencias importantes entre los POE. Por ejemplo, POE 1 y POE 5 no realizan renovación del cultivo, indicando una estrategia arraigada en mantener la estabilidad del cultivo sin intervenciones adicionales. En contraste, POE 2 implementa una renovación anual por secciones, sugiriendo una estrategia estructurada para mantener la productividad y salud del suelo. POE 3 utiliza surcos en la siembra y no realiza renovación del cultivo, lo que podría reflejar una confianza en la estabilidad a largo plazo del rendimiento agrícola sin la necesidad de intervenciones frecuentes. Por otro lado, POE 4 limita la renovación a la resiembra selectiva de plantas que no sobreviven, mostrando una gestión focalizada en áreas específicas para mantener la productividad del cultivo.

7.2.3.1.1 Fertilización

Las prácticas de fertilización varían considerablemente entre los POE, desde la no utilización de fertilizantes en POE 2 y POE 4, hasta el uso intensivo de fertilizantes químicos en POE 3, y el uso de

fertilizantes orgánicos como la gallinaza en POE 1 y POE 5. Estas diferencias reflejan las estrategias adaptadas a las condiciones específicas de cada zona, así como las decisiones de manejo agrícola orientadas a optimizar la fertilidad del suelo y la productividad del cultivo de caña panelera según los conceptos de los propietarios relacionados en la **Tabla 7-21**.

Tabla 7-21 Características de la Fertilización por POE

Código	Tipo	Cantidad	Regularidad de Uso	Costo
POE 1	Gallinaza	No medido	Cada año	Lo produce
POE 2	No empleada	No aplica	No aplica	No Aplica
POE 3	Química	1 tapa de 30 g disuelta en tanque de 20 L	Mensual	150.000 bulto
POE 4	No empleada	No aplica	No aplica	No aplica
POE 5	Gallinaza	No medido, usa lo requerido para cubrir la base del tallo de cada planta	Cada 2 años	10.000 bulto

Fuente: Elaboración propia

Según los tipos de fertilización encontrada, es necesario destacar que la gallinaza es un acondicionador orgánico del suelo, mejora la estructura, porosidad, y fortalece el desarrollo radicular, además de que libera nutrientes esenciales para las plantas y aumenta la carga microbiana (Agricultura Ecológica, 2020). Por otro lado, para el POE 3, se identificó que el fertilizante químico empleado es Fosfato diamónico (DAP) 18 46 00, es un complejo químico que cuenta con dos nutrientes, es decir, se clasifica como una fuente de fósforo (46%), con un complemento secundario de nitrógeno (18%), el uso de DAP es recomendado para ser aplicado como mono producto en la etapa de pre siembra o siembra (Fertinova, 2020).

Se observa una notable variabilidad en los enfoques adoptados por cada zona. POE 1 y POE 5 emplean gallinaza como fertilizante. En POE 1, la gallinaza se aplica anualmente sin medir la cantidad exacta y se produce en la propia finca, reduciendo significativamente los costos operativos. En contraste, POE 5

utiliza gallinaza cada dos años en cantidades no medidas pero suficientes para cubrir la base del tallo de cada planta, con un costo de 10.000 COP por bulto. Esta práctica menos frecuente de fertilización orgánica en POE 5 sugiere un enfoque de largo plazo para mantener la fertilidad del suelo sin incurrir en altos gastos.

Por otro lado, POE 2 y POE 4 no emplean ningún tipo de fertilizante, lo que podría deberse a la suficiencia de nutrientes en el suelo natural o a una estrategia de manejo que evita la adición de insumos externos. De forma particular en el POE 4 el propietario menciona que la caña panelera abonada es menos productiva y por tanto evita el uso de fertilizante, en contraste POE 3 utiliza fertilizante químico, aplicando 30 gramos por cada 20 litros mensualmente, con un costo significativo de 150.000 COP por bulto, lo que representa una concentración de 1.5g/L, el uso de este fertilizante por medio de máquinas de espalda, genera un proceso de fertirriego indirectamente, teniendo en cuenta que este tipo de técnica implica el uso de aproximadamente 80L de solución fertilizante por hectárea, (Agroquímica Tridente, 2010), se estima que se requiere para toda el área de cultivo (4.5 ha), 360L de solución, lo que implica el uso de 540 g, y si el uso del mismo se realiza de forma mensual, se emplearían 6480g.

7.2.3.1.2 Caracterización de prácticas de manejo

Las prácticas agrícolas en las diferentes zonas de la finca muestran un enfoque variado y específico para cada área, con técnicas de riego dependientes del clima, labranza adaptada a las condiciones del terreno y métodos de cosecha que permiten una gestión eficiente de la producción de caña panelera, como se muestra en la **Tabla 7-22**.

Tabla 7-22 Características de manejo

Código	Riego	Labranza	Cosecha
POE 1	No realiza riego, depende del agua lluvia	No realiza labranza	Entresaque cada 15 días, cada zona se corta cada dos años

POE 2	No realiza riego, depende del agua lluvia	Mínima con azadón	Entresaque cada 20 días por lote, cada lote se corta cada 2 años
POE 3	No realiza riego, depende del agua lluvia	Mínima con azadón o con ayuda de tracción animal (mulas)	Cada zona es cosechada completamente, se rota de zona cada mes.
POE 4	No realiza riego, depende del agua lluvia	Mínima con azadón	Entresaque semanal se rota entre las zonas cada año
POE 5	No realiza riego, depende del agua lluvia	No realiza por zonas con alto índice de deslizamiento	Entresaque cada 15 días, cada zona se corta cada dos años

Fuente: Elaboración propia

En términos de labranza, hay variaciones significativas entre las zonas. POE 1 y POE 5 no realizan ninguna labranza, mientras que POE 2, POE 3 y POE 4 emplean una labranza mínima con azadón. En POE 3, además del azadón, se utiliza tracción animal (mulas), mostrando una combinación de métodos manuales y con ayuda de animales.

Respecto a las prácticas de cosecha, se observan estrategias diferenciadas. POE 1, POE 2 y POE 5 utilizan el método de entresaque, con intervalos de 20 días y 15 días respectivamente, y cada lote es cosechado completamente cada dos años. En POE 3, la cosecha se realiza de manera completa en cada zona, con una rotación mensual, lo cual sugiere una estrategia bien planificada para mantener la producción continua. POE 4 también emplea el entresaque, pero con una frecuencia semanal y una rotación anual entre las zonas, lo que indica una práctica altamente regulada.

7.2.3.1.3 Manejo de arvenses, control de plagas y enfermedades

En la **Tabla 7-23** se encuentran las estrategias utilizadas para manejar arvenses, plagas y enfermedades en los distintos POE.

Tabla 7-23 Manejo de arvenses, plagas y enfermedades

Código	Descripción		Manejo o Control	Costo
POE 1	Arvenses	Cobertura de arvenses del 30 al 40%	Manejo manual	Solo de mano de obra
	Plagas	No identificadas	No controladas	No aplica
	Enfermedades	No se evidencio plantas con síntomas	No controlada	No aplica
POE 2	Arvenses	Cobertura de arvenses del 10 al 50%	Fumiga y deshierba cada 6 meses	Costo de herbicida y mano de obra
	Plagas	Coleópteros	No lo controla (manejo indirecto por herbicida)	No aplica
	Enfermedades	Se observo síntomas de Roya en algunas hojas	No controlada	No aplica
POE 3	Arvenses	Cobertura de arvenses del 60%	No manejado	No aplica
	Plagas	Síntomas de barrenadores	Uso de plaguicidas eventuales	Eventualmente
	Enfermedades	No se evidencio plantas con síntomas	No controlado	No aplica
POE 4	Arvenses	Cobertura de arvenses del 30 al 40%	Manual	No aplica
	Plagas	Gorgojos, Polillas y Barrenadores	No controlados	No aplica
	Enfermedades	Quemador	Manual	No aplica
POE 5	Arvenses	Cobertura del 10 al 20%	Uso de Roundup Activo (Glifosato)	Estima alrededor de 6 millones de pesos en costos de manejo y control al año
	Plagas	Trozadores	Plaguicidas	
	Enfermedades	Roya	Fungicidas	

Fuente: Elaboración propia

En el POE 1, se utiliza principalmente manejo manual para controlar las arvenses, manteniendo una cobertura del 30% al 40%. En contraste, no se identificaron plagas específicas ni se observaron síntomas de enfermedades, lo que resulta en la ausencia de medidas de control para estos aspectos. Por otro lado, el POE 2 gestiona arvenses con una cobertura variable del 10% al 50%, empleando fumigación y deshierbe semestral con costos asociados de herbicidas y mano de obra. Las plagas, predominantemente coleópteros,

se controlan indirectamente mediante el uso de herbicidas, mientras que las enfermedades como la Roya, detectada en algunas hojas, no reciben un manejo específico.

En el POE 3, las arvenses cubren aproximadamente el 60% del área y no se implementan prácticas de manejo específicas para su control. Las plagas, manifestando síntomas de barrenadores, son abordadas con plaguicidas utilizados de manera eventual, indicando una respuesta reactiva frente a su presencia. No se detectaron síntomas significativos de enfermedades que justifiquen intervenciones específicas de control. En el POE 4, las arvenses se manejan manualmente con una cobertura del 30% al 40%. Las plagas como gorgojos, polillas y barrenadores no reciben control activo, al igual que las enfermedades como el quemador, que son manejadas de manera manual sin medidas adicionales de manejo.

Finalmente, en POE 5, se logra mantener arvenses en un rango del 10% al 20% mediante el uso del herbicida Roundup Activo (Glifosato), con un costo significativo estimado para el manejo anual. Las plagas, principalmente trozadores, son controladas con plaguicidas específicos, mientras que las enfermedades como la Roya se gestionan con fungicidas dedicados.

A partir de los distintos métodos de manejo de arvenses, plagas y enfermedades, se identifica un déficit en el conocimiento de los productos que son utilizados para el control, solo uno de los propietarios identificó el último herbicida empleado con un nombre puntual, los demás los caracterizan como líquidos o polvos que disuelven y que usan sin regularidad, incluso mencionan no emplear el mismo con frecuencia, por el contrario adquieren el que esté disponible con el diagnóstico visual que realizan del cultivo, y usan medidas empíricas para el manejo integrado de control de plagas y enfermedades.

Con respecto al producto Roundup Activo (Glifosato, 363g/L), es considerado un herbicida no selectivo, recomendado para el control de malezas, la aplicación suele hacerse directamente sobre las

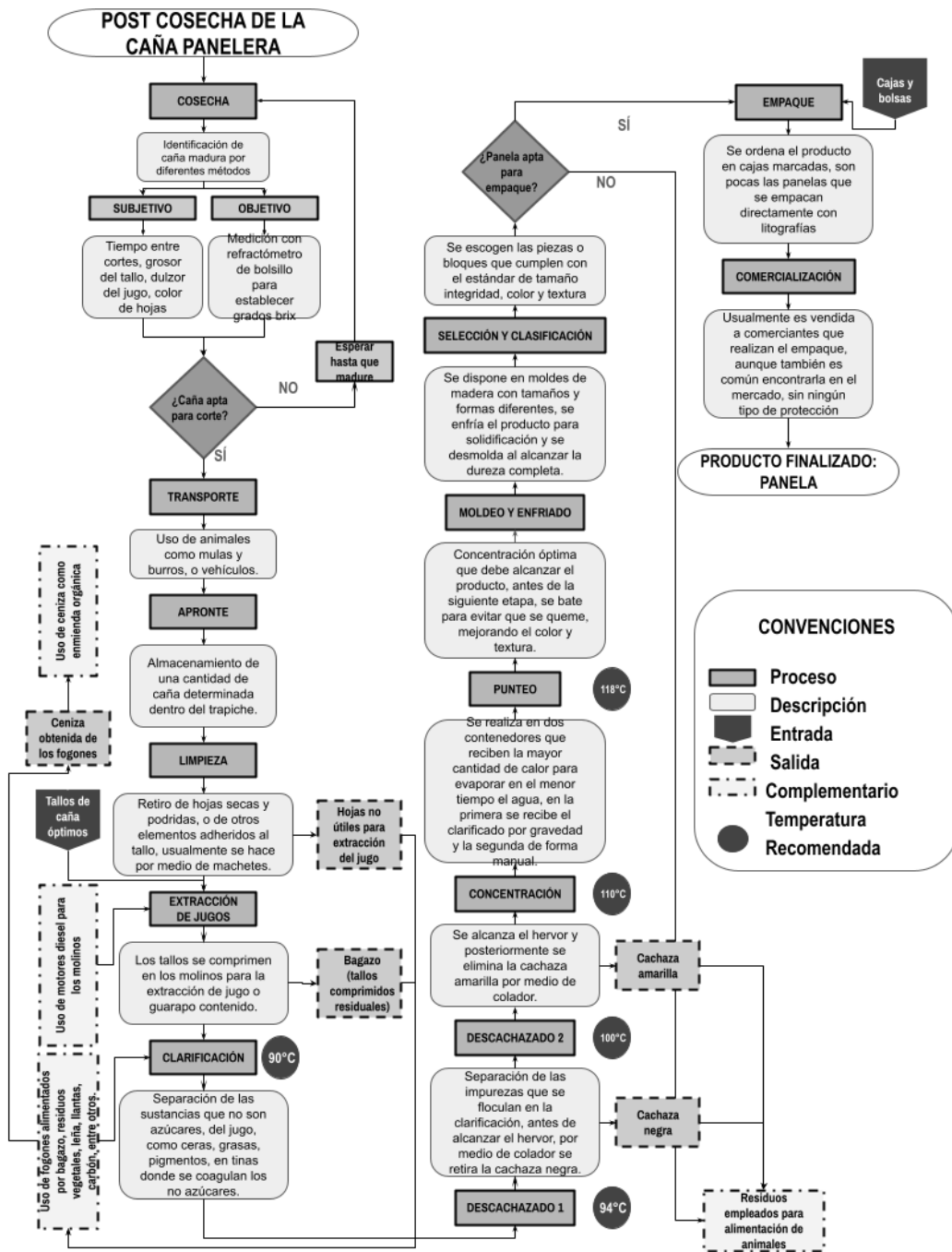
especies en crecimiento, controla gramíneas, ciperáceas, hoja anchas, entre otras malezas que no superan los 30 cm de altura, su aplicación puede darse de forma aérea y terrestre, (Agroactivo, 2023), dentro de sus principales afectaciones están la alteración en la generación de micorrizas, afecta diferentes especies de lombrices, además de ser clasificado como probable cancerígeno (González & Fuentes, 2022).

7.2.3.2 Post Cosecha

Teniendo en cuenta que de los cinco POE analizados, solo dos (POE 2 y POE 4) cuentan con trapiches dentro de sus predios para la fase de postcosecha de la panela, y los otros tres transportan los tallos cortados desde sus fincas a dichos trapiches, donde pagan la maquila para su procesamiento, se plantea a continuación el proceso generalizado. Este proceso, basado en la identificación en campo y en fuentes secundarias, abarca desde la identificación de tallos maduros hasta la comercialización, tal como se esquematiza en la

Figura 7-4. Es necesario aclarar que los trapiches no cuentan con procesos tecnificados. Por lo tanto, aunque en las fuentes secundarias es posible identificar una mayor cantidad de procesos o pasos, entradas, salidas, residuos y demás características, el esquema se ajustó a la identificación en campo de las condiciones actuales de los trapiches. Los datos específicos o técnicos se obtuvieron de guías técnicas de elaboración del producto.

Figura 7-4 Diagrama de proceso de post cosecha para la caña panelera



Fuente: (Quezada, 2007); (Eslava & García, 2013). *Elaboración propia*

La cosecha de la caña de azúcar se inicia con la identificación de la caña madura, la cual puede realizarse mediante métodos subjetivos y objetivos. Los métodos subjetivos incluyen la observación de factores como el tiempo entre cortes, el grosor del tallo, el dulzor del jugo y el color de las hojas. Por otro lado, los métodos objetivos emplean herramientas como el refractómetro de bolsillo para medir los grados

Brix, que indican los sólidos solubles en la solución. Una vez que se determina que la caña está apta para la cosecha, se procede al corte manual de los tallos.

El transporte de la caña recién cosechada hacia el trapiche se realiza mediante el uso de animales como mulas y burros, o vehículos adecuados, donde se dispone un área para el apronte almacenamiento de caña a procesar. Es fundamental que la caña almacenada en el trapiche esté madura, limpia y fresca, habiendo sido cortada entre 24 y 48 horas antes de su procesamiento.

En la mayoría de los casos, la caña se utiliza tal como se recolecta en el campo, sin embargo, algunos realizan proceso de limpieza, se lleva a cabo tanto en los tallos de la caña como en el jugo en dos etapas. Se utilizan pre limpiadores para separar las hojas frescas, secas y podridas adheridas al tallo, utilizando machetes para este propósito, y posteriormente lavadas, pero este proceso no se pudo identificar en ninguno de los trapiches encontrados.

Para extraer el jugo, los tallos de la caña se pasan por molinos donde son comprimidos, obteniendo así el jugo o guarapo. El residuo de este proceso es el bagazo, que se separa del jugo extraído, y se empleara posteriormente como combustible en los fogones, usualmente en los trapiches también se mantiene un área para su almacenamiento, el proceso de extracción es posible gracias a la implementación de motores diésel que permiten la rotación de los molinos de tres ejes que comprimen los tallos.

El siguiente paso es la clarificación, donde se separan las sustancias no azucaradas del jugo, como ceras, grasas y pigmentos. Este proceso se realiza en tinas de clarificación, donde el jugo se calienta a temperaturas cercanas a la ebullición (90°C) para coagular las impurezas no azucaradas. Las tinas, generalmente de acero para soportar las altas temperaturas, se calientan mediante un horno o fogón, que consiste en un canal ubicado debajo de las tinas y alimentado con distintos combustibles como leña, carbón,

bagazo e incluso llantas, una práctica que ha sido abandonada paulatinamente. Posteriormente, se realiza el descachazado, que consiste en la eliminación de las impurezas floculadas durante la clarificación y el calentamiento del jugo. Este proceso se lleva a cabo antes de que el jugo alcance la ebullición, aproximadamente a 94°C, utilizando un colador para retirar la cachaza negra, seguido de un segundo descachazado para eliminar la cachaza amarilla. Este procedimiento deja el jugo más puro para los siguientes procesos. Las impurezas eliminadas se clasifican como fuentes de alimentación para los animales de tracción en las fincas, según los propietarios.

La concentración y el punteo se llevan a cabo en dos contenedores que reciben la mayor cantidad de calor para evaporar el agua del jugo en el menor tiempo posible. En el primer contenedor, el jugo clarificado se recibe por gravedad y se transfiere manualmente al segundo contenedor. El punteo es la concentración óptima que debe alcanzar el producto antes de la siguiente etapa; a mayor temperatura, mayor cantidad de grados Brix (aunque esta medición no se realiza en ninguno de los POE). Se recomienda mantener la temperatura entre 116°C y 122°C, siendo 118°C la ideal. Durante este proceso, se realiza el batido para enfriar el producto y evitar que se queme, mejorando también su color y textura. La panela es un producto que se valoriza según su color, por lo que el batido es fundamental en la etapa final del proceso. Un mayor contacto con oxígeno durante el batido resulta en una mayor aclaración y mejora de la textura. Los trabajadores del trapiche otorgan gran importancia al batido debido a su impacto significativo en la calidad final del producto.

El moldeo y enfriado se lleva a cabo en moldes de madera de diferentes tamaños y formas. El producto se enfría para su solidificación y se desmolda cuando ha alcanzado la dureza necesaria. En la selección y clasificación, se escogen las piezas o bloques que cumplen con el estándar de tamaño, integridad, color y textura. Finalmente, durante el empaque, el producto se ordena en cajas marcadas, que

en este caso suelen comprar en municipios aledaños como Villeta, y son comercializadas bajo marcas con dicho lugar de referencia, pocas panelas se empaacan directamente con litografía dentro de los trapiches. Finalmente, en la fase de comercialización, la panela usualmente se vende a comerciantes que se encargan del empaque, aunque también es común encontrarla sin ningún tipo de envoltura, estos son los encargados de su distribución a nivel nacional y cumplen el papel de intermediarios entre los productores y el consumidor final.

De acuerdo al proceso identificado, la cantidad de residuos obtenidos en cada proceso es poca, teniendo en cuenta que se reutilizan dentro del proceso nuevamente, sin embargo, hay residuos que no hacen parte propiamente de la post cosecha, como plásticos y demás residuos aprovechables que se involucran con labores del hogar y no específicamente con el proceso productivo, a pesar de que tienden a aprovecharlos, y finalmente los que consideran desechos, como envases de agroquímicos para algunos de los POE, empaques de víveres, y otros no aprovechables, son incinerados en los hornos, para los residuos orgánicos suelen ser aplicados dentro de la cobertura del suelo, junto con la ceniza que se obtiene después de la labor de producción.

Finalmente se relaciona la productividad de cada POE teniendo en cuenta la cantidad de cargas que realizan en los trapiches, una carga se refiere a la unidad de medida usada para cuantificar en este sector un ciclo de post cosecha desde el apronte hasta el moldeo y empaque del producto final, un cargue representa aproximadamente cinco cajas de panela, que en este sector suelen ser moldeadas en bloques de una libra, en cada una de las cajas se pueden almacenar aproximadamente cuarenta panelas de libra, por lo tanto en **Tabla 7-24**, se relacionan estas cantidades por POE. Es necesario explicar que posterior al proceso de solidificación de la panela, tiende a perder unos gramos, por tanto, su peso final no será de una libra sino de un poco menos, por lo que, para efectos de cálculo se estimará que cada panela tiende a pesar 480g, es decir 0.48 kg, también se incluye la información de las áreas de cultivo obtenidas en la **Tabla 7-3** con el respectivo factor de corrección.

Tabla 7-24 Cantidad de panela producida en cargas y kilos por POE

Código	Cantidad de cargas mensuales	Cantidad producida en gramos	Cantidad producida en Kg	Área de cultivo en metros cuadrados	Área de cultivo en hectáreas (+0.05)	Rendimiento por Hectárea (Producción En Kg/Área productiva)
POE 1	50	120.000	120	8194.5	0.82	145.45
POE 2	55	132.000	132	11441.6	1.20	110.00
POE 3	56	134.400	134.4	44546.2	4.50	29.86
POE 4	36	86.400	86.4	4528	0.50	172.11
POE 5	50	120.000	120	15187.8	1.56	76.92

Fuente: Elaboración propia

Por medio del cálculo del rendimiento es posible establecer POE 1, con 50 cargas mensuales, produce 120 kg y tiene un rendimiento de 145.45 kg/ha, lo cual es notablemente alto. Similarmente, POE 4, con 36 cargas mensuales, produce 86.4 kg, pero destaca con el mayor rendimiento de 172.11 kg/ha, indicando una alta eficiencia en el uso del área productiva. En contraste, POE 3, a pesar de tener la mayor producción total de 134.4 kg con 56 cargas mensuales, muestra el menor rendimiento de 29.86 kg/ha, lo que sugiere posibles ineficiencias en la gestión del terreno o en las prácticas agrícolas. POE 2 y POE 5, con rendimientos de 110 kg/ha y 76.92 kg/ha respectivamente, reflejan niveles intermedios de eficiencia productiva.

7.3 Determinación de las debilidades y fortalezas del sistema de producción

La caracterización en los tres distintos componentes permitió la generación de un listado de determinantes necesarios para la evaluación ambiental del sistema productivo a través de cada POE, por tanto, en esta segunda fase se compilaron los resultados con mayor importancia para establecer los puntos de inflexión, es decir las fortalezas y debilidades, que permiten generar ejes de comparación para el planteamiento de puntos críticos y su posterior relación con los atributos de la metodología MESMIS.

7.3.1 Matriz de identificación de puntos críticos por POE

En la **Tabla 7-25** se estableció la matriz de identificación de resultados generales de los POE, donde se clasifican por componente y determinante, los valores obtenidos en el apartado de **Toma de datos y análisis ambiental**, y se estandarizan los datos para el reconocimiento de fortalezas y debilidades.

Tabla 7-25 Matriz de identificación de resultados generales por POE

Componente	Determinante	POE 1	POE 2	POE 3	POE 4	POE 5
Geosférico Y Biogeográfico	Geología Y Geomorfología	Estable Y Sin Deformaciones				
	Erosión	Hídrica Ligera – Moderada			Hídrica Ligera	
	Topografía (Elevación)	1340 y 1410 msnm	1340 y 1410 msnm	1340 y 1410 msnm	1340 y 1410 msnm	1340 y 1410 msnm
	Topografía (Pendientes)	2 a 22°	4 a 27°	10 a 32°	15 a 27°	7 a 23°
	Coberturas	<i>Suelo Desnudo:</i> 173.4 m ²	<i>Suelo Desnudo:</i> 564.3 m ²	<i>Suelo Desnudo:</i> 1850.6 m ²	<i>Suelo Desnudo:</i> 576.6 m ²	<i>Suelo Desnudo:</i> 28 m ²
		<i>Pastos:</i> 2501.6 m ²	<i>Pastos:</i> 1429 m ²	<i>Pastos:</i> 3516.4 m ²	<i>Pastos:</i> 565.7 m ²	<i>Pastos:</i> 0 m ²
		<i>V. Arbustiva:</i> 171.7 m ²	<i>V. Arbustiva:</i> 10191.8 m ²	<i>V. Arbustiva:</i> 7525.7 m ²	<i>V. Arbustiva:</i> 779.6 m ²	<i>V. Arbustiva:</i> 45.7 m ²
		<i>V. Arbórea:</i> 5638.7 m ²	<i>V. Arbórea:</i> 6771.2 m ²	<i>V. Arbórea:</i> 10539.4 m ²	<i>V. Arbórea:</i> 4729.3 m ²	<i>V. Arbórea:</i> 2124.1 m ²
<i>Infraestructura:</i> 378.7 m ²		<i>Infraestructura:</i> 875 m ²	<i>Infraestructura:</i> 352.2 m ²	<i>Infraestructura:</i> 492.3 m ²	<i>Infraestructura:</i> 207.2 m ²	
	<i>Cultivos:</i> 8194.5 m ²	<i>Cultivos:</i> 11441.6 m ²	<i>Cultivos:</i> 44546.2 m ²	<i>Cultivos:</i> 4528 m ²	<i>Cultivos:</i> 15187.8 m ²	
Suelos (Mapeo)	Suelos superficiales a profundos, bien drenados, con texturas finas a medias, reacción extremadamente ácida a medianamente alcalina, saturación de aluminio baja y fertilidad moderada a alta					

Componente	Determinante	POE 1	POE 2	POE 3	POE 4	POE 5	
	Suelos (identificación en campo)	Estructura laminar Textura arcillosa pH (6.67- 7.63) Humedad (28.88-36.40%) M.O de baja a alta, Color 2.5Y 3/2 y 10YR 2/2, Densidad aparente (1.52 – 2.38 g/cm³) Pendientes (27.8-43.2).	Estructura laminar Textura arcillo-limosa pH (5.1- 7.47) Humedad (21.14-41.2%) M.O de baja a alta, Color 2.5Y 1 y 10YR 4/2, Densidad aparente (1.72 – 2.05 g/cm³) Pendientes (16.2-29.6)	Estructura laminar Textura arcillosa pH (4.76- 7.22) Humedad (32.01-53.67%) M.O de media a alta, Color 2.5Y 3/2 y 2.5y 4/3, Densidad aparente (1.66 – 2.13 g/cm³) Pendientes (27.9-37.2).	Estructura laminar Textura franco-arcillosa pH (5.33- 7.63) Humedad (30.48-42.03%) M.O de baja a alta, Color 10YR 2/2 y 10YR 4/2, Densidad aparente (1.42 – 1.58 g/cm³) Pendientes (22-34).	Estructura laminar Textura franco-arcillosa pH (6.13- 7.43) Humedad (35.31-52.36%) M.O de baja a media, Color 10YR 3/2 y 2.5Y 4/3, Densidad aparente (1.5 – 2.1 g/cm³) Pendientes (19.-36).	
	Áreas Protegidas	Sin Cercanía					
Climatológico	Precipitación	1450-1600 mm	1450-1600 mm	1450-1600 mm	1450-1600 mm / 1600-1700mm	1450-1600 mm / 1600-1700mm	
	Temperatura	18 – 18.5 °C					
	Evapotranspiración Potencial	1200 - 1300 mm					
Hidrológico	Hidrología Puntual	Con Drenajes Cercanos					
	Fuentes Generadoras De Vertimiento	Aguas Grises: Descarga Al Suelo Aguas Negras: Pozo Séptico	Aguas Grises Y Negras Directas Al Suelo	Aguas Grises: Descarga Al Suelo Aguas Negras: Pozo Séptico	Aguas Grises Y Negras Directas Al Suelo		
Atmosférico	Velocidad Y Dirección Del Viento	Velocidad: 0 A 19km/H Direcciones predominantes: Sur, Sur Este Y Sursuroeste					
	Fuentes Generadoras De Emisiones	Estufa de leña	Trapiche Estufa de leña	Estufa de leña	Trapiche Estufa de Leña	Estufa de leña	
	Emisiones Totales (kg/día)	Cocinas: CO ₂ 216.67, CO 10.31, CH ₄ 0.76, PM ₁₀ 2.33, PM _{2.5} 0.81 Trapiches: CO ₂ 80.34, CO 1.28, CH ₄ 0.11, PM ₁₀ 0.09, PM _{2.5} 0.06					
Diversidad	Índices De Biodiversidad	Simpson Invertido: 0.75798 Shannon: 1,60207	Simpson Invertido: 0.76745 Shannon: 1,77338	Simpson Invertido: 0.80952 Shannon: 1,81114	Simpson Invertido: 0.75125 Shannon: 1,65028	Simpson Invertido: 0.79464 Shannon: 1,83310	
Cultivo	Renovación De Cultivo	No Realiza	Si Realiza	No Realiza	En Ocasiones	No Realiza	
	Fertilización	Gallinaza	No Empleada	Química (DAP)	No Empleada	Gallinaza	
	Riego	No Realiza					
	Labranza	No Realiza			Mínima		No Realiza
	Manejo de arvenses, plagas y enfermedades	Manual No controladas No controladas	Herbicidas No controlado No controlado	No controlado Plaguicidas eventuales No controlado	Manual No controlado Manual	Herbicidas Plaguicidas Fungicidas	
	Cosecha	Entresaque		Completa	Entresaque		Entresaque
Postcosecha	Postcosecha	Realizado En Fincas Aledañas	Trapiche En Finca	Realizado En Fincas Aledañas	Trapiche En Finca	Realizado En Fincas Aledañas	

Componente	Determinante	POE 1	POE 2	POE 3	POE 4	POE 5
	Rendimiento	145.45 kg/ha	110 kg/ha	29.86 kg/ha	172.11 kg/ha	76.92 kg/ha

Fuente: Elaboración propia.

Los cinco POE presentan varias fortalezas notables que contribuyen a la sostenibilidad ambiental y productividad de los sistemas de caña panelera. En términos de geología y geomorfología, todos los POE están situados en terrenos estables y sin deformaciones, lo que proporciona una base sólida para las actividades agrícolas. Además, la topografía con elevaciones entre 1340 y 1410 msnm es adecuada para el cultivo de caña panelera.

La cobertura del suelo, para todos los POE, esta ampliamente representada por vegetación arbustiva, arbórea y pastizales, siendo cerca del 39% de toda el área de estudio, se puede observar en la ortofotografía que hay gran variedad de especies que componen la vegetación circundante a los cultivos, lo cual es indicador de que los cultivos no se realizan de manera extensiva ni exageradamente agresiva para el aprovechamiento del área del predio sino que se acomodan de manera dispersa sin alterar las especies ya establecidas, además es posible observar que aunque hay una gran área cultivo, las cosechas se encuentran divididas dentro de la misma, mayormente en el POE3.

Los suelos de estos POE, caracterizados por ser superficiales a profundos, bien drenados, y con texturas finas a medias, presentan una fertilidad moderada a alta, lo que es favorable para el crecimiento de la caña.

En términos de hidrología, la presencia de drenajes cercanos asegura un suministro adecuado de agua a pesar de que no ha sido empleada o identificada por los productores.

La precipitación y temperatura son consistentes y adecuadas para el cultivo, lo que proporciona un entorno climático favorable.

Las emisiones determinadas, muestran que las cocinas son la fuente más influyente de contaminantes, aunque debido a la naturaleza de la actividad, es subestimada ampliamente, representa un 73.8% del total de las emisiones generadas donde el CO₂ abarca el 69.3%, sin embargo las emisiones generadas por los trapiches no abarcan completamente la realidad, debido a que algunos predios aledaños no contemplados en este estudio, alquilan comúnmente los trapiches para procesar la caña de sus cultivos, por lo que estas emisiones generadas por la quema de bagazo, pueden llegar a ser más representativas de lo contemplado, y no fue posible cuantificarse dado que los administradores de los trapiches no llevan un conteo o registro sobre aquellos a los que se les alquila dicho trapiche.

La biodiversidad, medida por los índices de Simpson y Shannon, es relativamente alta en todos los POE, lo que indica una buena diversidad de especies en el área. Finalmente, en el ámbito de la postcosecha, varios POE tienen acceso a trapiches en finca o en fincas aledañas, facilitando el procesamiento de los tallos para su comercialización.

A pesar de las fortalezas, existen varias debilidades que deben abordarse en los POE. Uno de los principales problemas es la erosión hídrica, que varía de ligera a moderada en todos los POE, sumado a las pendientes que se tienen, promueve el deslizamiento y la pérdida de suelo, afectando negativamente la productividad agrícola. La gestión de vertimientos es otro punto crítico, ya que algunos POE descargan aguas grises y negras directamente al suelo, lo que puede contaminar los suelos requeridos para el cultivo y afectar la salud del ecosistema. El uso de agroquímicos, especialmente en POE que emplean fertilización química y herbicidas, plantea riesgos ambientales y de salud. Además, la labranza mínima o nula en algunos POE puede llevar a una menor preparación del suelo, afectando la estructura y la capacidad de retención de agua. La renovación del cultivo no se realiza de manera consistente en todos los POE, lo que puede llevar a problemas de agotamiento del suelo y una menor productividad a largo plazo. También se observa

un manejo inadecuado de arvenses, plagas y enfermedades, con control manual insuficiente y el uso eventual de plaguicidas, lo que puede resultar en pérdidas de rendimiento.

7.3.2 Identificación de Puntos Críticos y Relación con Atributos Ambientales

Teniendo en cuenta la caracterización realizada se relaciona a continuación la matriz de identificación de puntos Críticos hallados dentro del sistema productivo, teniendo en cuenta que la metodología MESMIS plantea que se debe relacionar cada punto crítico con un atributo y su respectivo indicador de seguimiento. Adicionalmente, como en el presente estudio se planteó realizar el análisis del área evaluativa ambiental (A), se contempló solo el análisis de los atributos productividad, el conjunto estabilidad, resiliencia y confiabilidad, y autogestión (Masera & Lopez, 2000).

Tabla 7-26 Determinantes relacionadas con los atributos MESMIS, puntos críticos e indicadores

Atributo	Determinante	Descripción	Punto Crítico	Indicador	Fórmula o Factor de Medición
Productividad	Cultivo	Manejo del cultivo	Pérdida de suelo	Índice de Mantenimiento de cultivo	IMC= Frecuencia de mantenimiento semanal al cultivo
Productividad	Cultivo	Rendimiento por Hectárea	Pérdida de rendimiento	Rendimiento	R= Producción total (kg) /Área de cultivo (ha)
Productividad	Manejo de Arvenses, Plagas y Enfermedades	Conservación de arvenses	Disminución de biodiversidad, cobertura del suelo	Índices de Manejo de Arvenses	IMA= Área con arvenses conservados (ha)/Área cultivada (ha) *100
Productividad	Cultivo	Fertilizante	Uso de fertilizante	Uso del Fertilizante	UF= Uso del Fertilizante
Productividad	Erosión	Erosión hídrica	Pérdida del suelo	Índice de Perdida del suelo	IE= Identificación de erosión
Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Suelos (Identificación en campo)	Humedad retenida en el suelo	Humedad disponible	Tasa de Retención de Humedad	TRH= Peso del agua en el suelo (g)/ Peso seco del suelo (g) *100
Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Biodiversidad	Índices de Simpson y Shannon	Conservación de biodiversidad	Índice de Simpson invertido y Shannon	Ecuación 6-6 Ecuación 6-7
Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Suelo	Rotación de cultivos	Sobrecargo del suelo por monocultivo	Índice de rotación de cultivo	RC= Número de cultivos en rotación /Número total de ciclos de cultivo
Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Suelo	Ponderación de parámetros de factibilidad	Condiciones actuales del suelo	Índice de Factibilidad del Suelo	IFS = (PpH×0.2)+(PMO×0.3) + (PH×0.5)
Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Biogeográfico	Conservación de la vegetación	Vegetación Conservada	Índice de Cobertura Vegetativa	ICV= /(Vegetación arbustiva + Vegetación arbórea) (ha) / Área del predio (ha)) *100

Atributo	Determinante	Descripción	Punto Crítico	Indicador	Fórmula o Factor de Medición
Autogestión	Climatológico	Precipitación	Precipitación requerida	Índice de precipitación	$IP = \frac{\text{Precipitación (mm)}}{\text{Precipitación requerida (mm)}}$

Fuente: *Elaboración propia.*

La **Tabla 7-26** aborda diversos indicadores que permiten evaluar tanto la productividad como la estabilidad, resiliencia y confiabilidad en los sistemas productivos de caña panelera. La creación de los indicadores tuvo en cuenta puntos críticos que son medidos cuantitativamente (Representa de forma numérica la realidad) pero también se tienen factores cualitativos (Representan de forma categórica o binaria la realidad), como clasificación general de los indicadores según el Departamento Nacional de Estadística (2020), por lo que se propone una escala numérica para algunos de ellos con el fin de estandarizar la evaluación. Para el atributo de productividad, los puntos críticos asociados incluyen la pérdida de suelo, la disminución del rendimiento, la disminución de la biodiversidad y el uso ineficiente de fertilizantes, con indicadores específicos como:

- Índice de Mantenimiento de Cultivo (IMC): se estima a partir de la frecuencia de mantenimiento semanal al cultivo. Este índice es fundamental para evaluar la atención y cuidado que se le da al cultivo retirando el material vegetal caído como hojas secas y al finalizar la cosecha, con el fin de evitar la acumulación de material que imposibilite el drenaje de la precipitación al suelo.
- Rendimiento por Hectárea (R): El rendimiento de un cultivo de caña panelera, es la relación de la producción total por hectárea utilizada (Cámara de Comercio de Tunja, 2019), en este caso se determinó dividiendo la producción total entre el área de cultivo. Esta fórmula es esencial para medir la eficiencia del uso del terreno y para comparar la productividad entre los sistemas de cultivo. Un rendimiento alto por hectárea indica un uso eficiente de la tierra, lo cual es un objetivo clave en la gestión agrícola. Este índice refleja directamente la

capacidad del sistema productivo para generar productos a partir de los recursos disponibles.

- Índice de Manejo de Arvenses (IMA): se calcula como el porcentaje de área con arvenses conservada sobre el área total cultivada. Este índice es crucial para la productividad, ya que las arvenses pueden contrarrestar los efectos de la erosión, evitando la exposición de suelo desnudo e incrementar la biodiversidad adyacente al cultivo. Un manejo efectivo de las arvenses contribuye a mantener la productividad del cultivo y a conservar la biodiversidad del suelo.
- Uso del Fertilizante (UF): Se interpretará de forma cuantitativa como 1 si el POE usa fertilizante y 0 en caso de no uso, debido a que no se obtuvo cantidades o proporciones medibles o comparables de cantidad de fertilizante usado,
- Índice de Erosión Hídrica (IE): describe el estado actual del suelo según lo identificado en el mapeo se catalogó erosión ligera-moderada como 2 y erosión ligera como 1. Este índice es crucial para la estabilidad, resiliencia y confiabilidad del sistema productivo, ya que la erosión hídrica puede llevar a la pérdida de suelo fértil, afectando la capacidad productiva a largo plazo. Evaluar la pérdida del suelo permite implementar medidas de conservación y manejo para mantener la salud del suelo.

Para el conjunto estabilidad, resiliencia, confiabilidad se plantearon los puntos críticos de humedad disponible, conservación de biodiversidad, sobrecarga del suelo por monocultivo y mantener la factibilidad del suelo.

- Tasa de Retención de Humedad (TRH): se calcula como el promedio de los porcentajes de humedad hallados en la **Tabla 7-6**, donde para cada punto se calculó con el peso del agua en el suelo dividido por el peso seco del suelo, multiplicado por 100. Este índice es

importante para la estabilidad y resiliencia del sistema, ya que una buena retención de humedad mejora la disponibilidad de agua para las plantas, especialmente en periodos de sequía. Este indicador ayuda a evaluar la capacidad del suelo para soportar el cultivo bajo condiciones climáticas variables.

- Índices de Biodiversidad (Simpson y Shannon): miden la diversidad de especies en el ecosistema agrícola. Estos índices son fundamentales para la estabilidad, resiliencia y confiabilidad del sistema, ya que una alta biodiversidad puede mejorar la resistencia a plagas y enfermedades, así como contribuir a la sostenibilidad del sistema.
- Índice de Rotación de Cultivos (RC): se calcula como el número de cultivos en rotación dividido por el número total de ciclos de cultivo. Este índice es clave ya que la rotación de cultivos ayuda a prevenir la acumulación de plagas y enfermedades y mejora la estructura y fertilidad del suelo. Una buena rotación de cultivos es una práctica esencial para mantener la salud a largo plazo del suelo agrícola.
- Índice de factibilidad del Suelo (IFS): Se formula mediante el establecimiento de categorías para rangos óptimos en cada parámetro medido en el suelo, con una valorización numérica. El objetivo es desarrollar una fórmula que permita la ponderación y evaluación de la factibilidad del suelo para el cultivo de caña panelera. El pH óptimo para el cultivo se encuentra entre 5.5 y 7.5, la materia orgánica adecuada se clasifica como muy alta, y el porcentaje de humedad requerido es del 50%. Se establecen rangos donde los valores cercanos a estos óptimos reciben una puntuación de 5, y los más alejados, una puntuación de 1. Posteriormente, se realiza una sumatoria, asignando un factor de peso a cada parámetro: pH (0.2), materia orgánica (MO) (0.3), y humedad (H) (0.5). Los rangos, categorías y valores se encuentran detallados en la **Tabla 7-28** y **Tabla 7-29**. Este índice es crucial para la estabilidad del sistema, ya que integra múltiples aspectos de la factibilidad

del suelo en una sola medida. Se formula mediante el establecimiento de categorías para rangos óptimos en cada parámetro medido en el suelo, con una valorización numérica, con el fin de establecer finalmente una fórmula que permita la ponderación y se establezca la factibilidad del suelo para la caña panelera, teniendo en cuenta que el pH óptimo para el cultivo esta entre 5.5 y 7.5, el % de humedad requerida es de 50%, (Calderón, 1988) y la materia orgánica adecuada es Muy Alta (Sanchez, 2016), se establecen unos rangos donde los valores cercanos a estos óptimos corresponden a 5 y los más alejados a 1, posteriormente se realizó la sumatoria, dándole un factor de peso a cada parámetro siendo: pH, (0.2) materia orgánica (MO), (0.3)) y humedad (H), (0,5), el establecimiento de los rangos, categorías y valores, se encuentra en la **Tabla 7-28** y **Tabla 7-29**. Este índice es crucial para la estabilidad del sistema, ya que integra múltiples aspectos de la factibilidad del suelo en una sola medida.

- Índice de Cobertura Vegetativa (ICV): Se calcula como la sumatoria de la vegetación arbustiva y arbórea estimada en la sección de Coberturas, en relación con el área del predio, de forma porcentual, con el fin de estimar el porcentaje de cobertura conservada por POE, este índice refleja la conservación de biodiversidad de flora dentro del predio.

Por último, en la sección del atributo autogestión, se contempla la precipitación como única fuente del recurso agua y la dependencia climatológica del cultivo a este factor.

- Índice de precipitación: se calcula mediante la relación entre la precipitación del área de estudios y la precipitación requerida para el cultivo de caña panelera. Para este cultivo, la precipitación anual requerida se encuentra en un rango de 1500 a 1800 mm, con un

promedio de 1650 mm (Buenaventura , 1981). Comparado con el promedio de la precipitación obtenida en cada POE con la precipitación requerida

A continuación, se relaciona en la **Tabla 7-27** los valores numéricos asignados para los índices de carácter cualitativo.

Tabla 7-27 Valoración de indicadores cualitativos por categoría

Atributo	Determinante	Punto Crítico	Indicador	Categoría	Valoración
Productividad	Fertilizante	Uso de fertilizante	Uso del Fertilizante	SI	1
				NO	0
Productividad	Erosión hídrica	Pérdida del suelo	Índice de Perdida del suelo	Ligera	1
				Moderada	2
				Alta	3

Fuente: Elaboración propia.

7.4 Análisis de indicadores de la evaluación ambiental

En la siguiente tabla (**Tabla 7-28**), se relacionan los valores encontrados para cada indicador seleccionado, con el fin de evaluar el área ambiental de las unidades productivas que representa cada POE.

Tabla 7-28 Valoración de indicadores por POE

Atributo	Indicador	Fórmula	POE 1	POE 2	POE 3	POE 4	POE 5
Productividad	Índice de Mantenimiento de cultivo	IMC= Frecuencia de mantenimiento semanal al cultivo	0	0	0	0	0
Productividad	Rendimiento	R= Producción total (kg)/Área de cultivo (ha)	145.45 kg/ha	110 kg/ha	29.86 kg/ha	172.11 kg/ha	76.92 kg/ha
Productividad	Índices de Manejo de Arvenses	IMA= (Área con arvenses (ha) conservados/Área cultivada(ha)) *100	35%	30%	60%	35%	15%
Productividad	Uso del Fertilizante	UF= Uso de fertilizante	1	0	1	0	1
Productividad	Erosión Hídrica	IE= Identificación de erosión	2	2	2	1	1
Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Tasa de Retención de Humedad	TRH= Peso del agua en el suelo/ Peso seco del suelo *100	31.6%	31.3%	38.3%	36.5%	44.3%
Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Índice de Simpson invertido y Shannon	Ecuación 6-6 Ecuación 6-7	Simpson Invertido: 0.75798	Simpson Invertido: 0.76745	Simpson Invertido: 0.80952	Simpson Invertido: 0.75125	Simpson Invertido: 0.79464

Atributo	Indicador	Fórmula	POE 1	POE 2	POE 3	POE 4	POE 5
			Shannon: 1.60207	Shannon: 1.77338	Shannon: 1.81114	Shannon: 1.65028	Shannon: 1.83310
Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Índice de rotación de cultivo	RC= Número de cultivos en rotación /Número total de ciclos de cultivo	0	0	0	0	0
Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Índice de Calidad del Suelo	IFS = (PpH×0.2) + (PMO×0.3) + (PH ×0.5)	3.7	3.9	3.9	3.9	4.1
Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Índice de Cobertura Vegetativa	ICV= /(Vegetación arbustiva + Vegetación arbórea) (ha) / Área del predio (ha) *100	34.06%	54.24%	26.43%	47.20%	12.33%
Autogestión	Índice de precipitación	IP= Precipitación obtenida/Precipitación requerida	0.92	0.92	0.92	0.95	0.95

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 7-29** se presentan los valores de referencia utilizados para calcular el índice de factibilidad del suelo con sus respectivos rangos, categorías y valoraciones en una escala del uno al cinco. Para el cálculo, se promediaron los valores de cada punto de muestreo, obteniendo así un único valor representativo para cada POE y se pondero según la formula como se muestra en la **Tabla 7-30**.

Tabla 7-29 Valores de referencia usados para el cálculo del índice IFS

Parámetro	Rango	Categorías	Valoración
pH	6.5 +- 0.5	Perfecto	5
	6.5 +- 0.5-1.5	Aceptable	4
	6.5 +- 1.5-2	Regular	3
	6.5 +- 2 - 3	Desfavorable	2
	6.5 +- >3	No apto	1
Materia Orgánica	N/A	Muy Baja	5
		Baja	4
		Media	3
		Alta	2
		Muy Alta	1
% Humedad	40 al 50 %	Perfecta	5
	30 al 40 %	Aceptable	4
	20 al 30%	Regular	3

	10 al 20%	Desfavorable	2
	0 al 10%	No apta	1
Factibilidad del suelo para caña panelera			
Suelo	Factible		4 a 5
	Aceptable		3 a 4
	Desfavorable		2 a 3
	No apto		1 a 2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-30 Cálculo del índice IFS por POE

Código	pH	Valoración	Materia Orgánica	Valoración	%Humedad	Valoración	IFS	Categoría
POE 1	7.22	4	Media	3	31.60	4	3.7	Aceptable
POE 2	6.20	5	Media	3	31.37	4	3.9	Aceptable
POE 3	6.28	5	Media	3	38.30	4	3.9	Aceptable
POE 4	6.69	5	Media	3	36.52	4	3.9	Aceptable
POE 5	6.85	5	Baja	2	44.36	5	4.1	Factible

Fuente: Elaboración propia.

Realizando una comparación los indicadores clave evaluados en cada uno de los POE. En términos de productividad agrícola, el POE 1 muestra un rendimiento destacado de 145.45 kg/ha, junto con un uso del fertilizante y conservación moderada de arvenses (35%). En contraste, el POE 3 exhibe el rendimiento más bajo de 29.86 kg/ha, aunque realiza uso del fertilizante químico y conservación más rigurosa de arvenses (60%). En cuanto a la estabilidad del sistema, el POE 5 muestra la mayor tasa de retención de humedad del suelo (44.3%) y el índice más alto de factibilidad del suelo obteniendo una valoración de 4.1, mientras que el POE 2 enfrenta desafíos significativos con un rendimiento moderado de 110 kg/ha y no realiza uso del fertilizante. También es importante mencionar características comunes de todos los POE, ninguno realiza mantenimiento en la recolección de material vegetal dentro del cultivo y no realizan rotación de cultivos, practicas directamente nocivas para la conservación del suelo, adicionalmente se encuentran en déficit de precipitación para el tipo de cultivo, debido a que la caña requiere en promedio 1650 mm anuales (Buenaventura , 1981), por tal motivo todos los IP calculados, se encuentran por debajo de 1.

Con Respecto a las coberturas es de destacar la conservación que mantienen los POE 2 y 4, con un 54.24% y 47.2% respectivamente, que representa la cobertura vegetativa arbustiva y arbórea, sin embargo el POE5, solo mantiene el 12.33%.

8 Discusión

En términos de productividad, los resultados indican que el POE 1 y el POE 4 son los más eficientes, con rendimientos de 145.45 kg/ha y 172.11 kg/ha, respectivamente. Estas cifras reflejan un manejo adecuado del cultivo y una optimización en el uso de recursos en estos puntos. En contraste, el POE 3 mostró la menor productividad, con un rendimiento de 29.86 kg/ha, indicando posibles problemas en la gestión del cultivo y factores limitantes que deben ser abordados para mejorar la eficiencia productiva.

El manejo de arvenses también mostró variaciones significativas entre los POE. El POE 5 destacó negativamente, con solo el 15% del área cultivada libre de arvenses, lo que sugiere una gestión deficiente de estas plantas usualmente no deseadas. En contraste, el POE 3, con un 60% de conservación de arvenses, demostró un manejo más efectivo en este aspecto, que favorece distintos aspectos del suelo como la prevención de la erosión, el reciclaje de nutrientes y minerales, son reservorio de organismos para el control biológico, y en su mayoría son exterminadas por considerarlas competencia directa del cultivo (Blanco & Leyva, 2007).

El uso de fertilizantes, medida de manera binaria, mostró que los POE 1, 3 y 5 hacen uso de fertilizantes, mientras que los POE 2 y 4 no los utilizan. Esta diferencia sugiere variaciones en las prácticas agrícolas y la disponibilidad de insumos, lo cual impacta directamente en la productividad y la sostenibilidad del sistema agrícola, pero los POE que usan fertilizante no cuentan con mayor información de su aplicación o dosificación, para los que emplean gallinaza puede considerarse un factor de importancia dentro de la

sostenibilidad combinando otras actividades pecuarias dentro del sistema, generando un aprovechamiento, para el uso de DAP, se considera un fertilizante óptimo siempre y cuando se siga empleando en bajas concentraciones, aunque en el POE 3 no se ve reflejado el factor de fertilizar en la obtención de rendimiento siendo uno de los más bajos, lo que también puede indicar la necesidad de cambios dentro del cultivo. Un aspecto a tener en cuenta es que el fosfato di amónico ha sido de los fertilizantes simples más importados a nivel nacional, siendo fundamental en los cultivos del café, la caña de azúcar y la palma africana como fertilizante de su etapa inicial (Perez, 2014). El principal motivo por el que es necesario para los cultivos de café y la caña de azúcar fertilizantes como DAP, se remite a que las raíces en la primera etapa de crecimiento no cuentan con el desarrollo para tomar nutrientes de baja movilidad como el fósforo, lo que obliga a usar fertilizantes de este tipo (Sadeghian, 2013)

En términos de estabilidad, resiliencia y confiabilidad, la tasa de retención de humedad en el suelo fue más alta en el POE 5, con un 44.3%, lo que indica un mejor manejo del suelo y una mayor capacidad de retención de agua. El POE 3, con una retención del 38.3%, también mostró buenos resultados, mientras que los POE 1 y 2 tuvieron tasas de retención de humedad más bajas, de 31.6% y 31.3%, respectivamente, lo cual podría afectar negativamente la estabilidad del cultivo durante periodos de sequía.

En cuanto a la biodiversidad, el análisis de los índices de Simpson invertido y Shannon reveló que el POE 5 posee la mayor diversidad, con un índice de Shannon de 1.83310 y un índice de Simpson invertido de 0.79464. Esta mayor diversidad biológica es crucial para la sostenibilidad a largo plazo del sistema productivo, proporcionando resiliencia frente a las perturbaciones ambientales. El POE 1, con un índice de Shannon de 1.60207 y un índice de Simpson invertido de 0.75798, mostró la menor diversidad, indicando la necesidad de estrategias para aumentar la biodiversidad en este punto. En contraste es necesario mencionar que el POE 1 y 5 mantienen una fertilización con gallinaza, que en este caso no representa un factor definitivo para mantener la biodiversidad.

El índice de factibilidad del suelo (IFS) fue más alto en el POE 5, con un valor de 4.1, lo que refleja una combinación óptima de parámetros como pH, materia orgánica y capacidad de retención de agua, siendo este último el factor de mayor importancia. En comparación, el POE 1 tuvo el valor más bajo del IFS, con 3.7, indicando una menor capacidad del suelo y para mantener el cultivo de la caña, sin embargo, aún se encuentra en estado aceptable del indicador, la necesidad de mejorar la gestión de este recurso vital. Contradictoriamente el POE 5 tiene un rendimiento por hectárea entre bajo y moderado con 76.92 kg/ha, y mantiene solo el 15% de los arvenses y el 12.33% de cobertura vegetativa, mientras que el POE 1 tiene un rendimiento mas alto (145.45 kg/ha), lo cual indica que el suelo solo es uno de los factores que afectan el rendimiento, pero no lo determina.

Finalmente, el índice de precipitación mostró que los POE 4 y 5, con un valor de 0.95, están más cerca del nivel óptimo de precipitación requerida para la caña panelera, comparados con los POE 1, 2 y 3, que tienen un índice de 0.92. Esto sugiere que los POE 4 y 5 tienen condiciones más favorables de precipitación, lo cual puede influir positivamente en el rendimiento del cultivo.

La comparación entre los POE ha permitido identificar fortalezas y debilidades clave en los sistemas productivos de caña panelera en Guayabal de Siquima. Los POE 1 y 4 se destacan por su alta productividad y mejor gestión del cultivo, mientras que el POE 5 sobresale en términos de estabilidad, biodiversidad y factibilidad del suelo. En contraste, los POE 2 y 3 enfrentan mayores dificultades en varios aspectos, incluyendo la productividad y estabilidad del suelo, lo cual subraya la necesidad de intervenciones específicas para mejorar la sostenibilidad de estos sistemas productivos.

Por último, para la relación entre indicadores se plantea la siguiente tabla (**Tabla 8-1**) que identifica valores actuales y valores esperados de los indicadores hallados con anterioridad, que se esperan puedan ser mejorados en todas las fincas, pero sobre todo en aquellas cuyos puntos críticos son sobresalientes.

Tabla 8-1 Relación de Indicadores

Atributos	Indicador	Valor actual	Valor esperado
Productividad Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Índice de Mantenimiento de Cultivos	Muy Bajo	Alto
	Índice de Erosión	Ligera -Moderada	Ligera
	Tasa de Retención de Humedad	Moderada	Alta
	Rendimiento por Hectárea	Medio	Medio - Alto
Comparativa	La falta de mantenimiento adecuado en los cultivos de caña panelera provoca una acumulación de hojarasca y material vegetal durante el cultivo y la cosecha (Ver Fotografía 8-1). Los cuales forman una capa superficial que dificulta la movilidad de los trabajadores, reduce la cantidad de agua que penetra en el suelo y disminuye la erosión. Para mejorar el rendimiento del sistema, es fundamental realizar mantenimientos recurrentes y semanales que limpien los residuos del cultivo de caña. Aunque esto podría aumentar la erosión hídrica del suelo, permitiría una mayor infiltración de agua, evitaría la acumulación de materia orgánica en estado de descomposición y mejoraría el rendimiento por hectárea al reducir el déficit hídrico en el cultivo. Este enfoque contribuiría a alcanzar un sistema más eficiente y productivo, con un índice de mantenimiento de cultivos más alto, una retención de humedad moderada a alta y un rendimiento por hectárea medio a medio-alto.		
Productividad Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Uso de fertilizantes	Media	Alta
	Rendimiento por hectárea	Medio	Medio
	Rotación de cultivos	Nunca	Mas frecuente
Comparativa	El uso adecuado de fertilizantes es crucial. Una utilización media de fertilizantes, si se maneja de manera óptima, puede mejorar significativamente la productividad del cultivo, sin embargo, en el POE 3 donde se mantiene la fertilización química no se evidencia mayor productividad, aunque tiene la mayor extensión de área de cultivo, lo cual le da favorabilidad a identificar las necesidades del suelo y suplirlas con alternativas orgánicas como la gallinaza, que han representado buenos resultados en el POE 1. Para alcanzar un uso alto de fertilizantes de manera eficiente, es necesario rotar los cultivos de forma más frecuente. La rotación de cultivos contribuye a la conservación del suelo, lo que a su vez mejora la eficacia de los fertilizantes aplicados. Un suelo bien conservado retiene mejor los nutrientes, lo que incrementa el rendimiento del cultivo y reduce la necesidad de aplicar fertilizantes en exceso. La rotación de cultivos no solo ayuda a conservar el suelo, sino que también disminuye la exposición del área cultivada a daños, reduciendo el índice de pérdida del suelo de alto a medio. Esta práctica agrícola sostenible permite mantener o incluso aumentar el rendimiento por hectárea, al tiempo que minimiza los daños al suelo. Un manejo adecuado del suelo y de los fertilizantes, junto con la rotación de cultivos, conduce a un sistema de producción más resiliente y sostenible, optimizando los recursos y mejorando la productividad global.		
Productividad Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Índice de conservación de arvenses	Moderado	Alta
	Índice de Erosión	Ligera -Moderada	Ligera
	Biodiversidad	Moderada-Alta	mantener Moderado -Alta
Comparativa	La gestión adecuada de arvenses y la conservación del suelo permiten un crecimiento óptimo del cultivo y una mayor productividad. Simultáneamente, mantener una alta biodiversidad asegura la resiliencia del sistema frente a plagas y enfermedades, mejora la estructura y fertilidad del suelo, y contribuye a la sostenibilidad a largo plazo. No obstante, es importante destacar que el equilibrio es clave. Un manejo excesivo de arvenses podría reducir la biodiversidad, mientras que una baja conservación del suelo podría aumentar la erosión. Por lo tanto, las prácticas agrícolas deben ser adaptativas y holísticas, integrando manejo de arvenses, conservación del suelo y promoción de la biodiversidad para optimizar la productividad y sostenibilidad.		

Atributos	Indicador	Valor actual	Valor esperado
Productividad Estabilidad Resiliencia Confiabilidad Autogestión	Índice de precipitación	Desfavorable	Estable o Favorable
	Tasa de retención hídrica	Moderada	Media - Alta
	Rendimiento por Hectárea	Baja Media	Alta
Comparativa	Todos los POE presentan un índice de precipitación de insuficiente, combinado con una baja o moderada retención de humedad y un rendimiento medio a bajo. Para mejorar la sostenibilidad y productividad de estos sistemas, se recomienda implementar sistemas de riego y técnicas de manejo del agua, especialmente en los POE con menor índice de precipitación. Además, se sugiere aumentar la retención de humedad del suelo mediante la adición de materia orgánica y la adopción de prácticas de labranza mínima, optimizando así el uso del agua disponible y mejorando el rendimiento del cultivo.		

Fuente: Elaboración propia

A partir de lo obtenido en cada indicador, se establecieron valores cualitativos actuales y esperados para ser tenidos en cuenta por cada unidad productiva, y se señala en la comparativa un análisis integrado de indicadores, debido a que el sistema debe verse como el conjunto de determinantes que pueden colaborar para obtener mejores prácticas y un sistema productivo ambientalmente más sostenible.



Fotografía 8-1 Área de cultivo

Fuente: Elaboración propia.

a continuación, por medio de los atributos se presentan las apreciaciones finales.

➤ Productividad

Se observó que el POE 4 mostró el mayor rendimiento por hectárea (172.72 kg/ha) a pesar de no utilizar fertilizantes, lo que sugiere una alta eficiencia en el manejo del cultivo, con una factibilidad del suelo de carácter alto. Este comportamiento destaca la importancia de prácticas agrícolas eficientes y sostenibles, además de que deben conservarse las condiciones actuales de los recursos con los que cuenta este POE, para que su rendimiento sea mantenido. La fertilización no siempre es el principal factor determinante del rendimiento, ya que el POE 4 logró altos rendimientos sin fertilización química ni orgánica. Esto indica que otros factores, como la gestión del suelo y del agua, también juegan un papel crucial en la productividad.

Los POE 3 y 5 exhibieron diferencias significativas en el manejo de arvenses, destacándose el POE 3 por conservar un 60% de las arvenses del suelo, mientras que el POE 5 solo mantiene el 15%. La conservación de las arvenses no solo promueve un entorno más favorable para la flora y fauna local, sino que también puede contribuir significativamente a la salud y calidad del suelo, beneficiando así el rendimiento y sostenibilidad a largo plazo

➤ Estabilidad, Resiliencia y Confiabilidad

Se observó que todos los POE enfrentan niveles de erosión ligeros a moderados, por lo que deben buscarse medidas que mitiguen la erosión, como la conservación de las coberturas vegetativas. También se destaca el POE 5 por su mejor capacidad de retención de humedad (44.3%), sin embargo, todos los POE mantienen una retención por encima del 30%, este hallazgo subraya la importancia de implementar prácticas de conservación del suelo para mitigar la erosión y mejorar la retención de agua en los sistemas de cultivo

de caña panelera, como uno de los principales factores de influencia para el incremento de la productividad y la salud a largo plazo del suelo.

Los índices de biodiversidad, evaluados mediante los índices de Simpson y Shannon, revelaron niveles moderados a altos en todos los POE, siendo especialmente alto en el POE 5 y 3, la preservación y fomento de la biodiversidad es crucial para fortalecer la resiliencia del ecosistema agrícola y asegurar su sostenibilidad a largo plazo, sin embargo, son POE opuestos en la conservación de arvenses, indicando que las demás prácticas agrícolas también hacen parte fundamental de la conservación.

➤ Autogestión y Sostenibilidad

Se observó que los POE 1, 2 y 3 tienen un índice de precipitación menor (0.92) comparado con los POE 4 y 5 (0.95). La disponibilidad de agua es un factor limitante crítico y debe ser gestionado adecuadamente para asegurar la sostenibilidad del cultivo.

9 Conclusiones

A lo largo de este estudio, se realizó una evaluación detallada de cinco Sistemas de Producción de Caña Panelera (POE) en Guayabal de Síquima, utilizando la metodología MESMIS para caracterizar y analizar ambientalmente estos sistemas. Se identificaron fortalezas y debilidades en cada POE, permitiendo una comprensión profunda de las dinámicas productivas y ambientales involucradas.

- Para la evaluación ambiental del sistema productivo de caña panelera, fue necesario analizar diferentes determinantes físicas, bióticas y agrícolas que representan de forma integral el área técnico-ambiental de la metodología MESMIS. La caracterización de cada componente permitió analizar, desde distintas perspectivas, la influencia de diversos factores dentro del cultivo. La identificación realizada por cada POE ejemplificó la variabilidad en las medidas de manejo y variables ambientales que pueden incentivar la sostenibilidad, incluso entre predios colindantes que comparten procesos productivos. Es importante resaltar que, aunque se pretendía comparar sistemas a partir de un caso particular que mostrara factores o prácticas alternativas de manejo, como el proceso de fertilización, cada POE destacó en prácticas alternativas, lo que respaldó el análisis de otras comparaciones realizadas.
- La generación de puntos críticos, basada en las determinantes propuestas por la metodología MESMIS, permitió identificar fortalezas y debilidades compartidas por todos los POE, así como aquellas individuales. Estos puntos críticos facilitaron el planteamiento de indicadores para su posterior ponderación según atributos de sostenibilidad. Este proceso fue crucial para establecer una visión holística de los sistemas productivos y sus desafíos específicos.
- Los indicadores planteados reflejan de forma cuantitativa y cualitativa las condiciones actuales de los sistemas productivos de caña panelera en la vereda Torres. Estos indicadores proporcionan una perspectiva clara sobre las áreas críticas y posibles alternativas de mejora que pueden

implementarse. Estas mejoras no solo buscan beneficiar a los productores, sino también asegurar que el producto final sea ambientalmente sostenible, atendiendo tanto a la demanda del consumidor como a las exigencias de sostenibilidad ambiental.

- La implementación de un programa de rotación de cultivos es esencial para mejorar la calidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos, promoviendo así la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas. Mejorar las prácticas de manejo de arvenses contribuye significativamente a aumentar la biodiversidad y la productividad del suelo, creando un ecosistema más resiliente y saludable. Asimismo, la promoción de técnicas de conservación del suelo y manejo hídrico es fundamental para reducir la erosión y mejorar la retención de humedad, lo cual es crucial para mantener la integridad del suelo y optimizar el uso de recursos hídricos. Fomentar prácticas de fertilización eficientes, basadas en el análisis de la calidad del suelo y las necesidades específicas del cultivo, asegura una aplicación adecuada de nutrientes, minimizando el impacto ambiental y maximizando la productividad del cultivo. Estas recomendaciones integradas refuerzan la importancia de adoptar enfoques holísticos y basados en principios de sostenibilidad ambiental para el manejo de los sistemas productivos de caña panelera, asegurando su viabilidad económica y ecológica.

10 Bibliografía

- Agencia de Desarrollo Rural. (2023). *Condiciones específicas (Terminos de referencia) para presentación de perfiles susceptibles a ser financiados en el marco de proyectos integrales de desarrollo agropecuario y rural*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2023/03/TDR-2023-SLPP-24032023-1.pdf>
- Agricultura Ecológica. (2020). *Ficha técnica de la Gallinaza compostada*. Carbonatos y Abonos. <https://www.abonosconagricola.com/PDF/DOCUMENTOS-PAGINA-WEB/PRODUCTOS/GALLINAZA-COMPOSTADA/FICHA-TECNICA-GALLINAZA-COMPOSTADA.pdf?t=1599491004>
- Agroactivo. (2023). *Ficha técnica Roundup Activo*. Agroactivo. <https://agroactivocol.com/wp-content/uploads/2021/11/ROUNDATIVO.pdf>
- Agroquímica Tridente. (2010). *Ficha Técnica Floren Tridente*. Agroquímica Tridente. https://www.tridente.com.mx/media/agrproducts/FICHA_TECNICA_FLOREN_20-30-10.pdf
- Albarracín, L., Toscano, A., Santana, N., Insuasty, O., & García, H. (2007). *Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13454>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7-20. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>
- Álvarez, D., Cock, J., & Estrada, M. (2010). *RASTA. Rapid Soil and Terrain Assessment; Guía práctica para la caracterización del suelo y terreno*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Corporación Biotec. <https://hdl.handle.net/10568/69682>

- Ambala, C., & Ocholla, W. (2006). *Training manual on integrated environmental assessment and reporting in africa*. Africa Environment Outlook.
https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11318/IEA_Africa_training_manual.pdf?sequence=1&%3BisAllowed=
- Aquino, P., Cuevas, C., & Carrillo, K. (2017). *Balance de las emisiones de gases y partículas de la quema de caña de azúcar en México*. CONADESU, SAGARPA.
<https://siiba.conadesuca.gob.mx/siaca/Consulta/verDoc.aspx?num=998>
- Arteaga, L., & Burbano, J. (2018). Effects of climate change: A look to Agriculture. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79-91. <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.93>
- Astier, M., Masera, O., & Galván-Miyoshi, Y. (2008). *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. SEAE, CIGA, ECOSUR, CIEco, UNAM, GIRA, Mundiprensa, Fundación instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. <http://www.mesmis.unam.mx:8080/MESMIS2/#>
- Baquero, E., & Jordana, R. (2015). Órdenes Poduromorpha, Entomobryomorpha, Neelipleona y Symphypleona. *Revista IDE@ - SEA*, 36, 1-11. http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_36.pdf
- Bernal, R., Gradstein, R., & Celis, M. (2020). *Catálogo de Plantas y Líquenes de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. Dataset/Checklist. <https://doi.org/10.15472/7avdhn>
- Blanco, Y., & Leyva, A. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecologicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, 28(2), 21-28.
<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217731003.pdf>
- Buenaventura , C. (1981). *Industrialización de la caña*. Agrosavia.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19649/26487_13040.pdf?sequence=1
- Bueno, A., & Torres, M. (2018). Las familias rurales, sujetos colectivos de derechos. El caso de Guayabal de Siquima. *Palobra*, 18(3), 52-65. <https://biblat.unam.mx/hevila/Palobra/2018/no18/3.pdf>

- Cabrera, G. (2014). *Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba*. The Rufford.
https://rufford.org.s3.amazonaws.com/media/project_reports/Manual%20Pr%C3%A1ctico%20Sobre%20la%20Macrofauna%20del%20Suelo.pdf
- Calderón, V. (1988). *Suelos y Fertilizantes para cultivos de caña en ladera*. Instituto Colombiano Agropecuario.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/21893/Ver_documento_21893.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cámara de Comercio de Tunja. (2019). *Panorama del sector panelero, Jurisdicción Cámara de Comercio de Tunja*. Departamento de planeación y estudios económicos. https://cctunja.org.co/wp-content/uploads/2019/10/panorama_sec_panelero_2019.pdf
- Castagnino, D. (2021). Apuntes sobre el contrato de maquila. *Revista Venezolana de Derecho Mercantil*, 6, 155-172. http://www.ulpiano.org.ve/revistas/bases/artic/texto/RVDM/6/RVDM_2021_6_155-172.pdf
- Castro, C., & Agualimpia, Y. (2017). Implementación del mapa de geopedología como base para la delimitación de unidades de ecosistemas a nivel nacional en Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1), 175-185. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.74>
- Departamento Nacional de Estadística. (2020). *Guía para Diseño, Construcción e Interpretación de Indicadores. Estrategia para el Fortalecimiento Estadístico Territorial*. Departamento Nacional de Estadística.
https://www.dane.gov.co/files/planificacion/fortalecimiento/cuadernillo/Guia_construccion_interpretacion_indicadores.pdf
- Díaz, D. (1972). *Producción y almacenamiento de Panela*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13813/26559_13208.pdf?seq

- Díaz, E., Vázquez, W., Venegas, A., Morales, H., & Hernández, S. (2021). Emisiones generadas por el consumo de leña y carbón en la preparación de comida rápida. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(2), 1-9. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2962>
- Díaz, L., & Portocarrero, E. (2002). *Manual de producción de caña de azúcar*. [Tesis de pregrado - Universidad Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a66402aa-4881-4ad1-bd65-f52a1ee5ff1/content>
- Eslava, F., & García, H. (2013). *Guía constructiva para trapiches con capacidad de 100kg/h de Panela*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Universidad Nacional de Colombia. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.32052.86406>
- Federación Nacional de Productores de Panela. (2001). *Bases para un acuerdo de desarrollo de la cadena agroindustrial de la panela*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7293/BVE19029567e.pdf?sequence=1>
- Fertinova. (2020). *Ficha técnica de DAP 18-46-00*. Fertinova, agroproductos. <https://www.fertinova.mx/sites/default/files/FICHA%20DAP.pdf>
- Fonseca, N., & Narvaéz, C. (2020). Aplicación de la metodología MESMIS para la evaluación de sustentabilidad en sistemas de producción campesina en Sumapaz, Cundinamarca. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 6(2), 31-47. <https://doi.org/10.36436/24223484.318>
- Forero, J., & Rudas, G. (2012). La agroindustria en Colombia. Pequeña producción y relaciones interpersonales. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 35, 7-17. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/3303>
- García, M. C., Mendieta, O. A., Peña, A. C., & Rodríguez, J. (2016). *Las buenas prácticas de manufactura en la producción de panela*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34303>

- García, M., Piñeros, A., Bernal, F., & Ardila, E. (2012). Variedad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 1(36), 60-64. <https://doi.org/10.16924/revinge.36.11>
- Global Biodiversity Information Facility. (2024). *GBIF Occurrence Download*. GBIF. <https://doi.org/10.15468/dl.jm4dgm>
- Goldarazena, A. (2015). Orden Thysanoptera. *Revista IDE@-SEA*, 52, 1-20. https://doi.org/http://sea-entomologia.org/IDE%40revista_52.pdf
- González, E., & Fuentes, M. (2022). Dinámica del glifosato en el suelo y sus efectos en la microbiota. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38(54197). <https://doi.org/10.20937/rica.54197>
- Grupo Banco Mundial. (2023). *Informe Sobre Clima y Desarrollo del País*. Grupo Banco Mundial. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099072023124015474/pdf/P1781040f920a400809a2c09e70149f435b.pdf>
- Guerrero, M., & Escobar, J. (2015). Eficiencia técnica de la producción de panela. *Revista de Tecnología*, 14(1), 107-116. <https://doi.org/10.18270/rt.v14i1.1853>
- Gutiérrez, L., Arias, S., & Ceballos, A. (2018). Actualidad del sistema productivo tradicional de panela en. *Ingeniería y Competitividad*, 20(1), 107-123. <https://doi.org/10.25100/iyc.v20i1.5233>
- Hernández, A., Reynosa, M., Hernández, J., & Canciano, J. (2019). Emisión de contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros santigueros. *Tecnología Química*, 39(2), 390-402. <https://www.redalyc.org/journal/4455/445559634010/html/>
- Iglesias, D., & Ramírez, J. (2008). La formación de sistemas productivos locales. *Teoría y Praxis*, 5, 51-67. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=456145110005>
- Insuasty, O., & Manrique, R. (1997). *Reconocimiento de enfermedades en caña panelera (Saccharum officinarum) en el sur del Departamento de Santander*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

- https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13652/59554_51735.pdf?sequence=1#page=12
- Irvine, J. (1999). Saccharum species as horticultural classes. *Theoretical and Applied Genetics*, 98, 186-194. <https://doi.org/10.1007/s001220051057>
- Jain, R., Urban, L., Stacey, G., & Balbach, H. (2002). *Environmental Assessment*. McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/binary/mheaeworks/26d632d25adab3bf/61b968bef47e413171f30f226dcb71b2e13f19d6549ba8fd4cd64c1ce5072226/book-summary.pdf>
- Johnson, D. (2007). *Land Degradation*. Rowman & Littlefield Publishers, Inc. https://www.google.com.co/books/edition/Land_Degradation/HhNnrqIXCQC?hl=es&gbpv=1
- Lince, L., Sadeghian, S., & Diaz, V. (2021). Índice de vulnerabilidad del suelo a la variabilidad climática en regiones cafeteras de Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 38(2), 124-143. <https://doi.org/10.22267/rcia.213802.165>
- Lopez, J. (2015). *La caña de azúcar (Saccharum officinarum) para la producción de panela. Caso: Nordeste del departamento de Antioquia*. [Tesis de pregrado - Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/id/5313/1042996781.pdf/>
- Magurran, A. (2021). Measuring biological diversity. *Current Biology*, 31, E1141-R1224. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.07.049>
- Manrique, R. (1997). *Aspectos agronómicos del cultivo de la caña panelera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/21911>
- Mascietti, M. (2014). *Panela: propiedades, información y aceptación*. [Tesis de pregrado - Universidad Fasta]. <http://redi.ufasta.edu.ar:8082/jspui/handle/123456789/771>
- Masera, O., & Lopez, S. (2000). *Sustentabilidad y Sistemas campesinos. Cinco experiencias de evaluación en el México Rural*. Mundi Prensa.

https://books.google.com.co/books?id=40HUBgAAQBAJ&newbks=1&newbks_redir=0&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

Matemilola, S., & Salami, H. (2021). Environmental Assessment. In S. Idowu, R. Schmidpeter, N. Capaldi, L. Zu, M. De Baldo, & R. Abreu, *Encyclopedia of Sustainable Management*. Springer, Cham.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-02006-4_521-2

Medina, J., Ortega, M., & Martínez, G. (2021). ¿Seguridad alimentaria, soberanía alimentaria o derecho a la alimentación? Estado de la cuestión. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 18(2021), 300-319.

<https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr18.sasa>

Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Cadena Agroindustrial de la panela*. Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Panela/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Mohamed, E., Belal, A., Ali, R., Saleh, A., & Hendawy, E. (2019). Land Degradation. In H. El-Ramady, T. Alshaal, N. Bakr, T. Elbana, E. Mohamed, & A. Belal, *The soils of Egypt*. World Soils Book Series.

Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95516-2_9

Mosquera, S., Carrera, J., & Villada, H. (2007). Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el departamento del Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 5(1), 17-27.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117629>

Nath, A., Dutta, D., Pawan, K., & Singh, J. (2015). Review on Recent Advances in Value Addition of Jaggery based Products. *Processing & Technology*, 6(4), 1-4. [https://doi.org/10.4172/2157-](https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000440)

[7110.1000440](https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000440)

Obando, P. (2013). *La Panela, Valor Nutricional y Su Importancia En La Gastronomía*. [Tesis de Tecnología - Universidad Técnica del Norte Facultad Ciencias de la Salud].

<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2247>

- Observatorio de Biodiversidad Agraria. (2023). *Trampas de caída*. Fundación Global Nature, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://observatorioagrario.com/wp-content/uploads/2023/05/Guia_B1-1.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Degradación del suelo*. FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
- Orjuela, J., & Chavarrio, I. (2011). Caracterización de la cadena de abastecimiento de Panela para la provincia de Bajo Magdalena - Cundinamarca. *Ingeniería*, 16(2), 107-124. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=498850173009>
- Ortega, A., Osorno, D., & Aristizábal, J. (2008). *Propuesta para el incremento de la producción de panela en la finca Gualanday del municipio de Cocorna*. [Tesis de posgrado-Corporación Universitaria Minuto de Dios]. https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/3657/1/TEPRO_OrtegaAngela_2008.pdf
- Pabón, J. (2003). El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 12, 111-119. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/10277/10796>
- Pascual, F. (2015a). Orden Mantodea. *Revista IDE@ - SEA*, 47, 1-10. http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_47.pdf
- Pascual, F. (2015b). Orden Blattodea. *Revista IDE@ - SEA*, 48, 1-13. http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_48.pdf
- Perez, J. (2014). *Uso de fertilizantes y su impacto en la producción agrícola*. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/74970>
- Quezada, W. (2007). *Guía Técnica de Agroindustria Panelera*. Publicaciones FICAYA. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/934>

- Quiroga, M. C., Guerrero, J. C., Ruiz, J. H., Guillén, H., & Jiménez, D. (2017). Diversificación de la agroindustria panelera en la producción de mieles invertidas. *Revista Tecnología y Productividad*, 2(2), 73-82. <https://doi.org/10.23850/24632465.598>
- Ramírez, J., & Taborda, A. (2014). Firewood consumption in traditional stoves among traditional peasant families from the Antioquian Easter region. *Producción + Limpia*, 9(1), 99-114. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552014000100008#:~:text=Estas%20familias%20mantienen%20encendido%20en,1.18%20kg%20Fd%C3%ADa%20de%20madera
- Ramirez, R., Vargas, P., & Cardenas, O. (2020). La seguridad alimentaria: una revisión sistemática con análisis no convencional. *Revista Espacios*, 41(45), 319-328. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n45/a20v41n45p25.pdf>
- Ramirez, V., & Antero, J. (2013). Evolución de la normativa ambiental colombiana en función de las tendencias mundiales de desarrollo sostenible. *Revista NOOS*, 3(4), 34-35. https://www.researchgate.net/publication/281526157_EVOLUCION_DE_LA_NORMATIVA_AMBIENTAL_COLOMBIANA_EN_FUNCION_DE_LAS_TENDENCIAS_MUNDIALES_DE_DESARROLLO_SOSTENIBLE
- Realpe, M. (2023). *Manejo orgánico del cultivo de caña (Saccharum officinarum) para producir panela granulada en el municipio de Isnos - Huila, Vereda Salen*. [Tesis de pregrado - Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/299/
- Red de Buenas Práctica Agropecuarias. (2020). *Recomencaiones para Muestreo de Suelos*. Red de Buenas Práctica Agropecuarias. <https://redbpa.org.ar/wp-content/uploads/2021/04/EP-RedBPA-MuestreoDe-Suelos.pdf>
- Reyes, E. (2021). *Micropropagación de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.): Revisión de*. [Tesis de pregrado - Universidad Zamorano].

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/eeac9d97-62b7-4ada-8a9a-985478cd29d5/content>

Rodríguez, G., Huertas, B., Polo, S., González, C., Tauta, J., Rodríguez, J., . . . López, R. (2020). *Modelo productivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) para la producción de panela en Cundinamarca*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria.

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7403305>

Romero, F., & Navarro, F. (2009). Lepidoptera. In E. Domínguez, & H. Fernández, *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos* (pp. 309-340). Fundación Miguel Lilo.

https://www.researchgate.net/publication/318883156_Lepidoptera

Ruiz, J. (2011). *Informe sobre el cambio climático en Colombia*. IDEAM.

<http://meteorologia.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Resumen+Ejecutivo+Escenarios+de+Cambio+Clim%C3%A1tico.pdf/0e37511b-9ed9-40c7-b1d0-b0a47eb7d36e>

Sadeghian, S. (2013). Nutrición cafetales. *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura.*, 116, 85. https://doi.org/https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_20

Sanchez, P. (2016). *Manejo de la materia orgánica para la producción sostenible*. Centro de Agricultura y Seguridad Alimentaria.

<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6949/BVE18040127e.pdf?sequence=1>

Sarmiento, A. (2016). *Análisis de la transformación y nivel de sostenibilidad del territorio, por la producción del cultivo de la caña panelera en la Vereda Chapaima del municipio de Villeta Cundinamarca*.

[Tesis de Mestría, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

<http://hdl.handle.net/11349/3265>

Tarazona, G. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la caña panelera. Medidas para la temporada invernal*. Instituto Colombiano Agropecuario.

https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2282/45174_61372.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tauber, C., Tauber, M., & Albuquerque, G. (2019). Neuroptera. In V. Resh, & R. Cardé, *Enciclopedia de los insectos* (pp. 695-707). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00190-9>

Torres, C. (2010). Ingeniería aplicada para comunidades rurales vulnerables. *Ingenieros sin Fronteras Colombia*, 5(8), 60-68. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.5.8.2010.60-68>

Torres, L., Florez, D., & Castellanos, O. (2010). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la panela y su agroindustria en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12695>

Vanegas, C. (2016). *Manejo del Bagazo en la agroindustria de la caña panelera en el nordeste antioqueño a partir de la gestión integral de residuos: Estudio de caso municipio de Yolombo*. [Tesis de posgrado, Universidad de Manizales].

<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2880/Tesis%20Con%20correcciones%2014%20nov%20de%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

11 Anexos

Anexo 1. Modelo de encuesta

ENCUESTA

Fecha: _____

Estudiantes investigadores: _____

Finca y vereda: _____

Nombre de productor o colaborador: _____

PRIMER ESLABÓN

1. ¿El sistema productivo cuenta con proveedores? _____

2. ¿Qué insumos compra? (Maquinaria, herramientas, insumos, etc.)

3. ¿Cuánto es el monto de inversión económica que se realiza en insumos para la producción de caña? Si existe y no cuenta con el dato indagar ¿qué factores hacen que no se lleven registros?

SEGUNDO ESLABÓN

4. ¿cuál es el área del cultivo y del trapiche?

5. ¿Cuál es costo del funcionamiento del trapiche? _____

6. El área de cultivo y de procesamiento es propia, arrendada, heredada. ¿Cuenta con título de propiedad o contrato de arrendamiento?

7. ¿Qué tiempo de establecido tiene su cultivo? _____

8. ¿Tiene un modelo de siembra establecido? ¿Se contemplan distancia entre plantas y surcos? ¿El cultivo se encuentra establecido en pendiente?

9. ¿Cuál es el tiempo entre cortes de caña? _____

10. ¿Cuál es el promedio de producción de caña por hectárea? _____

11. ¿Cuál es el precio de venta de la tonelada de caña de azúcar? ¿A quién se lo vende?

12. ¿Número de trabajadores que se vinculan en el proceso de cultivo? ¿Cuántos días al mes se contratan? ¿Cuál es la forma de pago?

13. ¿Qué variedades de caña siembran?

14. ¿Cuenta con semillas certificadas y que costo tiene? _____

15. ¿La variedad que maneja es rentable comparándola con otras en el mercado?

16. ¿Realiza procesos de renovación de cultivo?

17. Si no realiza renovación ¿Cuáles son las causas por las que no se renueva la caña sembrada?

18. ¿Consideraría renovarla en un corto plazo? _____

¿Qué tipo de fertilización usa?	¿Qué proporciones del fertilizante usa?	¿Cada cuánto lo usa?	¿Lo compra o lo produce?	¿Cuánto le cuesta?

19. ¿Cuáles son las plagas y las enfermedades prevalentes en el cultivo?

20. ¿Cómo controla las malezas o hierbas que crecen en el cultivo, con herbicidas o manualmente?

21. ¿Cómo controla las plagas que atacan el cultivo, con pesticidas o por ayuda de otros organismos depredadores?

22. Cuando aparece una enfermedad en las plantas del cultivo, ¿cómo ataca la enfermedad?

23. ¿Invierte usted recursos económicos para el control de plagas y enfermedades? De ser afirmativa la respuesta ¿cuánto invierte? **Si realiza control biológico el entrevistador debe realizar un estimado del costo promedio (insumos, materiales y tiempo invertido)**

24. En el proceso de preparar el suelo para el cultivo, ¿emplea labranza cero, labranza mínima o labranza convencional?, ¿la labranza realizada es manual, con ayuda de tracción animal o mediante maquinaria? ¿Cuánto le cuesta? ¿Cada cuanto lo realiza? Si no prepara el suelo, ¿por qué?

25. ¿Hacen análisis de suelos? ¿Con que frecuencia? ¿Cuánto le cuesta? ¿Ha recibido financiación para el desarrollo del análisis de suelos?

26. Para el riego del cultivo, ¿emplea sistema por goteo, aspersión o por surcos? o ¿no riega el cultivo?

27. ¿De dónde obtiene el agua para el cultivo? ¿cuánta agua emplea y cada cuanto riega? ¿Cuánto le cuesta el agua utilizada?

TERCER ESLABÓN

28. ¿De dónde obtiene el agua para la fabricación de panela (lavado)? ¿cuánta agua emplea en cada fase del proceso de producción de panela? ¿Cuánto le cuesta en promedio el agua utilizada?

29. ¿a dónde se disponen las aguas residuales del hogar y de los diferentes procesos en la finca?

30. Si tiene algún horno funcional durante el proceso de fabricación de panela, ¿cuántas horas al día y cuántos días a la semana permanece encendido?

31. ¿Qué fuente de energía usa para la fabricación de la panela? ¿qué cantidades emplea?

32. Al momento de cosechar, ¿lo hace con entresaque o hace cosecha completa?

33. La movilización de la caña cortada hacia el trapiche ¿se hace en vehículo motorizado o mula/caballo?, ¿por qué?

34.

	¿Qué insumos requiere?	¿Qué productos se obtienen? Cantidades	¿Qué residuos genera?	¿Contrata operarios? ¿cuántos por hectárea?	¿cuántas horas/hombre se invierten en esta labor?	¿cuánto cuesta la hora/hombre por operarios contratado?
Extracción de jugos						
Limpieza y descachado						
Evaporación, concentración y punteo						

Moldeo						
Empaque y almacenamiento						

35. ¿Cuál es el periodo de funcionamiento de la maquinaria por jornada?

36. ¿Se cuenta con equipo de seguridad? _____

ESLABÓN ECOLÓGICO

37. ¿cuántas y cuáles especies vegetales cultiva en su finca?

38. ¿Qué animales ha podido ver en su finca o alrededores?

39. ¿Qué especies forestales (maderables, ornamentales, arbustos, hierbas, parásitas, etc.) crecen en su finca o en los alrededores?

40. ¿Considerando las diferentes etapas del sistema productivo, en el siguiente cuadro caracterice los residuos que se produzcan?

RESIDUOS APROVECHABLES	RESIDUOS NO APROVECHABLES	RESIDUOS PELIGROSOS

41. De acuerdo con los residuos antes caracterizados, ¿de qué forma dispone cada tipo de residuo?

CONDICIONES SOCIALES

- **Vivienda**

42. Qué tipo de tenencia tiene la familia sobre la vivienda (propia, arrendada, cedida, invadida)

43. ¿La vivienda se ubica dentro del lote de producción de caña panelera? ¿se encuentra algún factor de riesgo asociado al cultivo (olores, toxicidad, vectores)?

44. ¿La vivienda cuenta con acceso a servicios públicos básicos, agua potable, luz, alcantarillado, gas?

45. En la vivienda con estufa de leña. ¿Qué tan frecuente es su uso?

46. ¿Con quién vive y a que se dedican los integrantes?

- **Educación**

47. Nivel de educación de la familia y los trabajadores. Mapea el nivel de educación y formación de todos los miembros de la familia, educación formal y cursos realizados.

48. ¿A usted le interesa participar en por procesos de formación? Si su respuesta es positiva ¿En qué procesos?

49. Saberes propios adquiridos a partir de experiencia en campo realizadas.

- **En relación con el cultivo**

50. Satisfacción del productor con el sistema productivo

51. Se encuentra conforme con las actividades desarrolladas

52. ¿Aproximadamente cuantos empleados ocupa para cada labor? ¿Solo se dedican a esta labor?

53. ¿Siempre ocupa la misma cantidad de personas?

54. ¿Qué valor le da a esta labor y a quienes le colaboran?

Anexo 2. Mapas

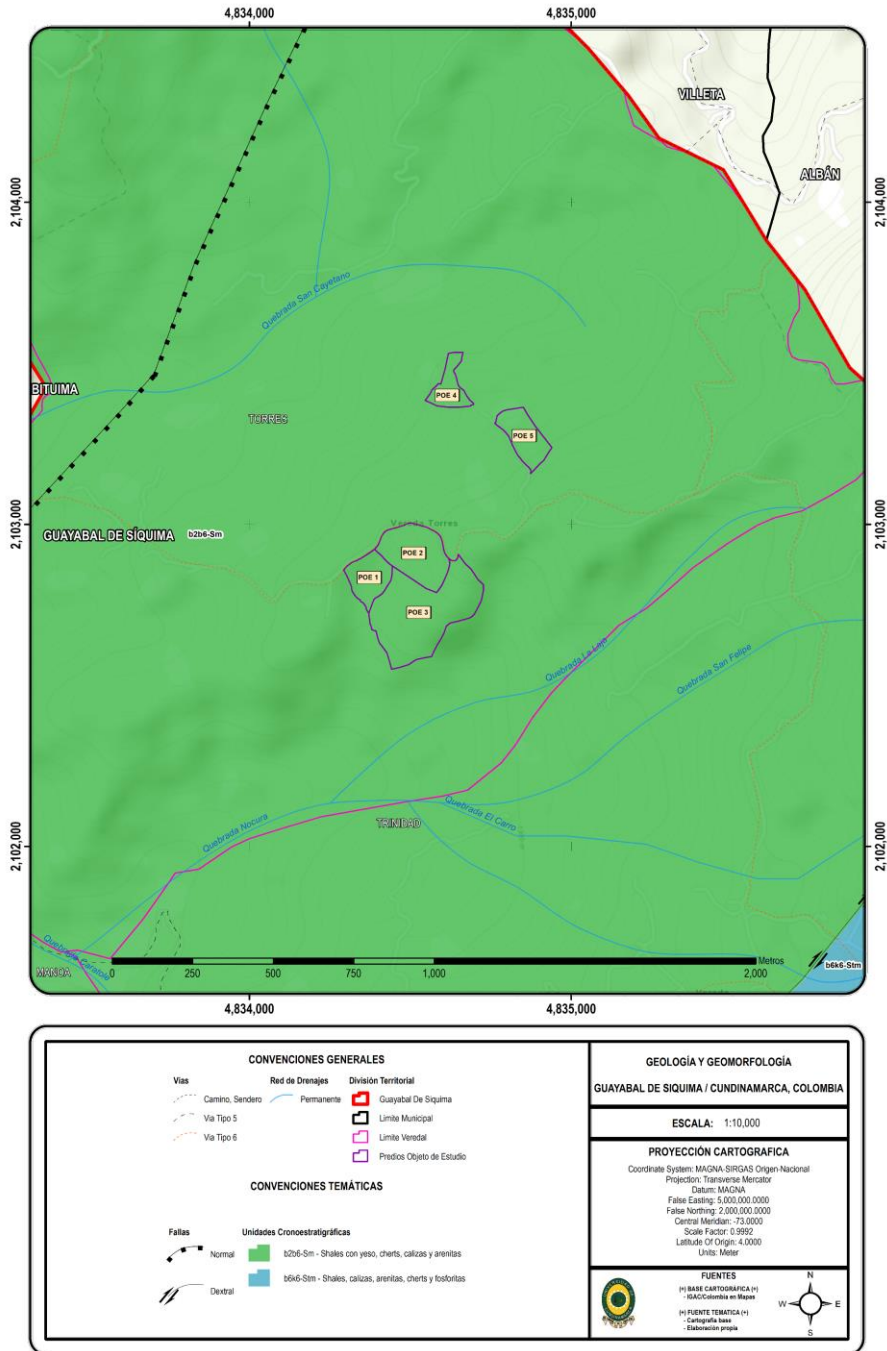


Figura 11-1 Geología y geomorfología del área de estudio

Fuente: IGAC (2022), Elaboración propia.

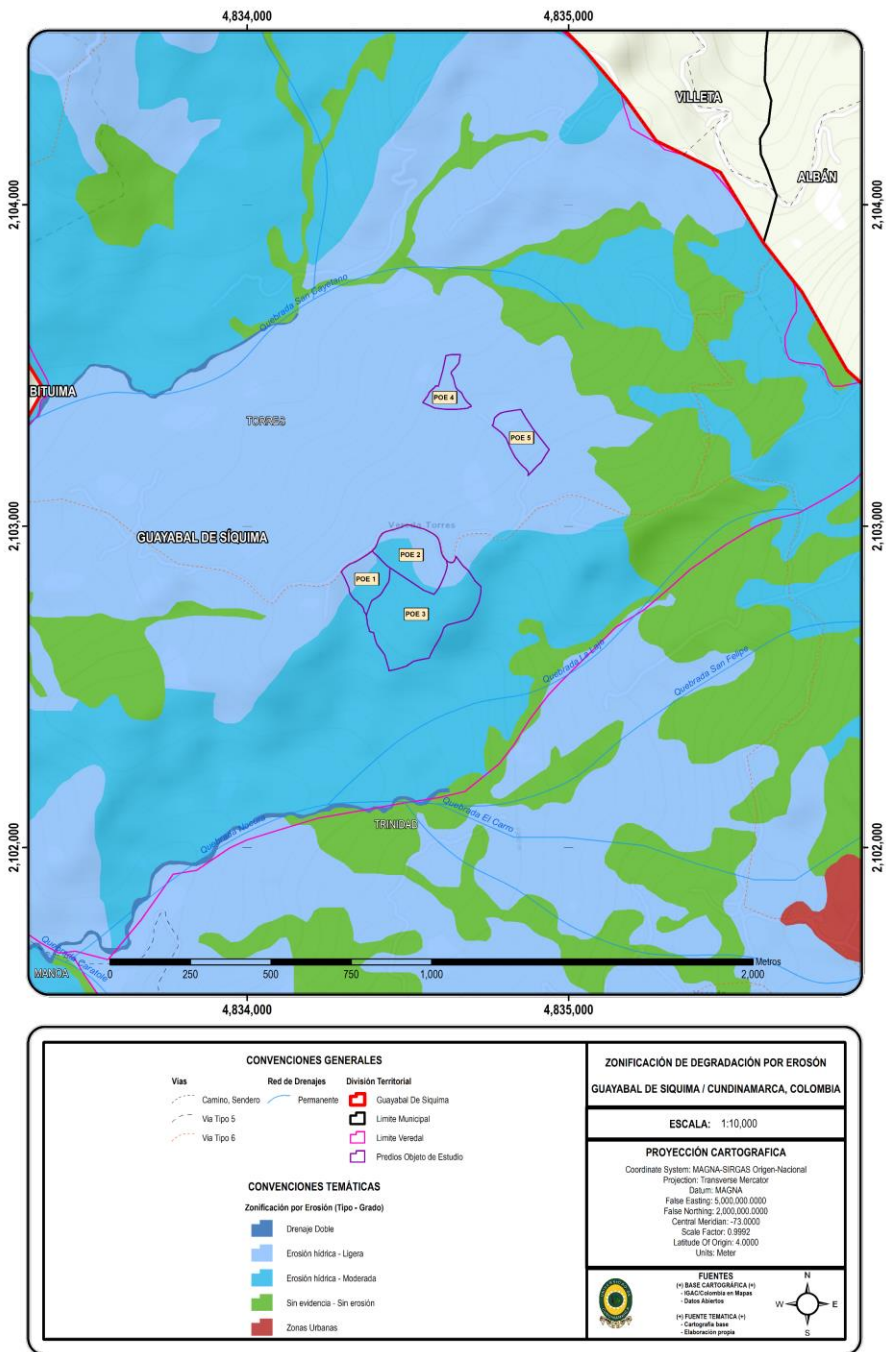


Figura 11-2 Zonificación de degradación por erosión en el área de estudio

Fuente: Datos Abiertos (2024), IGAC (2022), Elaboración propia.

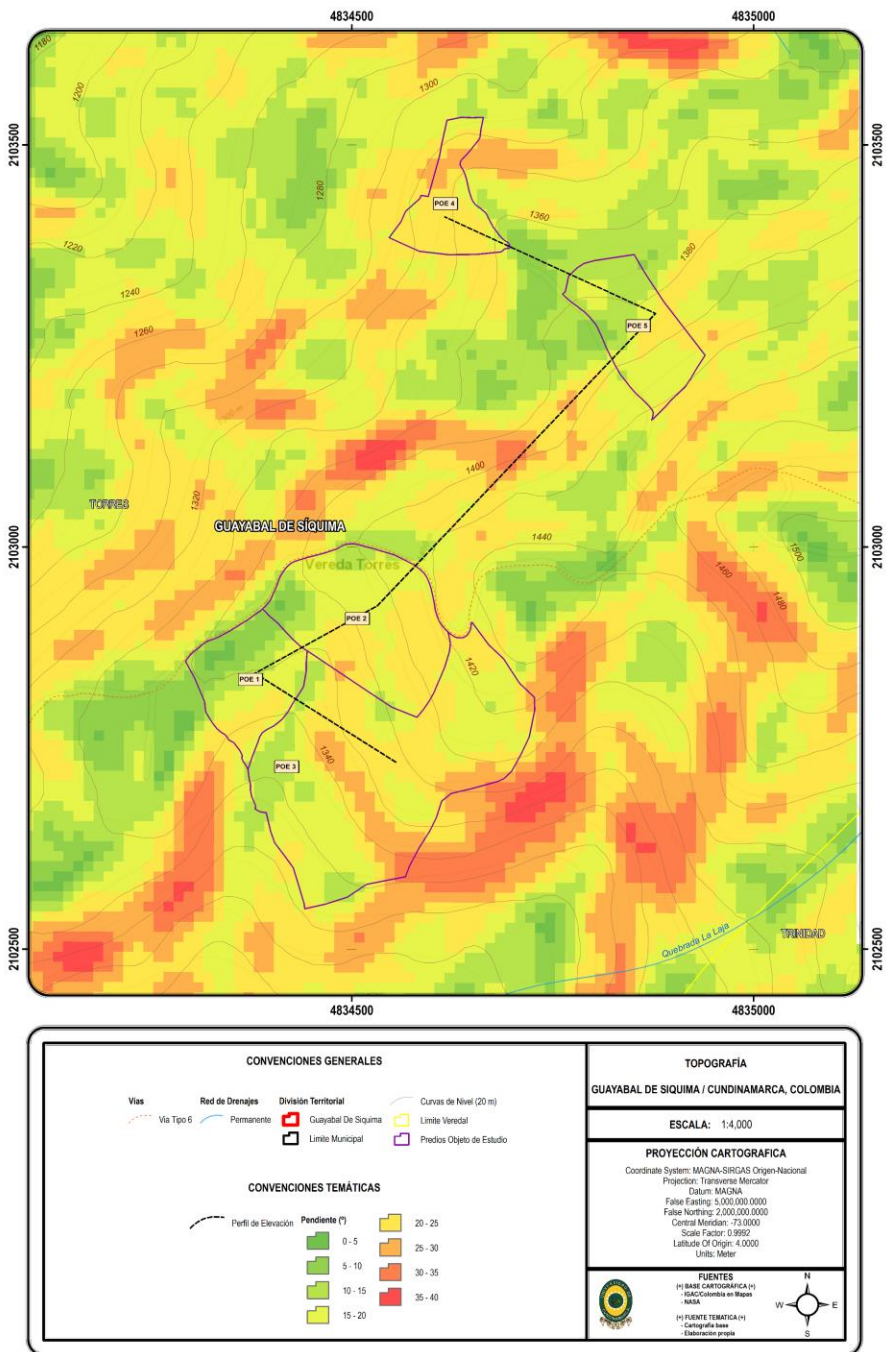


Figura 11-3 Topografía general del área de estudio

Fuente: NASA (2024), IGAC (2022), Elaboración propia.

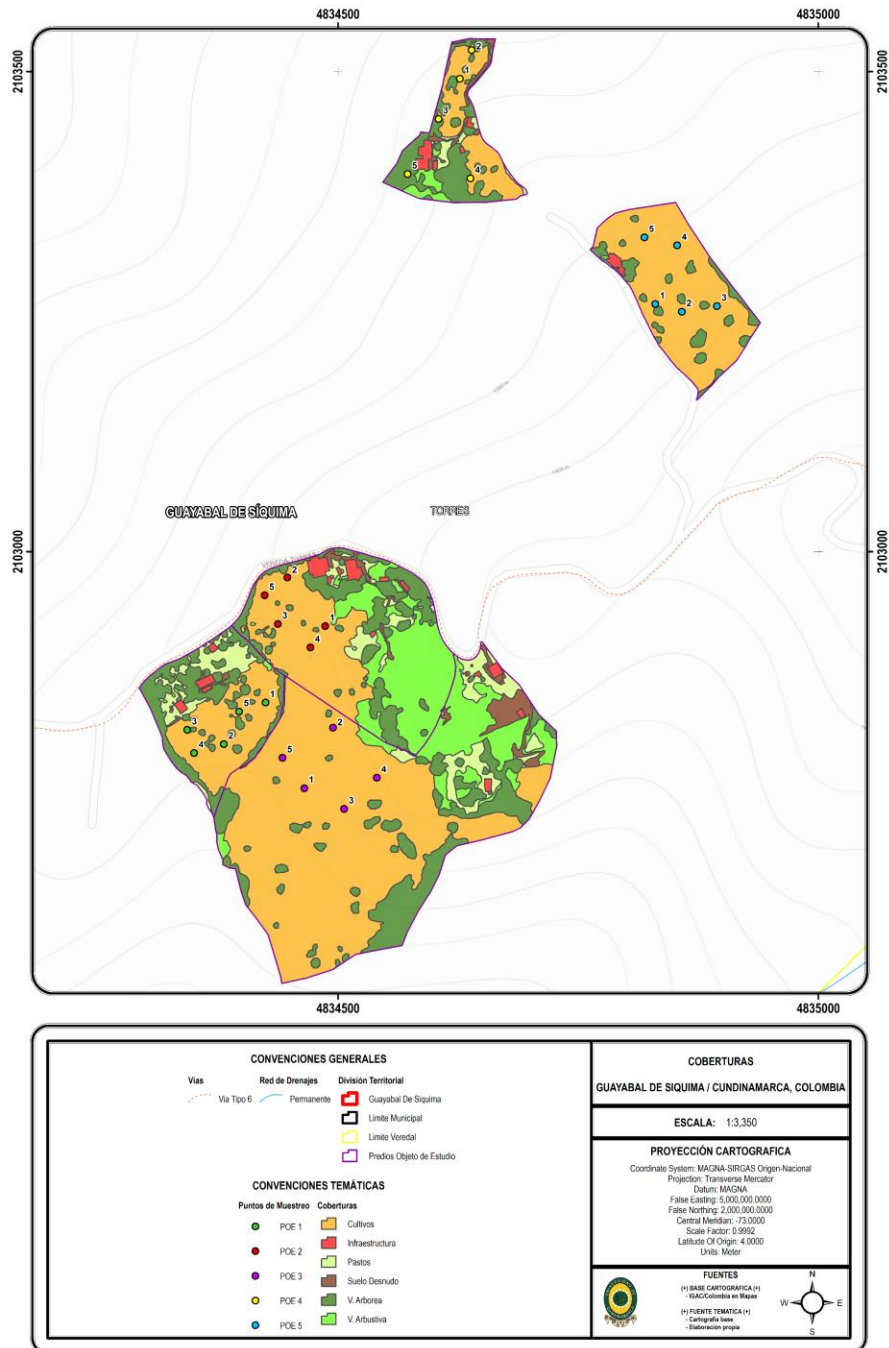


Figura 11-4 Coberturas en el área de estudio

Fuente: IGAC (2018), Elaboración propia.

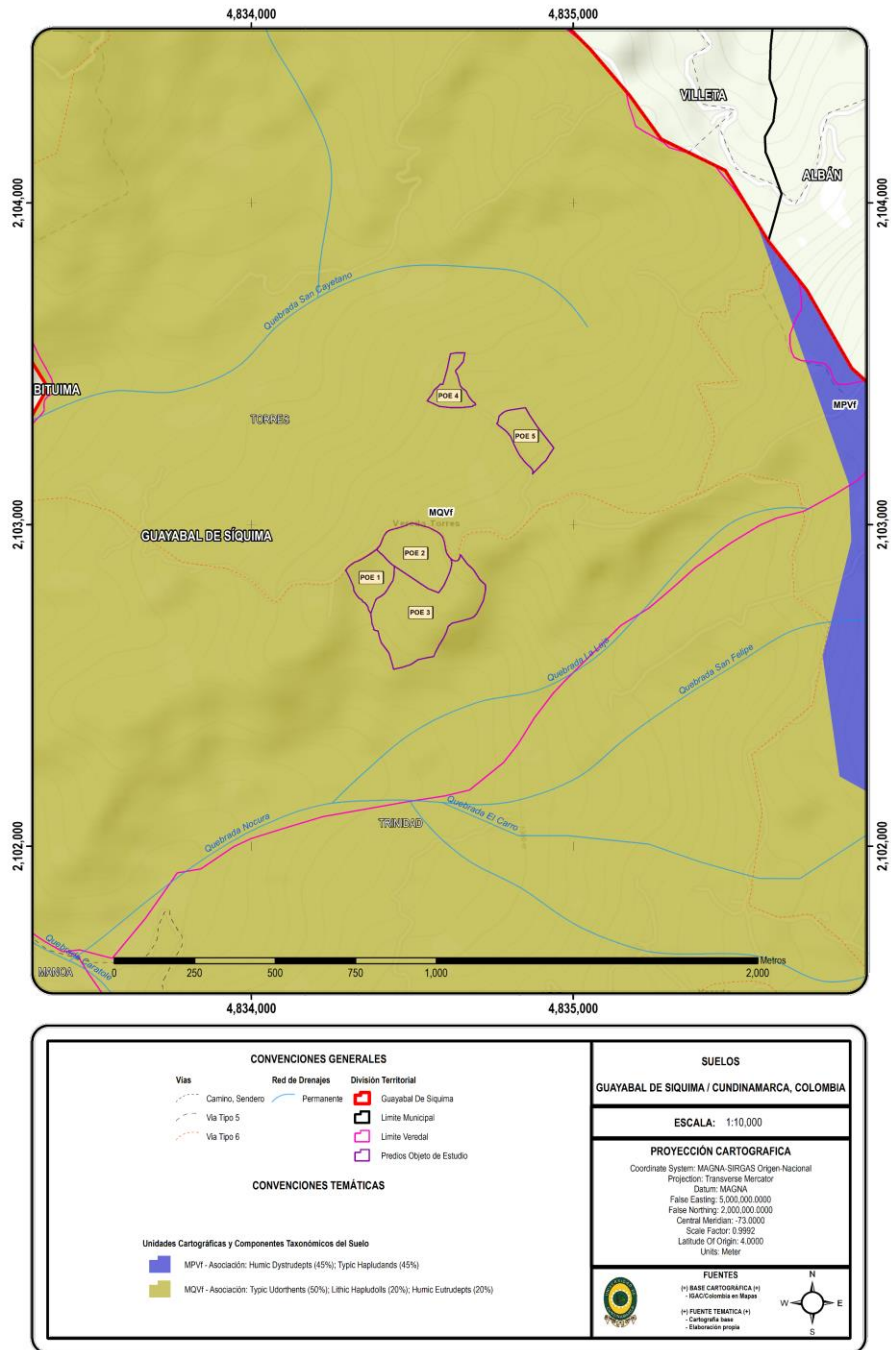


Figura 11-5 Suelos del área de estudio

Fuente: IGAC (2022), IDEAM (2024), Elaboración propia.

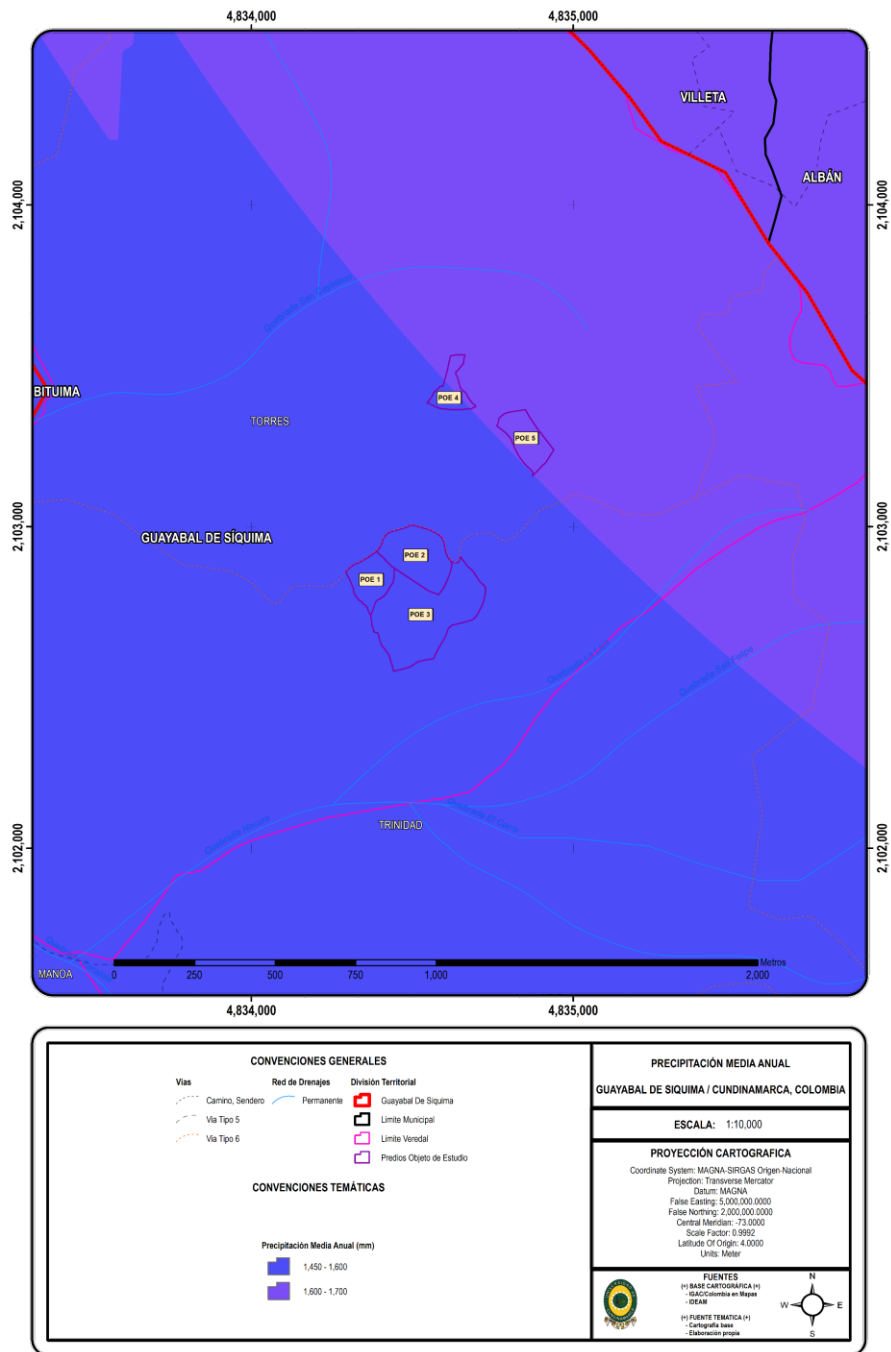


Figura 11-6 Distribución espacial de la precipitación media multianual para el área de estudio

Fuente: IGAC (2022), IDEAM (2024), Elaboración propia.

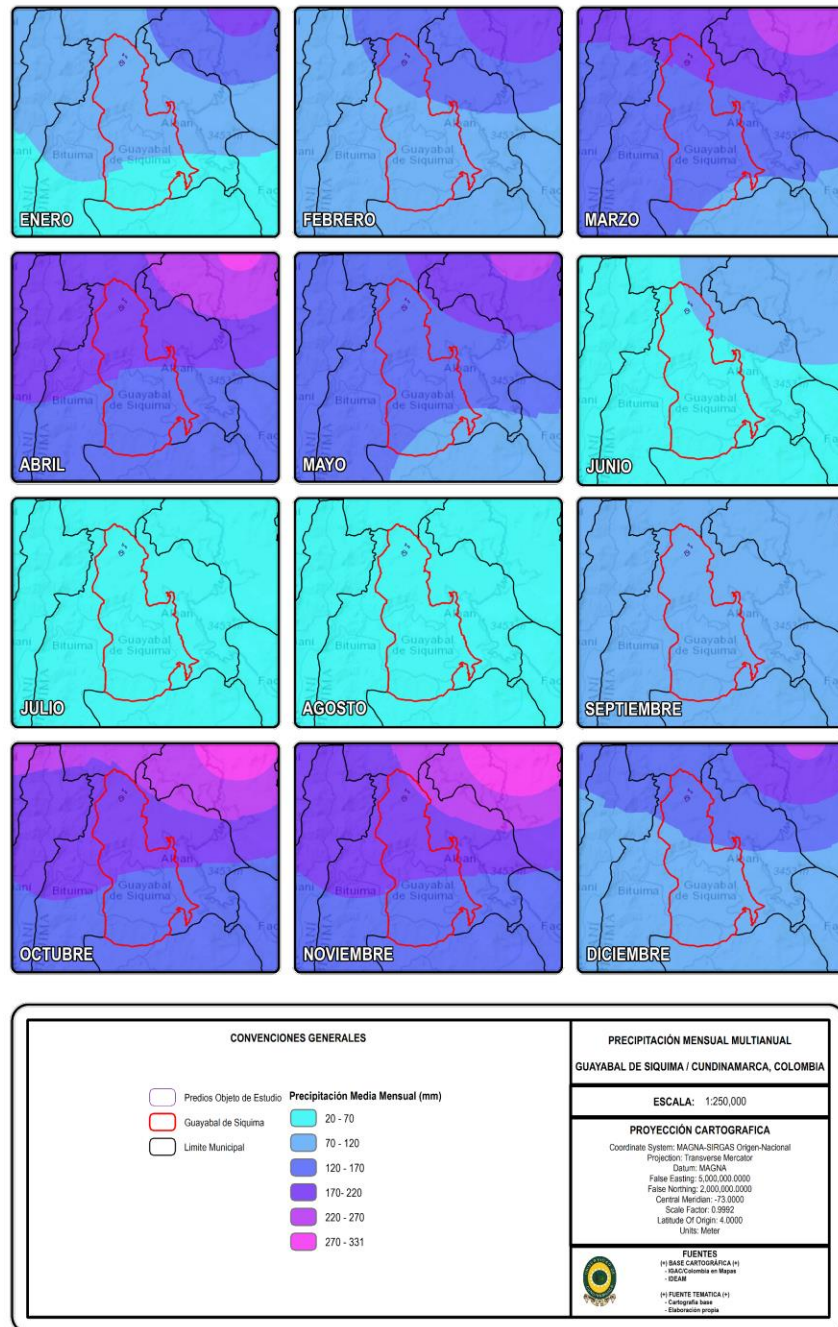


Figura 11-7 Distribución espacial de la precipitación media mensual multianual para el área de estudio

Fuente: IGAC (2022), IDEAM (2024), Elaboración propia.

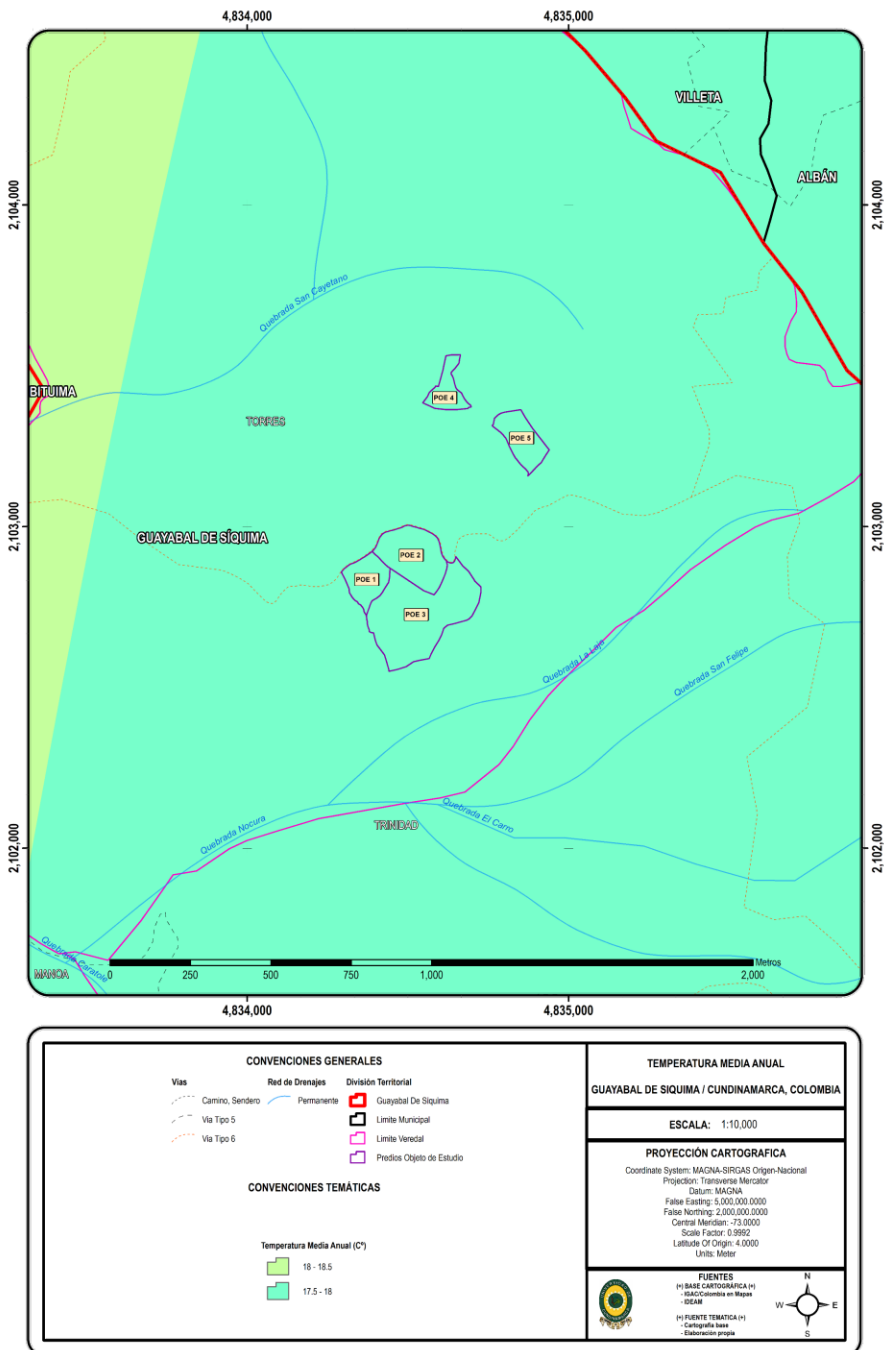


Figura 11-8 Distribución espacial de la temperatura media multianual para el área de estudio

Fuente: IGAC (2022), IDEAM (2024), Elaboración propia.

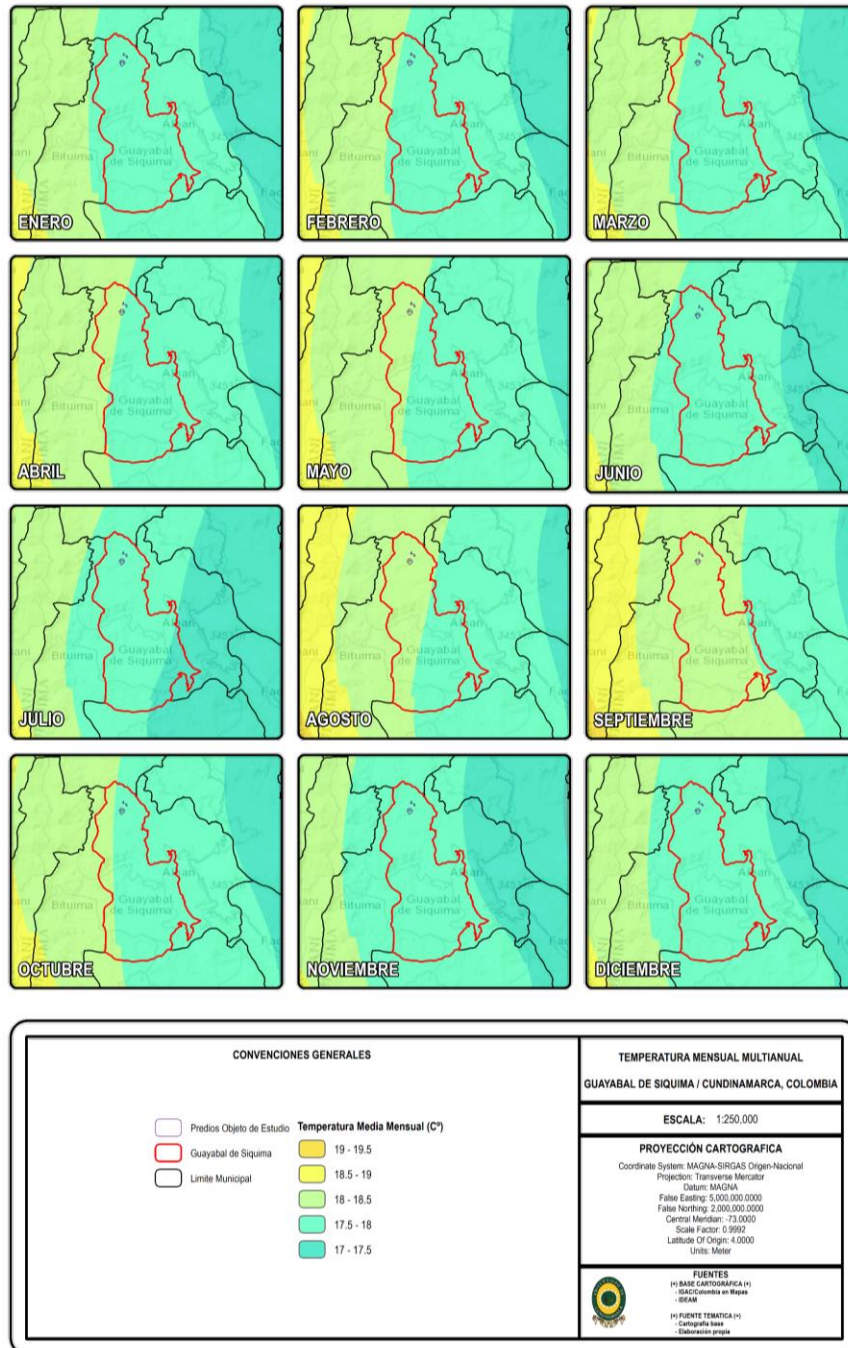


Figura 11-9 Distribución espacial de la temperatura media mensual multianual para el área de estudio

Fuente: IGAC (2022), IDEAM (2024), Elaboración propia.

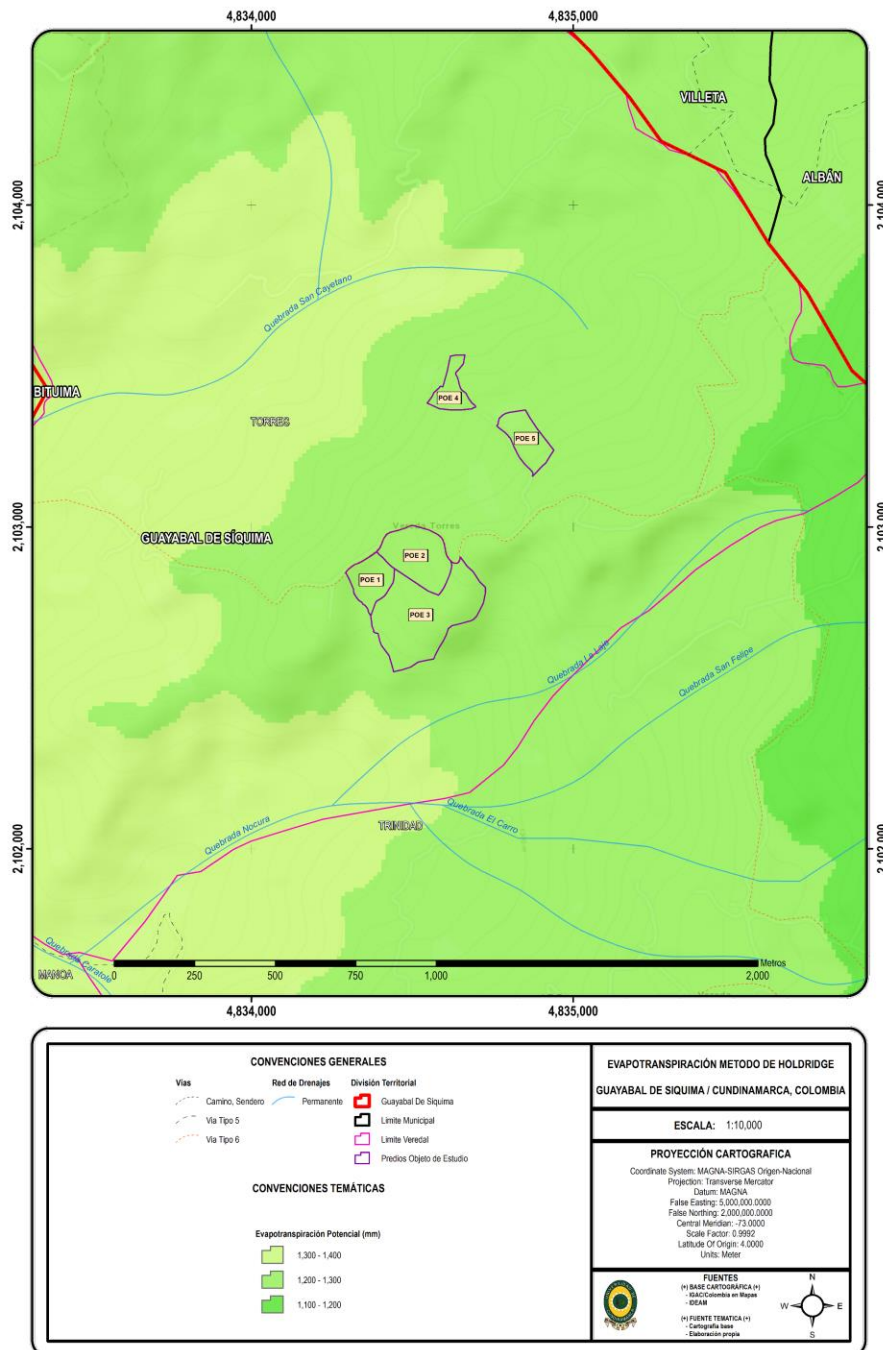


Figura 11-10 Distribución espacial de la evapotranspiración potencial media anual para el área de estudio

Fuente: NASA (2024), IGAC (2022), IDEAM (2024), Elaboración propia.

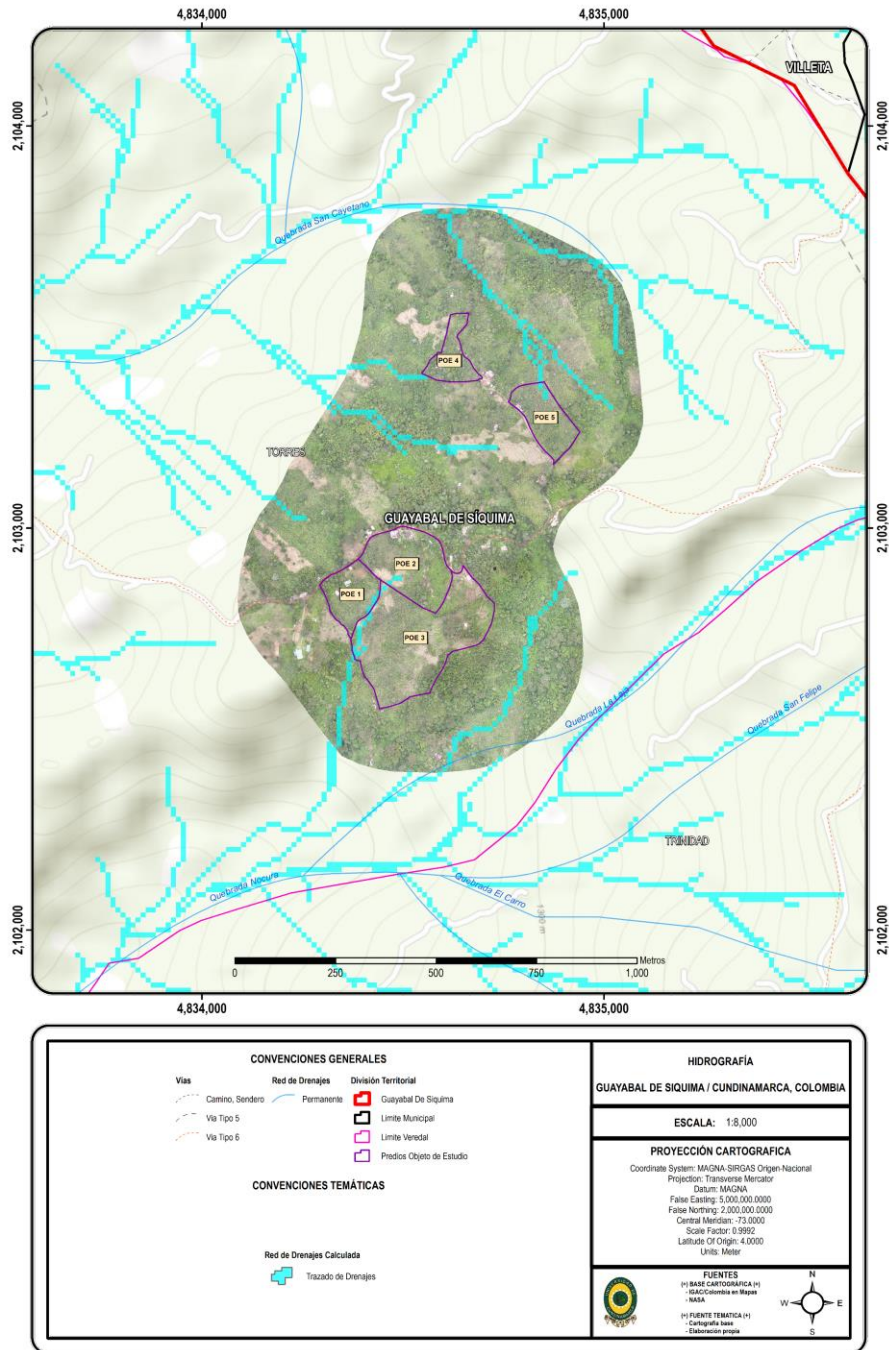


Figura 11-11 Red de drenaje calculada para el área de estudio

Fuente: NASA (2024), IGAC (2022), Elaboración propia.