



Estudio comparativo de las condiciones del suelo afectado y no afectado por el incendio forestal del sector Menzuly, finca Paramita considerando parámetros fisicoquímicos y biológicos.

Proyecto de Investigación

Daniela Elizabeth Barcenás Otero.

CC. 1010159462

Michel Nathalia Mejía Hernández

CC. 1005372001

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Tecnología en Manejo de Recursos Ambientales
Bucaramanga, (15 Agosto, 2024)



Estudio comparativo de las condiciones del suelo afectado y no afectado por el incendio forestal del sector Menzuly, finca Paramita considerando parámetros fisicoquímicos y biológicos.

Proyecto de Investigación

Daniela Elizabeth Barcenás Otero.
CC. 1010159462
Michel Nathalia Mejía Hernández
CC. 1005372001

**Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo en Manejo de Recursos Ambientales**

DIRECTOR
Yamith Bocanegra

Grupo de Investigación en Ecosistemas y Servicios Ambientales – GIECSA

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Tecnología en Manejo de Recursos Ambientales
Ciudad y fecha de presentación: 15 Agosto 2024

Nota de Aceptación

Este informe final de trabajo de grado,
en modalidad de Proyecto de investigación, fue APROBADO
en cumplimiento de uno de los requisitos exigidos
Por las Unidades Tecnológicas de Santander para optar el
Título de Tecnólogo en Manejo de Recursos Ambientales
Según acta No 21 del 28 de agosto de 2024
Del Comité de Trabajo de Grado



EDWIN MAURICIO ACOSTA CARDENAS



YASMITH BOCANEGRA ARAGÓN

DEDICATORIA

A Dios por permitirme dar un paso más en este proceso de mi vida profesional, ser mi guía y compañía en cada momento.

A mi padre, mi inolvidable héroe por todas sus enseñanzas, sus cuidados, amor y ser siempre mi lugar seguro. Te amaré siempre.

A mi hermosa madre por toda su dedicación, amor, ayuda en cada paso, su valor de seguir adelante a pesar de los muchos obstáculos que se le pusieron en el camino con toda la entereza del mundo.

A mis hermanos, por ser mis ejemplos a seguir, por todo su amor y apoyo incondicional, sus consejos en cada paso que los necesité y por ser mi motivación para seguir adelante y esforzarme.

A mis compañeros, especialmente a mi compañera Nathalia por ser mi compañera de trabajo de grado, por su dedicación y compromiso en todo este proceso y a todas las personas que contribuyeron en mi crecimiento personal, llenándome de palabras de aliento y momentos agradables.

Daniela Elizabeth Barcenás Otero

A Dios por su incondicional apoyo y por brindarme la tenacidad para este logro

A mis padres y hermanos por el amor al estar siempre para mí apoyándome, recordando lo fuerte que soy, que con el esfuerzo y perseverancia todo es posible, por estar de manera incondicional y motivarme a mi crecimiento personal, profesional y emocional, es de gran felicidad para mí poder alcanzar esta meta a su lado.

A mi compañera Daniela, quién me ha acompañado en este largo camino, por su invaluable dedicación y colaboración en este proyecto, su entusiasmo, esfuerzo y compromiso han sido fundamentales para mí en este logro.

Michel Nathalia Mejía Hernández

AGRADECIMIENTOS

A las Unidades Tecnológicas de Santander por abrirnos las puertas para la formación del crecimiento profesional y personal, por forjar un liderazgo que enfrente los desafíos de la vida.

A nuestra directora, la ingeniera Yasmith Bocanegra, por todos sus consejos y guía en cada paso, por su dedicación y capacitación en este proceso del proyecto de grado.

A bosque de letras, en especial a Daniel Cifuentes por su acompañamiento.

Al laboratorio clínico BiaLab S.A.S., por brindarnos sus servicios en los análisis microbiológicos.

A todos nuestros profesores, que fueron nuestros guías en cada momento.

A nuestros compañeros por cada jornada compartida ya que son más que solo colegas, sino amigos con lo que hemos enfrentado y superado desafíos durante esta etapa académica, por cada risa que ha dejado una huella imborrable en nuestros corazones. Gracias porque hemos creado recuerdos que quedarán más allá del tiempo.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>16</u>
<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>18</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....</u>	<u>21</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.2. JUSTIFICACIÓN	23
1.3. OBJETIVOS	25
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	25
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
1.4. ESTADO DEL ARTE	25
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	<u>33</u>
2.1. MARCO TEÓRICO.....	33
2.1.1. BOSQUES SECOS TROPICALES	33
2.1.2. CAUSAS Y EFECTOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN EL SUELO.....	33
2.1.3. IMPACTOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES.....	34
2.1.4. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	35
2.1.5. CALIDAD DEL SUELO	38
2.2. MARCO CONCEPTUAL	41
2.2.1. INCENDIOS FORESTALES.....	41
2.2.2. CAMBIO CLIMÁTICO.....	42
2.2.3. EFECTOS AMBIENTALES	42
2.2.4. POLÍTICA PÚBLICA AMBIENTAL	42
2.2.5. CALENTAMIENTO GLOBAL.....	43
2.2.6. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	43
2.2.7. RIESGOS POR INCENDIO FORESTAL.....	43
2.2.8. CONDICIONES CLIMÁTICAS	43
2.2.9. FERTILIDAD DEL SUELO.....	44
2.2.10. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL SUELO	44
2.2.11. PERTURBACIONES NATURALES	44
2.2.12. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL	45
2.2.13. CONDICIONES DE QUEMA	45
2.2.14. PREVENCIÓN Y CONTROL DE LOS INCENDIOS FORESTALES.....	45
2.2.15. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	45

2.2.16.	GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE.....	46
2.3.	MARCO GEOGRÁFICO	46
2.4.	MARCO LEGAL SOBRE LOS INCENDIOS FORESTALES Y LA PROTECCIÓN DEL SUELO	47
2.5.	MARCO AMBIENTAL.....	49
<u>3.</u>	<u>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u>	<u>51</u>
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	51
3.2.	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
3.3.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	52
3.4.	TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN	53
3.4.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	53
3.4.2.	ENTREVISTA CONVERSACIONAL	53
3.4.3.	OBSERVACIÓN DIRECTA	54
3.4.4.	MUESTREO ALEATORIO.....	54
3.4.5.	MÉTODOS ESTANDARIZADOS	54
3.5.	PROCEDIMIENTO	55
<u>4.</u>	<u>DESARROLLO DE TRABAJO DE GRADO</u>	<u>55</u>
4.1.	FASE 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA IDENTIFICAR LOS PARÁMETROS DE INTERÉS DEL SUELO.....	55
4.1.1.	PLAN DE MUESTREO	56
4.2.	FASE 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO	63
4.2.1.	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	63
4.2.2.	ANÁLISIS BIOLÓGICOS.....	64
4.3.	FASE 3: PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y RESTAURACIÓN.....	64
<u>5.</u>	<u>RESULTADOS.....</u>	<u>65</u>
5.1.	FASE 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA IDENTIFICAR LOS PARÁMETROS DE INTERÉS DEL SUELO.....	65
5.2.	FASE 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO	68
5.2.1.	ANÁLISIS FÍSICOS	69
5.2.2.	ANÁLISIS QUÍMICOS	75
5.2.3.	ANÁLISIS BIOLÓGICOS.....	85
5.3.	FASE 3: PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y RESTAURACIÓN.....	89
5.3.1.	CORTO PLAZO (0-6 MESES).....	90
5.3.2.	MEDIANO PLAZO (6 MESES – 2 AÑOS)	90
5.3.3.	LARGO PLAZO (2-5 AÑOS O MÁS)	95

6.	CONCLUSIONES.....	97
7.	RECOMENDACIONES	99
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
9.	APÉNDICES	109
10.	ANEXOS.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio de la zona afectada.	47
Figura 2. Levantamiento topográfico del sitio de muestreo en la zona no afectada.	57
Figura 3. Levantamiento topográfico del sitio de muestreo de la zona afectada. .	58
Figura 4. Ubicación de uno de los sitios para la toma de muestra.	59
Figura 5. Remoción de cobertura vegetal y corte en V.	60
Figura 6. Corte de los bordes con la macheta.	61
Figura 7. Reforestación en el sector Menzuly, finca Paramita	92
Figura 8. Reforestación inicial en el sector Menzuly.	93
Figura 9. Supervisión del sector Menzuly, finca la Paramita.	94
Figura 10. Supervisión del sector Menzuly, finca la Paramita.	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información general del sitio de muestreo de la zona afectada	62
Tabla 2. Información general del sitio de muestreo de la zona no afectada.	63
Tabla 3. Resultados de los análisis físicos de las dos muestras en el suelo afectado y no afectado.	70
Tabla 4. Valores de porosidad total de un suelo y su interpretación.	73
Tabla 5. Clases texturales de suelo.	74
Tabla 6. Indicadores visuales de permeabilidad: textura, comportamiento físico y color del suelo.	75
Tabla 7. Resultados de los análisis químicos de las dos muestras en el suelo afectado y no afectado.	76
Tabla 8. Clasificación del grado de acidez teniendo en cuenta el nivel de pH.	77
Tabla 9. Conductividad eléctrica y clases de salinidad.	79
Tabla 10. Desarrollo del cultivo según la conductividad eléctrica.	79
Tabla 11. Clasificación del fósforo.	80
Tabla 12. Consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelos.	81
Tabla 13. Niveles de Materia Orgánica.	84
Tabla 14. Resultados de los análisis biológicos.	86
Tabla 15. Clasificación de la microbiota presente en el sector Menzuly.	87
Tabla 16. Lista de las especies sembradas.	92

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice A. Certificado de finalización de curso básico de restauración ecológica de ecosistemas afectados por daños ambientales en Santander. 109

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Resultados de los análisis físicos.....	111
Anexo B. Resultados de los análisis químicos.	115
Anexo C. Resultados de los análisis microbiológicos en el suelo afectado.....	127
Anexo D. Resultados de los análisis microbiológicos en el suelo no afectado..	129

GLOSARIO

- AEET:** Asociación Española de Ecología Terrestre.
- ASA:** Programa de Agricultura, Suelo y Agua.
- B:** Símbolo del Boro.
- Bt-S:** Bosques Secos Tropicales.
- C.O:** Carbono orgánico.
- CIC:** Capacidad de Intercambio Catiónico.
- CONPES:** Consejo Nacional de Política Económica y Social.
- FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FEDEMADERAS:** Federación Nacional de Industriales de la Madera.
- IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IGAC:** Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- INIFAP:** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- M.O:** Materia Orgánica.
- MINAMBIENTE:** Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- P:** Símbolo del elemento químico, Fósforo.
- PH:** Potencial de Hidrógeno.
- PNUD:** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- S:** Símbolo del Azufre.
- SNPAD:** Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
- UNA:** Universidad Nacional Agraria.
- UNGRD:** Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.
- USDA:** Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica.

RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio comparativo evaluó las condiciones del suelo afectado y no afectado de un incendio forestal en la Finca Paramita, ubicada en el sector Menzuly, Piedecuesta, Santander. El estudio permitió una caracterización de parámetros del suelo para la recolección de datos cuantitativos y cualitativos basados en análisis fisicoquímicos y microbiológicos, empleando un plan de muestreo, el cual se desarrolló de forma compuesta y sistemática en zigzag para ser más confiable el procedimiento y analizar todas las características del suelo recolectado en ambas zonas (Afectado y no afectado). El enfoque principal de este procedimiento fue determinar su estado nutricional mediante el análisis de sus propiedades, así mismo obtener los resultados para identificar las posibles consecuencias del incendio forestal en la calidad del suelo, así como la fauna y flora presente. Se analizaron las propiedades de las muestras de suelo recolectadas mediante metodologías de determinación como el método gravimétrico, volumétrico y colorimétrico, donde se tuvieron en cuenta los cambios en la estructura, color, materia orgánica, porosidad y composición de nutrientes que alteraron significativamente la calidad del suelo, reduciendo su fertilidad y biodiversidad. En conclusión, estos efectos se relacionaron con la intensidad del fuego, la topografía y condiciones climáticas (Fenómeno del Niño); el incendio afectó negativamente la disponibilidad de nutrientes y la salud biológica del suelo, como resultado, la población microbiológica fue menor en el área afectada en comparación con la no afectada. Para mitigar el daño, se propusieron medidas de restauración como la revegetación con especies nativas y la aplicación de fertilizantes orgánicos que contribuyan a la conservación y/o recuperación de su funcionalidad. El estudio destaca la importancia de la

restauración y prevención de incendios para asegurar la sostenibilidad ambiental del sector.

PALABRAS CLAVE: Parámetros, propiedades, incendio forestal, funcionalidad y restauración.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un componente fundamental en el desarrollo de la estructura de la vida a nivel de cobertura vegetal y animal, el cual, son necesarios para la sostenibilidad ambiental. Tiene diversas funciones el cual lo hace dinámico. En primer lugar, la retención del carbono, la purificación del agua y reducción de contaminantes del suelo, regulación del clima, ciclo de nutrientes, hábitat para organismo, regulación de inundaciones, suministro de alimentos, fibras y combustibles (DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS, EXTENSIÓN Y PUBLICACIONES, 2017). De tal manera que, es importante conocer la composición del suelo mediante las propiedades físicas, químicas y microbiológicas que determinan las condiciones y las diversas funciones de este recurso. Sin embargo, los incendios forestales han causado graves afectaciones en los bosques, producto de los fuegos de origen natural y por acción humana, que han generado el aumento de los incendios, provocando así cambios significativos en la estructura y función del suelo, impidiendo a su vez la capacidad de sustentar la biodiversidad vegetal y animal. Por lo tanto, se debe analizar el estado de vitalidad del suelo luego del post- incendio para entender las condiciones actuales y los cambios drásticos que han ocurrido para dar un manejo de forma preventiva y plantear estrategias que permitan el desarrollo a la restauración del suelo afectado con el fin de mitigar los efectos negativos de estos incendios (MINAMBIENTE, 2024c).

El fuego es la causa principal de las alteraciones en el suelo, éste produce efectos relevantes que se deben investigar con gran detalle. Uno de ellos son el calor y la cantidad de combustible presente, en este contexto, la biomasa (árboles, hojas en descomposición, etc.). La intensidad del fuego está relacionada directamente con la temperatura, la duración del fuego, la flamabilidad del paisaje, la topografía y las condiciones climáticas (Nasi R. et al., 2001).

En Colombia, durante noviembre del 2023 hasta enero del 2024, según la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) se presentaron 237 incendios forestales que afectaron 131 municipios y 3523 hectáreas de vegetación. Esta crisis ha sido consecuencia de las altas temperaturas que ha tenido el país en su historia. (IDEAM). De acuerdo con los registros, el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, destacó un incremento de 44% de registros de puntos de calor en el país evidenciando más de 6.000 eventos, la mayor parte de estos desastres ha sido en la región de Orinoquia con un 60% (MINAMBIENTE, 2024a)

Los incendios forestales que se han presentado durante este periodo del año en Colombia han sido también consecuencia de las condiciones climáticas actuales, El fenómeno del niño se ha caracterizado por ser cooperante de estos eventos forestales, debido a las temporadas de intensas sequías y pocas lluvias en los primeros trimestres del año. Asociando el contexto de los incendios forestales, se evidencia un riesgo alto de provocación de fuego influenciado por el fenómeno del niño y las altas temperaturas climáticas que gravemente afectan directamente a los ecosistemas naturales, la vida silvestre e indirectamente a la salud pública.

El objetivo del estudio entre el suelo afectado y no afectado por los incendios forestales es comparar las condiciones del suelo mediante los diferentes parámetros como la textura, el contenido de nutrientes, la materia orgánica, la presencia o ausencia de actores microbiológicos, que permitan identificar los cambios que ocurren en el suelo luego del post incendio y con esto plantear una estrategia basada en la restauración de las áreas afectadas por los incendios forestales desarrollando prácticas preventivas en función de estabilizar del suelo y mitigar los efectos negativos en los posibles eventos de incendios forestales.

El tratamiento y mejoramiento del suelo post-incendios son un papel fundamental para comprender la importancia del impacto medio ambiental y la biodiversidad del suelo. Los cambios y la degradación del suelo significativamente dependerán del historial del fuego. Los incendios forestales aceleran los procesos erosivos, causando la pérdida de las funciones ecológicas en los bosques como la protección y conservación del suelo, el mejoramiento en la calidad del agua y el embellecimiento del paisaje. Por lo tanto, es importante desarrollar los procesos de restauración para lograr una rápida cubierta vegetal que permita controlar los procesos de degradación (Zuluaga R. Manuela, 2020).

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los incendios forestales son una problemática ambiental que tienen un impacto significativo, generando efectos negativos en el ecosistema, y en mayor proporción a la composición del suelo, alterando directamente sus condiciones físicas y químicas. Cabe señalar que, la zona de estudio (Menzuly) ha sido afectada por estos incendios desde años atrás dejando graves afectaciones en el entorno.

Sus principales causas están directamente relacionadas a actividades antrópicas y por diferentes condiciones ambientales, según un informe de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD & MINAMBIENTE, 2023) el 95% se generan por consecuencia de las actividades humanas, así como las alteraciones en las condiciones climáticas que suelen desarrollarse por los cambios de altas temperaturas, la falta de lluvia (fenómeno del niño) y los vientos. Otros factores que influyen en los incendios incluyen la biomasa, la disponibilidad de agua, el viento y la topografía es determinante para su propagación, por lo que son factores que deben tenerse en cuenta a la hora de gestionar y controlar adecuadamente los incendios forestales (Pausas Juli G., 2012)

Los efectos generados van desde la degradación del suelo, impidiendo su vitalidad y funcionamiento, así como repercusiones en el agua, biológicas y perturbaciones en el ecosistema (Rosero Cuesta J., 2013). El suelo posterior a un incendio forestal cambia en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, así como la pérdida de nutrientes y fertilidad, variación de materia orgánica, alteración en la vegetación, incremento de su pH gracias a las cenizas resultantes, además de vulnerabilidad a una erosión y reducción en la capacidad de absorción de agua. Estos efectos

desarrollan consecuencias que dependen de la intensidad del calentamiento y duración del incendio (MINAMBIENTE, 2024a).

¿Cómo afectan los incendios forestales en la calidad del suelo en el sector de Menzuly y qué estrategias se pueden implementar para la prevención de los mismos?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El suelo es la base de la estructura de la vida en todos los niveles, su cubierta y formación de plantas y animales necesarios para la sostenibilidad ambiental de un ecosistema. Por este motivo, es importante conocer los efectos que conllevan los incendios para así encontrar soluciones a esta problemática y minimizar sus efectos negativos.

La zona de Menzuly abarca una magnitud amplia de vegetación, se caracteriza por sus diferentes especies de fauna y flora silvestre que posee, sin embargo, los incendios forestales han perjudicado gravemente produciendo pérdidas al ecosistema, tales como, la pérdida de biodiversidad, paisaje y cobertura vegetal.

La caracterización y evaluación del suelo es primordial ya que nos permitirá conocer la situación actual de la zona de estudio, así como identificar el grado de afectación del recurso por el incendio forestal. Es importante destacar que los efectos de estos incendios dependen de su intensidad y tiempo de duración ya que son los que determinarán consecuencias negativas al suelo. El fuego generado de un incendio afecta directamente las propiedades físicas del suelo minimizando la capacidad de infiltración, su forma estructural y la permeabilidad contribuyendo al desarrollo de procesos erosivos. Las propiedades químicas del suelo también se ven alteradas por los cambios de acidez, materia orgánica y la fertilidad. Un nivel alto de acidez perjudica la disponibilidad de nutrientes en el suelo. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007).

Según Gonzalo Almendros, investigador del MNCN, menciona que las áreas que no se han afectado por los incendios retienen la mayor cantidad de carbono orgánico, a diferencia de los suelos quemados gran parte de la lignina queda destruida. A partir de los suelos quemados se generan nuevos compuestos aromáticos que

retrasan la actividad microbiológica para el desarrollo de restauración del suelo (Jiménez-Morillo et al., 2020)

Las posibles soluciones para evitar los incendios forestales son principalmente la concientización de la comunidad y prevención, implementando la quema controlada y sistemas de monitoreo para la detección de los mismos; y en caso de que el incendio ya haya ocasionado daños, realizar una restauración adecuada de las áreas afectadas.

Teniendo en cuenta la información recopilada en este análisis comparativo de la caracterización del recurso afectado y no afectado, éste nos permitirá conocer y comprender la importancia del recurso suelo al aportar nutrientes además de mantener el equilibrio en los ecosistemas y que al ser afectado produce un impacto significativo en el medio natural, la economía y sociedad en general. Y que mediante métodos de análisis de su composición fisicoquímica y microbiológica se puedan diseñar estrategias de prevención y control de los incendios forestales. Y que del mismo modo funcione como base científica para el desarrollo de futuros proyectos en las Unidades Tecnológicas de Santander que estén relacionados a esta temática.

En conclusión, este proyecto de investigación fue decisivo para estudiar y comprender esta problemática, las causas y los efectos que modificaron las propiedades del suelo en el cual se tomaron medidas de restauración implementando estrategias viables y efectivas para la recuperación del suelo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer un análisis comparativo del suelo afectado por el incendio forestal del sector Menzuly, finca la Paramita que permita identificar la composición del suelo y las posibles soluciones que contribuyan a la restauración del suelo mediante una investigación descriptiva.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.2.1. Identificar los parámetros del suelo de interés en condiciones de incendios forestales, centrándonos específicamente en sus efectos sobre las propiedades del suelo en el sector de Menzuly, finca la Paramita mediante una revisión bibliográfica.

1.3.2.2. Caracterizar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en áreas afectadas y no afectadas por incendios forestales en el sector Menzuly, finca la Paramita teniendo en cuenta los hallazgos iniciales mediante métodos estandarizados.

1.3.2.3. Proponer medidas de mitigación y restauración del suelo que contribuyan a la conservación y recuperación de su funcionalidad teniendo en cuenta la prevención de incendios forestales y la sostenibilidad ambiental del sector Menzuly, finca la Paramita.

1.4. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se encuentran estudios realizados en el contexto internacional, nacional y regional relacionados con el análisis de la calidad del suelo afectado por incendios forestales.

A nivel internacional, El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el año 2021 realizó una investigación sobre los Antecedentes y perspectivas de los incendios forestales enfocada al manejo del fuego recopilando información sobre el comportamiento del fuego, evaluación de materiales combustibles, su comportamiento, etc., con el fin de analizar los efectos de los incendios forestales en México, para generar estrategias y preparar investigadores en temáticas de estudio no especializadas y así mismo reforzar tecnología de ciencias básicas y aplicadas (Garnica F. José Germán, 2021) Esta investigación nos aporta nuevos conocimientos sobre todo lo relacionado a los incendios forestales y así generar estrategias para su prevención y detección (Pereira Moreira M. & García Castro W., 2024)

En Argentina, un estudio sobre la recurrencia y riesgo de incendios forestales en diferentes áreas y épocas del país, temporadas de primavera y temporadas heladas. En Enero del 2022, las condiciones meteorológicas cambiaron presentando altas temperaturas y bajos niveles de humedad relativa, incrementando el riesgo de incendios, afectando el ecosistema por pérdida de biodiversidad y áreas protegidas, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la nación colocaron a disposición un equipo de trabajo para realizar un diagnóstico y un plan de recuperación de las áreas afectadas con el fin de investigar y dar resultados para estudios académicos relacionados a los impactos de incendios forestales (Luna et al., 2022). Este artículo investigativo aporta información

relevante sobre los impactos de los incendios, así mismo menciona los efectos y consecuencias que genera en la diversidad biológica especialmente en el suelo.

Un estudio realizado en México en 2021 investigó el análisis comparativo del índice de vegetación y las transformaciones de Tasseled en zonas afectadas por incendios forestales entre 2021 y 2023. El objetivo principal era desarrollar una metodología para recuperar los bosques en la Sierra Madre Occidental de México, utilizando Google Earth Engine y datos de Sentinel-2 y MODIS. Los resultados mostraron una disminución en la cobertura vegetal y cambios en las propiedades del suelo, destacando la efectividad de estos métodos para estrategias de restauración y conservación forestal. Este enfoque proporciona una base metodológica en GEE para mejorar la gestión y conservación de bosques templados después de incendios forestales (Mendoza C. Uriel & López C. Alejandra, 2023).

Un estudio de la Universidad Politécnica Salesiana, en Quito, investigaron sobre la comparación de la repelencia al agua del suelo de zonas afectadas por incendios forestales mediante análisis in situ y de laboratorio. El estudio se realizó durante 3 meses con la recolección de 12 muestras, con el objetivo de analizar las muestras de suelo para determinar los cambios en las propiedades del suelo por el incendio forestal. Para la determinación de la repelencia del agua se realizó de forma in situ y mediante el análisis WDTP, en el cual se concluye que tanto el suelo no afectado y afectado son suelos que no tienen repelencia de agua (SANGUCHO KARINA & VALLEJO NATHALY, 2020).

En 2020 se realizó una investigación sobre el impacto en la vegetación, la ecología y la dinámica del paisaje sobre los incendios forestales en ecosistemas del norte de Suramérica, especialmente en Colombia, Ecuador y Perú, donde se recopiló una serie de estudios sobre su incidencia, la calidad del aire, patrones de ocurrencia y metodologías para su monitoreo y gestión. En donde se clasificó cada ecosistema

para saber si son sensibles al fuego, dependientes del fuego e independientes del fuego y si esto contrajo beneficios o por el contrario afectaciones. (Armenteras et al., 2020)

En 2023, se llevó a cabo una investigación para evaluar el impacto de los incendios forestales en los suelos de la Chiquitanía, al sur de Bolivia, proponiendo índices de evaluación específicos. Este país, afectado por una alta incidencia de incendios forestales, fue el foco del estudio. Se recolectaron 7 muestras en distintas áreas para formar una muestra compuesta, analizando tanto aspectos físicos como químicos. Con base en los resultados de zonas afectadas y no afectadas, se diseñó un índice de evaluación con indicadores que van de 1 a 6, reflejando cambios significativos en la estructura y funcionalidad del suelo tras un incendio. Los suelos, a menudo expuestos a incendios por actividades ganaderas y la quema de pastizales, mostraron alteraciones en propiedades clave, como el contenido de potasio y la velocidad de infiltración. El índice reveló una relación directa entre la cercanía al estado natural del suelo y el tiempo transcurrido desde los incendios. (Justiniano & Navarro Sánchez, 2023)

A nivel nacional, en el 2024 Colombia ha presentado incrementos en incendios forestales estos últimos años a razón del fenómeno del niño. Según el IDEAM, los departamentos ubicados en la región Andina y Orinoquia son de mayor provocación de incendios en el territorio colombiano por las diferentes prácticas no controladas como la quema para pastoreo, alterando el entorno y amenazando la pérdida de biodiversidad. La deforestación también es un factor causado por los incendios. Un reporte de años atrás de la dirección de bosques del Ministerio de Ambiente y Desarrollo concluyó que un bosque puede tardar en recuperarse entre 25 a 30 años según el manejo de restauración (Colombia: al menos 437 incendios diarios se presentaron en los bosques durante enero – Federación Nacional de Industriales de la

Madera, s/f). Este artículo menciona detalladamente la causas naturales y antrópicas por las que desarrollan consecuencias a la biodiversidad, Colombia es un país megadiverso, es por ello, que estos datos de estudios realizados del país son importantes para determinar un plan de estrategias que se puedan implementar impactando positivamente a los ecosistemas.

En la reserva Bijibana del Atlántico se estudió la riqueza, diversidad, biomasa y la respuesta de los escarabajos coprógrafos antes y después a la modificación de su hábitat por el incendio forestal ocurrido, donde se llegó a la conclusión que el incendio tuvo efectos negativos en esta especie, pero otras especies se beneficiaron y aumentaron su número (Rangel A. Jorge L. et al., 2020).

En Bogotá, se desarrolló un estudio de la caracterización de las propiedades físicas y químicas de suelos afectados por incendios forestales en los cerros orientales, en el cual se realizó un muestreo de varios tipos de cobertura vegetal y en diferentes zonas del jardín botánico de Bogotá con el fin plantear estrategias de restauración para los suelos. Para determinar el estado del suelo se emplearon metodologías en el laboratorio para tener resultados de análisis que permitieran comparar el suelo afectado y no afectado, en conclusión, el estudio determinó cambios drásticos en las propiedades químicas y físicas del suelo como pH, pérdida del Nitrógeno y textura gruesa y cambio de color del suelo (Rueda Enciso L. J., 2019).

En 2021, se realizó un estudio basado en análisis cronológico y de riesgo de incendios en páramos y bosques desde los años 70, el objetivo del estudio fue evaluar el riesgo de incendios en la zona andina por medio de las condiciones climáticas y geográficas. En los análisis se investigaron factores climáticos y geográficos que tienen incidencia en los incendios forestales, para ello se utilizaron mapas y datos espacio temporales para la identificación de los patrones mencionados. También se evaluó la susceptibilidad de la vegetación frente a los

incendios dominados por el fenómeno del niño. Según los resultados, se concluye que estos incendios en la región andina son influenciados por los factores climáticos como las altas temperaturas y la ausencia de precipitaciones que ocurren durante las épocas secas. Es necesario implementar estrategias de prevención y conservación de estos ecosistemas para la proyección de climas futuros (Universidad de los Andes, 2021)

En 2018 se realizó una modelación dinámica de incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá, donde tuvieron en cuenta el número de incendios en una zona, la variabilidad climática y factores como el balance hídrico, la cobertura del suelo, los bienes y servicios ecosistémicos, las materias primas causantes del incendio, y se explica la tasa de ocurrencia de cada incendio en la zona. El modelado se basó en la correlación de variables y la derivada de la fórmula del modelo mediante regresión lineal. El comportamiento del ciclo hidrológico tuvo en cuenta los dos años de menor y mayor precipitación, respectivamente, siendo claro el papel de la infiltración en la aparición de incendios forestales y en la cobertura del suelo, se demostró que el impacto del cambio de uso de la tierra es una de las causas de la pérdida de bienes y servicios ecosistémicos proporcionados por los bosques, así como la rápida propagación de especies espinosas invasoras. Se determinó que el número final de incendios forestales determinados fue de seis y estuvo acompañado de altas temperaturas, escasas precipitaciones y combustibles sólidos (Ocampo Z. Korina & Beltrán V. Julio, 2018)

En 2019, la Universidad de Antioquía publicó un artículo donde enfatizó la preocupación de la salud pública consecuencia de los efectos de los incendios forestales, especialmente el cambio climático. Según los datos epidemiológicos la exposición al humo de incendios forestales, la mortalidad y enfermedades cardiovasculares son inconclusas, lo que conlleva a una campaña en la necesidad

de emitir más investigaciones sobre estos temas. Es por eso, que son importantes las políticas sobre la contaminación del aire e implementar medidas de mitigación contra los incendios forestales y sus efectos. El artículo concluye que es necesario un llamado a la investigación adicional para aclarar la relación entre la exposición de los incendios y las problemáticas de salud (Barría P. & Barría P., 2019)

A nivel regional, en 2023, Loren Salazar realizó una propuesta de educación ambiental para la prevención de incendios forestales en el departamento de Córdoba, donde 14 municipios de este departamento son los de mayor afectación por la pérdida de biodiversidad, vida humana y contaminación en la calidad del aire. Las causas principales según los datos registrados en el estudio fueron naturales y antropogénicas. En conclusión, se realizó una ruta de trabajo de capacitación y prevención a la comunidad para evitar realizar acciones que perjudiquen los entornos naturales. (PEREZ, 2023). Esta propuesta nos recalca la importancia de la Educación Ambiental para conocer la problemática existente sobre los incendios forestales, así como sus efectos y consecuencias en el ambiente y la sociedad para generar estrategias de prevención y manejo.

En el 2019, se desarrolló un proyecto sobre la elaboración de un sistema de drones para un sistema de monitoreo y detección de incendios forestales en áreas protegidas en el departamento de Santander, en , con el objetivo de implementar este sistema para captar en tiempo real cualquier anomalía de incendios. con la ayuda de tecnologías, software y técnicas de de Deep Learning. Como resultados se creó el prototipo el cual destacó la eficiencia y la cantidad de alertas en tiempo real, como conclusión el proyecto demuestra que el uso de drones puede mejorar la detección temprana de un incendio (OLARTE C. KEVIN & CHACÓN C. LUISA, 2019)

En 2021, se realizó una investigación sobre el ámbito de la prevención y mitigación de los incendios forestales, para esto el estudio se enfocó en metodologías de

recopilación de datos y análisis de información de las entidades territoriales, fuentes de información confiables y del ministerio del ambiente y desarrollo sostenible. Posteriormente se implementó la tecnología establecida por la UNGRD, para la formulación de planes municipales de gestión de riesgos y desastres. Según los resultados, en la caracterización de escenario de riesgo por incendios de cobertura vegetal, se identificaron factores influyentes, causas relevantes y consecuencia a niveles internacional, nacimiento, local. Por ello se desarrollaron mapas de susceptibilidad y se promovieron estrategias de respuesta inmediata a los incendios colocando en práctica, ejercicios de simulación y entrenamiento (García Rivera H. et al., 2021).

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. BOSQUES SECOS TROPICALES

Los Bt-S (Bosques secos tropicales) se caracterizan por la formación vegetal boscosa continua y que presentan temperaturas mayores de 24°C. Estos bosques representan una gama de servicios ambientales tales como aprovisionamiento como frutos, aportan diferentes compuestos químicos. Algunas de las propiedades principales que aportan estos bosques son la captura y almacenamiento de dióxido de carbono, para amortiguar los diferentes cambios climáticos que se enfrentan actualmente como las islas de calor y temporadas de sequía (MINAMBIENTE, 2024b).

Teniendo en cuenta las diferentes características de los bosques el Plan de Acción Nacional de lucha contra la desertificación y sequía plantea una variedad de estrategias para la preservación y protección de este tipo de ecosistemas que son especiales por su diversidad ecológica poco valorada con el fin de conocer y sus potenciales, limitantes y sus funciones ecosistémicas, empleando programas de protección, conservación, recuperación y manejo sostenible de las zonas secas, así mismo priorizando la fauna y flora que se denominan en vía de extinción (MINAMBIENTE, 2024b).

2.1.2. CAUSAS Y EFECTOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN EL SUELO

Los incendios forestales han dejado huella en los ecosistemas boscosos debido a las alteraciones naturales que han presentado en los parámetros físicos y químicos de los bosques. Estos sucesos ocurren cada año con mayor frecuencia e intensidad

perjudicando así estas zonas boscosas, el sistema social y cultural. La presencia de los incendios forestales se debe principalmente por acciones antrópicas como las quemadas agrícolas sin control que consumen coberturas en gran cantidad afectando bosques nativos y plantados. Por otro lado, también son generadas naturalmente por el incremento de temperaturas que inciden en la propagación activa de los incendios. (OSPINA CÉSPEDES L.C., 2017)

Los efectos de los incendios forestales están relacionados con la intensidad, frecuencia y duración de propagación. Se ha identificado que los efectos pueden ser de manera directa como la pérdida de vegetación, animales y la degradación irreparable del suelo, o en otro caso de manera indirecta como la contaminación de agua, posibles procesos erosivos, y en consecuencia los deslizamientos de tierra.

Los incendios forestales producen que se reduzcan las poblaciones de animales como aves, mamíferos pequeños y animales reptiles ya que suelen evitar las zonas quemadas, impactando negativamente el equilibrio ecosistémico. Por otro lado, la pérdida de árboles frutales también reduce la presencia de aves y otros animales que se alimentan de sus frutos.

2.1.3. IMPACTOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES

El impacto mayor de los incendios forestales es la destrucción de largas extensiones de vegetación causando así otras alteraciones físicas, químicas y biológicas en los procesos naturales de los ecosistemas. Esto conlleva al favorecimiento de la deforestación, erosión y la desertificación. Por otro lado, es evidente que la quema forestal provoca contaminación en el aire siendo la fuente de las alteraciones climáticas y del aire a nivel regional y nacional. El cambio climático es el factor más preocupante junto con las emisiones de contaminantes atmosféricos han avanzado

con los años ubicándose como un riesgo por los efectos que pueden provocar en la salud humana. La temperatura y el desnivel del balance hídrico en regiones cálidas y secas han desencadenado la variación de temporadas de incendios careciendo de humedad aquellas especies inflamables que incrementan la duración y tiempo de incendios, que en consecuencia se generan efectos graves en el suelo, biodiversidad, agua, etc. (Gil Mora Juan, 2020)

2.1.4. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

En Colombia, la intervención y desarrollo de los procesos de restauración han tomado relevancia por movimiento sociales y culturales desde los años 90s, estos procesos metodológicos son el producto de los cambios drásticos que se viven actualmente en los ecosistemas. Como tal la restauración ecológica es importante ya que promueve programas estratégicos de restauración y conservación de los bosques o todo sistema natural que han sido afectados o degradados principalmente por actividades antrópicas, sin embargo, también los eventos naturales. Para poner en marcha el proceso de restauración es importante reconocer la zona afectada, el estado actual, los antecedentes históricos del ecosistema, el nivel de afectación, y las condiciones ambientales in situ (Zuluaga R. Manuela, 2020).

2.1.4.1 TIPOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Existen dos tipos de restauración ecológica:

2.1.4.1.1 RESTAURACIÓN ACTIVA

La restauración activa es el proceso de preservar las funciones de los ecosistemas naturales mediante la intervención humana y promover la recuperación en áreas que han perdido los mecanismos naturales de recuperación debido a su alteración o destrucción. De esta forma, podrán superar las barreras que dificultan el proceso de recuperación natural. La

restauración activa mejora y acelera el proceso de recuperación natural de zonas degradadas. Cuando los ecosistemas están gravemente degradados o destruidos, han perdido sus mecanismos regenerativos y, por lo tanto, necesitan asistencia y apoyo para su recuperación, se dice que requieren actividades de restauración activa o apoyo. Esto significa que se necesita asistencia humana para garantizar que se desarrolle la recuperación de los ecosistemas y para superar situaciones que obstaculizan la regeneración (MINAMBIENTE, 2024c).

2.1.4.1.2 RESTAURACIÓN PASIVA

La recuperación pasiva es el proceso mediante el cual los ecosistemas se regeneran cuando los factores estresantes están ausentes o se eliminan las barreras para su recuperación; este proceso se denomina recuperación pasiva o sucesión natural. Por tanto, una de las primeras acciones para restaurar un ecosistema es eliminar los factores que dificultan o interrumpen su regeneración natural. Esta sustitución o recuperación natural del ecosistema puede producirse en ausencia de otras circunstancias como incendios, erosión, incendios forestales, ganadería extensiva, introducción de animales y plantas exóticas, uso ilegal de plantas, etc. puede impedir su regeneración.

La herramienta de gestión paisajística utilizada en este caso es el aislamiento o vallado, que consiste en cubrir parte o la totalidad de un objeto cuyo proceso de recuperación se produce de forma natural y sin intervención del público (MINAMBIENTE, 2024c).

2.1.4.2 PASOS DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

- a. Identificar el ecosistema o comunidad de referencia.
- b. Evaluar el estado actual del ecosistema o comunidad.
- c. Determinar el alcance y nivel de organización.
- d. Determinar el alcance y nivel de la infracción.
- e. Lograr la participación de la comunidad.

- f. Evaluar el potencial de regeneración del ecosistema.
- g. Establecer barreras a la recuperación en diferentes niveles.
- h. Seleccione el tipo apropiado para restaurar.
- i. Propagación y gestión de especies.
- j. Seleccionar el sitio.
- k. Desarrollar estrategias para superar los obstáculos a la recuperación.
- l. Monitorear el proceso de recuperación.
- m. Fortalecer el proceso de recuperación. (Universidad Nacional de Colombia, 2007).

2.1.4.3 CASOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN SUELOS AFECTADOS POR INCENDIOS

La importancia de generar modelos de restauración en ecosistemas afectados por incendios forestales y especies invasoras permite generar procesos de prevención, control y mitigación mediante el uso de herramientas que contribuyan con la protección y conservación del ecosistema restableciendo sus funciones.

Existen diversos tipos de restauración el cual se describirán posteriormente.

2.1.4.3.1 MODELO DE IMPLEMENTACIÓN DE RESTUARACIÓN ECOLÓGICA EN ESCENARIOS DE INCENDIOS FORESTALESY ESPECIES INVASORAS

Un modelo de restauración ecológica adecuada para este tipo de eventos inicia con un estudio previo a la situación del sistema degradado para definir un plan de restauración que se pueda llevar a cabo teniendo en cuenta las características como fuego y la invasión de especies. La implementación es estas estrategias a través de la introducción de especies nativas permitirá un desarrollo y adaptación conecte la estructura del suelo y sus coberturas vegetales. La dispersión de especies a través de la evaluación de los bancos de semillas permitirá la regeneración secundaria de

los bosques, y el manejo adecuado de la fauna ayudará a continuar con las tareas de propagación de semillas (Ocampo-Zuleta, 2019).

2.1.4.3.2 MODELO DE IMPLEMENTACIÓN DE RESTUARACIÓN ECOLÓGICA EN BOSQUES

Este modelo presenta un escenario óptimo para la restauración ecológica en los Bosques. Enfatizando su objetivo en la recuperación de las características originales de la cobertura vegetal en términos de estructura y composición. Tras aplicar técnicas para recuperar el suelo y reintroducir vegetación nativa, el cual permite asegurar que los nutrientes en el suelo estén disponibles en las proporciones necesarias para los diferentes procesos de sucesión ecológica, otro factor importante que desarrolla estas actividades de restauración son el fortalecimiento de las relaciones entre las instituciones y la comunidad al comenzar procesos de reconocimiento de la flora y fauna nativa encaminados a procesos de apropiación de estos entornos.

2.1.5. CALIDAD DEL SUELO

La calidad del suelo se define como una medida de la capacidad del suelo que refleja en el funcionamiento general del ecosistema, teniendo en cuenta un uso particular. La calidad del suelo es un instrumento esencial porque comprende la utilidad y salud del recurso edáfico. El estudio del suelo es muy importante, sin embargo, la ciencia no ha avanzado en investigaciones que definan el concepto de la calidad del suelo es por ello que, la manera más efectiva para lograr determinar la calidad en los suelos depende directamente de los indicadores de calidad del suelo, el cual son los más utilizados por sus métodos de aplicación y a su vez se comprueban cambios que permiten evaluar la calidad del suelo y posteriormente puede reflejar la salud del suelo o diagnosticar problemas para así tomar decisiones

sobre las mejoras o realizar métodos de restauración para estabilizar el recurso (Cruz et al., 2004).

Incluye los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y las interacciones entre ellos. Por lo tanto, para evaluar la naturaleza general de la calidad o condición del suelo, se deben medir todos los parámetros. Sin embargo, no todos los parámetros tienen el mismo significado para todos los tipos de suelo y todas las situaciones. Un conjunto mínimo de propiedades o índices del suelo para cada componente del suelo seleccionado en función de su idoneidad para indicar la capacidad del suelo para comportarse en condiciones de uso y climáticas determinadas (USDA, 1999).

2.1.5.1 INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO

Los indicadores son una herramienta muy útil debido a que facilitan el análisis de estos fenómenos naturales al ofrecer información simplificada, cuantificable para evaluar y comparar los distintos aspectos del suelo de forma clara de las variables que definen cambios o tendencia en las condiciones del suelo.

Según Hünne Meyer et al, 1997., explica que los indicadores deberían emplear los siguientes pasos:

- 1) Analizar y caracterizar la situación actual identificando los puntos críticos respecto al desarrollo del recurso.
- 2) Analizar los posibles impactos frente a una intervención.
- 3) Monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas.

A continuación, se hace una descripción de los indicadores de la calidad del suelo que son las propiedades físicas, químicas y biológicas o procesos que ocurren en el suelo.

2.1.5.1.1 INDICADORES FÍSICOS

Debidamente las características físicas del suelo son difíciles de modificar, sin embargo, son importantes para evaluar su calidad. Las propiedades físicas del suelo sirven como indicadores que incluyen aspectos que afectan la capacidad del suelo para absorber, retener y transferir agua a las plantas. Además, este indicador refleja las limitaciones en el crecimiento de las raíces, la germinación de las plantas, la infiltración de agua y su movimiento dentro del perfil del suelo. Estas propiedades definen la estructura del suelo, la disposición de sus poros y partículas. En esta categoría los factores principales a considerar son la estructura, la densidad, la estabilidad de los agregados, la capacidad de infiltración, la profundidad del suelo, la capacidad de almacenamiento de agua y la conductividad hidráulica, entre otras (Cruz et al., 2004).

2.1.5.1.2 INDICADORES QUÍMICOS

Los indicadores químicos propuestos abarcan diversos factores que afectan la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo, y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, así como la interacción entre el suelo y las plantas. Entre estos indicadores, el carbono orgánico total y el nitrógeno reflejan el contenido de materia orgánica, lo que proporciona información sobre la fertilidad del suelo, la erosión y la estabilidad. Además, el pH y la conductividad eléctrica son esenciales para evaluar la salud del suelo y las interacciones en los procesos naturales del suelo. La capacidad de adsorción de fosfatos, la capacidad de intercambio de cationes y la disponibilidad de nutrientes también son indicadores cruciales. Estos factores ofrecen información valiosa para evaluar y gestionar la fertilidad y la salud del suelo de manera efectiva (Cruz et al., 2004).

2.1.5.1.3 INDICADORES BIOLÓGICOS

Las bacterias, los hongos, los nemátodos, las lombrices, los anélidos y los artrópodos son solo algunos de los micro y macroorganismos identificados como indicadores biológicos que afectan la calidad del suelo. Entre las funciones que se evalúan se identifica la respiración del suelo, el contenido de ergosterol y otros organismos fúngicos, así como las tasas de descomposición de los residuos vegetales y las tasas de nitrógeno y carbono en la biomasa, la relación entre el carbono microbiano y el carbono orgánico del suelo es que han detectado los cambios prematuros en la dinamicidad de la materia orgánicas debido a que la biomasa microbiana es bastante sensible al cambio respecto al carbono total (Cruz et al., 2004).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. INCENDIOS FORESTALES

Los incendios forestales se pueden definir como un incendio en una zona boscosa. El cual es provocado por una fuente de ignición no intencionada, como rayos, volcanes o actividad humana, que arde en zonas conocidas como bosques, muchas veces zonas no urbanizadas y no habitadas. Las áreas boscosas pueden incluir bosques, pastizales, arbustos y otros ecosistemas, incluso tierras de cultivo. Los incendios forestales pueden ser pequeños o grandes, en donde su crecimiento y comportamiento del fuego dependen de muchos factores, cómo el viento, la temperatura, la humedad, la disponibilidad de combustible y el terreno: los incendios suelen arder más rápido cuesta arriba que cuesta abajo. Los incendios forestales ocurren en todo el mundo, en todas las épocas del año. (Fitzgerald M., 2024).

2.2.2. CAMBIO CLIMÁTICO

Se refiere a cambios a largo plazo en la temperatura y las condiciones climáticas. Estos cambios pueden ser naturales debido a cambios en la actividad solar o grandes erupciones volcánicas. Sin embargo, desde el siglo XIX, la actividad humana se ha convertido en la principal causa del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas. La quema de combustibles fósiles libera gases de efecto invernadero, que actúan como una manta alrededor de la Tierra, atrapando el calor del sol y aumentando las temperaturas. Los principales gases de efecto invernadero que causan el cambio climático son el dióxido de carbono y el metano. (ONU, 2024).

2.2.3. EFECTOS AMBIENTALES

Es un cambio ambiental causado directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área específica. En pocas palabras, el impacto ambiental es el cambio en el medio ambiente causado por actividades humanas o factores naturales. (Gestión de Recursos Naturales, 2024)

2.2.4. POLÍTICA PÚBLICA AMBIENTAL

Es la dirección o lineamiento que se toma en materia de planificación, conservación, prevención y control de los recursos naturales como resultado de intereses, decisiones, acciones, acuerdos e instrumentos políticos, económicos y sociales del Consejo lanzados por el gobierno nacional con el objetivo de prevenir o resolver las necesidades y problemas ambientales del país, deben implementarse a nivel nacional, regional y sectorial, promoviendo la sostenibilidad ambiental. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024)

2.2.5. CALENTAMIENTO GLOBAL

El calentamiento global es causado por la absorción de energía solar por parte de la Tierra. A medida que la Tierra se calienta, libera calor a la atmósfera en forma de rayos infrarrojos. Sin embargo, parte de este calor regresa a la superficie de la Tierra, provocando un sobrecalentamiento. (ONG Manos Unidas, 2024)

2.2.6. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Es una plataforma para recopilar, gestionar y analizar datos. Los SIG, basados en la ciencia de la geografía, integran muchos tipos diferentes de datos. Analice la ubicación espacial y la información de capas para visualizar con mapas y escenas 3D. Con esta capacidad única, GIS descubre información más profunda oculta en los datos, como patrones, relaciones y situaciones, lo que nos ayuda a tomar decisiones más inteligentes (Aeroterra, 2024).

2.2.7. RIESGOS POR INCENDIO FORESTAL

Se puede definir como un incendio que se propaga incontrolablemente en un sistema forestal, cuya quema no estaba prevista (Creando Conciencia ONG, 2024).

2.2.8. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Dado que el clima generalmente se refiere a las condiciones de la atmósfera, se describe en términos de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, llamadas factores climáticos; Sin embargo, también puede estar determinado por variaciones en otros elementos del sistema climático (IDEAM, 2024).

2.2.9. FERTILIDAD DEL SUELO

Es la capacidad del suelo para sustentar el crecimiento de las plantas y optimizar los rendimientos. Esto se puede lograr mediante el uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos para nutrir el suelo. Las técnicas nucleares proporcionan datos útiles para ayudar a mejorar la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos, minimizando al mismo tiempo el impacto ambiental (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2024).

2.2.10. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL SUELO

Son una poderosa herramienta que nos permite conocer el estado nutricional del suelo (características fisicoquímicas) y su salud, es decir, si el suelo está habitado para asegurar su capacidad de carga y determinar sustancias bioquímicas o no, las funciones y características fisiológicas requeridas para que las plantas utilicen estos componentes (características microbianas). En particular, el análisis fisicoquímico y microbiológico del suelo permite a los productores agrícolas predecir los rendimientos, superar problemas que pueden limitar y obstaculizar los rendimientos y mejorar la eficacia de las estrategias de producción, como el uso de fertilizantes, enmiendas orgánicas, mejora del suelo y utilizar productos biológicos (INIFAP, 2023).

2.2.11. PERTURBACIONES NATURALES

Son eventos que ocurren de manera relativamente esporádica en el tiempo y cambian el estado, ambiente físico o estructura de un ecosistema, comunidad o población, renovando procesos de regeneración y sucesión (Manson, 2009).

2.2.12. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

Es la responsabilidad de conservar los recursos naturales y proteger los ecosistemas del planeta para promover la salud y el bienestar ahora y en el futuro. Debido a que muchas decisiones que impactan el medio ambiente no son visibles de inmediato, un elemento clave de la sostenibilidad ambiental es su naturaleza prospectiva. De hecho, la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos lo define como “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos, 2024).

2.2.13. CONDICIONES DE QUEMA

Se refieren a un conjunto de factores ambientales y meteorológicos que influyen en la capacidad de realizar una combustión controlada o afectan al riesgo de incendio (Riesgo por Incendio Forestal - IDIGER, 2024).

2.2.14. PREVENCIÓN Y CONTROL DE LOS INCENDIOS FORESTALES

Es un conjunto de actividades de prevención y control adoptadas y mantenidas, las cuales incluyen todas las tareas y políticas encaminadas a reducir su ocurrencia, es decir, encaminadas a reducir el número de incendios en una zona o país específico (UNGRD, 2015).

2.2.15. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Estos objetivos, también conocidos como objetivos globales, fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamado global para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todos vivan en paz y prosperidad para 2030. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible están integrados y reconocen que las acciones en un área impactarán los resultados en otras áreas y que el desarrollo

debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y el medio ambiente. Los países se han comprometido a dar prioridad al progreso de aquellos que se quedan más atrás. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible pretenden poner fin a la pobreza, el SIDA y la discriminación contra las mujeres y las niñas (PNUD, 2024)

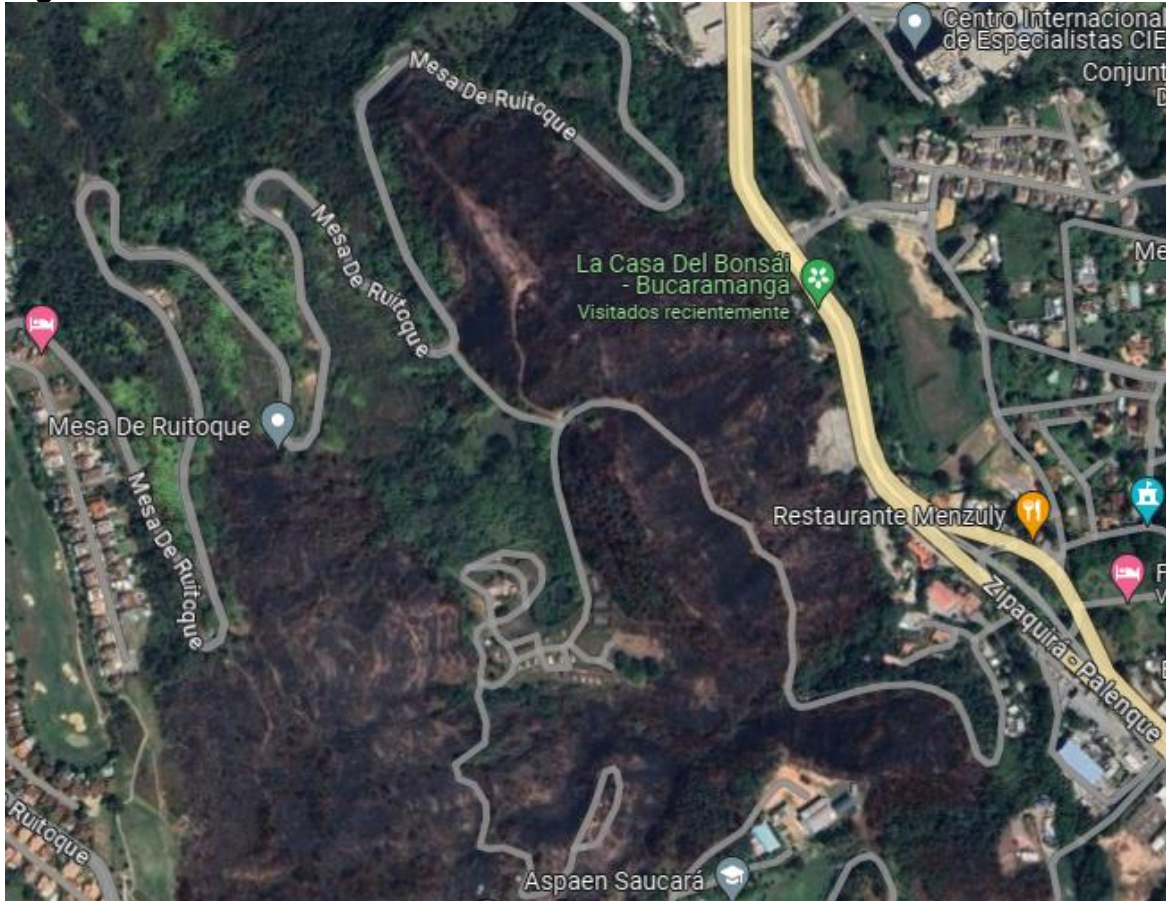
2.2.16. GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE

Su propósito es garantizar que los bosques proporcionen bienes y servicios que satisfagan las necesidades actuales y futuras, al tiempo que contribuyen al desarrollo sostenible de las comunidades. La Asamblea General de las Naciones Unidas reconoce que la gestión forestal sostenible es un concepto dinámico y en evolución que tiene como objetivo mantener y mejorar el valor económico, social y ambiental de todos los tipos de bosques en beneficio de las generaciones actuales y futuras, incluidos los siete temas siguientes: factores como sistema de referencia: 1) reservas de recursos forestales; 2) biodiversidad forestal; 3) la vitalidad y vitalidad del bosque; 4) función de producción de recursos forestales; 5) función de protección de los recursos forestales; 6) funciones socioeconómicas de los bosques y 7) marco legal, regulatorio e institucional (FAO, 2024a).

2.3. MARCO GEOGRÁFICO

El área de estudio comprende el sector de Menzuly, finca La Paramita en el municipio de Piedecuesta, específicamente en las coordenadas 7°02'00" Norte y 73°04'16" Oeste, por la autopista principal sentido Floridablanca - Piedecuesta. El estudio se realiza hacia la parte superior de la finca, la cual presenta pendientes bastante pronunciadas.

Figura 1. Área de estudio de la zona afectada.



Fuente: Google Maps, 2024.

2.4. MARCO LEGAL SOBRE LOS INCENDIOS FORESTALES Y LA PROTECCIÓN DEL SUELO

En Colombia, es fundamental comprender el marco legal para la gestión y el manejo preventivo de los incendios forestales y la protección y restauración de los suelos, teniendo en cuenta que los recursos naturales de los ecosistemas son el pilar de sostenibilidad ambiental a nivel política, económico y social.

La gestión y organización de las actividades enfocadas a la prevención y control de los Incendios Forestales está fundamentada en la Constitución Política de Colombia de 1991, la cual establece el deber de emplear acciones que logren el desarrollo sostenible de la sociedad, satisfaciendo las necesidades de las generaciones presentes, de tal manera que no comprometan el bienestar de las generaciones futuras.

De acuerdo con la **Ley 46 de 1988**, creado por el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), Junto al Decreto 919 de 1989 consideran que los planes de desarrollo de todas las entidades gubernamentales deben incluir los componentes de Prevención de los desastres dentro los comités para la prevención y atención de desastres, tanto a nivel nacional, regional y local. De igual manera, es importante crear planes de contingencia en caso de una emergencia, para brindar atención adecuada y exacta.

La **Ley 99 de 1993** del Sistema Nacional Ambiental, designó funciones distintas caracterizando la importancia de las autoridades ambientales frente a la atención y prevención de los desastres teniendo como objetivo la conservación y protección del medio ambiente. También se estipuló el **Decreto 2340 de 1977** que consiste en la creación de organizaciones asesoras para la prevención y mitigación de los incendios forestales a nivel nacional, regional y local.

El CONPES 2834 DE 1996 estableció “La política de los bosques”, necesariamente para la formulación y ejecución de plan que tiene como fin la reducción de los impactos de incendios forestales. El Minambiente, IDEAM, en coordinación con la Dirección Nacional para la Prevención y atención de desastres diseñaron y colocaron en marcha el “Programa Nacional para la Prevención, Control y Mitigación de los incendios Forestales y la Restauración de las áreas afectadas”. Este proyecto

radica en informar y educar a la sociedad sobre la prevención, riesgos posibles dentro de los ecosistemas que son afectados por los incendios forestales.

CONPES 3125/01, el Plan Nacional de Desarrollo Forestal aprobado por el consejo nacional del 2000, diseñó el subprograma denominado “ Protección en incendios forestales”, para determinar los planes de contingencia territoriales contra los incendios forestales.

2.5. MARCO AMBIENTAL

Los incendios forestales presentados en el municipio de Piedecuesta, en la finca la Paramita, sector de Menzuly, provocaron graves afectaciones en el bosque seco principalmente la vegetación que cubría este sector desapareció en más o menos un 50%, cabe resaltar que estos incendios fueron propagados debido al evento del fenómeno del niño, generando grandes olas de calor y reduciendo la humedad del lugar. Las especies nativas fueron claves para la propagación por ser expuestas como combustibles. las altas temperaturas y la carencia de lluvia intensifican estos eventos, así mismo es importante aclarar, que las condiciones topográficas y del viento de esta zona está delimitada como pendiente favoreciendo la intensidad de los incendios. Es por ello por lo que la degradación del suelo es uno de los factores más afectados, los principales efectos sobre el suelo provocados por el fuego son las propiedades físicas y químicas y la productividad del suelo. Como resultado, se producen cambios en sus procesos naturales. Después de los incendios forestales, los suelos corren un alto riesgo de erosión al quedar expuestos al agua y al viento, lo que posteriormente provoca otros problemas funcionales en la diversidad ecológica. Por otro lado, el contenido de nutrientes varía según el tipo de vegetación. En los suelos afectados por incendios, los nutrientes aumentan en los primeros

centímetros de la capa superficial. Esto ocurre debido a la acumulación de cenizas, pero con el tiempo se produce la mineralización de los nutrientes. Se produce un proceso de volatilización de estos nutrientes. Para prevenir la pérdida de estos nutrientes, es importante equilibrar la productividad del suelo a través de acciones correctivas posteriores al incendio y promover estrategias de almacenamiento y acumulación de estos nutrientes para evitar la desestabilización de los ciclos de nutrientes y los microorganismos (Ulibarry P., 2017).

Este desastre natural ha sido uno de los más terribles en Santander, para la última fecha del 2024, la asistencia de bomberos, fuerza armadas áreas y la UNGRD tomaron acciones rápidas ante la problemática. Sin embargo, los reportes sobre el área ambiental de fauna y flora no fueron alentadores. Por este motivo la UNGRD formuló un plan de acciones anticipatorias de actores capacitados para permitir el fortalecimiento de técnicas, operaciones para afrontar los impactos que genere el fenómeno del niño.

Existen diversas medidas de prevención y mitigación ante los incendios forestales, entre ellas y la más importante es la concientización y educación de los factores ambientales que exponen la vida de ecosistemas. (1) Conocer las causas y los manejos adecuados de prácticas agrícolas son fundamentales para la prevención de un acontecimiento de estos. (2) restringir áreas de altos riesgos que son vulnerables ante las actividades antrópicas que puedan propagar los incendios como las quemadas incontroladas, fogatas. Por otro lado, es importante implementar sistemas de monitoreo y seguimiento que detecten comportamientos que fomenten incendios.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio comparativo de las condiciones del suelo afectado y no afectado por un incendio forestal se enfatizó en una investigación descriptiva y experimental, enfocada a la situación actual de la zona de estudio “Finca Paramita” en dos tipos de áreas con diferentes condiciones, un área afectada por incendios forestales y un área no afectada, que se encuentran ubicadas en el sector de Menzuly, Floridablanca-Piedecuesta, Santander. El desarrollo de este estudio estuvo basado en la aplicación de técnicas de muestreo para la recolección de las muestras a analizar. Inicialmente se tomaron en cuenta las indicaciones de la docente encargada del área de suelos, para la debida manipulación en la toma de muestras, de igual manera, se realizó un plan de muestreo con el fin de conocer los implementos para la ejecución de este. También se tomaron fuentes de información primarias con el instructor de la Finca Paramita encargado de la zona, el cual suministró información sobre las prácticas de restauración que se llevarían a cabo posteriormente del incendio ocurrido.

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de estudio está basado en una investigación descriptiva y experimental porque se encuentra relacionada a la teoría, recopilación de datos, análisis y la presentación de datos representativos que permitan justificar el respectivo objetivo general, por el cual también se lleva a cabo mediante métodos estandarizados para acceder al conocimiento y establecer la determinación de los parámetros específicos (Físicos, químicos, biológicos), los cuales son importantes para dar cumplimiento al estudio comparativo de este proyecto. La investigación descriptiva es fundamental porque permite observar y describir las características del estado actual de las dos áreas del objeto de estudio, aunque no es relevante para

establecer el análisis comparativo debido a que se debe realizar el ejercicio experimental que brinde información de los efectos posibles que haya generado el incendio forestal sobre el suelo afectado y compararlo respecto a las condiciones del no afectado, para luego emplear los métodos y prácticas de restauración que puedan mejorar y restablecer al suelo afectado impidiendo que los efectos generados sigan tomando control del suelo y ocasionen consecuencias irreversibles en el suelo. Por otro lado, es importante que en las prácticas de restauración se implementen especies vegetales adecuadas en la siembra para mitigar los posibles incendios forestales en próximas temporadas de sequía y olas de calor.

3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene como enfoque el estudio de parámetros, que cuantifican datos para analizar la comparación de ambos suelos y también el enfoque de información cualitativa de fuentes primarias como entrevista conversacional, observación directa de la zona para detallar el estado actual de las áreas de estudio. teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un cronograma para colocar en marcha las actividades del estudio, inicialmente se construyó el plan de muestreo para luego emplear los métodos cuantitativos con el fin de conocer los resultados, para obtener la información de campo sobre la situación actual de ambos suelos de la Finca Paramita. Es importante mencionar que la observación directa fue durante la jornada del plan de muestreo, identificando los cambios físicos de las áreas de estudio, tal como se evidencia en la figura. (ver 1 y 2).

3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método aplicado fue la observación directa que se empleó durante el muestreo para la recolección de las muestras, de manera que se desarrolló una

caracterización amplia de la zona, identificando los cambios en la composición, la meteorología, la pérdida del bosque seco-tropical, ausencia de fauna y flora entre las dos áreas de investigación, afectada y no afectada. Posteriormente, se realizó la caracterización cuantitativa y cualitativa de los análisis y resultados de las muestras de estudio mediante los métodos estandarizados del laboratorio.

3.4. TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta técnica de investigación fue importante porque permitió acceder a información relevante ante el tema de los incendios forestales, a través de la revisión bibliográfica se pueden identificar las características de los incendios forestales, las causas y los efectos que produce en el medio ambiente. Es fundamental la utilidad de esta técnica porque abarca diferentes artículos, investigaciones, estudios de caso, en el cual se pueden filtrar información importante que ayuda al respectivo proceso de investigación actual.

3.4.2. ENTREVISTA CONVERSACIONAL

Durante la Jornada de trabajo en la Finca la Paramita, se evidenció la pérdida del ecosistema producto del incendio forestal, por lo que se entrevistó a Daniel, integrante del Bosque de letras y encargado de la zona, el cual comentó el planteamiento de estrategias para la restauración del ecosistema, una de ellas fue las prácticas de sembratón con la cooperación de los semilleros de investigación de la Universidad Unidades Tecnológicas de Santander, así como la ayuda de algunos profesores y estudiantes, con el objetivo de sensibilizar la comunidad y prevenir los incendios forestales en temporadas de temperaturas altas y fenómeno del niño.

3.4.3. OBSERVACIÓN DIRECTA

Este método permitió identificar las áreas de estudio, en el cual se pudieron evidenciar los distintos cambios drásticos que sufrió físicamente la zona afectada a diferencia de la no afectada. La caracterización de la zona es importante para analizar de manera organizada y sistemática, según la técnica utilizada, se pudo observar la pérdida de especies vegetales, otra característica importante, como el cambio de clima, la estructura del suelo, la topografía, la humedad del suelo, entre otros.

3.4.4. MUESTREO ALEATORIO

La aplicación del muestreo aleatorio es necesario para identificar las diferencias del suelo, ya que no son notorias inmediatamente, es por ello que se realiza una muestra compuesta del suelo que consiste en la recolección de varias muestras simples en una unidad de muestreo específica, para así en la homogeneización, se pueda preparar e identificar el suelo representativo para el estudio del análisis, es importante emplear esta técnica porque brinda detalladamente las generalidades del suelo en cuanto a color, textura, densidades, humedad, porosidad del suelo, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, entre otros (Mendoza & Espinoza, 2017).

3.4.5. MÉTODOS ESTANDARIZADOS

Este método consiste en la aplicación de procedimientos y metodologías que tienen como objetivo el cumplimiento de parámetros de calidad y eficiencia que permiten analizar e identificar datos precisos que son suministrados por un equipo de operación que toman medidas determinantes teniendo en cuenta condiciones como lo son los (equipos, materiales, reactivos) que son necesarios para la ejecución del trabajo. (IDEAM, S.F)

3.5. PROCEDIMIENTO

La investigación se dividió en varias etapas para llevar a cabo el cronograma y cumplir con los objetivos propuestos.

ETAPA 1. Identificar los parámetros del suelo y las condiciones actuales del post-incendio.

ETAPA 2. Caracterización de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo afectado y no afectado.

ETAPA 3. Estrategias de mitigación y restauración para la recuperación y conservación del suelo afectado con el fin de restablecer su funcionalidad y prevenir incendios forestales en la Finca la Paramita.

4. DESARROLLO DE TRABAJO DE GRADO

4.1. FASE 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA IDENTIFICAR LOS PARÁMETROS DE INTERÉS DEL SUELO

La revisión bibliográfica es necesaria para identificar parámetros de interés del suelo ya que permite el análisis y comparación de diferentes estudios y resultados previos. Esto ayuda a establecer una base teórica sólida, seleccionar indicadores apropiados para evaluar la calidad del suelo y tomar decisiones informadas sobre el manejo y uso de la tierra. También facilita la comprensión de cómo diferentes factores pueden influir en las propiedades del suelo, lo cual es importante para la política medioambiental y la planificación de la construcción sostenible. Así como nos permite conocer los métodos de muestreo más utilizados en investigaciones previas, así como las mejores prácticas para la recogida y análisis de muestras para

así garantizar la comparabilidad y validez de los resultados. Comprender el contexto geográfico y ambiental en el que se han realizado estudios similares. Esto puede influir en la elección del sitio de muestreo y la interpretación de los resultados.

Una vez completo esto, se puede diseñar y llevar a cabo la toma de muestras en el área de estudio.

4.1.1. PLAN DE MUESTREO

En 1944 Cline definió la metodología básica para el muestreo de suelos hace más de 50 años, donde expresó que la exactitud del análisis está dada más por el muestreo que por su procedimiento. Su objetivo principal es obtener una muestra representativa del terreno que nos permita conocer la fertilidad y el estado del suelo (T. L. Roberts y J. L. Henry, 2001).

La georreferenciación es el pilar de un plan de muestreo debido a que brinda la información específica de coordenadas geográficas, elementos de interés y otras características. El sector Menzuly posee una georreferenciación expandible, como se puede observar en la figura 3. En este proceso fue importante tener en cuenta la topografía del sitio porque puede mejorar o afectar las condiciones del suelo y las interacciones naturales. Teniendo en cuenta el terreno de la finca es notable que el sitio de estudio está compuesto por superficies irregulares, lo que significa que son áreas que no están niveladas según el terreno observado.

Durante el muestreo, en el área no afectada se identificó vegetación, así mismo se observó la presencia de restos de ramas, hojas, raíces y macroorganismos a simple vista, siendo la influencia de la vegetación en la composición del suelo, reflejando la salud y la diversidad biológica presente. Otra característica fue la

humedad, en algunas excavaciones se observaron suelos secos y en otras más húmedos lo que sugiere diferencias en la capacidad de retención de agua y en el estado del suelo (Schweizer Lassaga Susana, 2011)

Figura 2. Levantamiento topográfico del sitio de muestreo en la zona no afectada.



Fuente: Autores.

En el área afectada a simple vista se observó una capa de cenizas en la superficie del suelo, así como un color diferente en comparación al suelo no afectado, con

menos absorción de agua ya que estaba más duro y conciso, además de la falta de macroorganismos.

Figura 3. Levantamiento topográfico del sitio de muestreo de la zona afectada.



Fuente: Semillero Gamas, Unidades Tecnológicas de Santander.

Para el análisis de resultados fue importante establecer un protocolo en el lugar de la toma de muestra realizando un paso a paso de técnicas especializadas hasta la obtención de la muestra final, para así evitar la alteración de las condiciones de esta y alcanzar resultados precisos usando los métodos de determinación en el laboratorio de suelo.

En primer lugar, se preparó con anterioridad todos los implementos necesarios para la toma del muestreo, como lo es la pala, un balde limpio, bolsas plásticas herméticas, un machete, guantes de nitrilo y los banderines con los que se delimitaron las áreas. Se inició determinando el método a usar, en este caso, el terreno era plano por lo que se definió un patrón de muestreo en zig-zag, donde se escogieron 8 lugares con 10 metros de diferencia entre cada uno para la recolección de sub-muestras, como se observa en la Figura 2.

Figura 4. Ubicación de uno de los sitios para la toma de muestra.



Fuente: Autores.

Posteriormente se raspó la zona elegida para retirar la cobertura vegetal, se

introdujo la pala con un corte en V a una profundidad de 25 cm como se observa en la figura 3, se tomó una porción del suelo de grosor de 5 centímetros de forma que nos quede un terrón como sub- muestra y se realizó los cortes en los bordes con la macheta, como se observa en la figura 4 (INIA, s/f).

Figura 5. Remoción de cobertura vegetal y corte en V.



Fuente: Autores.

Figura 6. Corte de los bordes con la macheta.



Fuente: Autores.

Seguidamente se realizó el mismo procedimiento con cada una de las áreas delimitadas para excavar. Todas las submuestras se recogieron en el balde donde los terrones se dividieron y se extrajeron de la muestra todas las raíces, piedras y contaminantes, para la homogeneización de todas las submuestras. Luego se transfirió la muestra compuesta a sus respectivas bolsas herméticas, donde en cada una se introdujeron 350 gramos aproximadamente, cada una se etiquetó con

información general como se puede observar en la tabla 1, para luego ser transportada hasta el laboratorio ubicado en Bucaramanga, para su respectivo análisis. Este procedimiento se realizó respectivamente en cada zona de muestreo, es decir, la zona afectada y la no afectada.

Tabla 1. Información general del sitio de muestreo de la zona afectada

INFORMACIÓN GENERAL- SUELO NO AFECTADO	
FECHA DE TOMA	10/Abril/2024
FECHA DE ENTREGA	20/Abril/2024
SOLICITADA POR	Daniela Barcenas y Nathalia Mejía
TOMADA POR	Daniela Barcenas y Nathalia Mejía
ANÁLISIS SOLICITADO	Análisis de parámetros microbiológicos
RESPONSABLE/ENTIDAD	Unidades Tecnológicas de Santander
PERSONA DE CONTACTO	Daniela Elizabeth Barcenas
DIRECCIÓN	Cra. 6 #14-68 P/ta Hoyogrande
TELÉFONO	3174996252-
USUARIO	Daniela Barcenas y Nathalia Mejía
FINCA/PREDIO	La casa del bonsái Menzuly
MUNICIPIO	Piedecuesta
DEPARTAMENTO	Santander
CLIMA	Templado
TEMPERATURA	22 °C
TOPOGRAFÍA	Irregular con cambios bruscos de pendientes
PROFUNDIDAD MUESTREO	25 cm
CULTIVO ACTUAL	Ninguno
CULTIVO ANTERIOR	Ninguno
ANTECEDENTES DEL LOTE	Terreno irregular sin cobertura vegetal

Fuente: Autores.

Tabla 2. Información general del sitio de muestreo de la zona no afectada.

INFORMACIÓN GENERAL- SUELO NO AFECTADO	
FECHA DE TOMA	10/Abril/2024
FECHA DE ENTREGA	20/Abril/2024
SOLICITADA POR	Daniela Barcenás y Nathalia Mejía
TOMADA POR	Daniela Barcenás y Nathalia Mejía
ANÁLISIS SOLICITADO	Análisis de parámetros microbiológicos
RESPONSABLE/ENTIDAD	Unidades Tecnológicas de Santander
PERSONA DE CONTACTO	Daniela Elizabeth Barcenás
DIRECCIÓN	Cra. 6 #14-68 P/ta Hoyogrande
TELÉFONO	3174996252-
USUARIO	Daniela Barcenás y Nathalia Mejía
FINCA/PREDIO	La casa del bonsái Menzuly
MUNICIPIO	Piedecuesta
DEPARTAMENTO	Santander
CLIMA	Templado
TEMPERATURA	22 °C
TOPOGRAFÍA	Irregular con cambios bruscos de pendientes
PROFUNDIDAD MUESTREO	25 cm
CULTIVO ACTUAL	Ninguno
CULTIVO ANTERIOR	Ninguno
ANTECEDENTES DEL LOTE	Terreno irregular con cobertura vegetal

Fuente: Autores.

4.2. FASE 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO

4.2.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

Se analizaron las propiedades de la muestra de suelo recogida mediante técnicas de determinación y metodologías para cada componente, entre ellos están la humedad gravimétrica, volumétrica, densidad aparente y real mediante el método gravimétrico (Principio de Arquímedes) para hallar la porosidad del suelo. También se determinó el color con las tablas de color de Munsell; textura con el método de Bouyoucos y su posterior clasificación en el triángulo de Lyon. Así como conductividad eléctrica; pH con el uso del pH-metro; fósforo, boro disponible y

materia orgánica con el método colorimétrico (BRAY II); azufre por el método turbidimétrico; capacidad de intercambio catiónico por titulación; al igual que acidez y aluminio intercambiable por el método volumétrico para las propiedades químicas.

4.2.2. ANÁLISIS BIOLÓGICOS

Para los análisis biológicos se realizó un recuento e identificación de hongos fitopatógenos, hongos no fitopatógenos, recuento de bacterias mesófilas aerobias, pseudomonas sp. y levaduras.

4.3. FASE 3: PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y RESTAURACIÓN

A partir de la identificación de las características del suelo originadas por los incendios forestales, las causas y consecuencias generadas en el área de Menzuly nos permitirá diseñar un plan viable a corto, mediano y largo plazo que permita la rehabilitación del suelo, así como ser el inicio a otros proyectos mediante la implementación de estrategias de prevención y mejora en su calidad, así como su vegetación y fauna. Así mismo, se proponen medidas de mitigación y restauración del suelo que contribuyan a la conservación y recuperación de su funcionalidad teniendo en cuenta la prevención de incendios forestales y la sostenibilidad ambiental del sector Menzuly, finca la Paramita. Este plan incluirá una siembra con la finalidad de la recuperación del hábitat natural para la fauna y flora del sector promoviendo así la biodiversidad y el equilibrio ecológico de este ecosistema. (FEDEMADERAS, s/f)

5. RESULTADOS

5.1. FASE 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA IDENTIFICAR LOS PARÁMETROS DE INTERÉS DEL SUELO

Para determinar los parámetros de interés en la calidad del suelo de acuerdo con su función se realizó una revisión bibliográfica de varios artículos e investigaciones científicas de la FAO, SciELO, la AEET y otros, donde se identificaron tres parámetros y/o indicadores principales que se deben evaluar para analizar la calidad del suelo; indicadores biológicos, físicos, químicos y la relación entre ellos (FAO, 2024a), donde se utilizaron como herramientas analíticas que ayudan a simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos, para la toma de decisiones y gestión de este (García et al., 2012).

Estos indicadores se utilizan en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc.). Los cuales expresan en términos de propiedades o procesos físicos, químicos y biológicos lo que ocurre en el suelo con respecto al tiempo (Cruz et al., 2004).

Larson y Pierce realizaron una propuesta en 1991 de fórmula cuantitativa para evaluar la calidad del suelo en función de parámetros como profundidad, densidad aparente y contenido de materia orgánica. Doran y Parkin (1994) también contribuyeron al campo centrándose en las comunidades aborígenes y la degradación de la tierra.

Se realizaron investigaciones sobre pastoreo la cual destaca la relación entre la calidad del suelo y la vegetación, así como el impacto de las prácticas de manejo en la salud del suelo (Pulido Fernández, 2014).

En 2008 Sparling et al., propusieron siete propiedades para medir la calidad del suelo en Nueva Zelanda, incluido el pH, la densidad aparente y la macroporosidad. Se ha desarrollado una aplicación web para permitir la comparación de diferentes tipos de suelo.

Zucca et al. (2010), utilizaron variables físicas como el contenido de arcilla y la densidad aparente para evaluar la calidad del suelo, enfatizando la importancia de estos factores para la productividad del paisaje.

En suelos que presentan pendientes se tienen en cuenta otros parámetros como erosión, elevación, profundidad de la capa, tipo de humus y número de lombrices se utilizan para evaluar su estado. En zonas planas se utilizan indicadores similares, a excepción de algunos indicadores específicos de zonas valladas (Pulido Fernández, 2014).

En investigaciones de la Unión Europea se citaron los trabajos de Houshkova y Montanarella, que clasifican la calidad del suelo en cuatro categorías, teniendo en cuenta aspectos físicos, químicos y biológicos. Así como una tesis doctoral que destaca investigaciones realizadas en Almería y Alicante, donde se analizaron indicadores biológicos y se utilizaron métodos estadísticos para cuantificar la calidad del suelo. También se menciona un estudio sobre regeneración de tierras en la provincia de Cáceres (Pulido Fernández, 2014).

Al igual que investigaciones relacionadas con la sensibilidad ambiental a la degradación del suelo en Extremadura, teniendo en cuenta las variaciones climáticas y físicas. En el que se elaboró un mapa regional de calidad del suelo, clasificando las áreas según su estado actual y riesgo de desertificación, lo que permitió una mejor planificación y gestión del territorio (Pulido Fernández, 2014).

Sin embargo, varios autores han aportado argumentos para la elección de indicadores específicos. Bastida et al., (2008), señalan que, si bien los indicadores químicos y físicos se utilizan comúnmente para evaluar la calidad del suelo agrícola, los indicadores biológicos son más sensibles al cambio que los que se utilizan actualmente y pueden contribuir a un concepto más amplio de la calidad del suelo.

En cuanto a los indicadores físicos, García et al., (2012) identificaron seis indicadores necesarios para evaluar la calidad física del suelo: estructura, densidad aparente, estabilidad de los agregados, permeabilidad, profundidad de la superficie del suelo y conductividad hidráulica. Por su parte, Bastida et al., (2008) señalan que, para los suelos agrícolas, uno de los indicadores físicos básicos es la estabilidad agregada, porque se utiliza para evaluar la resistencia a la erosión del suelo.

(García et al., 2012) también señalaron que los indicadores químicos más utilizados son la disponibilidad de nutrientes y el contenido de carbono orgánico total, pH, conductividad, capacidad de adsorción de fosfato, capacidad de intercambio catiónico, recambio de materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable. Por su parte, Bastida et al., (2008) informaron que el índice más utilizado es el pH, que pertenece a esta categoría. Además, señalan que, en el caso de suelos agrícolas, los indicadores químicos más utilizados son materia y carbono orgánicos porque nos permiten estimar la capacidad de una planta para soportar el crecimiento.

En cuanto a los indicadores biológicos, Bastida et al., (2008) señalaron la biomasa microbiana C como uno de los índices más utilizados debido a su capacidad para indicar cambios en el suelo debido a actividades de manejo, contaminación o procesos de remediación. Estos autores también escriben que otros indicadores

comúnmente utilizados están relacionados con la actividad microbiana y la actividad enzimática (Sarmiento et al., 2018).

En resumen, se enfatiza la importancia de diferentes indicadores y métodos para evaluar la calidad del suelo, la necesidad de un enfoque integrado al problema de la degradación, protección del suelo y la importancia de considerar múltiples factores y propiedades en este proceso, de tal manera que los parámetros del suelo asociados a los incendios forestales permiten identificar las modificaciones en el uso del suelo mediante los análisis de resultados. Dado que en el caso de investigación se realiza la comparación de las propiedades del suelo afectado y no afectado, teniendo como resultado alteraciones en los indicadores físicos, químicos y biológicos; dentro de los más relevantes en los análisis físicos, como el color, la porosidad y la densidad, son consecuencia de la intensidad y el tiempo de exposición del incendio, en los análisis químicos, se afectó la CIC, %C.O y %M.O; por último, en los microbiológicos la pérdida de bacterias y hongos esenciales que inhiben el desarrollo de la salud biológica del suelo.

5.2. FASE 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO

Para realizar la caracterización de las propiedades del suelo se adaptó un plan de muestreo que garantiza la efectividad en los resultados de la muestra, por esto se empleó el muestreo sistemático en zigzag, que consistió en seleccionar 8 lugares para la toma de muestras en la zona de estudio, el cual permitió identificar un método estadístico y brindó información clave de toda el área de investigación. El tipo de muestra recolectada fue de forma compuesta, es decir varias muestras simples, para luego homogeneizar y obtener 8 muestras representativas de la finca

la

Paramita.

Para los análisis fisicoquímicos se emplearon solo 2 muestras (una del suelo afectado y otra del suelo no afectado) de 2 kg cada una para la utilización de los métodos estandarizados en el laboratorio. Y para el análisis biológico se recolectaron 3 muestras representativas para la identificar las alteraciones a nivel microbiológico en la diversidad de ausencia o presencia de microorganismos en el suelo.

El análisis del suelo permite determinar el nivel de fertilidad del suelo. La fertilidad es esencial para la productividad del suelo, aunque un suelo fértil no necesariamente es productivo, existen otros factores físicos como drenaje deficiente, poca profundidad, rocas superficiales, falta de humedad, etc., que puede limitar los rendimientos incluso cuando el suelo es nutritivo. El nivel de potencial productivo del suelo depende de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas (Molina Eloy, 2024)

5.2.1. ANÁLISIS FÍSICOS

A su vez los análisis fisicoquímicos de una muestra de suelo facilitan conocer las características y el estado del suelo, es decir, si contiene poblaciones que le confieren la capacidad de realizar funciones bioquímicas y fisiológicas necesarias para la utilización de los nutrientes de las plantas y nos ayuda a realizar un diagnóstico sobre el suelo de su potencial de productividad, cultivo e historial de manejo, para así mejorar la eficacia de las estrategias de producción, como el uso de fertilizantes, enmiendas orgánicas y aditivos para el suelo o cualquier actividad que se quiera incorporar que puedan afectar el suelo (Santofimio Geidy et al., 2022).

A continuación, se observan los resultados obtenidos en el sector Menzuly, finca la Paramita.

Tabla 3. Resultados de los análisis físicos de las dos muestras en el suelo afectado y no afectado.

PROPIEDADES FÍSICAS			
PARÁMETRO	RESULTADOS		UNIDAD DE MEDIDA
	Suelo Afectado	Suelo No Afectado	
Color	Naranja opaco	Marrón rojizo mate	Hue YR
Humedad Gravimétrica (HG)	33,45	27,805	%
Humedad Volumétrica (HV)	37,916086	34,1695645	%
Densidad Real (dr)	1,673	2,003	g/ml
Densidad Aparente (da)	1,1336	1,2289	g/ml
Porosidad Total (PT)	32,24	38,65	%
Textura	Arena francosa	Arena francosa	%

Fuente: Autores.

Entre las propiedades del suelo, hay varias características que son importantes para determinar la fertilidad porque influyen en la disponibilidad y el uso de nutrientes. Por ello se han determinado los principales parámetros que influyen en la determinación de la calidad del suelo: textura del suelo, contenido de humedad, salinidad y color. (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 2023)

La textura permite determinar el tamaño de las partículas del suelo y por tanto el grado de absorción de nutrientes; la humedad ayuda a disolver algunos nutrientes necesarios para el desarrollo agrícola, mientras que la salinidad determina el nivel de presencia de sal en el suelo, lo que puede contribuir a la toxicidad del suelo,

reduciendo así la producción y, en última instancia, el color del suelo es un índice visual que se puede medir fácilmente, lo que permite evaluar rápidamente diversas propiedades del suelo (Garrido Jarif J. & Licona María M., 2017).

Para determinar si el suelo de Menzuly finca la Paramita se encontraba en óptimas condiciones se comparó con diversos indicadores para así determinar su calidad.

En las propiedades físicas, según la FAO el color de un suelo depende de su composición y varía en función de la humedad, la presencia de materia orgánica y el grado de oxidación de los minerales que contiene. Algunas propiedades del suelo pueden evaluarse como un índice indirecto. Se utiliza para distinguir secuencias en el perfil del suelo, determinar el origen del material parental, la presencia de materia orgánica, las condiciones de drenaje y la presencia de sales y carbonatos. En este caso, en el área afectada se encontró un color naranja opaco por lo cual se deduce una disminución de materia orgánica, así como la humedad presente en el suelo en comparación al área no afectada con un color más oscuro en marrón rojizo lo cual puede indicar una buena calidad del suelo en términos de materia orgánica y nutrientes. Este tipo de color suele asociarse con suelos fértiles y bien drenados, ideales para el crecimiento de las plantas (FAO, 2024d)

Según los resultados de la tabla 3, el suelo afectado tiene un porcentaje de humedad gravimétrica de 33.4475%, lo cual es mayor al porcentaje del suelo no afectado que es de 27.805%; este aumento podría ser debido a la reducción en la vegetación, la modificación en su estructura gracias a una mayor proporción de partículas minerales expuestas lo que permite una mayor porosidad, por ende, una mayor absorción de agua. (Mataix Jorge & Guerrero César, 2007).

Un suelo con suficiente densidad suele tener una estructura más favorable para el

crecimiento de las plantas y es más capaz de retener agua y nutrientes. Además, es una cantidad muy útil que se utiliza para calcular propiedades del suelo como la porosidad y la distribución del tamaño de las partículas. (Flores Delgadillo Lourdes et al., 2010).

Existen dos tipos de densidades, la densidad real solo tiene en cuenta la densidad de las partículas que lo componen, es decir, la masa de las partículas sólidas del suelo excluyendo los espacios porosos, según la FAO la densidad real a un nivel general es de 2.65, en este caso la densidad en el suelo afectado es más baja que en el no afectado, por ende, se puede deducir que la estructura del suelo cambió y las partículas minerales pueden estar más disgregadas, así como la ausencia de materia orgánica que normalmente contribuye a la densidad real (FAO, 2009) Y la densidad aparente se refiere a la masa de partículas del suelo por unidad de volumen, incluyendo los poros, dónde es la característica que tiene mayor impacto en el rendimiento de los cultivos debido a su estrecha relación con otras propiedades del suelo al estar relacionado con las condiciones disponibles y la tasa de difusión de nutrientes en el suelo. La densidad aparente menor en el suelo afectado tiene que ver con los agregados rotos gracias al incendio forestal, lo que resulta en partículas más pequeñas que ocupan más espacio vacío en un volumen dado de suelo, además de la formación de las cenizas también contribuye a la reducción de la masa total del suelo en comparación con el no afectado. (Salamanca y Sadeghian, 2005).

La humedad volumétrica es la relación entre el volumen de agua y el volumen aparente del suelo una vez seco, esto quiere decir que el volumen de agua presente en el suelo afectado es mayor donde representa un aumento de 3.747% del volumen total del suelo en comparación al suelo no afectado, esto también tiene que ver con el cambio en su estructura así como el aumento en la porosidad

del suelo, así como la vegetación presente en el suelo no afectado lo que puede consumir más agua a través de la transpiración, lo que limita la humedad disponible en el suelo, por ende que sea más baja en comparación. (Salamanca y Sadeghian, 2005).

La porosidad es un indicador importante de la estructura del suelo y afecta directamente su capacidad para retener agua, permitir el flujo de aire y albergar organismos vivos y se define como el espacio de suelo que no está ocupado por sólidos (FAO, 2024c), según la tabla 4, se interpreta que hay una porosidad baja en ambos suelos, pero menor en el suelo afectado a comparación del no afectado, lo cual podría deberse a una compactación en ciertas zonas del suelo como consecuencia del incendio y a la pérdida de estructuras agregadas que puede alterar la distribución del espacio poroso llevando a una menor porosidad en algunas áreas así como las cenizas pueden dificultar la percepción de la porosidad y en cómo el agua se mueve a través del suelo (Mataix Jorge & Guerrero César, 2007)

Tabla 4. Valores de porosidad total de un suelo y su interpretación.

Porosidad total (%)	Interpretación
<30	Muy baja
30 - 40	Baja
40 - 50	Media
50 - 60	Alta
> 60	Muy alta

Fuente: Flores Delgadillo Lourdes et al., s/f., 2010.

En la textura se analizaron indicadores visuales de permeabilidad (tabla 6), así como la clase de texturas según el triángulo de Lyon, como se observa en la tabla 5, en este caso el suelo es areno francoso, es decir, de textura gruesa, su mayor proporción son partículas de arena, esto influye en la capacidad de drenaje ya que

se considera que suele ser alta, lo que significa que el agua tiende a fluir a través de ellos con relativa facilidad, además de promover una buena aireación lo que beneficia el crecimiento de raíces y actividad microbiana siempre y cuando exista la presencia de materia orgánica, por el contrario tiene una menor capacidad de retener el agua y los nutrientes a comparación de texturas más livianas, pero estas características varían debido al cambio de estructura en el suelo afectado por el incendio forestal. (Grand Alfred & Michel Vicent, 2020)

Tabla 5. Clases texturales de suelo.

Nombres vulgares de los suelos (Textura general)	Arenoso	Limoso	Arcilloso	Clase textural
Suelos arenosos (Textura gruesa)	86 - 100	0 - 14	0 - 10	Arenoso
	70 - 86	0 - 30	0 - 15	Franco arenoso
Suelos francos (Textura moderadamente gruesa)	50 - 70	0 - 50	0 - 20	Franco arenoso
Suelos francos (Textura mediana)	23 - 52	28 - 50	7 - 27	Franco
	20 - 50	74 - 88	0 - 27	Franco limoso
	0 - 20	88 - 100	0 - 12	Limoso
Suelos francos (Textura moderadamente fina)	20 - 45	15 - 52	27 - 40	Franco arcilloso
	45 - 80	0 - 28	20 - 35	Franco arenoso arcilloso
	0 - 20	40 - 73	27 - 40	Franco limoso arcilloso
Suelos arcillosos (Textura fina)	45 - 65	0 - 20	35 - 55	Arcilloso arenoso
	0 - 20	40 - 60	40 - 60	Arcilloso limoso
	0 - 45	0 - 40	40 - 100	Arcilloso

Fuente: USDA, 2024.

Tabla 6. Indicadores visuales de permeabilidad: textura, comportamiento físico y color del suelo.

Permeabilidad	Textura y perfil	Comportamiento físico	Color y manchas de color
Permeabilidad muy lenta	Capas de arcilla, arcilla densa o presentes con substratos de muy lenta permeabilidad Capas endurecidas a diferencia de las capas de arcillas	Cuando se seca, el terreno se agrieta muy severamente, salvo las capas endurecidas o induradas que no se agrietan o rompen Las capas endurecidas que se asocian con esta clase suelen consistir en capas de arena altamente endurecidas o arena y grava. Cuando se golpea con el azadón emiten un sonido vibrante	Por lo general, con manchas de color Muchas manchas de color
Permeabilidad lenta	Arcillosa o arcillosa limosa, capas de arcilla, capas moderadamente endurecidas Limo, <capas limosas>	La contracción y el agrietamiento son menos pronunciados que en la clase de permeabilidad muy lenta	Las manchas de color son moderadamente intensas Las manchas de color son moderadamente intensas y el color grisáceo caracterizan este tipo de estructura
Permeabilidad moderadamente lenta	Horizontes de textura moderadamente fina que muestran alguna granulación o una ligera dispersión de partículas	La contracción, por lo general, no es muy pronunciada y las fisuras no son ni muy grandes ni numerosas	Moderadas manchas de color, pero el color es más brillante que en la clase de permeabilidad lenta
Permeabilidad moderada	Texturas moderadamente finas; ligeramente plástica en mojado y moderadamente dura en seco		Por lo general, las manchas de color son escasas
Permeabilidad moderadamente rápida	Suelos de textura moderadamente fina a media		Manchas de color ocasionales. Por lo general, el color es amarillo moderadamente brillante
Permeabilidad rápida	Suelos de textura mediana o moderadamente gruesa		No hay manchas de color, a menos que la capa freática sea alta. Por lo general, el color es muy brillante. El contenido de la materia orgánica suele ser moderado o bajo
Permeabilidad muy rápida	Suelos de textura gruesa o gravosa		El color es brillante, salvo cuando la capa freática esté alta

Fuente: FAO, 2024.

5.2.2. ANÁLISIS QUÍMICOS

Para las propiedades químicas se determinó conductividad eléctrica, pH, fósforo, azufre, boro, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, acidez y aluminio intercambiable en la muestra, estos indicadores son importantes porque proporcionan información precisa de la disponibilidad de nutrientes en el suelo y también el grado de absorción para conocer el tipo de suelo analizado (FAO, 2024c).

Tabla 7. Resultados de los análisis químicos de las dos muestras en el suelo afectado y no afectado.

PROPIEDADES QUÍMICAS			
PARÁMETRO	RESULTADOS		UNIDAD DE MEDIDA
	Suelo Afectado	Suelo No Afectado	
Potencial de Hidrogeno	4	4,67	pH
Conductividad Eléctrica	0	0,03	μS/cm
Fósforo disponible	-15,8255	-13,6166	ppm
Azufre disponible	-43,038	-39,987	ppm
Boro disponible	No contiene	No contiene	ppm
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	0,068	11,2	meq/100g
Carbono Orgánico	20,2109	8,9754	% CO
Materia Orgánica	34,8436	15,4736	% MO
Acidez intercambiable	5,5782	5,5607	meq/100g
Aluminio Intercambiable	1,8594	No contiene	meq/100g

Fuente: Autores.

El pH es uno de los principales indicadores que se requiere conocer detalladamente ya que este puede afectar los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. Sin embargo, en el caso de los incendios forestales esta propiedad química generalmente tiene variaciones de las cuales depende de la intensidad del incendio. Al presentarse un incendio de baja intensidad y cantidad de materia orgánica para la combustión los cambios del pH son irrelevantes (Solera J., 1999). Se han observado casos donde se pueden producir disminución del pH de algunas décimas.

Los análisis químicos revelaron que los valores del pH de ambos suelos fueron bajos, con diferencias de solo algunas décimas, clasificándolos como suelos muy ácidos, lo que puede impactar negativamente en la disponibilidad de nutrientes.

Esto sugiere que la intensidad del fuego fue baja, ya que incendios de alta intensidad (como a 200°C) tienden a aumentar significativamente el pH del suelo. tal como lo indica la tabla 8. Una de las causas frente a las variaciones del pH en los suelos está relacionadas al comportamiento de la materia orgánica, debido a que está sufre algunas transformaciones, por su combustión y aumento sobre la superficie del suelo consecuencia de los restos vegetales que son carbonizados y por su incremento en la concentración de los bicarbonatos solubles. Así mismo, la actividad microbiana influye dependiendo el pH, en suelos ácidos la materia orgánica se descompone de forma lenta y disminuye el aporte de nutrientes debido a su baja velocidad de mineralización.

Tabla 8. Clasificación del grado de acidez teniendo en cuenta el nivel de pH.

Apreciación	pH
Extremadamente ácido	<4.5
Muy fuertemente ácido	4.6 a 5.0
Fuertemente ácido	5.1 a 5.5
Medianamente ácido	5.6 a 6.0
Ligeramente ácido	6.1 a 6.5
Neutro	6.6 a 7.3
Ligeramente alcalino	7.4 a 7.8
Medianamente alcalino	7.9 a 8.4
Fuertemente alcalino	8.5 a 9.0
Muy fuertemente alcalino	> 9.0

Fuente: (Gómez Iván et al., 2005)

La conductividad eléctrica es la capacidad que tiene el suelo para transportar corriente eléctrica, el cual está constituida por la presencia de iones negativos y positivos que están presentes en el suelo permitiendo conocer la concentración de sales contenidas, como lo indica la tabla 7 (Bosch Mayol, et al., 2020).

Un suelo salino es aquel que contiene mayor concentración de sales solubles.

La importancia de estudiar la conductividad eléctrica permite determinar si las sales solubles pueden provocar afectaciones, impidiendo el desarrollo de las plantas, vegetación y la absorción del agua (Vallejo S., 2020).

Las sales solubles se forman por los cationes ; Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ junto con los aniones; Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ y HCO₃⁻ presentes en el suelo, que según sus cantidades están sobre el 0.1% (Vallejo S., 2020).

Los suelos afectados por causa de los incendios forestales sufren consecuencias en los cambios de conductividad eléctrica debido al efecto mineralizador de la temperatura del fuego haciendo que esta conductividad eléctrica tenga un incremento gracias a la acumulación de las cenizas, sin embargo, esta condición suele ser transitoria, por causas como la erosión, el lavado y arrastre de las sales por escorrentía (Universidad de Sevilla , S. f).

El resultado de la muestra afectada expresa que tiene un valor de 0 µS/ cm, y la muestra no afectada un valor de 0.03 µS/ cm. Respecto a los resultados se determina que los suelos de las dos áreas analizadas no contienen salinidad, teniendo en cuenta la tabla 10, la conductividad eléctrica, indica bajos niveles de salinidad o la ausencia de sales, posiblemente debido a la disolución causada por precipitaciones o el lavado de nutrientes. Aunque la incorporación de cenizas del post- incendio suele aumentar estos valores, con el tiempo, vuelven a sus niveles iniciales (El Problema de la Salinidad de los Suelos Introducción, s/f)

Tabla 9. Conductividad eléctrica y clases de salinidad.

Conductividad Eléctrica (dS/m a 25°C)	Clase de salinidad	Respuesta de cultivo
0 - 0.98	No salino	Efectos casi despreciables
0.98 - 1.71	Muy ligeramente salino	Se restringen los rindes de cultivos muy sensibles
1.71 - 3.16	Ligeramente salino	Se restringen los rindes de la mayoría de los cultivos
3.16 - 6.07	Moderadamente salino	Sólo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente
> 6.07	Fuertemente salino	Sólo cultivos muy tolerantes rinden satisfactoriamente

Fuente: Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo, 1999.

Tabla 10. Desarrollo del cultivo según la conductividad eléctrica.

Conductividad eléctrica	Cultivo
< 500 dSm-1	Buen desarrollo
500 - 1000 dSm-1	Aparecen problemas en algunos cultivos
> 1000 dSm-1	Dificultades en muchos cultivos

Fuente: Soto Soriano & Desamparados María, 2018

El fósforo es uno de los macronutrientes más importante para el desarrollo y crecimiento de las plantas, es un componente importante en la fertilización y productividad del suelo. En la mayoría de los suelos de las zonas mediterráneas, es decir, bosques de clima templado, el fósforo se considera un nutriente limitante, no debido a sus cantidades bajas de concentración, que en términos absolutos son elevadas si se consideran las necesidades de la vegetación, si no por su baja disponibilidad. (Síntomas Visuales de Deficiencia de Fósforo en los Cultivos | Intagri S.C., 2024)

Teniendo en cuenta los resultados de las muestras analizadas los valores del

fósforo son menores de 15 ppm, según la tabla 11 la apreciación del fósforo es baja, lo cual indica que las concentraciones de fósforo son muy bajas en ambos suelos, esto indica que los suelos tienen baja disponibilidad de fósforo, en el caso del suelo afectado, Soto et al. (1991) y Saá et al. (1998) citado en (Mataix Solera Jorge, 1999a) apuntan que las pérdidas del fósforo en formas solubles y particulares ocurren al incrementarse a la escorrentía y la erosión post-fuego.

El fuego también puede afectar los niveles de fósforo, ya sea por pérdidas por volatilización o por incorporación en el suelo. Las pérdidas de fósforo después del fuego en los ecosistemas mediterráneos varían significativamente, esto indica que las plantas pueden mostrar síntomas de deficiencia, como crecimiento lento, hojas de color verde oscuro o morado y flores y frutos pequeños. Además, se puede reducir significativamente la cantidad y calidad de la cosecha.

Tabla 11. Clasificación del fósforo.

Apreciación	P ppm (BRAY II)
Bajo	<15
Medio	15 - 40
Alto	>40

Fuente: IGAC, 2024.

El azufre es un nutriente necesario para el crecimiento vegetal, ya que es promotor de formación de proteínas y la formación de clorofila, sin embargo, su disponibilidad no es suficiente para satisfacer el crecimiento de las plantas, según el artículo de (Corrales M. C., Vargas A., 2014) . Según los resultados de la concentración de azufre son <0.25 % (ver, tabla 12), esto indica que los ambos suelos no poseen cambios significativos en su composición. (Sadzawka Angelica, 1999). Por tal razón, está apunta a la poca materia orgánica disponible o los

lixiviados de azufre por la lluvia ácida. Esto también se debe a la incorporación de las cenizas luego del incendio ya que tienen una mayor probabilidad de afectar a los componentes inorgánicos, lo que provoca una degradación del suelo más grave y la volatilización de los principales nutrientes como el carbono, el nitrógeno, el fósforo y el azufre (Pérez Yanira, 2022).

Tabla 12. Consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelos.

PROPIEDADES QUÍMICAS		ELEMENTOS MAYORES (IGAC, 2017; ICA, 1992)													
pH (suelo: H ₂ O) 1:1		APRECIACIÓN		Probabilidad de respuesta de los cultivos a la fertilización	P disp. (BRAY 1) mg kg ⁻¹	K intercamb. (NH ₄ Ac, 1N a pH 7) (cmol ⁺ kg ⁻¹)	C.O (%) Fórmula			N. Total (%) Oxidación completa - Analizador elemental			M.O. (%) Walkley-Black y titulación		
<3.5	Últras ácido			>80%	<15	<0.2	<2.9	<1.7	<1.2	<0.25	<0.15	<0.10	<5	<3	<2
3.5-4.5	Extremadamente ácido	BAJO					3.9-8.1	1.7-2.9	1.2-2.3	0.26-0.50	0.16-0.30	0.10-0.20	5-10	3-5	2-4
4.6-5.0	Muy fuertemente ácido	MEDIO		~50%	15-40	0.2-0.4									
5.1-5.5	Fuertemente ácido	ALTO		>20%	>40	>0.4	>8.1	>2.9	>2.3	>0.50	>0.30	>0.20	>10	>5	>4
5.6-6.0	Medianamente ácido														
6.1-6.5	Ligeramente ácido														
6.6-7.3	Neutro	APRECIACIÓN		Total	Ca	Mg	K	Saturación de Acidez Intercambiable (IGAC, 2017)			Sodicidad y Salinidad (IGAC, 2017)				
7.4-7.8	Ligeramente alcalino	BAJO		<35	<30	<15	<2	SAI (%)	APRECIACIÓN			PSI (%)	CE (dS m ⁻¹)	CLASE	
7.9-8.4	Medianamente alcalino	MEDIO		35-50	30-60	15-25	2-3	<15	Sin problemas en general. Límite para cultivos susceptibles			<15	0-2	Normal	
8.5-9.0	Fuertemente alcalino	ALTO		>50	>50	>25	>3	15-30	Límite para cultivos moderadamente tolerantes			2-4	Limite		
>9.0	Extremadamente alcalino							30-60	Límite para cultivos tolerantes			4-8	S1		
								>60	Niveles tóxicos para la mayoría de cultivos			8-16	S2		
Ca - NiAc, 1N a pH 7 (cmol ⁺ kg ⁻¹) (ICA, 1992)		APRECIACIÓN		Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	CaCO ₃ Equivalente (%) (Basado en Andrade, 2012)	APRECIACIÓN			>16	S3		
IDEAL		IDEAL		2-4	3	6	10	% CaCO ₃				0-4	Na		
DEFICIENTE		K DEFICIENTE		>10	>30	>40	>40		Ligeramente cálcico			4-8	NaS1		
Baja		Mg DEFICIENTE		>10	<1			5-10	Cálcico			8-16	NaS2		
Media								>10	Muy cálcico			>16	NaS3		
Alta															
									ELEMENTOS DISPONIBLES* (mg kg ⁻¹ - Osorio, 2012)						
Resid. Caldo		INTERPRETACIÓN		Ca	Mg	Na	Al	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo	
Muy baja <50%	Deficiencia severa en el cultivo, se requiere aplicar una muy alta cantidad del nutriente	<1	<0.5						<3	<10	<2.5	<0.5	<0.5	<0.05	
Baja 50-75	Deficiencia moderada, se requiere aplicar una cantidad alta del nutriente	1-3	0.5-1.5					3-6	10-25	2.5-5	0.5-1	0.5-1.5	0.2-0.5	0.05-0.10	
Suficiente 75-100	Suficiencia Aplicación moderada del nutriente para maximizar rendimiento	3-6	1.5-2.5	<0.5	<0.5	6-12	25-50	5-10	1-3	1.5-5	0.5-1	1-1.5	0.1-0.20		
Alta 100	Aplicación baja para mantener alta disponibilidad del nutriente	6-9	2.5-3	0.5-1	0.5-2	12-15	50-100	10-20	3-5	5-10	1-1.5	1-1.5	>0.20		
Muy alta >100	No aplicar. Alto riesgo de desbalance nutricional, toxicidad y/o contaminación ambiental	>9	>3	>1	>2	>15	>100	>20	>5	>10	>1.5	>1.5			
	Óptimo								15-30	20-30	3-6	0.6-1.0			

Fuente: (IGAC, 2021)

El boro es uno de los micronutrientes esenciales para el normal desarrollo de los vegetales, el contenido de boro en el suelo es importante porque muchos cultivos son sensibles incluso a concentraciones muy bajas de este elemento. Según los resultados de las muestras, ambos suelos no poseen contenido de boro, Según la tabla 12 los valores del boro en el suelo están entre 10 - 200 ppm, sin embargo,

en el caso de estudio presente no hay detección de este micronutriente. Julieth Vargas destacó en su investigación de la recuperación de un suelo afectado en Colombia, donde el área de recuperación es muy similar a este caso de estudio caracterizando los componentes del suelo y clima (Bosque T-seco, Clima templado), Según su descripción de las propiedades analizadas puntualizó que, la fertilidad del suelo no es limitante, pero sí la deficiencia de boro y fósforo (Julieth Vargas, 2007). Esto indica que la concentración de boro en el suelo depende del tipo de suelo, vegetación, la variabilidad del pH y los nutrientes principales del suelo. (DONCEL UNANUA ANA J et al., 1996).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la suma total de los cationes intercambiables en el suelo, a mayor CIC mayor es la cantidad de cationes que puede retener, esta propiedad está relacionada con la textura, el contenido de materia orgánica, el tipo de arcilla y fertilidad del suelo; un suelo con alto contenido de arcilla puede retener más cationes intercambiables que uno bajo en arcillas. Teniendo en cuenta los resultados el CIC, en la muestra afectada tuvo un valor de 0.068 meq/100 y la no afectada 11.2 meq/100 , lo cual indica una disminución significativa en el suelo afectado clasificándose como bajo en la CIC. La reducción de la materia orgánica en un incendio se traduce como el descenso de la capacidad de intercambio catiónico, de tal forma que en parte de los cationes liberados no puede ser retenidos por el contenido de las arcillas negativas y la materia orgánica, además de que se exponen más fácilmente a la lixiviación en la profundidad del suelo y/o arrastre por las posteriores precipitaciones posibles. El resultado final del suelo es el empobrecimiento de fertilidad (La importancia de conocer la capacidad de intercambio catiónico del suelo | Finagro, s/f)

El carbono orgánico del suelo es otro de los elementos importantes, que puede

verse afectado tras los efectos del fuego implicando algunas modificaciones en su composición como la cantidad y la calidad. En incendios de baja intensidad se presentan aumentos de carbono orgánico, procedente de la materia orgánica incinerada. En el caso de los incendios de alta intensidad, el contenido de carbono orgánico tiene una reducción significativa de las capas superiores del suelo. Teniendo en cuenta lo anterior, los resultados de las muestras del suelo no afectado tuvieron un valor de 8.9754% de CO y en el suelo afectado 20.2109, esto indica que ambos suelos sufrieron un cambio drástico en su porcentaje evidenciando la posibilidad que el incendio ocurrido fue de baja intensidad ya que aumentó en el suelo afectado su porcentaje. Los frecuentes incrementos de carbono solubles después de un incendio suelen proceder de los microorganismos muertos por la solubilidad desde otros compuestos (Fernández et al., 1998; Serrasolsas y Khanna, 1995), y normalmente son los que más rápido se mineralizan; por tal razón, se observan incrementos efímeros de la actividad microbiana (Almendros et al., 1990; Fernández et al., 1997) citado de (Solera J., 2007).

La materia orgánica es un componente fundamental del suelo debido a las diferentes funciones que tiene, como la característica de ayudar a la diversidad biológica y mejorar la calidad del suelo. La materia orgánica es rica en la disponibilidad de macro y micronutrientes por ello, posee la capacidad de retener nutrientes que son de utilidad para las plantas. Por otro lado, es importante mencionar que los microorganismos del suelo permiten que los restos orgánicos vegetales o animales sean transformados en compuestos orgánicos de forma mineral (Vargas A., 2017).

Según los resultados de la muestra del suelo no afectado tuvo un valor de 15.4736 % y el suelo afectado de 34.8436, estos valores demuestran el incremento

significativo de la materia orgánica presente al post-incendio, según la tabla 13 el nivel de materia orgánico es alto tras el incendio. Esto depende de la intensidad del fuego, por la razón de que la materia orgánica sufre diferentes cambios cualitativos y cuantitativos, provocando diferentes efectos en el medio ambiente.

La combustión de materia orgánica tiene un impacto negativo que contrarresta las características edáficas; Aunque la cantidad de nutrientes necesarios aumente, estos elementos suelen exponerse al arrastre de agua fácilmente debido a la pérdida de materia orgánica y la capacidad del suelo es inerte o se reduce para el almacenamiento de dichos nutrientes. Según lo anterior, este tipo de procesos alteran el equilibrio de los ciclos biológicos, porque su restauración depende del tiempo que tarda en restablecerse, está claro que estas circunstancias depende de la características específicas del suelo y sus demás componentes, como la sequedad del ecosistema producto de pérdida de la humedad del suelo ya que el fuego interfiere, y causa modificaciones en las propiedades químicas de la materia orgánica permitiendo su rápida mineralización (Solera J., 1999).

Tabla 13. Niveles de Materia Orgánica.

Niveles de MO en el suelo	
% MO suelo	Categoría
3.10 - 3.44	Límite Alto
2.50 - 3.10	Normal
2.35 - 2.50	Límite Bajo
2.00 - 2.35	Bajo
1.30 - 2.00	Medio Bajo

Fuente: (Bonta Alejandro, 2011)

La acidez intercambiable del suelo está directamente relacionada con los niveles de pH y el aluminio intercambiable, es por ello por lo que los altos niveles de

concentración de pH y aluminio intervienen en la acidez del suelo. En el caso de acidez intercambiable, los valores de ambas muestras de suelo fueron muy similares siendo de 5,5782 meq/100 g en el suelo afectado y 5,5607 meq/100 g en el suelo no afectado, significa que el suelo es ácido, por tanto, afecta la disponibilidad y asimilación de los nutrientes y a su vez la estructura del suelo (Castellanos J, S.f).

En el caso del aluminio intercambiable en la muestra del suelo afectado fue de 1,8594 meq/100 g y en el suelo no afectado se determinó que no contiene aluminio intercambiable. En suelos con pH ácido, el aluminio tiende a tener concentraciones que son tóxicas y que impiden el crecimiento, desarrollo y la absorción de Ca y Mg, por lo cual se considera que los niveles de saturación de aluminio son muy altos y tóxicos para las plantas. Sin embargo, según los datos de la tabla 12 las cifras son menores 2% en aluminio y acidez intercambiable, lo cual indica que es muy bajo, describe que los valores <15% no tienen ningún problema en general siendo un suelo más propicio para el desarrollo de las plantas que pueden soportar mayor diversidad de especies vegetales, ya que un suelo con altos niveles de aluminio es tóxico para las raíces de las plantas y dificultar la absorción de nutrientes (Vargas A., 2024).

5.2.3. ANÁLISIS BIOLÓGICOS

Los incendios forestales afectan significativamente los procesos biológicos debido a sus efectos en las propiedades del suelo. Los hongos, además de los actinomicetos y las bacterias, desempeñan un papel muy importante en la descomposición de los residuos orgánicos y, por tanto, en los ciclos de nutrientes, así mismo son necesarios para identificar su disponibilidad para las plantas. Los microorganismos absorben nutrientes de manera más eficiente y retienen algunos

nutrientes para su propia síntesis física para que gradualmente esté disponible para las plantas. También influyen en la formación de agregados en el suelo (Mataix Solera Jorge, 1999b).

Un ecosistema forestal, rico en vegetación y especies, se enfrenta a serios problemas cuando sufre incendios. La zona de estudio, impactada por el incendio forestal, perdió hectáreas de vegetación y especies nativas, ante esta situación, se realizó un diagnóstico de los microorganismos del suelo afectado y no afectado para evaluar los efectos de los incendios y reconocer su importancia como indicadores de la salud del suelo mediante la comparación de los resultados de ambos suelos.

Tabla 14. Resultados de los análisis biológicos.

PROPIEDADES BIOLÓGICAS			
NOMBRE CIENTIFICO	POBLACIÓN		MÉTODO ANÁLITICO
	Suelo Afectado	Suelo no Afectado	
Bacterias Mesófilas Aerobias	42x10 ⁴ UFC/g	20x10 ⁵ UFC/g	LBC 195
Pseudomonas spp	20 UFC/g	13x10 ² UFC/g	LBC 195
Levaduras	<10 UFC/g	<10 UFC/g	LBC 195
Trichoderma spp	2x10 ² UFC/g	4x10 ³ UFC/g	LBC 195
Penicillium spp	3x10 ³ UFC/g	2x10 ⁴ UFC/g	LBC 195
Aspergillus spp	2x10 ⁴ UFC/g	2x10 ³ UFC/g	LBC 195
Mucor spp	4x10 ² UFC/g	1x10 ⁴ UFC/g	LBC 195
Fusarium spp	N/a	3x10 ² UFC/g	LBC 195
Gongronella spp	N/a	2x10 ⁴ UFC/g	LBC 195
Paecilomyces spp	1x10 ² UFC/g	N/a	LBC 195
Aspergillus sp2	2x10 ² UFC/g	N/a	LBC 195

Fuente: Laboratorio BiaLab S.A.S.

Para identificar los beneficios o por el contrario los efectos negativos a la microbiota presente en el suelo por el incendio forestal, se realizó una clasificación de estas para determinar los organismos fitopatógenos y los no fitopatógenos.

Tabla 15. Clasificación de la microbiota presente en el sector Menzuly.

ORGANISMOS FITOPATÓGENOS	ORGANISMOS NO FITOPATÓGENOS
Fusarium spp	Bacterias Mesófilas Aerobias
	Pseudomonas spp
	Levaduras
	Trichoderma spp
	Penicillium spp
	Aspergillus spp
	Mucor spp
	Gongronella spp
	Paecilomyces spp
	Aspergillus sp2

Fuente: Autores.

De los organismos presentados podemos resaltar al *Fusarium spp*, que es un tipo de hongo que ataca las raíces y base del tronco del árbol, provocando deficiencia nutricional y provocando marchitez, pérdida de hojas y reducción del rendimiento en la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas (Buechel, 2018). Por el contrario los organismos no fitopatógenos traen diversos beneficios como la mejora en la estructura del suelo, procesos de biorremediación, así como papeles vitales en los ciclos biogeoquímicos y en general al desarrollo de la planta.

De acuerdo con la tabla 14, se pueden observar aumentos en organismos específicos, como lo son el *Aspergillus spp* y el *Paecilomyces spp* en la zona afectada en comparación con la no afectada, el hongo *Aspergillus* el cual al ser un microorganismo amilolítico tiene la función de descomponer el almidón en azúcares mediante la producción de enzimas amilasas, por lo cual está directamente relacionado con el ciclo del carbono debido a que estos microorganismos brindan sustratos amiláceos del material vegetal presente convirtiéndolo en una fuente de reserva energética para la plantas del cual también permiten descomponer más

rápido la celulosa y activen la estimulación en la actividad amilolítica (Beltrán Pineda & Lizarazo-Forero, 2014).

De acuerdo con esto es coherente que exista una mayor población de estos microorganismos en el suelo afectado respecto del no afectado, así mismo, la actividad amilolítica de descomposición reconoce la influencia que tiene el ciclo del carbono, esto afirma y explica el aumento del carbono orgánico, por ende, de la materia orgánica en el suelo afectado respecto del no afectado evidenciado un cambio significativo en sus cifras (Martínez et al., 2005).

Las propiedades químicas intervienen fuertemente en las funciones de los microorganismos, la mayor parte de estas poblaciones son dependientes del comportamiento del pH, éste puede afectar el contenido y la absorción de nutrientes, así mismo la actividad enzimática, la reproducción y descomposición de estos microorganismos, especialmente los hongos. Según la tabla 14, se encontró una mayor cantidad de el microorganismo *Paecilomyces* en el suelo afectado, teniendo en cuenta algunos estudios la abundancia de estas especies en el suelo se atribuye al pH ácido cuyos valores sean <5 , por lo tanto, el pH del suelo afectado favoreció la presencia de esta especie (Casadiego María Camila, 2011).

La alteración de los entornos debido a los incendios forestales puede tener impactos inmediatos y a largo plazo en los microorganismos del suelo y los servicios que brindan. La transferencia de calor a través de la superficie del suelo es el principal factor que determina la intensidad de la quema de biomasa vegetal y microbiana. El fuego puede afectar a las comunidades microbianas a través de cambios directos e indirectos en el entorno del suelo, dónde el aumento de la temperatura del suelo durante un incendio puede provocar mortalidad bacteriana inducida por el calor, principalmente a corto plazo. Tanto factores directos como indirectos interactúan

entre sí, y la intensidad del incendio determina el grado de impacto sobre los microorganismos del suelo (Singh et al., 2017).

Aunque la mayoría de los organismos microbiológicos evaluados disminuyeron en el suelo afectado, ninguno de ellos presentó diferencia significativa con el suelo no afectado (Tabla 14). En este sentido, la disminución observada puede ser la respuesta al efecto directo de un incendio de baja intensidad, como también puede deberse al tiempo que transcurrió después de la quema (dos meses), así como a condiciones generadas por el incendio forestal, como variaciones en su pH, clima, disponibilidad de nutrientes, etc.

5.3. FASE 3: PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y RESTAURACIÓN

Para plantear las medidas de mitigación y restauración del sector Menzuly finca Paramita primero se deben comprender los impactos directos que está experimentando el ecosistema. Según Laura Victoria Campos, profesora de biología de la Universidad La Salle: “La quema de la capa orgánica destruirá directamente la composición básica del suelo, provocando la pérdida de nutrientes esenciales. La falta de vegetación deja el suelo expuesto a los efectos adversos del viento y la lluvia, aumentando considerablemente la susceptibilidad de estos ecosistemas a la erosión. Este fenómeno resalta la importancia de la restauración ecológica como medida clave para mitigar esos impactos negativos en los ecosistemas" (¿Cómo recuperar los territorios después de un incendio forestal?, s/f).

Para esto se realizó un plan a corto, mediano y largo plazo con el fin de la recuperación de la biodiversidad, la protección del suelo y restaurar los servicios ecosistémicos. (González Serafín et al., 2018)

5.3.1. CORTO PLAZO (0-6 MESES)

Todas las propuestas a corto plazo se llevaron a cabo durante el período de tiempo en el que se desarrolló el trabajo de grado.

5.3.1.1 EVALUACIÓN INICIAL

Se realizan diagnósticos posteriores al incendio para evaluar el alcance de los daños, la pérdida de biodiversidad y la contaminación del suelo e identificar especies nativas afectadas y animales que puedan estar en riesgo.

5.3.1.2 MONITOREO DE LA SALUD DEL SUELO

Se realizaron pruebas fisicoquímicas y microbiológicas en el suelo para determinar su calidad y la presencia de contaminantes. Si es necesario, se comienza a tratar el suelo mediante enmienda o tratamiento biológico.

5.3.1.3 CONCIENCIA Y EDUCACIÓN

Se realizan campañas de concientización sobre la importancia de la restauración de ecosistemas y la participación comunitaria en los esfuerzos de restauración.

5.3.2. MEDIANO PLAZO (6 MESES – 2 AÑOS)

De las propuestas mencionadas a mediano plazo solo la Repoblación Forestal y un primer monitoreo el cual fue 3 meses después de dicha reforestación se llevó a cabo, las demás son un plan de restauración a implementar en la zona afectada.

5.3.2.1 REPOBLACIÓN FORESTAL

Se planifican e implementan campañas de reforestación utilizando especies nativas adaptadas a ecosistemas de bosque seco, priorizando especies arbóreas perennes y tolerantes al estrés. Establecer viveros comunitarios para cultivar plántulas locales.

En este caso, se planteó una reforestación inicial en la zona de Menzuly, finca la Paramita en el mes de mayo; inicialmente se desarrolló un curso básico como capacitación para la restauración ecológica de ecosistemas afectados por daños ambientales en Santander (evidencia en el Apéndice A), para las personas interesadas en el tema y brindar su apoyo en la actividad de siembra, obteniendo los conocimientos para restaurar adecuadamente el bosque tras el incendio.

El docente Crithian Cacua dictó este curso básico donde expuso especies de plantas que benefician el ecosistema frente a este evento forestal, con la finalidad de llevar a cabo la actividad, con la colaboración de la organización Bosque de letras junto a los seminarios Gamas y Ecos de las Unidades Tecnológicas de Santander; así como la colaboración de docentes de otras universidades, como la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB); y estudiantes interesados en la problemática; se sembraron aproximadamente 100 especies de plantas, en las cuales están incluidas:

Tabla 16. Lista de las especies sembradas.

Nombre común	Nombre científico	Cantidad
Matarratón	<i>Gliricida sepium</i>	15
Carbonero	<i>Callandra pittieri</i>	9
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	1
Yarumo	<i>Cecropia peltata</i>	1
Guacimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	20
Gaque	<i>Clusia elatta</i>	1
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	9
Hobo	<i>Spondias mombi</i>	5
Gualanday	<i>Jacaranda caucana</i>	10
Cucharo	<i>Myrsine guianensis</i>	9
Otros	No se identificaron	20

Fuente: Autores.

Figura 7. Reforestación en el sector Menzuly, finca Paramita



Fuente: Autores.

Figura 8. Reforestación inicial en el sector Menzuly.



Fuente: Autores.

5.3.2.2 RECONSTRUIR

Se implementan medidas para proteger la vida silvestre afectada, como limpiar el hábitat e instalar sistemas de riego y alimentación para facilitar el regreso de la vida silvestre. Así como la promoción de la conectividad ecológica mediante la restauración de corredores biológicos.

5.3.2.3 MONITOREO CONTINUO

Desarrollar un programa para monitorear la regeneración de la vegetación y la recuperación de la fauna, incluyendo observaciones periódicas y ajustes si son necesarios a las estrategias identificadas.

Dos meses después se realizó una supervisión de la zona para verificar que las plantas sembradas hubieran ayudado en esta restauración, en donde se hallaron resultados favorables, ya que, de las plantas totales sembradas, solo 3 plantas de las 100 sembradas en total se hallaron muertas, es decir, el 3%.

Figura 9. Supervisión del sector Menzuly, finca la Paramita.



Fuente: Autores.

Figura 10. Supervisión del sector Menzuly, finca la Paramita.



Fuente: Autores.

5.3.2.4 GESTIÓN SOSTENIBLE

Promover prácticas sostenibles de gestión de recursos naturales en las comunidades locales para reducir el riesgo de futuros incendios forestales.

5.3.3. LARGO PLAZO (2-5 AÑOS O MÁS)

Todas las propuestas mencionadas a largo plazo son medidas a implementar conforme avance el tiempo y se puedan supervisar los cambios en la zona afectada.

5.3.3.1 RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

Continuar plantando especies nativas y promover la continuidad de los ecosistemas naturales. Monitorear el estado de la biodiversidad y los ecosistemas para ajustar las estrategias en función de las mejoras observadas.

5.3.3.2 CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA Y EDUCACIÓN ECOLÓGICA

Establecer programas de educación ambiental para el público para aumentar la comprensión y apreciación de los bosques secos y la importancia de la conservación de la biodiversidad.

5.3.3.3 ESTABLECER ÁREAS PROTEGIDAS O RESERVAS PARA PRESERVAR LAS ÁREAS RESTAURADAS Y MINIMIZAR LA PERTURBACIÓN HUMANA. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Fomentar la colaboración con universidades y organizaciones de investigación para monitorear el progreso y realizar investigaciones que contribuyan a mejorar el conocimiento sobre la restauración de los ecosistemas de bosque seco.

5.3.3.4 PLANIFICACIÓN URBANA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Involucrar a la comunidad en la planificación sostenible del uso de la tierra y desarrollar un plan de planificación del uso de la tierra que tenga en cuenta la protección de los ecosistemas locales y la reducción del riesgo de incendios.

6. CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica identificó parámetros clave del suelo asociados a condiciones de incendios forestales. Estos parámetros físicos, químicos y biológicos son los indicadores de la calidad del suelo que permitieron establecer la comparación en ambos suelos.

El plan de muestreo en la finca la Paramita permitió la caracterización de las propiedades del suelo para analizar los resultados cuantificables y cualificables. El método sistemático usado (zigzag) integró información representativa del área total de estudio que garantizó la efectividad en los resultados. El incendio afectó negativamente la calidad del suelo en términos de pérdida de materia orgánica, afectación de la estructura, cambios en el color, y reducción de la porosidad, también en la textura del suelo, la capacidad de retención de agua y la composición de nutrientes. Estos factores son importantes para comprender el impacto de los incendios forestales en la función del suelo, especialmente en el área de Menzuly, finca La Paramita, donde el incendio alteró significativamente las propiedades del suelo.

Estos cambios impactaron negativamente la disponibilidad de nutrientes y la salud biológica del suelo, afectando así la recuperación de la vegetación y la biodiversidad en el área, obteniendo como resultado una menor población microbiana en el área afectada en comparación con la no afectada.

Es importante aclarar que los efectos del incendio forestal en el suelo estuvieron relacionados al comportamiento del fuego, la intensidad, altas temperaturas y la topografía, condiciones que influenciaron a la degradación del suelo. En este caso, el incendio ocurrido estuvo asociado a las condiciones climáticas, debido a que, este

evento se presentó en plena temporada seca y de altas temperaturas, en la temporada del “Fenómeno del niño”.

Con base en estos hallazgos, se establecieron medidas de mitigación y restauración para recuperación del suelo en el área de Menzuly. Estas incluyeron la revegetación utilizando especies de árboles nativos resistentes al fuego, la aplicación de fertilizantes orgánicos para mejorar la calidad del suelo y la implementación de medidas de manejo sostenible para prevenir futuros incendios forestales. Estas acciones apuntan no sólo a restaurar las propiedades del suelo sino también a asegurar la sostenibilidad ambiental a largo plazo del área Menzuly, finca La Paramita.

En general, el estudio proporcionó una evaluación del alcance del daño al ecosistema, lo que ayuda a comprender el impacto a largo plazo en la calidad del suelo, la fertilidad y su capacidad para sustentar la vegetación, del mismo modo que genera conciencia sobre la fragilidad del suelo y el impacto directo al ecosistema, fauna y flora del sector. Esto es importante a la hora de la promoción e implementación de estrategias y/o prácticas de prevención y mitigación de incendios, destacando la importancia de un enfoque integrado que incluya tanto la restauración del suelo como la prevención de futuros incendios forestales. Al igual que conocimientos para futuros proyectos o artículos de investigación, obteniendo información detallada de cómo los incendios afectan los bosques secos y la magnitud de los efectos negativos generados en la composición del suelo, al igual que permite realizar comparaciones científicas basadas en resultados relacionados a los objetivos y a los datos verificables de los análisis.

7. RECOMENDACIONES

- Respecto al plan de muestreo, es importante ejecutarlo reciente al incendio forestal generado, ya que las condiciones del suelo pueden modificar los parámetros físicos, químicos y biológicos, debido a que el suelo es un componente dinámico; a su vez puede verse afectado por otros componentes como las altas temperaturas, el arrastre, lavado o escorrentía de materiales o nutrientes del suelo que son esenciales para analizar las propiedades químicas del suelo, en este caso, se tomaron las muestras luego de 3 meses del incendio, por lo cual se pudo notar algunas alteraciones en los resultados.
- Para la recolección de muestras de suelo, es importante evitar realizar el muestreo durante temporadas y condiciones no recomendadas como, por ejemplo, (invierno, agua libre, lluvias) debido a que pueden ocurrir alteraciones en los valores de análisis de suelos que no correspondan con los resultados esperados y posteriormente afecten la determinación del estudio previo.
- Una vez recolectada la muestra es importante enviarla al laboratorio con la mayor brevedad posible, en caso de no hacerlo, se debe mantener en conservación con condiciones de temperatura adecuadas, si es posible en un recipiente que brinde la protección de luz y calor hasta la entrega al laboratorio, para evitar la desviación de los resultados.
- Es fundamental implementar estrategias de sensibilización y concientización dirigidas a las instituciones educativas y las zonas rurales con el fin de informar sobre los efectos perjudiciales de la quema a campo abierto no controlada. Esta práctica representa un problema significativo tanto para el

medio ambiente como para la salud humana. Actualmente, se observa una falta de programas gubernamentales que aborden la problemática de las quemas tradicionales, a pesar de que la intervención humana es un factor determinante en la realización de estas quemas, que a su vez agravan el daño ambiental. Sin una acción inmediata, es probable que estas actividades continúen perjudicando el entorno. Por lo tanto, es imperativo actuar en el corto plazo para evitar consecuencias más graves en el futuro.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armenteras, D., González, T. M., Vargas Ríos, O., Meza Elizalde, M. C., & Oliveras, I. (2020). Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. *Caldasía*, 42(1), 1–16. <https://doi.org/10.15446/CALDASIA.V42N1.77353>
- Barría P., R. M., & Barría P., R. M. (2019). Los incendios forestales como una problemática de salud pública: un ámbito para la enfermería en desastres. *Investigación y Educación en Enfermería*, 37(3), 1–4. <https://doi.org/10.17533/UDEA.IEE.V37N3E01>
- Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., & García, C. (2008). Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma*, 147(3–4), 159–171. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2008.08.007>
- Beltrán Pineda, M. E., & Lizarazo-Forero, L. M. (2014). Grupos Funcionales de Microorganismos en Suelos de Páramo Perturbados por Incendios Forestales. *Revista de Ciencias*, 17(2), 121–136. <https://doi.org/10.25100/RC.V17I2.490>
- Bonta Alejandro. (2011). *Interpretación de Análisis de Suelos | PDF | Suelo*. <https://es.scribd.com/document/748600872/ANALISIS-SUELOS-1>
- Buechel. (2018). *Perfil de las enfermedades radiculares: Fusarium | PT Growers and Consumers*. <https://www.pthorticulture.com/es-us/centro-de-formacion/perfil-de-las-enfermedades-radiculares-fusarium>
- Casadiago María Camila. (2011). *EFFECTO DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA SOBRE HONGOS EDÁFICOS*.
- Colombia: al menos 437 incendios diarios se presentaron en los bosques durante enero – Federación Nacional de Industriales de la Madera. (s/f). Recuperado el 10 de agosto de 2024, de <https://fedemaderas.org.co/colombia-al-menos-437-incendios-diarios-se-presentaron-en-los-bosques-durante-enero/>
- ¿Cómo recuperar los territorios después de un incendio forestal? (2024). <https://www.lasalle.edu.co/Noticias/Hablemosde/uls/Como-recuperar-los-territorios-despues-de-un-incendio-forestal>
- Cruz, A. B., Etchevers Barra, J., Del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). *La calidad del suelo y sus indicadores*. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>

- DONCEL UNANUA ANA J, IÑIGUEZ HERRERO JAIME, & VAL LEGAZ ROSA. (1996). *Relación del contenido de boro soluble con distintos parámetros edáficos y ambientales en suelos de Navarra*. <https://www.aranzadi.eus/fileadmin/docs/Munibe/1996021038CN.pdf>
- El Problema de la Salinidad de los Suelos Introducción*. (s/f).
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*.
- FAO. (2024a). *Evaluación de los Indicadores Globales de la Salud del Suelo*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/evaluacion-de-los-indicadores-globales-de-la-salud-del-suelo/es/>
- FAO. (2024b). *Gestión forestal sostenible | FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/sustainable-forests-management/es/>
- FAO. (2024c). *PERMEABILIDAD DEL SUELO*. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm
- FAO. (2024d). *Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO. (2024e). *Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- FEDEMADERAS. (2024). *Prevención de Incendios Forestales: una responsabilidad compartida – #salvandobosques – Federación Nacional de Industriales de la Madera*. <https://fedemaderas.org.co/prevencion-de-incendios-forestales-una-responsabilidad-compartida-salvandobosques/>
- Flores Delgadillo Lourdes, Alcalá Martínez Jorge, & De Geología, I. (2010). *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO*.
- García Rivera H., Velásquez Serrano E., & Gómez Pinto M. (2021). *Incorporación del Escenario del Riesgo por Incendios de Cobertura Vegetal, en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de la Ciudad de Bucaramanga, Santander*. https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/3322/1/Incorporacion_Escenario_Riesgo_Incendios_Cobertura_Vegetal_Plan_Municipal_Gestion_Riesgo_Ciudad_Bucaramanga_Santander.pdf

- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125–138.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Garnica F. José Germán. (2021). Antecedentes y perspectivas de la investigación en incendios forestales en el INIFAP. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(SPE1), 91–119.
<https://doi.org/10.29298/RMCF.V12IESPECIAL-1.981>
- Garrido Jarif J., & Licona María M. (2017). *CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS DEL DISTRITO DE RIEGO DEL MUNICIPIO DE REPELÓN, ATLÁNTICO*.
- Gil Mora Juan. (2020). *Vista de INCENDIOS FORESTALES: causas e impactos*.
<https://revistas.unsaac.edu.pe/index.php/anto/article/view/866/1066>
- Gómez Iván, Departamento de Boyacá Agrología, S., & Bogotá DC. (2005). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Tomo I*.
- González Serafín, Martín Ángela, Carballas Tarsy, & Díaz Montserrat. (2018). *GUÍA DE ACTUACIONES EN UNA ZONA QUEMADA*. www.andavira.com
- Google Maps. (2024). *Google Maps*.
https://www.google.com/maps/@7.0306895,-73.0750994,1437m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MDgyMS4wLWlKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- Grand Alfred, & Michel Vicent. (2020). *MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO*.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.002>
- IGAC. (2021). *DESCRIPCIÓN Y MUESTREO DE SUELOS Código: IN-GAG-PC05-05*.
- INIA. (s/f). *Recomendaciones para un adecuado muestreo de suelos*. Recuperado el 11 de agosto de 2024, de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12404/1/Ficha-tecnica-41.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, A. y P. | G. (2023). *Análisis físico - químicos y microbiológicos del suelo*.
<https://www.gob.mx/inifap/articulos/analisis-fisico-quimicos-y-microbiologicos-del-suelo?idiom=es>

- Jiménez-Morillo, N. T., Almendros, G., De la Rosa, J. M., Jordán, A., Zavala, L. M., Granged, A. J. P., & González-Pérez, J. A. (2020). Effect of a wildfire and of post-fire restoration actions in the organic matter structure in soil fractions. *Science of The Total Environment*, 728, 138715. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.138715>
- Justiniano, T. A., & Navarro Sánchez, G. (2023). ACTA NOVA Impact of wildfires on the natural state of affected soils in Chiquitanía (Santa Cruz, Bolivia) and proposal of indexes for their assessment. *ACTA NOVA*, 11, 1683–0768. <https://doi.org/10.35319/acta-nova.202312>
- La importancia de conocer la capacidad de intercambio catiónico del suelo | Finagro.* (s/f). Recuperado el 10 de agosto de 2024, de <https://www.finagro.com.co/noticias/importancia-conocer-capacidad-intercambio-cationico-del-suelo>
- Luna, C. V, Laura Fontana, M., Bernardo Kurtz, D., & Isabel Saucedo, G. (2022). *ESTADO DE SITUACIÓN DE DAÑOS POR INCENDIOS FORESTALES REGISTRADOS EN ARGENTINA STATE OF THE SITUATION OF DAMAGES DUE TO FOREST FIRES REGISTERED IN ARGENTINA*. 1.
- Martínez, O., Valenzuela, E., & Godoy, R. (2005). HONGOS AISLADOS DESDE SUELOS DE BOSQUES DE ARAUCARIA-NOTHOFAGUS DESPUES DE UN INCENDIO EN EL PARQUE NACIONAL TOLHUACA. *Boletín Micológico*, 20. <https://doi.org/10.22370/BOLMICOL.2005.20.0.268>
- Mataix Jorge, & Guerrero César. (2007). *Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas.* https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Mataix-Solera/publication/229187257_Efectos_de_los_incendios_forestales_en_las_propiedades_edaficas/links/0fcfd500835635e07c000000/Efectos-de-los-incendios-forestales-en-las-propiedades-edaficas.pdf
- Mataix Solera Jorge. (1999a). *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración.*
- Mataix Solera Jorge. (1999b). *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales: contribución a su conservación y regeneración.* https://www.researchgate.net/publication/39674533_Alteraciones_fisicas_

quimicas_y_biologicas_en_suelos_afectados_por_incendios_forestales_c
ontribucion_a_su_conservacion_y_regeneracion

- Mendoza C. Uriel, & López C. Alejandra. (2023). *Análisis comparativo de índices de vegetación y transformaciones de Tasseled Cap en zonas afectadas por incendios forestales en las sierras templadas de México, 2021-2023*. <https://www.centrogeo.org.mx/archivo/archivo-oferta-academica/academica-posgrado/posgrado-maestria-ciencias-informacion-geoespacial/posgrado-maes-cig-percepcion-remota-trabajos/3344-analisis-comparativo-indices-vegetacion-transformaciones-tasseled-cap-zonas-afectadas-incendios-forestales-sierras-templadas-mexico-2021-2023/file>
- Mendoza, R. B., & Espinoza, A. (2017). *Guía Técnica para Muestreo de Suelos ASA AGUA Y SUELO PARA LA AGRICULTURA*.
- MINAMBIENTE. (2024a). *747 municipios en el país en alerta por amenaza de incendios forestales* -. <https://www.minambiente.gov.co/747-municipios-en-el-pais-en-alerta-por-amenaza-de-incendios-forestales/>
- MINAMBIENTE. (2024b). *Bosque Seco Tropical* -. <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/bosque-seco-tropical/>
- MINAMBIENTE. (2024c). *Restauración* -. <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/restauracion-2/>
- Molina Eloy. (2024). *ANÁLISIS DE SUELOS Y SU INTERPRETACIÓN*. www.aminogrowinternacional.com
- Nasi R., Dennis R., Meijaard E., Applegate G., & Moore P. (2001). *Los incendios forestales y la diversidad biológica*. <https://www.fao.org/4/y3582s/y3582s08.htm>
- Ocampo Z. Korina, & Beltrán V. Julio. (2018). Modelación dinámica de incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá, Colombia. *Madera y bosques*, 24(3). <https://doi.org/10.21829/MYB.2018.2431662>
- Ocampo-Zuleta, K. (2019). Descriptive model of ecological restoration in areas affected by forest fires and invasion of gorse in cerros orientales, bogotá. *Acta Biologica Colombiana*, 24(1), 1–12. <https://doi.org/10.15446/ABC.V24N1.71953>
- OLARTE C. KEVIN, & CHACÓN C. LUISA. (2019). *PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA DETECCIÓN DE INCENDIOS EN*

*ÁREAS PROTEGIDAS DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER CON LA
GENERACIÓN DE ALERTAS EN TIEMPO REAL POR MEDIO DE
DRONES.*

https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7037/2019_Tesis_Luisa_Fernanda_Chacón.pdf?sequence=1&isAllowed=y

OSPINA CÉSPEDES L.C. (2017). *EFFECTO DE UN INCENDIO FORESTAL SOBRE LA MICROBIOTA DE UN SUELO DE BOSQUE SECO TROPICAL, EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA.*

<https://repository.ut.edu.co/server/api/core/bitstreams/5c463ae1-6856-4570-97ff-efd846225cbb/content>

Pausas Juli G. (2012). *Incendios forestales. Una visión desde la ecología.*

<https://books.google.com.co/books?id=i1jZDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Perea Moreira M., & García Castro W. (2024). *Propuesta para la prevención, mitigación y control de incendios forestales.*

<https://www.revistasocialfronteriza.com/ojs/index.php/rev/article/view/183/312>

Pérez Yanira. (2022). *Efectos de la ceniza procedente de los incendios forestales y/o quemas prescritas sobre las propiedades de los suelos*
Effects of ashes from wildfires and/or prescribed burns on soil properties.

PNUD. (2024). *Objetivos de Desarrollo Sostenible | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo.* <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

Pulido Fernández, M. (2014). *Indicadores de calidad del suelo en áreas de pastoreo.* <https://dehesa.unex.es:8443/handle/10662/1621>

Rangel A. Jorge L., Martínez H. Neis J., & Yonoff Z. Ronald. (2020). Respuesta de los escarabajos coprófagos (Scarabaeidae: Scarabaeinae) a la modificación del hábitat causada por un incendio forestal en la Reserva Bijibana, Atlántico-Colombia. *Revista mexicana de biodiversidad*, 91. <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2020.91.2879>

Riesgo por Incendio Forestal - IDIGER. (2024). <https://www.idiger.gov.co/rincendiof>

Rosero Cuesta J. (2013). *Vista de Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte.* <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/130/115>

Rueda Enciso L. J. (2019). *Cerros Orientales de Bogotá.*

- Sadzawka Angelica. (1999). *MANUAL DE AZUFRE EN SUELOS Y PLANTAS*.
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/2e8a5d05-1697-43a8-8b3d-d018f6314f1d/content>
- SANGUCHO KARINA, & VALLEJO NATHALY. (2020). *COMPARACIÓN DE LA REPELENCIA AL AGUA DEL SUELO DE ZONAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES, EN ANÁLISIS REALIZADOS IN SITU Y EN LABORATORIO*.
- Santofimio Geidy, Benavidez Tatiana, Leal Lady, & Carabalí Yurley. (2022). *Vista de Metodología de un análisis fisicoquímico del suelo | Innventiva*.
<https://revistas.sena.edu.co/index.php/innventiva/article/view/5258/5277>
- Sarmiento, E., Fandiño, S., & Gómez, L. (2018). Índices de calidad del suelo. Una revisión sistemática. *Ecosistemas*, 27(3), 130–139.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.1598>
- Schweizer Lassaga Susana. (2011). *MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELOS PARA DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD*.
- Singh, A. K., Kushwaha, M., Rai, A., & Singh, N. (2017). Changes in soil microbial response across year following a wildfire in tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 391, 458–468.
<https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2017.02.042>
- Síntomas Visuales de Deficiencia de Fósforo en los Cultivos | Intagri S.C.* (2024). <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/sintomas-visuales-de-deficiencia-de-fosforo-en-los-cultivos>
- Soto Soriano, & Desamparados María. (2018). *Conductividad eléctrica del suelo*.
- T. L. Roberts y J. L. Henry. (2001). *EL MUESTREO DE SUELOS: LOS BENEFICIOS DE UN BUEN TRABAJO*. [http://www.ipni.net/publication/ia-laahp.nsf/0/97F3E059E43811A0852579A300790776/\\$FILE/EI%20muestreo%20de%20suelos.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-laahp.nsf/0/97F3E059E43811A0852579A300790776/$FILE/EI%20muestreo%20de%20suelos.pdf)
- UNGRD. (2015). *Recomendaciones para la prevención antes Incendios Forestales*.
<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/recomendaciones-incendios-forestales.aspx>
- UNGRD, & MINAMBIENTE. (2023). *PLAN NACIONAL DE GESTIÓN ANTE EL FENÓMENO “EL NIÑO”*. www.gestiondelriesgo.gov.co
- Universidad de los Andes. (2021). *Análisis cronológico y de riesgo por incendios forestales en páramos y bosques altoandinos en Colombia desde los años*

70.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/cc978546-7adb-4202-acd8-825573409bf7/content>

Universidad Nacional de Colombia. (2007). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE ALTOANDINO*.

USDA. (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*.

Zuluaga R. Manuela. (2020). *RESTAURACIÓN ECOLÓGICA A SUELOS IMPACTADOS POR INCENDIOS FORESTALES ECOLOGICAL RESTORATION ON IMPACTED GROUNDS BY FOREST FIRES*.

9. APÉNDICES

Apéndice A. Certificado de finalización de curso básico de restauración ecológica de ecosistemas afectados por daños ambientales en Santander.





10. ANEXOS

Anexo A. Resultados de los análisis físicos.

PROPIEDADES FÍSICAS			
PARÁMETRO	RESULTADOS		UNIDAD DE MEDIDA
	Suelo Afectado	Suelo No Afectado	
Color	Naranja opaco	Marrón rojizo mate	Hue YR
Humedad Gravimétrica (HG)	33,45	27,805	%
Humedad Volumétrica (HV)	37,916086	34,1695645	%
Densidad Real (dr)	1,673	2,003	g/ml
Densidad Aparente (da)	1,1336	1,2289	g/ml
Porosidad Total (PT)	32,24	38,65	%
Textura	Arena francosa	Arena francosa	%

HUMEDAD GRAVIMÉTRICA:

1. Suelo Afectado:

1.1. Secado por 5 días

Peso Húmedo: 3,211 Kg

Peso Seco: 2,075 Kg

$$\%HG = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

$$\%HG = \frac{3,211 \text{ Kg} - 2,075 \text{ Kg}}{2,075 \text{ Kg}} \times 100 = 54,747\%$$

1.2. Laboratorio

Peso Húmedo: 98,282 Kg

Peso Seco: 87,6320 Kg

$$\%HG = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

$$\%HG = \frac{98,282 \text{ Kg} - 87,6320 \text{ Kg}}{87,6320 \text{ Kg}} \times 100 = 12,153\%$$

PROMEDIO DE %HG:

$$\%HG = \frac{54,747 + 12,153}{2} = 33,45\%$$

2. Suelo no Afectado:

2.1. Secado por 5 días

Peso Húmedo: 4,600 Kg

Peso Seco: 3,100 Kg

$$\%HG = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

$$\%HG = \frac{4,600 \text{ Kg} - 3,100 \text{ Kg}}{3,100 \text{ Kg}} \times 100 = 48,387\%$$

2.2. Laboratorio

Peso Húmedo: 99,802 Kg

Peso Seco: 93,0786 Kg

$$\%HG = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

$$\%HG = \frac{99,802 \text{ Kg} - 93,0786 \text{ Kg}}{93,0786 \text{ Kg}} \times 100 = 7,223\%$$

PROMEDIO DE %HG:

$$\%HG = \frac{48,387 + 7,223}{2} = 27,805\%$$

COLOR:

- 1. Suelo Afectado:** Dull Orange, Hue 5 YR 6/4
- 2. Suelo no Afectado:** Dull Reddish Brown, Hue 2.5 YR 5/3

DENSIDAD APARENTE:

1. Suelo Afectado:

Masa final (m_f): 38,701 g

Masa inicial (m_i): 27,365 g

Volumen: 10 mL

$$da = \frac{m_f - m_i}{v} = \frac{38,701\text{g} - 27,365\text{g}}{10\text{ mL}} = \mathbf{1,1336\text{ g/mL}}$$

2. Suelo no Afectado:

Masa final (m_f): 39,654 g

Masa inicial (m_i): 27,365 g

Volumen: 10 mL

$$da = \frac{m_f - m_i}{v} = \frac{39,654\text{g} - 27,365\text{g}}{10\text{ mL}} = \mathbf{1,2289\text{ g/mL}}$$

DENSIDAD REAL:

1. Suelo Afectado:

Volumen final (V_f): 36 mL

Volumen inicial (V_i): 30 mL

Masa (Peso de la muestra): 10,038 g

$$da = \frac{m}{v_f - v_i} = \frac{10,038\text{ g}}{36\text{ mL} - 30\text{ mL}} = \mathbf{1,673\text{ g/mL}}$$

2. Suelo no Afectado:

Volumen final (V_f): 35 mL

Volumen inicial (V_i): 30 mL

Masa (Peso de la muestra): 10,013 g

$$da = \frac{m}{v_f - v_i} = \frac{10,013 \text{ g}}{35 \text{ mL} - 30 \text{ mL}} = \mathbf{2,003 \text{ g/mL}}$$

POROSIDAD TOTAL:

1. Suelo Afectado:

$$\%PT = \left[1 - \frac{da}{dr} \right] \times 100 = \left[1 - \frac{1,1336 \text{ g/mL}}{1,673 \text{ g/mL}} \right] \times 100 = \mathbf{32,24\%}$$

2. Suelo no Afectado:

$$\%PT = \left[1 - \frac{da}{dr} \right] \times 100 = \left[1 - \frac{1,2289 \text{ g/mL}}{2,003 \text{ g/mL}} \right] \times 100 = \mathbf{38,65\%}$$

HUMEDAD VOLUMÉTRICA:

1. Suelo Afectado:

$$\%HV = da \times \%HG = 1,1336 \text{ g/mL} \times 33,4475\% = \mathbf{37,916\%}$$

2. Suelo no Afectado:

$$\%HV = da \times \%HG = 1,2289 \text{ g/mL} \times 27,805\% = \mathbf{34,1695\%}$$

TEXTURA:

1. Suelo Afectado:

L1= 12

L2= 1

$$\%ARENA = 100 - 2L1 = 100 - 24 = \mathbf{76\%}$$

$$\%ARCILLA = 2 \times L2 = 2 \times 1 = \mathbf{2\%}$$

$$\%LIMO = 100 - (\%Arcilla + \%Arena) = 100 - (78) = 22\%$$

Clasificación suelo: Arena Francosa

2. Suelo no Afectado:

L1= 9

L2= 3

$$\%ARENA = 100 - 2L1 = 100 - 18 = 82\%$$

$$\%ARCILLA = 2 \times L2 = 2 \times 3 = 6\%$$

$$\%LIMO = 100 - (\%Arcilla + \%Arena) = 100 - (88) = 12\%$$

Clasificación suelo: Arena Francosa

Anexo B. Resultados de los análisis químicos.

PROPIEDADES QUÍMICAS			
PARÁMETRO	RESULTADOS		UNIDAD DE MEDIDA
	Suelo Afectado	Suelo No Afectado	
Potencial de Hidrogeno	4	4,67	pH
Conductividad Eléctrica	0	0,03	μS/cm
Fósforo disponible	-15,8255	-13,6166	ppm
Azufre disponible	-43,038	-39,987	ppm
Boro disponible	No contiene	No contiene	ppm
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	0,068	11,2	meq/100g
Carbono Orgánico	20,2109	8,9754	% CO
Materia Orgánica	34,8436	15,4736	% MO
Acidez intercambiable	5,5782	5,5607	meq/100g
Aluminio Intercambiable	1,8594	No contiene	meq/100g

PONENCIAL DE HIDROGENO:

1. Suelo Afectado: pH= 4
2. Suelo no Afectado: pH= 4,67

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA:

1. **Suelo Afectado:** 0,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$
2. **Suelo no Afectado:** 0,03 $\mu\text{S}/\text{cm}$

FÓSFORO DISPONIBLE:

Curva de Calibración:

$$C1V1 = C2V2$$

$$V1 = \frac{C2V2}{C1}$$

Donde,

C1= 50 ppm

V1= ?

C2= 4 ppm

V2= 25 mL

Reemplazando:

4 ppm	2 mL
8 ppm	4 mL
12 ppm	6 mL
16 ppm	8 mL

Absorbancias de la curva de calibración:

x	y
0	0
4	0,371
8	0,769
12	0,950

16	1,132
----	-------

$$y = mx + b$$

$$ABS = m[P] \pm b$$

Donde,

$$m = 0,071075$$

$$b = 0,0758$$

Absorbancia de la muestra (ABS):

$$\text{Suelo Afectado: } -1,049$$

$$\text{Suelo no Afectado: } -0,892$$

$$\lambda = 660 \text{ nm}$$

$$ABS = 0,071075 [P] + 0,0758$$

$$[P] = \frac{Abs - b}{m}$$

1. **Suelo Afectado:** $[P] = -15,8255 \text{ ppm}$

2. **Suelo no Afectado:** $[P] = -13,6166 \text{ ppm}$

AZUFRE DISPONIBLE:

Curva de Calibración:

$$C1V1 = C2V2$$

$$V1 = \frac{C2V2}{C1}$$

Donde,

$$C1 = 100 \text{ ppm}$$

$$V1 = ?$$

$$C2 = 4 \text{ ppm}$$

$$V2 = 25 \text{ mL}$$

Reemplazando:

4 ppm	1 mL
8 ppm	2 mL
12 ppm	3 mL
16 ppm	4 mL

Absorbancias de la curva de calibración:

X	y
0	0
4	0,112
8	0,151
12	0,216
16	0,256

$$y = mx + b$$

$$ABS = m[S] \pm b$$

Donde,

$$m = 0,0154$$

$$b = 0,0238$$

Absorbancia de la muestra (ABS):

$$\text{Suelo Afectado: } -0,639$$

$$\text{Suelo no Afectado: } -0,592$$

$$\lambda = 660 \text{ nm}$$

$$ABS = 0,0154 [S] + 0,0238$$

$$[S] = \frac{Abs - b}{m}$$

1. **Suelo Afectado:** $[S] = -43,038 \text{ ppm}$

2. **Suelo no Afectado:** $[S] = -39,987 \text{ ppm}$

BORO DISPONIBLE:

Curva de Calibración:

$$C1V1 = C2V2$$

$$V1 = \frac{C2V2}{C1}$$

Donde,

C1= 5 ppm

V1= ?

C2= 0,4 ppm

V2= 25 mL

Reemplazando:

0,4 ppm	2 mL
0,8 ppm	4 mL
1,0 ppm	5 mL
1,2 ppm	6 mL
1,6 ppm	8 mL

Absorbancias de la curva de calibración:

X	Y
0	0
0,4	0,085

0,8	0,121
1,0	0,211
1,2	0,240
1,6	0,275

$$y = mx + b$$

$$ABS = m[Br] \pm b$$

Donde,

$$m = 0,17947$$

$$b = 5,7755 \times 10^{-3}$$

Absorbancia de la muestra (ABS):

Suelo Afectado: No tiene

Suelo no Afectado: No tiene

$$\lambda = 430 \text{ nm}$$

$$ABS = 0,071075 [Br] + 0,0758$$

$$[Br] = \frac{Abs - b}{m}$$

1. **Suelo Afectado:** $[Br] = \text{No tiene}$
2. **Suelo no Afectado:** $[Br] = \text{No tiene}$

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO:

1. **Suelo Afectado:**

Titulación: 3,4 mL NaOH

$$CIC = \frac{V \text{ NaOH} \times N \text{ NaOH}}{W \text{ muestra}} \times 100$$

$$CIC = \frac{3,4 \text{ mL} \times 0,1}{5 \text{ g}} \times 100 = 0,068 \text{ meq}/100\text{g}$$

Donde,

V= Volumen del NaOH

N= Normalidad del NaOH

W= Peso de la muestra

2. Suelo no Afectado:

Titulación: 5,6 mL NaOH

$$CIC = \frac{V \text{ NaOH} \times N \text{ NaOH}}{W \text{ muestra}} \times 100$$

$$CIC = \frac{5,6 \text{ mL} \times 0,1}{5 \text{ g}} \times 100 = 11,2 \text{ meq}/100\text{g}$$

Donde,

V= Volumen del NaOH

N= Normalidad del NaOH

W= Peso de la muestra

MATERIA ORGÁNICA:

Curva de Calibración:

$$C1V1 = C2V2$$

$$V1 = \frac{C2V2}{C1}$$

Donde,

C1= 50 ppm

V1= ?

C2= 1 ppm

V2= 25 mL

Reemplazando:

1 ppm	0,5 mL
2 ppm	1 mL
5 ppm	2,5 mL
10 ppm	5 mL
25 ppm	12,5 mL

Absorbancias de la curva de calibración:

x	Y
0	0
1	0,016
2	0,061
5	0,152
10	0,336
25	0,667

$$y = mx + b$$

$$ABS = m[MO] \pm b$$

Donde,

$$m = 0,0270$$

$$b = 0,01120$$

Absorbancia de la muestra (ABS):

Suelo Afectado: 2,291

Suelo no Afectado: 0,966

$$\lambda = 585 \text{ nm}$$

$$ABS = 0,0270 [MO] + 0,01120$$

$$[MO] = \frac{Abs - b}{m}$$

$$\%MO = \frac{(Lec\ ABS \pm b) \times 1,333 \times 1,724 \times 100}{(m \times Wm \times 1000)}$$

Donde,

Factor de MO al 58% de CO = 1,724

Factor de oxidación del 75% de CO = 1,333

Wm = Peso de la muestra

1. **Suelo Afectado:** $[MO] = 34,8436 \%$
2. **Suelo no Afectado:** $[MO] = 15,4736 \%$

CARBOBO ORGÁNICO:

Curva de Calibración:

$$C1V1 = C2V2$$

$$V1 = \frac{C2V2}{C1}$$

Donde,

C1= 50 ppm

V1= ?

C2= 1 ppm

V2= 25 mL

Reemplazando:

1 ppm	0,5 mL
2 ppm	1 mL
5 ppm	2,5 mL
10 ppm	5 mL

25 ppm	12,5 mL
--------	---------

Absorbancias de la curva de calibración:

x	Y
0	0
1	0,016
2	0,061
5	0,152
10	0,336
25	0,667

$$y = mx + b$$

$$ABS = m[MO] \pm b$$

Donde,

$$m = 0,0270$$

$$b = 0,01120$$

Absorbancia de la muestra (ABS):

Suelo Afectado: 2,291

Suelo no Afectado: 0,966

$$\lambda = 585 \text{ nm}$$

$$ABS = 0,0270 [CO] + 0,01120$$

$$[CO] = \frac{Abs - b}{m}$$

$$\%CO = \frac{(Lec ABS \pm b) \times 1,333 \times 100}{(m \times Wm \times 1000)}$$

Donde,

Factor de oxidación del 75% de CO = 1,333

W_m = Peso de la muestra

1. **Suelo Afectado:** $[CO] = 20,210 \%$
2. **Suelo no Afectado:** $[CO] = 8,9754 \%$

ACIDEZ INTERCAMBIABLE:

1. Suelo Afectado:

Titulación de NaOH (V_m) = 0,3 mL

Normalidad de NaOH (N) = 0,1

Peso de la muestra (W_m) = 0,5378 g

$$ACIDEZ = \frac{V_m \times N \text{ NaOH} \times 100}{W_m}$$

$$ACIDEZ = \frac{0,3 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N} \times 100}{0,5378 \text{ g}} = 5,5782 \text{ meq/100g}$$

2. Suelo no Afectado:

Titulación de NaOH = 0,3 mL

Normalidad de NaOH (N) = 0,1

Peso de la muestra (W_m) = 0,5395 g

$$ACIDEZ = \frac{V_m \times N \text{ NaOH} \times 100}{W_m}$$

$$ACIDEZ = \frac{0,3 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N} \times 100}{0,5395 \text{ g}} = 5,5607 \text{ meq/100g}$$

ALUMINIO INTERCAMBIABLE:

1. Suelo Afectado:

Titulación de HCl (V_m) = 0,1 mL

Normalidad de HCl (N) = 0,1

Peso de la muestra (W_m) = 0,5378 g

$$ALUMINIO = \frac{V_m \times N \text{ HCl} \times 100}{W_m}$$

$$ALUMINIO = \frac{0,1 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N} \times 100}{0,5378 \text{ g}} = 1,8594 \text{ meq/100g}$$

2. Suelo no Afectado:

No contiene aluminio, la muestra no viró nuevamente a color rosado, es decir, no título.

Anexo C. Resultados de los análisis microbiológicos en el suelo afectado.



INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS
INFORME DE RESULTADOS INF-MB-35787-E

CÓDIGO: BL-RE-F05
VERSION 02
Página 1 de 2

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
CLIENTE: Michel Nathalia Mejía	NIT/CC: 1005372001	CONTACTO: Michel Nathalia Mejía	CIUDAD: Bucaramanga
DIRECCIÓN: Bucaramanga	TELÉFONO: 3053469427	CORREO: natiamejia10@gmail.com	CRONOGRAMA DE MUESTREO: No registra

INFORMACIÓN DE LA TOMA DE LA MUESTRA			
REGISTRO DE RECOLECCIÓN : 7324			
SOLICITANTE: Michel Nathalia Mejía	MUESTRA TOMADA POR BIALAB: NO	RESPONSABLE: CLIENTE	SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: * La casa del bonsai menzuly
PROTOCOLO DE TOMA: * DEL CLIENTE	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA: *2024-07-23	FECHA Y HORA DE RECIBO DE LA MUESTRA: 2024-07-23, 14:52:00	TEMPERATURA DE LA TOMA *C: * 22
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: *Veanse Informes Anexos AMB- 26646	TEMPERATURA DE RECIBO *C: 24.4	FECHA DE FINALIZACIÓN DE ANÁLISIS: *Veanse Informes Anexos AMB- 26646	FECHA DE ELABORACIÓN DE INFORME: *Veanse Informes Anexos AMB- 26646
DESVIACIONES: Cava con muestras en condiciones adecuadas	OBSERVACIONES Ninguna		

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA				
MUESTRA No: MB-35787	TIPO DE MUESTRA OTRO	LOTE No aplica/No registra	CANTIDAD DE MUESTRA *2,800 g	PROVEEDOR *No aplica/No registra
FECHA DE PRODUCCIÓN * No aplica/No registra	FECHA DE VENCIMIENTO * No aplica/No registra	TIPO DE EMPAQUE Otro	MODO DE CONSERVACIÓN Ambiente	ENVASE *bolsa ziploc
CONDICIONES ESPECÍFICAS: *Ninguna		DESCRIPCIÓN: *Suelo afectado Momento de toma: *No Aplica		

Firmante digital:
Jose Orlando
Blanco Lozano
Fecha: 14/09/2024
09:46:55 -05:00



INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS
INFORME DE RESULTADOS INF-MB-35787-E

CÓDIGO: BL-RE-F05
VERSION 02
Página 2 de 2

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS
Veanse informes Anexos AMB- 26646

Revisó*

JOSE ORLANDO BLANCO LOZANO
DIRECTOR TÉCNICO DE MICROBIOLOGIA

Autorizó*

JOSE ORLANDO BLANCO LOZANO
DIRECTOR TÉCNICO DE MICROBIOLOGIA

U correspondió el valor de incertidumbre expandida con un valor de $k = 2$, con un nivel de confianza de aproximadamente (acreditado) Parámetro dentro del alcance de la acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 21-LAB-053, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017

El laboratorio otorgara conformidad bajo las siguientes reglas de decisión, para las muestras (Ítem de ensayo):
Regla 1 (Conforme): La muestra se considera conforme cuando el valor, más o menos la incertidumbre asociada, es menor o igual al límite de especificación establecido, Regla 2 (No conforme): La muestra se considera no conforme cuando el valor, más o menos la incertidumbre asociada, es mayor al límite de especificación establecido, Regla 3 (Conforme, condicional): En este caso, aunque el valor por sí mismo es menor al límite de especificación, al considerar la incertidumbre, una cola de la incertidumbre es mayor a la especificación, Regla 4 (No conforme, condicional): Similar a la Regla 3, pero en este caso, aunque el valor por sí mismo es mayor al límite de especificación, al considerar la incertidumbre, una cola de la incertidumbre es menor a la especificación, La conformidad es condicional para las reglas 3 y 4, por tanto, el cliente deberá tomar la decisión final de otorgar o no conformidad.

Estos resultados se relacionan solamente con la muestra recibida y sometida a ensayo en las instalaciones de BIALAB SAS, la cual fue entregada al Laboratorio bajo las condiciones de toma de muestra del cliente o por BIALAB en las instalaciones del cliente, según aplique. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió. Cuando el laboratorio no ha sido responsable de la etapa de toma, para el caso en que la muestra ha sido suministrada por el cliente, BIALAB SAS no se responsabiliza de la información proporcionada por el mismo, que pueda afectar a la validez de los resultados. El plazo límite para presentar observaciones a estos resultados es de 30 días posteriores a la entrega del informe, pasado este tiempo se procederá con la disposición final de la muestra (para las que no aplique disposición final inmediata). Para peticiones, quejas y solicitudes de información, comuníquese al correo electrónico informacion@biaLAB.co o a la línea telefónica 027 8244455. Sin la aprobación del laboratorio, BIALAB SAS, no se debe reproducir el informe de resultados, excepto cuando se reproduzca en su totalidad. Sin firma digital autorizada de BIALAB este informe no tendrá validez.

**hace referencia a la información del contenido del informe de resultados correspondiente a la trazabilidad de la muestra (información de toma de muestra, información de la muestra) e información del cliente

FIN DEL INFORME DE RESULTADOS

NIT: 901.007.478-4; km 3 vía Guatiquerré, Vereda Guatiquerré Lote 4, Piedecuesta, Santander; 055 4665, 315 823 9704, 315 821 9754; www.biaLAB.co



SISTEMA TÉCNICO AGRICOLA
CONTROL DE CALIDAD
FOURS
SUSIOS
RGURS

Código: SGT-F-47-026
Formato: 02
Fecha: 2024-01-26

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICO
Muestra No. AMB-26646

++Empresa:	BIALAB S.A.S.	++Fecha Muestreo:	2024-07-25
++Dirección:	Km 3 Vía Guaduas LT 4	Fecha Recepción:	2024-07-26
++Ciudad:	Pedecuela - Santander	Fecha Análisis:	2024-07-28
++Análisis:	Análisis Microbiológico en Suelo	Fecha Reporte:	2024-08-09
++Identificación:	MB-35787 - Suelo Alejado	Fecha Emisión:	2024-08-13
Caracterización:	Suelo color café	Orden Trabajo:	82670
++Otros Datos:	Suelo	++Procedencia:	PREDEQUESTA SAN
++Finca:	La Casa del Soral Meruzly	++Habitante:	Daniela Morante

RESULTADOS DEL ANALISIS

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	POBLACION	METODO ANALITICO
1	Bacterias Microfilas Aerobias	42 x 10 ⁴ UFC/g	LSC 195
2	Pseudomonas spp	20 UFC/g	LSC 195
3	Levaduras	< 10 UFC/g	LSC 195
4	Trichoderma spp	2 x 10 ⁴ 2 UFC/g	LSC 195
5	Penicillium spp	3 x 10 ⁴ 3 UFC/g	LSC 195
6	Aspergillus spp	2 x 10 ⁴ 4 UFC/g	LSC 195
7	Mucor spp	4 x 10 ⁴ 2 UFC/g	LSC 195
8	Fusarium spp	1 x 10 ⁴ 2 UFC/g	LSC 195
9	Aspergillus sp2	2 x 10 ⁴ 2 UFC/g	LSC 195

Los resultados reportados como T x 10ⁿ / (línea) están expresados en unidades viables.

OBSERVACIONES: Trichoderma spp y Fusarium spp son hongos beneficios para los cultivos, que actúan como biocontrolador. No se evidenció crecimiento de Hongos Fitopatógenos.

Prohíbese la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar un sello en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia. La información identificada con ++ corresponde a información suministrada por el cliente de la cual laboratorio Dr. Calderón Labs no se hace responsable ya que puede afectar la validez de los resultados. Lugar de Ensayo: Laboratorio Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.

Somos su mejor alternativa...

Juan Camilo Amargante
Rayado: Microbiólogo

Felipe Calderón Sáenz
Autorizado: Director Técnico, T.P. 3196

Anexo D. Resultados de los análisis microbiológicos en el suelo no afectado.



INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS
INFORME DE RESULTADOS INF-MB-35788-E

CÓDIGO: BL-RE-F05
VERSION 02
Página 1 de 2

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
CLIENTE: Michel Nathalia Mejía	NIT/CC: 1005372001	CONTACTO: Michel Nathalia Mejía	CIUDAD: Bucaramanga
DIRECCIÓN: Bucaramanga	TÉLEFONO: 3053469427	CORREO: natimejia10@gmail.com	CRONOGRAMA DE MUESTREO: No registra

INFORMACIÓN DE LA TOMA DE LA MUESTRA			
REGISTRO DE RECOLECCIÓN 7324			
SOLICITANTE: Michel Nathalia Mejía	MUESTRA TOMADA POR BIALAB: NO	RESPONSABLE: CLIENTE	SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: * La casa del bonsai menzuly
PROTOCOLO DE TOMA: * DEL CLIENTE	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA: *2024-07-23	FECHA Y HORA DE RECIBO DE LA MUESTRA: 2024-07-23, 14:52:00	TEMPERATURA DE LA TOMA °C: * 22
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: Vease informes Anexos: Muestra No. AMB- 26647	TEMPERATURA DE RECIBO °C: 24.4	FECHA DE FINALIZACIÓN DE ANÁLISIS: Vease informes Anexos: Muestra No. AMB- 26647	FECHA DE ELABORACION DE INFORME: Vease informes Anexos: Muestra No. AMB- 26647
DESVIACIONES: Cava con muestras en condiciones adecuadas	OBSERVACIONES: Ninguna		

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA				
MUESTRA No: MB-35788	TIPO DE MUESTRA: OTRO	LOTE: No aplica/No registra	CANTIDAD DE MUESTRA: *2,800 g	PROVEEDOR: *No aplica/No registra
FECHA DE PRODUCCIÓN: * No aplica/No registra	FECHA DE VENCIMIENTO: * No aplica/No registra	TIPO DE EMPAQUE: Otro	MODO DE CONSERVACIÓN: Ambiente	ENVASE: *Bolsa ziploc
CONDICIONES ESPECÍFICAS: *Ninguna		DESCRIPCIÓN: *Suelo no afectado Momento de toma: *No Aplica		

Firmante digital:
Jose Orlando
Blanco Lozano
Fecha:14/08/2024
09:47:44 -05:00




INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS
INFORME DE RESULTADOS INF-MB-35788-E

CÓDIGO: BL-RE-F05
VERSION 02
Página 2 de 2

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS
Véanse informes Anexos: Muestra No. AMB- 26647

Revisó*[†]



JOSE ORLANDO BLANCO LOZANO
DIRECTOR TECNICO DE MICROBIOLOGIA

Autorizó*[†]



JOSE ORLANDO BLANCO LOZANO
DIRECTOR TECNICO DE MICROBIOLOGIA

U corresponde al valor de Incertidumbre expandida con un valor de k = 2, con un nivel de confianza de aproximadamente (Acreditado) Parámetro dentro del alcance de la acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 21-LAB-053, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017.

El laboratorio otorga conformidad bajo las siguientes reglas de decisión, para las muestras (Ítem de ensayo):
Regla 1 (Conforme): La muestra se considera conforme cuando el valor, más o menos la incertidumbre asociada, es menor o igual al límite de especificación establecido. Regla 2 (No conforme): La muestra se considera no conforme cuando el valor, más o menos la incertidumbre asociada, es mayor al límite de especificación establecido. Regla 3 (Conforme, condicional): En este caso, aunque el valor por sí mismo es menor al límite de especificación, al considerar la incertidumbre, una cola de la incertidumbre es mayor a la especificación. Regla 4 (No conforme, condicional): Similar a la Regla 3, pero en este caso, aunque el valor por sí mismo es mayor al límite de especificación, al considerar la incertidumbre, una cola de la incertidumbre es menor a la especificación. La conformidad es condicional para las reglas 3 y 4, por tanto, el cliente deberá tomar la decisión final de otorgar o no conformidad.

Estos resultados se relacionan solamente con la muestra recibida y sometida a ensayo en las instalaciones de BIALAB SAS, la cual fue entregada al Laboratorio bajo las condiciones de toma de muestra del cliente o por BIALAB en las instalaciones del cliente, según aplique. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió. Cuando el laboratorio no ha sido responsable de la etapa de toma, para el caso en que la muestra ha sido suministrada por el cliente, BIALAB SAS no se responsabiliza de la información proporcionada por el mismo que pueda afectar a la validez de los resultados. El plazo límite para presentar observaciones a estos resultados es de 10 días posteriores a la entrega del Informe, pasado este tiempo se procederá con la disposición final de la muestra (para las que no aplique disposición final inmediata). Para peticiones, quejas y solicitudes de información, comuníquese al correo electrónico informesresultados@bialab.co o a la línea telefónica 607 6654655. Sin la aprobación del laboratorio, BIALAB SAS, no se debe reproducir el Informe de resultados, excepto cuando se reproduzca en su totalidad. Sin firma digital autorizada de BIALAB este informe no tendrá validez.

[†]Hace referencia a la información del contenido del informe de resultados correspondiente a la trazabilidad de la muestra (información de toma de muestra, información de la muestra) e información del cliente

FIN DEL INFORME DE RESULTADOS

NIT: 901.007.479-4; km 3 vía Guatiguará, Vereda Guatiguará Lote 4, Piedecuesta, Santander; 665 4665, 315 823 9704, 315 821 9754; www.bialab.co



PESTICIDA TECNICA AGRICOLA
CONTROL DE CALIDAD
FOURM
SERVICIOS
AGROS

Código: SGT-F-47-026
Versión: 02
Fecha: 2024-01-26

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICO
Muestra No. AMB-26647

++Empresa:	BIALAS S.A.S.	++Fecha Muestra:	2024-07-23
++Dirección:	Km 5 Via Guatiquera U4	Fecha Recepción:	2024-07-28
++Ciudad:	Piedecuesta - Santander	Fecha Análisis:	2024-07-28
++Análisis:	Análisis Microbiológico en Suelo	Fecha Reporte:	2024-08-09
++Identificación:	MIS-35788 - Suelo No Alredado	Fecha Emisión:	2024-08-13
Características:	Suelo color café	Orden Trabajo:	82670
++Otros Datos:	Suelo	++Procedencia:	PEDEQUESTA SAN
++Finca:	La Casa del Somal Mercury	++Remite:	Daniela Monarte

RESULTADOS DEL ANALISIS

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	POBLACION	METODO ANALITICO
1	Bacterias Mesófilas Aeróbicas	20×10^4 UFC/g	LSC 195
2	Proteobacterias spp	13×10^4 UFC/g	LSC 195
3	Levaduras	< 10 UFC/g	LSC 195
4	Trichoderma spp	4×10^4 UFC/g	LSC 195
5	Penicillium spp	2×10^4 UFC/g	LSC 195
6	Aspergillus spp	2×10^4 UFC/g	LSC 195
7	Mucor spp	1×10^4 UFC/g	LSC 195
8	Fusarium spp	3×10^4 UFC/g	LSC 195
9	Gorgonella spp	2×10^4 UFC/g	LSC 195

Los resultados reportados como 1×10^4 UFC/g se expresan en notación científica

OBSERVACIONES:	Trichoderma spp es un hongo beneficioso para los cultivos, que actúa como biocontrolador. Fusarium spp es un hongo fitopatógeno en diversos cultivos.
-----------------------	--

Prohíbase la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar un sello en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia. La información identificada con ++ corresponde a información suministrada por el cliente de la cual el laboratorio Dr. Calderón Labs no se hace responsable ya que puede afectar la validez de los resultados. Lugar de Emisión: Laboratorio Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.

Somos su mejor alternativa...

[Signature]
Jenny Camello Arcegueta
Remite: Microbiólogo

[Signature]
Felipe Calderón Sáenz
Autorizado: Director Técnico, T.P. 198