



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE
LOS SUELOS Y MESOFAUNA AFECTADOS POR LOS
INCENDIOS EN EL ECOSISTEMA HERBAZAL DEL PÁRAMO
NAVAG, CANTÓN COLTA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

ÁLVAREZ ANDINO KEVIN FERNANDO

RAMOS PILATAXI HENRRY WILIAN

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE
LOS SUELOS Y MESOFAUNA AFECTADOS POR LOS
INCENDIOS EN EL ECOSISTEMA HERBAZAL DEL PÁRAMO
NAVAG, CANTÓN COLTA.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES: ÁLVAREZ ANDINO KEVIN FERNANDO

RAMOS PILATAXI HENRRY WILIAN

DIRECTORA: Ing. MAGDY MILENI ECHEVERRIA GUADALUPE, PhD.

DIRECTORA EXTERNA: Dr. Liette Vasseur, docente en Biología y Ciencias del
Medio Ambiente en Brock University

DIRECTOR EXTERNO: PhD. Bryan McLaren profesor en Lakehead University

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Kevin Fernando Álvarez Andino & Henry Wilian Ramos Pilataxi

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Kevin Fernando Álvarez Andino & Henry Wilian Ramos Pilataxi declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de febrero de 2024



Kevin Fernando Álvarez Andino

C.I. 060454890-9






Henry Wilian Ramos Pilataxi

C.I. 060562055-8

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo; Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS SUELOS Y MESOFAUNA AFECTADOS POR LOS INCENDIOS EN EL ECOSISTEMA HERBAZAL DEL PÁRAMO NAVAG, CANTÓN COLTA**, realizado por el señor **KEVIN FERNANDO ALVAREZ ANDINO Y HENRRY WILIAN RAMOS PILATAXI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. María Fernanda Rivera Velásquez, PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		14-02-2024
Ing. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe, PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		14-02-2024
Ing. Cristina Gabriela Calderón Tapia MsC. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		14-02-2024

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo, fruto de esfuerzo y aprendizaje, en primer lugar, a Dios, fuente de fortaleza y guía en cada paso de este camino. A nuestros padres, pilares inquebrantables, cuyo amor, apoyo y sacrificio han sido nuestra mayor inspiración. A mis compañeros de carrera, cuya colaboración y compañerismo han enriquecido este proceso de crecimiento académico. Que este trabajo sea un humilde tributo a sus invaluable aportes y un testimonio de nuestro profundo agradecimiento por su constante aliento y apoyo.

Kevin & Henry

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias especialmente a la Escuela de Ciencias Químicas por formarnos como personas y futuros profesionales. A los docentes en particular a la Dra. Magdy Echeverría, Ing. Franklin Cargua, Ing. Jose Herrera que guiándonos con sus conocimientos y paciencia han colaborado y apoyado con la investigación y desarrollo de este trabajo. Deseamos expresar nuestro profundo agradecimiento al invaluable grupo de investigación GIDAC que ha sido el sostén fundamental de este proyecto. Su dedicación, conocimientos y apoyo constante han sido esenciales para superar desafíos y alcanzar metas ambiciosas. Además, queremos reconocer la colaboración inestimable de nuestros compañeros de carrera, quienes han compartido este viaje con nosotros, brindando un entorno de aprendizaje enriquecedor y una red de apoyo invaluable. La sinergia entre el grupo de investigación, compañeros y amigos ha sido un factor determinante en nuestro crecimiento personal y profesional. A todos quienes han contribuido con su esfuerzo y aliento, les extendemos nuestro sincero agradecimiento. Este logro es el resultado de la colaboración y el compromiso colectivo, y estamos agradecidos por formar parte de una comunidad tan excepcional.

Kevin & Henry

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Problema general de investigación	4
1.3. Problemas específicos de investigación	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	5
1.5. Justificación	5
1.6. Hipótesis.....	6
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de investigación.....	7
2.2. Bases teóricas.....	10
2.2.1. <i>Páramo altoandino</i>	10
2.2.2. <i>Páramos en Ecuador</i>	10
2.2.3. <i>Importancia de los páramos en Ecuador</i>	11
2.2.4. <i>Suelos de páramo</i>	11
2.2.4.1. <i>Factores de formación para los suelos de páramo</i>	12
2.2.5. <i>El fuego</i>	13
2.2.5.1. <i>Quemas prescritas o controladas</i>	14
2.2.6. <i>Incendios forestales</i>	14
2.2.7. <i>Indicadores de la calidad del suelo</i>	14
2.2.7.1. <i>Indicadores físicos</i>	14
2.2.7.2. <i>Indicadores químicos</i>	19
2.2.7.3. <i>Indicadores biológicos</i>	23
2.2.8. <i>Mesofauna edáfica</i>	23

2.2.9.	<i>Interacciones entre el suelo, la mesofauna y los incendios</i>	24
2.2.10.	<i>Grupos representativos de la mesofauna del suelo</i>	24
2.2.10.1.	<i>Los colémbolos</i>	24
2.2.10.2.	<i>Los ácaros</i>	25
2.2.10.3.	<i>Lombrices de tierra</i>	26
2.2.11.	<i>Índices de diversidad</i>	26
2.2.11.1.	<i>Riqueza específica (S)</i>	26
2.2.11.2.	<i>Índices de dominancia</i>	27
2.2.11.3.	<i>Índices de equidad</i>	27
2.2.11.4.	<i>Índices de similitud/disimilitud</i>	28
2.3.	Normativa legal	29
2.3.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador</i>	29
2.3.2.	<i>Código Orgánico Integral Penal</i>	30
2.3.3.	<i>Ley Forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre</i>	31
2.4.	Bases conceptuales	32
2.4.1.	<i>Páramo</i>	32
2.4.2.	<i>Ecosistema Herbazal del Páramo</i>	32
2.4.3.	<i>Incendios forestales</i>	33
2.4.4.	<i>Propiedades fisicoquímicas del suelo</i>	33
2.4.5.	<i>Mesofauna edáfica</i>	33
	CAPÍTULO III	34
3.	MARCO METODOLÓGICO	34
3.1.	Tipo de estudio	34
3.2.	Área de estudio	35
3.2.1.	<i>Ubicación del área de estudio</i>	35
3.3.	Población y muestra	37
3.3.1.	<i>Puntos de monitoreo</i>	37
3.3.2.	<i>Muestra</i>	38
3.4.	Método de muestreo	39
3.4.1.	<i>Muestreo de suelo y mesofauna</i>	39
3.4.1.1.	<i>Manejo de muestras</i>	40
3.5.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	40
3.5.1.	<i>Materiales</i>	40
3.5.2.	<i>Fase de campo</i>	42
3.5.3.	<i>Fase de laboratorio</i>	43
3.5.4.	<i>Índices de diversidad Alfa y Beta</i>	43
3.5.4.1.	<i>Índice de Shannon-Wiener</i>	44

3.5.4.2.	<i>Índice de Simpson</i>	44
3.5.4.3.	<i>Índice de Margalef</i>	45
3.5.4.4.	<i>Índice de similitud de Sorensen</i>	45
3.6.	Análisis estadístico	46
3.6.1.	<i>T de Student</i>	46
3.6.2.	<i>Coficiente de Pearson</i>	46
CAPÍTULO IV		47
4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	47
4.1.	Parámetros fisicoquímicos	47
4.1.1.	<i>Parámetros físicos</i>	47
4.1.2.	<i>Parámetros químicos</i>	49
4.1.2.1.	<i>pH</i>	49
4.1.2.2.	<i>Conductividad eléctrica</i>	51
4.1.2.3.	<i>Materia orgánica y carbono orgánico</i>	52
4.1.2.4.	<i>Macroelementos (N, P, K)</i>	54
4.2.	Mesofauna edáfica	55
4.2.1.	<i>Densidad de especies</i>	60
4.2.2.	<i>Distribución de la población por transecto</i>	61
4.2.3.	<i>Índices de diversidad alfa y beta</i>	64
4.3.	Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos en zonas incendiadas y bajo conservación	66
4.3.1.	<i>Comparación entre la zona incendiada y zona conservada</i>	66
4.3.2.	<i>Correlación entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y la mesofauna</i>	67
CAPÍTULO V		71
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1.	Conclusiones	71
5.2.	Recomendaciones	72
BIBLIOGRAFÍA		73
ANEXOS		82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Tipos de textura y tamaño de las partículas que constituyen el suelo.....	16
Tabla 2-2:	Evaluación del suelo según su pH.....	19
Tabla 2-3:	Calificación de los suelos de acuerdo a su conductividad eléctrica.....	20
Tabla 2-4:	Niveles críticos y las concentraciones recomendadas para el nutriente disponible nitrógeno (N).....	22
Tabla 2-5:	Niveles críticos y las concentraciones recomendadas para el nutriente disponible fósforo (P).....	22
Tabla 2-6:	Niveles críticos y las concentraciones recomendadas para el nutriente disponible potasio (K).....	22
Tabla 3-1:	Coordenadas de los transectos.....	37
Tabla 3-3:	Interpretación del índice de Shannon-Wiener.....	44
Tabla 3-4:	Interpretación del índice de Simpson.....	45
Tabla 3-5:	Interpretación de Sorensen.....	46
Tabla 3-6:	Interpretación del coeficiente de correlación.....	46
Tabla 4-1:	Propiedades físicas de los transectos conservados e incendiados del páramo Navag.....	47
Tabla 4-2:	Macroelementos de los transectos conservados e incendiados del páramo Navag.....	54
Tabla 4-3:	Composición taxonómica de mesofauna edáfica del páramo Navag, cantón Colta.....	56
Tabla 4-5:	Densidad poblacional muestreada en la zona de estudio.....	60
Tabla 4-6:	Índices de diversidad alfa y beta por transecto.....	64
Tabla 4-7:	Índice de similitud.....	64
Tabla 4-8:	Resultados prueba t-Student.....	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Triangulo de texturas.....	17
Ilustración 2-2:	Diagrama para la determinación de la textura por el tacto.....	18
Ilustración 2-3:	Colémbolos	24
Ilustración 2-4:	Ácaros	25
Ilustración 3-1:	Ubicación del cantón Colta	36
Ilustración 3-2:	Puntos de monitoreo.....	38
Ilustración 3-3:	Diseño del monolito	39
Ilustración 3-4:	Distribución de monolitos por transecto	40
Ilustración 3-5:	Metodología fase de campo.....	42
Ilustración 3-6:	Metodología fase de laboratorio.....	43
Ilustración 4-1:	Diagrama de cajas y bigotes del potencial de hidrógeno (pH).....	49
Ilustración 4-2:	Diagrama de cajas y bigotes de la conductividad eléctrica (CE)	51
Ilustración 4-3:	Diagrama de cajas y bigotes de la materia orgánica (MO)	52
Ilustración 4-4:	Diagrama de cajas y bigotes del carbono orgánico (CO).....	53
Ilustración 4-5:	Variación de mesofauna en el transecto 1	62
Ilustración 4-6:	Variación de mesofauna en el transecto 2	62
Ilustración 4-7:	Variación de mesofauna en el transecto 3	63
Ilustración 4-8:	Variación de mesofauna en el transecto 4	63
Ilustración 4-9:	Correlación de Pearson de la zona conservada	68
Ilustración 4-10:	Correlación de Pearson de la zona incendiada	69

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1	26
Ecuación 2-2	27
Ecuación 2-3	28
Ecuación 2-4	28

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** TABLA DE INDIVIDUOS POR TRANSECTO
- ANEXO B:** ÁREA DE ESTUDIO: ZONA CONSERVADA
- ANEXO C:** ÁREA DE ESTUDIO: ZONA AFECTADA POR INCENDIO
- ANEXO D:** ANÁLISIS IN SITU
- ANEXO E:** ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS
- ANEXO F:** IDENTIFICACIÓN DE LA MESOFAUNA

RESUMEN

En regiones globales, la gravedad, persistencia y temporalidad de los incendios forestales están en aumento, siendo los páramos ecuatorianos un ejemplo de este fenómeno con potenciales consecuencias en las propiedades del suelo y la biodiversidad. La investigación abordó la evaluación de las características fisicoquímicas del suelo y la mesofauna en el ecosistema Herbazal del páramo Navag, cantón Colta, específicamente en áreas afectadas por incendios en comparación con áreas conservadas. La metodología incluyó un muestreo aleatorio simple con 40 muestras totales, dividiendo la extensión superficial en dos estratos: suelo de páramo conservado y bajo incendio. Cuatro transectos de 200 metros cada uno fueron establecidos mediante el método recomendado por el programa BFST, con 10 puntos de muestreo separados por 20 metros. Se recolectaron monolitos de suelo para análisis fisicoquímico y se identificó la macrofauna a nivel de familias taxonómicas. Los resultados revelaron notables disparidades entre las zonas incendiadas y conservadas. Las áreas afectadas mostraron menor densidad aparente, mayor contenido de humedad, textura diferente, un leve aumento en el pH y disminución en los niveles de macroelementos en comparación con las zonas conservadas. La mesofauna edáfica incluyó 8 clases, 11 órdenes y 19 familias, siendo la familia Geophilidae prominente en ambas zonas, pero con una marcada diferencia en la abundancia: 22 individuos en la zona afectada por incendios frente a 308 en la zona conservada. Los índices de diversidad reflejaron una diversidad baja a media en los transectos, resaltando la homogeneidad y la dominancia de especies específicas en las zonas afectadas por incendios. En conclusión, la investigación evidenció marcadas disparidades en las propiedades fisicoquímicas del suelo y la biodiversidad entre las áreas afectadas y conservadas.

Palabras clave: <INCENDIOS FORESTALES>, <PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO>, <MESOFAUNA EDÁFICA>, <ECOSISTEMA HERBAZAL DE PARAMO>.

0314-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

In global regions, the gravity, persistence, and temporality of forest fires are increasing. Being the Ecuadorian moorlands an example of this phenomenon with potential consequences on soil properties and biodiversity. The research addressed the evaluation of the physicochemical characteristics of the soil and mesofauna at *the Herbazal* ecosystem in *Navag* moorland in Colta town, specifically in areas affected by fires compared to conserved areas. The methodology included a simple random sampling with 40 total samples, dividing the surface extension into two strata: conserved moorland soil and soil under fire. Four transects of 200 meters each were established using the method recommended by the BFST program with 10 sampling points separated by 20 meters. Soil monoliths were collected for physicochemical analysis, and macrofauna were identified at the taxonomic family level. The results revealed notable disparities between burned and preserved areas. The affected areas showed lower bulk density, higher moisture content, different textures, a slight increase in pH, and decreased microelement levels compared to the conserved areas. Edaphic mesofauna included 8 classes, 11 orders, and 19 families, the *Geophilidae* family is prominent in both areas. However, it has a marked difference in abundance: 22 individuals in the fire-affected area versus 308 in the conserved area. Diversity indices reflected low to medium diversity in the transects, highlighting the homogeneity and dominance of specific species in the fire-affected zones. In conclusion, the research showed marked disparities in soil physicochemical properties and biodiversity between the affected and conserved areas.

Keywords: <FOREST FIRES>, <PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THE SOIL>, <EDAPHIC MESOFAUNA>, <PARAMO HERBAL ECOSYSTEM>



Ing. Romel Francisco Calles Jiménez

0603877713

INTRODUCCIÓN

Los incendios tanto de origen natural como antrópico son un fenómeno global que afecta a diversos ecosistemas terrestres, incluyendo los páramos. Estos eventos no solo han incrementado su incidencia en los últimos años, sino que también han demostrado su capacidad para provocar alteraciones significativas en estos ecosistemas (García Pausas, 2012, p.12).

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de analizar los efectos de los incendios en los páramos, con un enfoque particular en el páramo Navag. Estos ecosistemas desempeñan un papel fundamental en la regulación de los recursos hídricos, la conservación de la biodiversidad y el sustento de comunidades locales (Villacís et al, 2022, pp. 1-8). Sin embargo, la falta de estudios detallados sobre la respuesta de los suelos y la mesofauna a los incendios en estos entornos limita la capacidad de tomar decisiones informadas para su conservación y restauración (Life, 2019). Por lo tanto, se justifica la necesidad de abordar esta brecha de conocimiento y proporcionar una base científica sólida para futuras acciones de conservación y restauración en los páramos de la provincia de Chimborazo.

En este contexto, el objetivo principal de este estudio es evaluar las propiedades fisicoquímicas de los suelos y la mesofauna en los páramos afectados por incendios en el ecosistema herbazal del páramo Navag, Cantón Colta, Ecuador. Para alcanzar este objetivo, se emplea una metodología combinada que incluye enfoques documentales, trabajo de campo y análisis de laboratorio. Las muestras se recolectaron tanto en áreas afectadas por incendios como en áreas bajo conservación, utilizando técnicas estandarizadas de recolección de datos y análisis. Las propiedades fisicoquímicas del suelo se analizaron en el laboratorio mediante métodos específicos, mientras que la mesofauna se identificó y cuantificó utilizando técnicas taxonómicas adecuadas.

Este estudio es crucial para la sociedad, ya que contribuye al conocimiento científico en un área ambiental específica de importancia regional y nacional. Además, proporciona datos relevantes para el desarrollo de estrategias de conservación y manejo sostenible en páramos, un recurso vital para las comunidades locales que dependen de estos ecosistemas para el suministro de agua y otros servicios ecosistémicos (Roux, 2013, pp. 2-43).

La estructura de este trabajo de titulación se organiza en cinco capítulos que incluyen: Problemática, Revisión de la literatura, Metodología, Resultados y Discusión, Conclusiones y Referencias bibliográficas. La Revisión de la literatura proporciona el contexto necesario, mientras que la Metodología describe los procedimientos utilizados. Los Resultados y Discusión

presentan los hallazgos obtenidos y su análisis. Las Conclusiones resumen los resultados y sus implicaciones, y se incluyen las Referencias bibliográficas utilizadas.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El concepto de incendio forestal abarca tanto los incendios originados de forma natural como los causados por la actividad humana, que suceden en ecosistemas terrestres y se propagan a través de la vegetación, ya sea en bosques, sabanas, matorrales, praderas o humedales, en otras palabras, también se pueden denominar incendios del monte o incendios de la vegetación (García Pausas, 2012, p.7), con el transcurso del tiempo el ser humano fue tomando control del fuego y empezaron a utilizarlo para diversas actividades, tanto domesticas como de adquisición de recursos de su entorno, siendo así que dieron paso al desarrollo de la agricultura por la facilidad de quemar las superficies, dando paso a la afectación en las propiedades del suelo. (Castillo, Pedernera, & Peña, 2003, p.44) mencionan que: “El fuego desempeña un papel natural como controlador en ciertos ecosistemas, por lo que la aparición de incendios forestales en diferentes regiones del mundo se debe a condiciones climáticas y a la capacidad intrínseca de la vegetación para encenderse y propagarse, especialmente durante períodos de sequía”. Se sabe que el mundo es un entorno dinámico y cambiante, siendo así que los cambios socioeconómicos, de gestión y aprovechamiento del territorio, cambios en la densidad poblacional y cambios climáticos afectan y modifican el régimen de incendios en cualquier ecosistema del mundo.

Los incendios afectan a las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo (Martínez, 1991). La consecuencia de los incendios a grandes rasgos y en suelos de ecosistemas naturales presentan efectos perjudiciales como: la disminución de materia orgánica, impermeabilización del suelo, pérdida de fertilidad y de dinámica biológica (Life, 2019).

En Ecuador, según información proporcionada por el Ministerio del Ambiente (MAE), generalmente los incendios son causados por la intervención humana, ya que el fuego se utiliza como una herramienta para preparar tierras, cultivar, renovar pastizales y cambiar el uso del suelo, por ende, el MAE en conjunto con diferentes direcciones provinciales ejecuta planes de prevención, control y remediación de áreas afectadas por incendios (MAE, 2015). Asimismo el Servicio nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias mediante el informe de situación No. 07 de incendios forestales a escala nacional 2022 menciona que desde el primero de enero del 2022 se han registrado un total de 994 incendios, ocasionando la pérdida de 5060,94 Ha de cobertura vegetal, siendo en el mes de julio mayor evidencia de este evento debido a la época seca, en la

Provincia de Chimborazo se registraron 44 incendios representando 267.08 Ha de cobertura vegetal quemada (SNGRE, 2022, pp. 1-43).

Con base en los datos proporcionados por la Secretaría de Gestión de Riesgos del Gobierno del Ecuador, en la última década, el cantón Colta ha experimentado un total de 15 incendios que han afectado una extensión de 440 hectáreas de cobertura vegetal. Además, en la provincia de Chimborazo, se ha documentado un estimado de 52 incendios de este tipo, con una superficie quemada que asciende a 2,134 hectáreas en el mismo período (Vasco, 2021, pp. 1-16). Los últimos eventos de incendios con un grado de afectación mayor a 10 hectáreas registrados en el páramo Navag fueron en el año 2017 (SNGRE, 2017, pp. 4-5), de ahí en adelante no se han presentado eventos considerables sobre incendios en este paramo.

Tomando en consideración los antecedentes sobre incendios en la zona de estudio es necesario evaluar las alteraciones en las propiedades fisicoquímicas y mesofauna para contrastar los efectos en los suelos afectados por incendios del páramo Navag perteneciente al cantón Colta.

1.2. Problema general de investigación

¿Cuáles son las alteraciones en las propiedades fisicoquímicas y mesofauna en suelos afectados por incendios en el ecosistema herbazal del páramo Navag, cantón Colta?

1.3. Problemas específicos de investigación

- ¿Cuál es la diferencia en las propiedades fisicoquímicas de los suelos incendiados y suelos bajo conservación?
- ¿En cuánto se diferencia la presencia de mesofauna en los suelos incendiados y suelos bajo conservación?
- ¿Cuánta diferencia existe entre las propiedades fisicoquímicas y en la mesofauna edáfica entre los suelos incendiados y bajo conservación?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar las propiedades fisicoquímicas y mesofauna en los suelos afectados por los incendios en el ecosistema herbazal del páramo Navag, cantón Colta.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del páramo Navag, en zonas incendiadas y bajo conservación del cantón Colta.
- Cuantificar la población en la mesofauna edáfica, considerando los índices de diversidad alfa y beta en zonas incendiadas y bajo conservación.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos y biológicos en zonas incendiadas y bajo conservación

1.5. Justificación

El estudio de los suelos de los páramos incendiados es fundamental para analizar los efectos de los incendios en los ecosistemas de alta montaña. Los incendios pueden afectar mucho a los suelos de los páramos, pueden causar la degradación, pérdida de nutrientes y materia orgánica, y alteración de la estructura y textura del suelo (Porta et al., 2008, p. 56). Estos cambios pueden afectar la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, lo que a su vez puede tener consecuencias para la regeneración de la vegetación y la recuperación del ecosistema (Vargas Ríos, 2011, pp. 221-246). El estudio de los suelos de los páramos incendiados puede proporcionar información importante sobre las condiciones y los factores que favorecen la difusión de los incendios en estos ecosistemas, lo que puede ayudar a desarrollar estrategias y medidas preventivas para controlar el riesgo de incendios en el futuro (González y Rodríguez, 2013, pp. 285-308).

También puede ayudar a identificar áreas de mayor vulnerabilidad y priorizar esfuerzos de restauración en aquellos lugares donde la recuperación del suelo es más crítica, por otro lado, los suelos de los páramos incendiados también pueden sostener un impacto en la calidad del agua que proviene de estos ecosistemas, ya que estos sucesos pueden afectar la capacidad del suelo para filtrar y purificar el agua (Carpio et al., 2012, pp. 1-8). Esto puede tener implicaciones importantes para la salud y satisfacción de las comunidades que dependen de estos ecosistemas para el suministro de agua. Por lo tanto, el estudio de los suelos en páramos es fundamental para comprender los impactos en estos ecosistemas y para desarrollar estrategias de manejo y restauración que promuevan la recuperación y conservación del ecosistema (Roux, 2013, pp. 2-43).

El páramo Navag está ubicado en la parroquia Juan de Velasco, cantón Colta, provincia de Chimborazo, es un ecosistema montañoso de gran importancia para el ciclo hidrológico y la regulación del clima. Debido a la influencia de actividades antrópicas el páramo Navag ha sido escenario de varios sucesos que comprometen su entorno de tal modo que el suelo de su ecosistema está segmentado en dos estratos: zona intervenida y no intervenida, actualmente no hay mucha información de estudios sobre incendios ocurridos en este paramo, es por ello la

necesidad de evaluar el efecto de los incendios para determinar la alteración en las propiedades fisicoquímicas del suelo y mesofauna y ser un aporte informativo para prácticas de conservación y recuperación de este ecosistema. El presente estudio se realiza bajo el proyecto “Medios de vida como estrategia para la planificación y gestión en la Adaptación Basada en Ecosistemas PACHA” del Grupo de investigación – Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC).

1.6. Hipótesis

El suelo del ecosistema herbazal del páramo Navag en el cantón Colta, presentará alteraciones en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas (mesofauna) debido al efecto de los incendios de origen antropogénico.

El suelo del ecosistema herbazal del páramo Navag en el cantón Colta, no presentará alteraciones en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas (mesofauna) debido al efecto de los incendios de origen antropogénico.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

La quema de paramos en Ecuador es una de las actividades humanas más comunes, aun así, debido a la falta de concientización han provocado una afectación considerable en el ecosistema de los páramos, dando paso a un problema socioambiental que ha recaído en la degradación de los servicios ecosistémicos que ellos brindan, siendo así que; son una amenaza que año tras año causa perjuicios económicos, materiales y humanos incluido la flora y fauna del territorio en el que se ha producido la quema (Villacís et al, 2022, pp. 1-8).

En el estudio titulado "Cambios en las propiedades del suelo después de un incendio en el Parque Natural de Los Nevados en Colombia", realizado por Camargo et al. (2012, pp. 151-165), se señalan los impactos más severos en el suelo tras un incendio. Estos efectos incluyen la pérdida significativa de materia orgánica, así como el deterioro de otras características como la densidad aparente, la porosidad, la estructura del suelo, la conductividad hidráulica y la permeabilidad. Esta alteración está vinculada a una marcada reducción en la capacidad del suelo para retener humedad, lo que incrementa la vulnerabilidad a la erosión. Esta situación compromete seriamente la capacidad del suelo para proporcionar servicios ecosistémicos esenciales a los habitantes de los municipios de Pereira y Dosquebradas.

Carrasco (2022, pp. 4-43) en el estudio "Efecto de los incendios forestales en las propiedades del suelo" indican que las propiedades del suelo que se modifican inmediatamente con el paso del incendio son: el Nitrógeno, la materia orgánica, el carbono orgánico, el pH, el Fosforo y el porcentaje de arcillas, en las mismas circunstancias los incendios forestales no solo provocan efectos negativos a los ecosistemas, también pueden apresurar el proceso de regeneración natural, por la agregación de cenizas al suelo o solo por la ignición de calor provocada puede acelerar el crecimiento de plantas, por ejemplo, en el caso de los bosques de pino ayuda a que los conos se abran y suelten sus semillas, dando a entender de manera neutra de que el fuego es un proceso ecológico parte del ciclo natural de un ecosistema.

Tal como señalan Minervini et al. (2018, pp. 12-27) en su investigación titulada "Efectos del fuego en la matriz del suelo: Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas" en 2018, la profundidad del suelo afectado y la extensión de los cambios experimentados están vinculadas tanto a la intensidad del fuego como a los niveles de temperatura necesarios para alterar los

componentes orgánicos y minerales del suelo. El aspecto físico del suelo más notoriamente afectado por el fuego es la estructura, es decir, la disposición y organización de sus agregados. Además, en los suelos quemados se observaron aumentos en la hidrofobicidad. Estos impactos también modifican las propiedades de retención de agua del suelo, disminuyendo la capacidad de infiltración y aumentando el riesgo de erosión. La prolongada exposición al calor en la superficie puede ocasionar una micro agregación de partículas minerales, lo que resulta en la formación de estructuras pseudotexturales más densas en la capa superficial del suelo. Bajo estas condiciones, los minerales arcillosos sufren alteraciones, evidenciándose una disminución en el contenido de caolinita y la transformación de los minerales expansibles. (Minervini et al, 2018, pp. 12-27).

En el estudio titulado "Efectos del fuego en algunas propiedades de suelos de pinares, Macurije, Pinar del Río, Cuba" realizado por Valdés (2016, pp.60-65), se examinan las consecuencias de la quema en las características físicas y químicas de suelos de tipo litosol que pertenecen a bosques de *Pinus tropicalis*, tanto en áreas afectadas por el fuego como en áreas no afectadas. El estudio señala que el fuego generó alteraciones en las propiedades químicas y físicas del suelo, y estos cambios estuvieron relacionados con la profundidad y el momento en que ocurrió el incendio. Además, con el paso del tiempo después del incendio, se observó un aumento en las concentraciones de los cationes Mg^{++} , Ca^+ y K^+ , así como en el pH y materia orgánica del suelo. También se registraron modificaciones en las propiedades físicas del suelo luego del incendio, lo que resultó en un cambio en su composición textural.

Castro-Huerta et al. (2021, p.1444) mencionan que los organismos edáficos son demasiado sensibles a las perturbaciones por lo tanto son útiles para medir la magnitud de eventos como los incendios, por lo tanto, los incendios tienen impactos sobre la biodiversidad de la superficie así como también en las características químicas y biológicas del suelo, la mesofauna puede considerarse bioindicadores adecuados para evaluar la recuperación de los ecosistemas post-incendio, especialmente en las zonas altamente dañadas por el fuego aun así, se sabe muy poco sobre las respuestas de estos organismos a los incendios que difieren en sus niveles de gravedad, por ello este estudio se enfoca en evaluar el efecto de la severidad del fuego en la diversidad y estructura de la comunidad de mesofauna del suelo en un sitio ubicado en una zona mediterránea de Chile central, la siguiente metodología bajo condiciones posteriores al incendio se basó en usar índices espectrales de imágenes satelitales para mapear la gravedad del incendio en cuatro niveles. Se recolectaron muestras de suelo en cada nivel de severidad y se cuantificó la abundancia de mesofauna, sin embargo, las métricas que explican la diversidad y el dominio de las especies fueron semejantes entre los niveles de severidad del fuego, la abundancia y composición de la mesofauna se varia específicamente en el nivel de severidad alta.

En su investigación titulada "Influencia de la intervención en los suelos del páramo Navag-Chimborazo en el contenido de materia orgánica" realizada en 2020, Pazmiño (2020, pp. 7-98) identificó 24 puntos de estudio mediante un muestreo por conglomerados que se distribuyeron en cinco litologías, obteniendo un total de 144 muestras. A través de análisis de laboratorio y utilizando el análisis de varianza (Anova), Pazmiño encontró que varios factores tienen un impacto significativo en el contenido de materia orgánica en los suelos del páramo Navag. Estos factores incluyen la altitud, la intervención humana, el pH y la profundidad del suelo. La investigación sugiere que la altitud está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica, mientras que la profundidad del suelo y el pH tienen una relación inversa con el contenido de materia orgánica. El páramo Navag está dividido en áreas que han sido alteradas por la intervención humana y áreas que no han sido intervenidas. Estos resultados indican que la intervención humana en los suelos del páramo Navag tiene un impacto significativo en el contenido de materia orgánica.

En el estudio "Evaluación del estado de conservación del bosque de ceja andina sur occidental del Parque Nacional Sangay (Ecuador), para una mejor gestión del recurso forestal" realizada en 2018 por Cargua, Franklin, et al (2021, pp. 1-11) nos presentan un enfoque mejorado para la gestión del recurso forestal mediante índices espectrales como instrumento de evaluación del estado de un ecosistema, junto con el monitoreo de campo sirven para evaluar la degradación gradual del bosque a causa de la intervención antrópica. Este estudio se basa en índices espectrales, NDVI, y se combina con parámetros dasométricos recopilados in-situ con el fin de aportar información para el desarrollo de herramientas de gestión y ordenamiento del bosque de ceja andina, en las estribaciones de la cordillera suroccidental del Parque Nacional Sangay, los resultados de este estudio mostraron una clara degradación de este ecosistema en el periodo (2001-2014); esta pérdida se ha producido en la parte interna del bosque, donde se ubican las comunidades Huangras y Jubal, las que aprovechan el terreno boscoso para actividades agrícolas, por lo tanto este estudio da a conocer su metodología que puede ser aplicada en proyectos enfocados al estudio de páramos degradados para establecer una base sólida para la ejecución de proyectos de manejo sustentable que faciliten la restauración de estas áreas.

El estudio de Echeverría et al. (2018, pp. 1-10) evaluó el contenido de carbono orgánico en el páramo de Igualata durante los periodos 2012, 2013-2014 y 2015. Mediante muestreo aleatorio, se obtuvieron muestras de suelo en cinco altitudes y dos profundidades. Se encontraron diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico relacionadas con la altitud y el tipo de suelo. La altitud más alta, 4130 m.s.n.m., mostró el contenido promedio más alto (302.13 t/ha), mientras que la más baja, 4090 m.s.n.m., presentó el contenido más bajo (98.91 t/ha). La muestra de suelo 1 exhibió un contenido promedio superior al de la muestra 2. La relación altitud por material

destacó el mayor contenido en la muestra de suelo 1 a la altitud máxima y el menor en la muestra 2 a menor altitud. Estos hallazgos indicaron un aumento del contenido promedio de carbono orgánico con la altitud y su disminución con la profundidad del suelo en el páramo de Igualata.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Páramo altoandino*

Los ecosistemas de páramos altoandinos poseen una notable biodiversidad y representan la principal fuente de recursos hídricos para los países latinoamericanos. Estos ecosistemas, situados a altitudes superiores a los 3000 metros sobre el nivel del mar, se distinguen por prestar valiosos servicios ecosistémicos, como el almacenamiento y captación de agua, así como la preservación de especies de flora y fauna endémicas. A pesar de estas funciones cruciales, enfrentan amenazas derivadas de actividades ganaderas, ya que las condiciones ambientales extremas limitan la posibilidad de cultivar especies hortícolas. Esta limitación contribuye a que estas áreas se conviertan en comunidades rurales con bajos recursos y problemas de desnutrición, debido al acceso limitado a una variedad de productos (Armijo et al., 2023, p.3-9).

El páramo es un ecosistema de montaña que alberga especies únicas y comunidades humanas diversas que contribuyen significativamente a la riqueza de la biodiversidad en nuestro planeta. En la actualidad, los páramos enfrentan diversas amenazas que impactan su preservación de múltiples maneras. Este ecosistema efímero se encuentra en altitudes elevadas, entre nieves perpetuas, vegetación especializada y bosques, y está gravemente amenazado, enfrentando el riesgo inminente de desaparición (Morales y Estévez, 2006, pp.1-13).

2.2.2. *Páramos en Ecuador*

Ecuador cuenta con páramos frágiles en las altas montañas, con una altitud promedio de alrededor de 3350 metros sobre el nivel del mar. Estos páramos abarcan el 7 % del territorio del país y desempeñan funciones ecológicas cruciales, como absorber carbono y proporcionar recursos hídricos de alta calidad. Los suelos de estos páramos tienen una baja densidad y una estructura porosa que permite una excelente retención de agua, lo que los convierte en ambientes notablemente húmedos, propicios para el desarrollo de una flora endémica distintiva. En estas áreas habita una comunidad marginada que tiene una significativa relevancia sociocultural. Estas comunidades generan ingresos a través de actividades como la agricultura, el turismo y la recreación. Sin embargo, estos páramos enfrentan amenazas debido a cambios en el uso del suelo,

la introducción de especies de plantas y animales no nativas, incendios forestales, el cambio climático y, en ciertas zonas, la minería ilegal (Morocho y Chunchu, 2019, pp. 71-83).

Según Hofstede et al. (2002, pp. 3-18), La mayoría de los páramos de pastizales en Ecuador muestran indicios de alteración debido a actividades humanas, y en la región interandina es una tarea desafiante encontrar un páramo que se encuentre en su estado natural original. Es probable que más del 75% de la superficie que originalmente estaba ocupada por páramos haya sido modificada o transformada por la influencia de las actividades humanas. Las áreas que todavía conservan un estado de conservación realmente bueno se encuentran principalmente en el flanco amazónico de la Cordillera Oriental y en las regiones extremadamente al norte y al sur del país (Vásconez y Hofstede, 2018, pp. 1-121).

2.2.3. Importancia de los páramos en Ecuador

Los páramos en Ecuador son fundamentalmente un hábitat de gran biodiversidad que tienen una labor muy importante como es la de retener anhídrido carbónico en su subsuelo ayudando a evitar el calentamiento global y, además, purificar el aire que respiramos, los podemos utilizar para turismo nacional y extranjero por sus grandes extensiones y paisajes que posee. Es importante mencionar que los páramos funcionan como valiosos depósitos de agua y proveen a las cuencas hidrográficas. Las comunidades humanas no solo utilizan esta agua para consumo doméstico, sino también para el riego de cultivos, como fuente de agua para animales y en procesos industriales. Este uso contribuye significativamente al desarrollo económico, social y cultural de estas áreas (Morocho y Chunchu, 2019, pp. 71-83).

Los páramos poseen un valor de gran relevancia desde una perspectiva científica y ecológica debido a su flora exclusiva y su paisaje singular, lo que podemos denominar como su "función ecológica". Además, cumplen un papel crucial en la producción de alimentos, desempeñando así una "función agrícola". También desempeñan un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico a nivel regional, y, de igual forma, constituyen la principal fuente de suministro de agua potable para la mayoría de la población en la región norte de los Andes, lo que podemos llamar su "función hidrológica". Por último, una metáfora ampliamente utilizada para subrayar su importancia es referirse a los páramos como las "fábricas" de agua, como las "esponjas" que almacenan agua, o incluso como la "cuna" del sistema hídrico de los neotrópicos (Hofstede, 1997, p.5).

2.2.4. Suelos de páramo

El páramo alberga grandes cantidades de carbono, mayormente almacenado en su suelo, ya que la vegetación de páramo representa una pequeña fracción de la biomasa total. Además, el suelo del páramo presenta propiedades físicas y químicas distintivas que lo diferencian de los suelos en otros ecosistemas (Andinos, 2012, pp. 8-20).

2.2.4.1. Factores de formación para los suelos de páramo

- **Material parental**

Las rocas de esta cordillera, contribuyen a la formación de diversos paisajes, como los valles en forma de "U". Estas piedras y fragmentos de roca constituyen los materiales que forman el suelo de la región (Andinos, 2012, pp. 238-293).

Los Andes se distinguen también por la existencia de volcanes, varios de los cuales permanecen en actividad. En áreas donde estos volcanes están activos, continúan liberando cenizas y otros materiales piroclásticos que se acumulan en capas. Con el tiempo, estos depósitos han desempeñado un papel primordial en la creación de los suelos en ciertas regiones de los páramos (Andinos, 2012, pp. 238-293).

- **Clima**

Las condiciones climáticas y el grado de meteorización han moldeado las características morfológicas y físicas de los suelos de páramo. La velocidad de formación de estos suelos está influenciada por la cantidad de precipitación, que varía mucho en los páramos, oscilando entre 550 y 3500 mm/año. Además, factores como la temperatura, que se mantiene en un rango de 15 a 20 °C, junto con la radiación solar y las brisas, juegan un papel crucial. Todas estas condiciones crean un entorno propicio para el almacenamiento y descomposición de la materia orgánica de estos suelos (Andinos, 2012, pp. 238-293, p.5).

- **Vegetación**

La vegetación, junto con las condiciones climáticas, son clave en la formación activa del páramo. Un organismo común en este entorno es el líquen, que es el primero en colonizar superficies rocosas, proporcionando un sustrato para otras plantas. Estas plantas, con sus raíces que se extienden entre las rocas, contribuyen a su fragmentación. Además, los organismos excavadores, como las lombrices de tierra, mezclan y descomponen el material del suelo, lo que lentifica la descomposición de la materia orgánica. Este proceso permite el desarrollo de nueva vegetación,

que a su vez actúa como indicador del tipo de suelo presente en la zona (Andinos, 2012, pp. 238-293, p.7).

- **Relieve**

Las características del suelo en las áreas planas y depresiones del páramo difieren de aquellas en las laderas. En las zonas predominantemente planas, se produce acumulación de agua, lo que resulta en suelos más húmedos. Esta humedad propicia la presencia de vegetación como musgos y almohadillas. Sin embargo, la elevada humedad ralentiza la descomposición de la materia orgánica debido a la disminución del flujo de aire en el suelo (Andinos, 2012, pp. 238-293).

En el caso de pendientes empinadas, la profundidad del suelo será limitada, lo que conduce a un desarrollo menos avanzado del suelo en estas áreas. Esto se debe a que los vientos son más fuertes y el agua tiene dificultades para infiltrarse, lo que favorece la erosión y el transporte de materiales y nutrientes hacia áreas más bajas, por lo tanto, cada suelo se forma mediante una interacción única de los factores formativos, y cualquier variación en alguno dará lugar a un tipo de suelo completamente diferente (Andinos, 2012, pp. 238-293).

2.2.5. El fuego

El fuego “es un proceso en el que se enciende un combustible y este emite luz, calor y llamas” (Rice, 2010, p. 6). La importancia del fuego en un ecosistema radica en su regeneración y modelación, ya que la mayoría dependen del fuego, por sus usos, por ejemplo:

- a) Elimina la vegetación muerta y contagiada de plagas, permitiendo el crecimiento de nueva e incluso otra clase de vegetación
- b) La regeneración de coberturas vegetales.

Para que se genere fuego es necesario que exista tres componentes primordiales: una ignición, oxígeno y combustible (García Pausas, 2012, p.12). En un ecosistema terrestre el factor modular del régimen de incendios forestales es el oxígeno y combustible, correspondiente a la cobertura vegetal (biomasa) presente y aunque estos componentes son necesarios para generar fuego, no son primordiales para que ocasione un incendio, (García Pausas, 2012, p.12), para que suceda este evento debe haber calor y baja humedad para aumentar la temperatura del combustible.

2.2.5.1. Quemadas prescritas o controladas

Las quemadas prescritas hacen referencia a pequeños incendios planificados y gestionados en zonas forestales, esta actividad toma en cuenta el principio de que los efectos del fuego sobre el recurso forestal son realizados con el fin de beneficiar al ecosistema, siempre y cuando se tome en cuenta las condiciones ambientales y las características del lugar a ejecutar la quema (Martínez, 2008, p.24).

En varios países usan las quemadas prescritas como apoyo en planes de manejo integral favoreciendo una exposición adecuada del suelo mineral, y el control de plagas y vegetación indeseable para que el ecosistema se regenere (Martínez, 2008, p.24)

2.2.6. Incendios forestales

Los incendios forestales en su mayoría son eventos de fuego no controlados que afectan negativamente los ecosistemas naturales, incluido el páramo. Estos incendios pueden causar actividades humanas, por las quemadas prescritas de pastizales y por causas naturales, como la variación de los patrones climáticos. Los incendios forestales pueden tener impactos significativos en la estructura, composición y funcionamiento de los ecosistemas de herbazal (García Pausas, 2012, p.3).

Los incendios son llamas que, en la mayoría de los casos, se propagan sin restricciones; cuando ocurren en la naturaleza, se denominan incendios forestales. El término "forestal" resalta el tipo de terreno afectado, abarcando áreas terrestres que no se destinan a propósitos urbanos o agrícolas. Así, el término "incendio forestal" se refiere a la propagación no controlada del fuego, ya sea de origen natural o humano, en ecosistemas terrestres (García Pausas, 2012, p.5).

Con el tiempo, los incendios se denominan un desastre ecológico que, junto con la aparición del ser humano, genera una transición notable en los regímenes de incendios en muchos ecosistemas, por lo que compromete los servicios ambientales del ecosistema, pero, mediante varias evidencias, los incendios en ecosistemas terrestres son procesos naturales que se han producido desde hace millones de años, dando a entender que el fuego es el autor principal del modelado en su entorno (García Pausas, 2012, pp. 8-9).

2.2.7. Indicadores de la calidad del suelo

2.2.7.1. Indicadores físicos

Los indicadores físicos revelan la habilidad del suelo para absorber, retener y transportar agua a las plantas, además de señalar las restricciones que pueden influir en el desarrollo de las raíces, la germinación de las semillas, la capacidad de infiltración y el movimiento del agua en el perfil del suelo. Estos indicadores están vinculados a la disposición de las partículas y los poros del suelo. Entre las características físicas consideradas para evaluar la calidad del suelo se encuentran aspectos como su estructura, densidad aparente, la solidez de los agregados, capacidad de infiltración, profundidad del suelo superficial, habilidad para retener agua y conductividad hidráulica cuando el suelo está saturado (Cruz et al., 2004, p.94).

- **Color**

El color es la primera impresión que nuestro ojo capta de los suelos, (Moreno, 2010, p.2). Es una característica de gran relevancia que está vinculada con los elementos constituyentes del suelo, así como con las condiciones históricas y actuales de oxidación y reducción del mismo. Por lo general, se origina por la presencia de partículas extremadamente pequeñas de materia orgánica descompuesta (que le proporcionan un tono oscuro), óxidos de hierro (que pueden dar tonos amarillos, pardos, anaranjados y rojizos), óxidos de manganeso (que producen un tono negro) y otros factores. También puede estar relacionado con el color de la roca madre del suelo.

La evaluación del color de la matriz del suelo en cada horizonte debe realizarse en condiciones de humedad (preferiblemente en ambas condiciones, tanto seca como húmeda). Esto se lleva a cabo siguiendo las pautas para tonalidad, valor y saturación, tal como se detalla en la Carta o en la Tabla de Colores de Suelo Munsell (Munsell, 1975 ,p.4).

- El matiz indica el color espectral principal, que puede ser rojo, amarillo, verde, azul o violeta.
 - El valor representa la claridad u oscuridad del color en una escala de 1 (oscuro) a 8 (claro).
 - El croma indica la pureza o intensidad del color en una escala de 1 (pálido) a 8 (vibrante).
- (FAO, 2009, pp. 54-345).

- **Temperatura y humedad del suelo**

La temperatura del suelo juega un papel crucial; dentro de ciertos márgenes, determina la naturaleza para el crecimiento de plantas y la formación del suelo. Cuando la temperatura desciende por debajo del punto de congelación, la actividad biológica se detiene, el agua no fluye como líquido y el suelo prácticamente queda en un estado inactivo hasta que se produce el deshielo. En el rango de temperatura que va desde 0°C a 5°C, se torna prácticamente imposible el crecimiento de las raíces de la mayoría de las especies de plantas, así como la germinación de

las semillas. Un horizonte del suelo con una temperatura constante de 5°C se convierte en un impedimento térmico significativo para el desarrollo de las raíces de la mayoría de las plantas (FAO, 2009, pp. 54-345).

Un suelo puede mantenerse constantemente húmedo en algunos o todos sus horizontes, ya sea durante todo el año o en ciertas temporadas. Puede que esté húmedo durante invierno y seco durante verano, o viceversa (FAO, 2009, pp. 54-345; Vargas et al., 2009, pp. 5-98).

- **Textura del suelo**

La composición del suelo es una de las características más cruciales, ya que ejerce una fuerte influencia en procesos físicoquímicos y biológicos, así como en la capacidad de retención de agua, el flujo del agua a través del suelo, su fertilidad y la movilidad de contaminantes, que pueden ser arrastrados hacia las capas subterráneas de agua (Andinos, 2012, pp. 238-293).

Tabla 2-1: Tipos de textura y tamaño de las partículas que constituyen el suelo

Textura gruesa	Predomina la arena
Textura fina	Predomina la arcilla
Textura media (Franca)	Predomina la arena, limo y arcilla
Arenas	2 a 0.02 mm
Limos	0.02 a 0.002 mm
Arcillas	< a 0.002 mm

Fuente: (Andinos, 2012, pp. 238-293).

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

La textura del suelo no está vinculada a la cantidad de materia orgánica presente, pero influye en aspectos como la circulación de aire, el drenaje, la retención de humedad, la susceptibilidad a la erosión y la permeabilidad. En los páramos, la textura del suelo varía significativamente según el tipo y tamaño de las partículas de los materiales que lo conforman y su grado de descomposición por la meteorización.

- **Métodos para determinar la textura del suelo**

La determinación de la textura mediante técnicas de laboratorio enfrenta desafíos en la dispersión de partículas en suelos derivados de cenizas volcánicas, lo que podría ocasionar imprecisiones en los resultados.

El método de Bouyoucos no lograría dispersar por completo las partículas en suelos derivados de cenizas volcánicas, debido a los complejos orgánico-minerales que forman pseudoagregados de

arena y/o limo. Por tanto, para obtener una dispersión adecuada, es esencial realizar un pretratamiento que involucre la separación de estos pseudoagregados mediante la adición de sustancias químicas. Esto explica por qué la textura no se considera una propiedad diagnóstica para algunos suelos de páramo (Andinos, 2012, pp. 238-293).

- **Triángulo de texturas**

Cuando se tienen los valores porcentuales de arcilla, limo y arena, es posible identificar la clase de textura del suelo utilizando un diagrama conocido como triángulo de texturas.

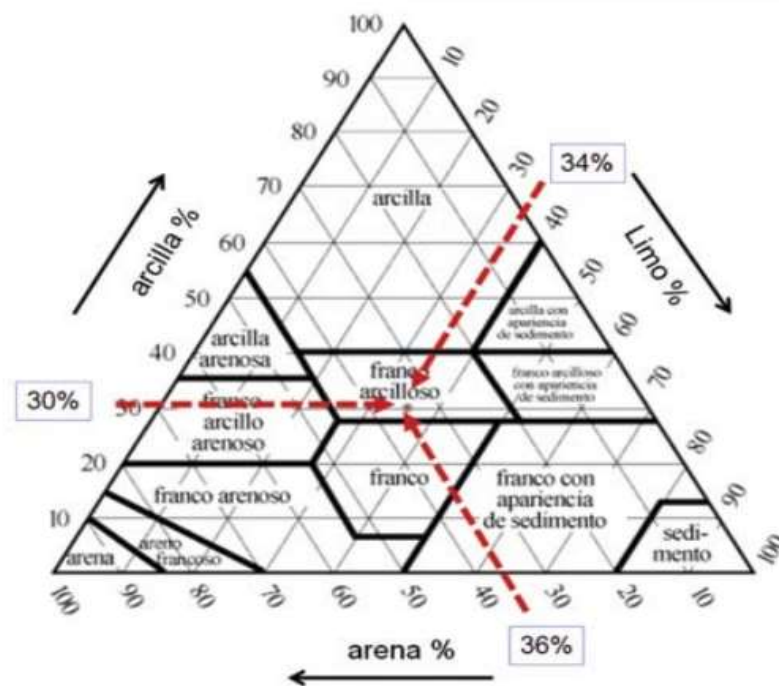


Ilustración 2-1: Triángulo de texturas

Fuente: (Andinos, 2012, pp. 238-293).

- **Método para determinar la textura en el campo**

El análisis de la textura en laboratorio de ciertos suelos de páramo puede resultar difícil, requiere un periodo considerable y conlleva costos (Andinos, 2012, pp. 238-293).

Una opción rentable que, con experiencia y sin requerir herramientas especiales, se vuelve bastante precisa es el método táctil para determinar la textura del suelo. En este método, se toma una porción de la muestra seca, se humedece y se sigue el diagrama que se detalla a continuación.:

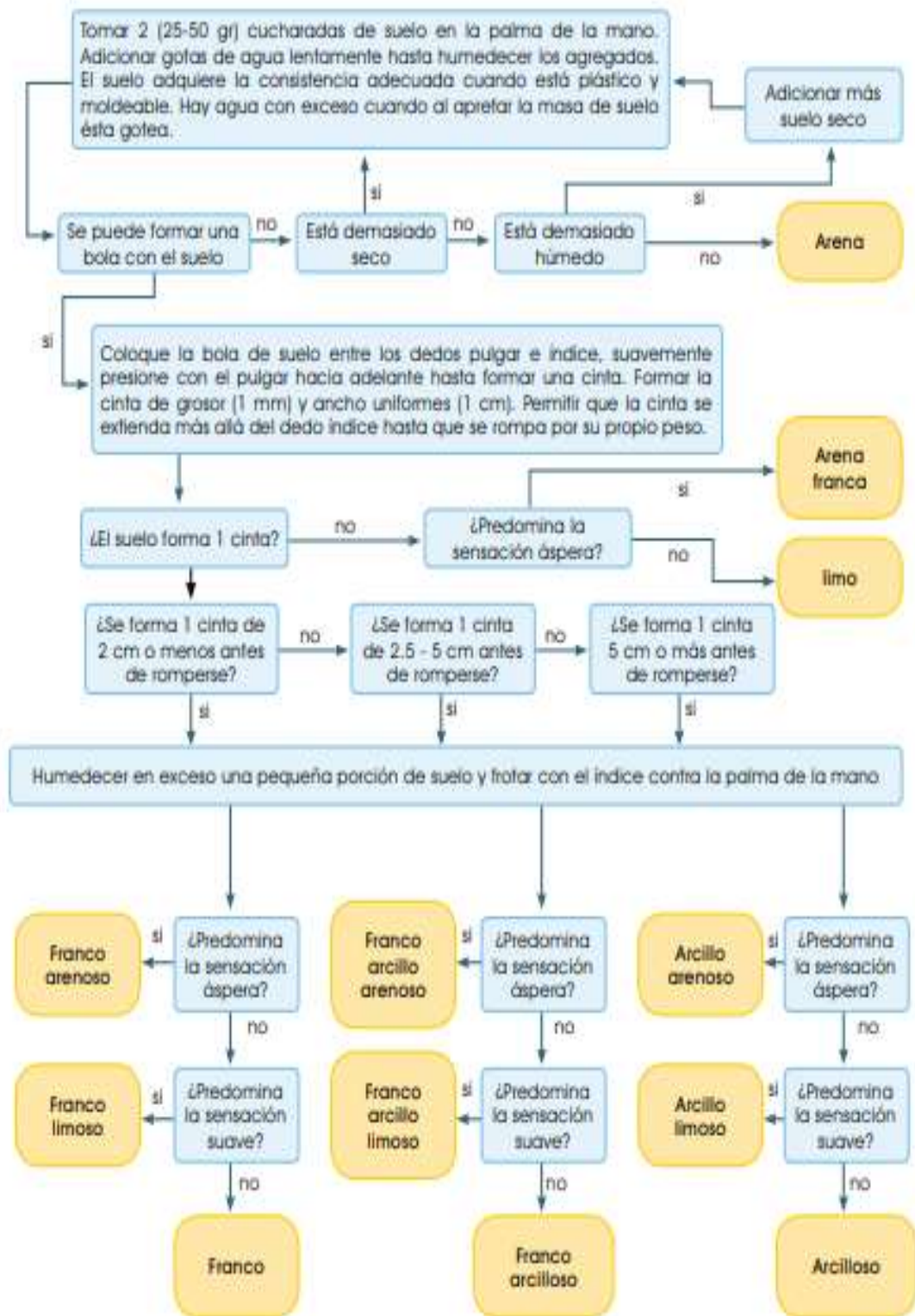


Ilustración 2-2: Diagrama para la determinación de la textura por el tacto

Fuente: (Andinos, 2012, pp. 238-293).

- **Densidad aparente**

La densidad aparente se calcula como: la cantidad de suelo por unidad de volumen (g/cm^3). Este valor refleja el grado de compactación del suelo y representa la proporción entre los componentes sólidos y el espacio poroso (Rojas, 2018, pp. 1-98).

Los suelos de páramo se distinguen por su baja densidad aparente, que generalmente se encuentra en el rango de 0,4 a 0,8 g/cm^3 , debido a su elevado contenido de materia orgánica (Andinos, 2012, pp. 238-293).

La densidad aparente se emplea para evaluar la resistencia del suelo al crecimiento de las raíces. Esta medida varía dependiendo de la textura del suelo y la cantidad de materia orgánica, y puede cambiar en diferentes épocas del año debido a las técnicas de cultivo y la humedad del suelo, especialmente en suelos que contienen arcillas expansivas (Rojas, 2019, p.6).

2.2.7.2. Indicadores químicos

- **pH del suelo**

El pH es crucial debido a su impacto en la idoneidad de las plantas para absorber nutrientes. Indica la concentración de iones hidrógeno en la solución del suelo. Un suelo con un pH superior a 7 denota una riqueza en cationes como Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , entre otros (Sánchez, 1991, p. 107).

Los valores medios del pH en los suelos de páramo varían entre 5 y 7, lo que clasifica a estos suelos como ácidos. La principal razón de esta acidez radica en la presencia de iones hidrógeno (H^{+}) y aluminio (Al^{+++}) en el suelo. El hidrógeno puede provenir de las plantas mismas, de minerales arcillosos, de la materia orgánica y también del exceso de fertilizantes aplicados en el suelo. El aluminio representa una de las principales causas de la acidez en muchos suelos de páramo (Buytaert, 2004; Borja 2006 citado en Andinos 2012, pp. 231-232).

Tabla 2-2: Evaluación del suelo según su pH

Evaluación del pH	
< 4,5	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Medianamente ácido

6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 -7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Medianamente básico
7,9 – 8,4	Básico
8,5 – 9,0	Ligeramente alcalino
9,1 – 10,0	Alcalino
>10,0	Fuertemente alcalino

Fuente: (Porta, et al, 2019, p. 321).

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

- **Conductividad eléctrica**

La medición de este parámetro generalmente se emplea para señalar la cantidad total de sales solubles presentes, lo que implica la presencia de diversos cationes (como Ca, Mg, Na, K) y aniones (como carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, etc.). Esta evaluación permite categorizar los suelos en relación con su nivel de salinidad (Porta, et al, 2008, p. 242).

Tabla 2-3: Calificación de los suelos de acuerdo a su conductividad eléctrica

Categoría	CE promedio (dS/m)	Característica
No salino	<2	Ningún cultivo es afectado
Ligeramente salino	2 – 4	Afectación a cultivos sensibles
Salino	4 – 8	Muchos cultivos afectados
Fuertemente salino	8 – 16	Solo cultivos tolerantes
Extremadamente salino	>16	Mínimos cultivos posibles

Fuente: (Porta, et al, 2019, p. 245).

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

- **Materia orgánica del suelo**

La materia orgánica del suelo se refiere a los compuestos orgánicos presentes en el suelo, sin importar su origen o el grado de descomposición (Baldock y Skjemstad, 1999). En su mayoría, esta materia orgánica se encuentra cerca de la superficie del suelo, ya que los organismos y los restos de plantas comienzan a descomponerse tan pronto como caen al suelo o se incorporan a él una vez que han completado su ciclo de vida. Aunque algunos componentes de la materia orgánica se descomponen más rápidamente que otros, la actividad de la macrofauna y la mesofauna acelera este proceso al fragmentar los restos y mezclarlos con el suelo (Docampo, 2010, p. 82)

La fracción orgánica del suelo se compone de un 58% de carbono, gran mayoría es secuestrado de la atmósfera mediante la actividad fotosintética de las plantas, siendo así que; el nivel de MOS no solo es esencial para el suelo sino también para ambiente y conjuntamente para la sociedad, gran parte de los suelos devotos a la producción de cultivos herbáceos y agrícolas muestran un tanto por ciento de MO que oscilan entre el 1 y el 6% de la masa neta del suelo, por lo tanto una mínima proporción de materia orgánica genera gran impacto en la mayoría de las características que denotan la calidad del suelo (Grand y Michel, 2020, p.1).

- **Carbono orgánico del suelo**

El suelo actúa como un reservorio excepcional de CO₂ y es un componente altamente dinámico, presente en diversas formas moleculares que interactúan entre el suelo y el entorno circundante. El carbono orgánico del suelo constituye una fracción pequeña en el ciclo global del carbono, que abarca el movimiento de carbono a través del suelo, la vegetación, los océanos y la atmósfera (FAO, 2009, pp. 54-345).

La cantidad de carbono presente en el suelo está determinada por las características del suelo y por el equilibrio entre la entrada de carbono orgánico (proveniente de animales, plantas y raíces) y la producción de CO₂ debido al metabolismo microbiano (FAO, 2009, pp. 1-4). Hay diversos elementos y las maneras en que interactúan entre sí que influyen en la cantidad total de carbono orgánico del suelo en el perfil del suelo y en su distribución a diferentes profundidades, estos incluyen el tipo de suelo, las condiciones climáticas, la composición mineral del suelo, la topografía y la vida biológica presente en el suelo. Entre estos factores, algunos son propiedades consistentes del suelo, mientras que otros son modelados por el clima y ciertos aspectos son influenciados por las prácticas de gestión (FAO, 2009, pp. 1-4). La capacidad del suelo para retener carbono se determina según factores como la cantidad de arcilla presente, la profundidad y densidad del suelo, y el tipo de vegetación que lo cubre. Este potencial de retención de carbono no se ve afectado por las prácticas de manejo del suelo (Martinez et al, 2008, pp. 68-96). La cantidad de carbono en el suelo depende del tipo de materia orgánica que entra en el suelo, ya que no toda la materia orgánica es igual y su grado de descomposición puede variar, por ejemplo, materiales como frutas frescas, verduras y restos de vegetales son altamente susceptibles a la descomposición debido a su contenido de carbohidratos. En contraste, hojas secas, tallos, corteza y ramas contienen una mayor proporción de lignina, celulosa y hemicelulosa, lo que ralentiza su proceso de descomposición (Lefèvre et al, 2017, pp. 1-7)

- **N, P, K**

Los indicadores químicos propuestos se enfocan en las condiciones químicas que impactan la interrelación entre el suelo y plantas. Estos indicadores abarcan la disponibilidad de nutrientes, el carbono orgánico total, el pH, la conductividad eléctrica, así como las modificaciones en la materia orgánica y el nitrógeno total y mineralizable (Cruz et al., 2004, p.94). Además, se analizan los niveles fundamentales de nutrientes esenciales para las plantas, como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) que pueden ser extraídos del suelo.

Tabla 2-4: Niveles críticos y las concentraciones recomendadas para el nutriente disponible nitrógeno (N)

Nivel	Concentración recomendada (mg/kg)
Bajo	Menos de 10
Moderado	10 - 20
Óptimo	20 - 30
Alto	Más de 30

Fuente: (Cruz et al., 2004).

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

Tabla 2-5: Niveles críticos y las concentraciones recomendadas para el nutriente disponible fósforo (P)

Nivel	Concentración recomendada (mg/kg)
Deficiente	< 5
Bajo	5 - 10
Moderado	10 - 20
Suficiente	20 - 30
Excesivo	> 30

Fuente: (Cruz et al., 2004).

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

Tabla 2-6: Niveles críticos y las concentraciones recomendadas para el nutriente disponible potasio (K)

Nivel	Concentración recomendada (cmol/kg)
Deficiente	Menos de 0.15
Bajo	0.15 - 0.30

Moderado	0.30 - 0.45
Suficiente	0.45 - 0.60
Excesivo	Más de 0.60

Fuente: (Cruz et al., 2004).

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

2.2.7.3. Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos abarcan factores que causan un impacto en la calidad del suelo, tales como la abundancia de macroinvertebrados y sus actividades relacionadas. Estos organismos descomponen, transportan y mezclan el suelo mediante la construcción de galerías, nidos, sitios de alimentación y otros tipos de estructuras, lo que afecta directamente los procesos como la incorporación y redistribución de diferentes materiales. Además, influyen de manera indirecta en la formación de comunidades microbianas, el transporte de propágulos, la inhibición de organismos a través de sustancias químicas o la reducción selectiva de su viabilidad. Los indicadores biológicos también comprenden funciones como la tasa de respiración, la presencia de ergosterol y otros subproductos de los hongos, la velocidad de descomposición de los restos vegetales, así como las concentraciones de nitrógeno y carbono en la biomasa microbiana. Dado que la biomasa microbiana es extremadamente sensible a las alteraciones en comparación con el carbono total, se ha sugerido utilizar la relación entre el carbono microbiano y el carbono orgánico del suelo para identificar prontamente transiciones en la dinámica de la materia orgánica (García et al. 2012, p.132).

Las modificaciones en las características del suelo proporcionan información sobre su rendimiento y cómo está siendo gestionado. Aunque es útil analizar estas propiedades de manera individual para una comprensión más profunda, es crucial reconocer que todas están interconectadas y dependen entre sí. De esta manera, la interpretación de una propiedad puede arrojar luz sobre el comportamiento de las demás debido a su estrecha interrelación y dependencia mutua (García et al. 2012, p.132).

2.2.8. Mesofauna edáfica

La mesofauna se considera un componente esencial del suelo y engloba a los organismos diminutos, principalmente invertebrados, que viven en el suelo y en la capa de hojarasca. Estos organismos comprenden individuos microscópicos que tienen un tamaño que oscila entre 0.2 y 2 mm, estos seres vivos cumplen una función esencial en la disgregación de la materia orgánica, el ciclo de nutrientes y la configuración de la estructura del suelo (Castellanos et al, 2021, pp. 303-314).

La mesofauna engloba una variedad de organismos como ácaros, colémbolos, nematodos y pequeños insectos (Momo y Falco, 2003, pp. 51-58). Los incendios forestales tienen el potencial de impactar la variedad y cantidad de mesofauna, así como las relaciones complejas que mantienen con las propiedades fisicoquímicas del suelo.

2.2.9. Interacciones entre el suelo, la mesofauna y los incendios

Las interacciones entre el suelo, la mesofauna y los incendios forestales son complicadas. Estos incendios pueden provocar modificaciones en las características fisicoquímicas del suelo, incluyendo la pérdida de materia orgánica, la modificación de la estructura del suelo y la reducción de la disponibilidad de nutrientes, estas modificaciones pueden impactar directamente en la mesofauna, resultando en una reducción de su diversidad y cantidad. Simultáneamente, la mesofauna también tiene la capacidad de influir en las características fisicoquímicas del suelo mediante sus procesos de descomposición y reciclaje de nutrientes. (Salvador Et al., 2020, pp.1-9).

2.2.10. Grupos representativos de la mesofauna del suelo

2.2.10.1. Los colémbolos

El grupo de los colémbolos está compuesto por pequeños artrópodos hexápodos sin alas, que poseen antenas, seis segmentos y dos apéndices abdominales, midiendo aproximadamente 8 mm de longitud. Tienen ojos simples, generalmente menos de ocho en cada lado de la cabeza, y se alimentan de materia vegetal en descomposición o de la microflora presente en el suelo. En total, existen cerca de 3000 especies de colémbolos que habitan en suelos. Su reproducción es separada, y la fecundación se lleva a cabo mediante espermátóforos que son recogidos por los individuos (Momo y Falco, 2003, pp. 51-58).

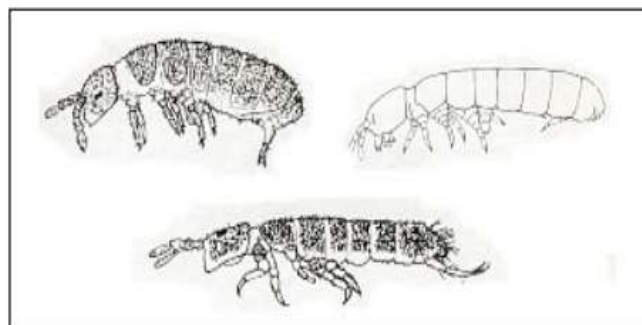


Ilustración 2-3: Colémbolos

Fuente: (Momo y Falco, 2003, pp. 51-58).

Estos organismos pueden encontrarse en prácticamente cualquier muestra de suelo que contenga una gran cantidad de material vegetal en descomposición. Son relativamente sencillos de separar mediante el método de flotación, ya que la presencia de sustancias hidrófobas en su exoesqueleto les permite flotar y acumularse en la superficie del agua. Las especies con furcas (estructuras en forma de tenedor) bien desarrolladas se distinguen fácilmente por sus movimientos de salto. Los colémbolos se encuentran en suelos de todas las zonas geográficas y su presencia parece estar restringida solo en casos de sequías extremas. Su actividad, que incluye la formación de pequeñas pelotas fecales, tiene un impacto en la microestructura del suelo y juega un papel fundamental en las cadenas alimentarias que se desarrollan en los suelos, donde son consumidos por ácaros depredadores (Momo y Falco, 2003, pp. 51-58).

2.2.10.2. *Los ácaros*

Subphylum Chelicerata y Clase Arachnida, se encuentra el Orden Acarina, conocidos como ácaros. Estos diminutos arácnidos, con una longitud que rara vez supera los 2 o 3 mm, presentan una segmentación corporal poco evidente, aunque a menudo se identifica un gnatosoma y un idiosoma. Aunque se han descrito alrededor de 45,000 especies, se estima que estas representan solo aproximadamente el 5% de las especies que realmente existen (Momo y Falco, 2003, pp. 51-58).

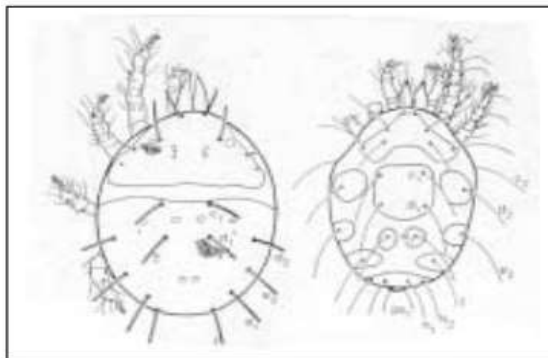


Ilustración 2-4: Ácaros

Fuente: (Momo y Falco, 2003, pp. 51-58).

Dado que los ácaros y los colémbolos son organismos del suelo, se ven expuestos a sustancias tóxicas que ingresan al suelo, como pesticidas o metales pesados. Estos organismos han sido utilizados como indicadores eficaces de la contaminación del aire y los componentes del suelo. Además, la composición específica de estos grupos ha sido monitoreada para evaluar la recuperación de la biota del suelo después de perturbaciones significativas, como los incendios (Momo y Falco, 2003, pp. 51-58).

2.2.10.3. *Lombrices de tierra*

La lombriz de tierra desempeña un papel fundamental en la conservación de la estructura del suelo y actúa como recicladora de materia orgánica y nutrientes, lo que estimula el desarrollo de la fauna y contribuye a la heterogeneidad y adaptabilidad del ecosistema. Esta especie tiene la capacidad de resistir períodos de sequía, ya que su cuerpo está compuesto en un 80-90% de agua. Este alto contenido de agua le permite llevar a cabo diversas funciones vitales, como el intercambio gaseoso, el desplazamiento y la creación de galerías en el suelo. Sin embargo, si la lombriz se deshidrata en un 20%, la presión hidrostática del líquido celómico puede afectar negativamente su desarrollo en el suelo (Momo y Falco, 2003, pp. 51-58).

2.2.11. *Índices de diversidad*

2.2.11.1. *Riqueza específica (S)*

La riqueza específica, representada como "S", es una medida sencilla de la biodiversidad que se basa únicamente en el recuento del número de especies presentes en un área o comunidad, sin tener en cuenta su importancia relativa. La manera más precisa de determinar la riqueza sería realizar un inventario exhaustivo que permita registrar todas las especies a través de un censo completo de la comunidad. Sin embargo, esta aproximación solo es factible en casos específicos y en momentos concretos en términos de tiempo y espacio (Moreno, 2000, p.26).

- **Índice de diversidad de Margalef**

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Ecuación 2-1.

Donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

Convierte el recuento de especies por muestra en una proporción que se ajusta mediante la expansión de la muestra. Se establece una relación coherente entre el número de especies y el número total de individuos, representada como $S=k\sqrt{N}$, donde "k" es una constante (Magurran, 1988).

“Si esta relación no se conserva, el índice se desvía en función del tamaño de la muestra de manera desconocida. Al utilizar S-1 en lugar de S, el índice da como resultado DMg = 0 cuando hay solo una especie” (Moreno, 2000, p.26).

2.2.11.2. Índices de dominancia

El índice de dominancia es un indicador que se contrapone al concepto de equidad en una comunidad. Se enfoca en la presencia de especies de mayor importancia sin considerar la contribución de las demás especies (Moreno, 2000, p.41).

- **Índice de Simpson**

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Ecuación 2-2.

Donde:

p_i : representa la proporción de abundancia de la especie i , lo cual se calcula dividiendo el número de individuos de la especie i entre el total de individuos en la muestra (Calderón, 2018, pp. 1-23).

Lambda (λ) representa la probabilidad de que dos individuos seleccionados aleatoriamente de una muestra sean de la misma especie, y esta probabilidad se ve afectada por la importancia de las especies dominantes. En términos de equidad, la diversidad se calcula restando λ de 1, es decir, $1 - \lambda$ (Moreno, 2000, p. 41).

2.2.11.3. Índices de equidad

“La equidad se relaciona con la uniformidad en las abundancias de las diversas especies y suele evaluarse considerando cuántas especies dominantes existen en comparación con cuántas especies son poco comunes o raras” (Magurran, 2004; Moreno et al., 2006, citado en Sonco, 2013, p.65).

Por lo tanto, cuanto más variadas y uniformemente distribuidas estén las especies en un área determinada, mayor será la diversidad de ese lugar.

- **Índice de Shannon-Wiener (H')**

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i)(\ln p_i) \quad y \quad \sum p_i = 1$$

Ecuación 2-3.

Donde:

pi: Representa la proporción de abundancia de la especie i, lo cual se obtiene dividiendo el número de individuos de la especie i entre el total de individuos en la muestra (Albuja, pp. 1-45).

Esto indica que hay una distribución uniforme de importancia entre las especies presentes en la muestra. Evalúa el nivel promedio de incertidumbre al intentar predecir qué especie será seleccionada al azar de un conjunto de datos.

Esta medida presupone la selección aleatoria de individuos y la presencia de todas las especies en la muestra. Su valor oscila entre cero, indicando una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por igual número de individuos (Magurran, 1988).

2.2.11.4. Índices de similitud/disimilitud

Estos índices cuantifican la similitud entre dos muestras basándose en las especies que comparten, por lo tanto, representan una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere a la variación en especies entre dos muestras. A partir de un valor de similitud (s), se puede calcular la diferencia (d) entre las muestras utilizando la fórmula $d=1s$ (Magurran, 1988).

- **Índice de Sorensen**

$$I_s = \frac{2c}{a + b}$$

Ecuación 2-4.

Donde:

I_s = Índice de Sorensen

a = Número de especies encontradas en la comunidad A

b = Número de especies encontradas en la comunidad B

c = número de especies comunes en ambas localidades

Este índice compara el número de especies que son comunes entre dos sitios en relación con el total de especies encontradas en ambos lugares.

2.3. Normativa legal

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador reconoce los derechos inherentes a la naturaleza y, dentro de este marco, otorga especial importancia a los páramos, tal como se refleja en los artículos que los mencionan.

En el segundo capítulo sobre "derechos del buen vivir", se aborda el concepto de Sumak Kawsay (Buen vivir), que se refiere a una convivencia armoniosa, respetuosa, tanto en términos naturales, ambientales y culturales, entre los seres humanos y la naturaleza. El **art. 12** menciona que el derecho al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y sustancial para la vida.

En la Sección segunda "Ambiente sano" El **art. 14** reconoce y hace énfasis sobre el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir (Sumak Kawsay).

Se establece como un objetivo de interés público la preservación del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país. También se enfatiza en la prevención del daño ambiental y en la recuperación de áreas naturales degradadas (Constitución de la república del Ecuador, 2008, pp. 13-14).

Capítulo séptimo

Derechos de la naturaleza

De acuerdo al **Art. 71.-** La naturaleza, Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Cualquier individuo, comunidad, pueblo o grupo étnico tiene el derecho de solicitar a las autoridades el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. En la aplicación e interpretación de

estos derechos, se seguirán los principios establecidos en la Constitución en la medida que sean aplicables. El Estado fomentará y promoverá la protección de la naturaleza por parte de personas naturales, entidades jurídicas y colectivos, así como el respeto a todos los componentes de un ecosistema.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales perjudicados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

El páramo actúa como un reservorio natural de agua, lo que subraya la importancia de los derechos relacionados con el agua. Estos derechos aseguran la calidad, cantidad y accesibilidad del agua para cubrir las necesidades fundamentales de las personas, como alimentación, salud y agricultura, entre otras. Todos los individuos tienen el derecho de acceder al agua sin discriminación, y es responsabilidad del Estado garantizar este acceso. Además, es crucial que el agua esté libre de contaminantes para cumplir con estos derechos.

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable e indispensable para la vida.

2.3.2. Código Orgánico Integral Penal

Capítulo cuarto

Sección primera

Delitos contra la biodiversidad

Art. 246.- Incendios forestales y de vegetación. La persona que provoque directa o indirectamente incendios o instigue la comisión de tales actos, en bosques nativos o plantados, será sancionada por pena privativa de libertad de uno a tres años (CIOP, 2014, p.93)).

En caso de que se cometan acciones de este tipo dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas o en ecosistemas vulnerables y en peligro, como los páramos, manglares, bosques secos, nublados o húmedos, y como resultado de estas acciones se provoque erosión del suelo o daño a especies de flora y fauna protegidas a través de acuerdos internacionales, tratados internacionales o listas nacionales de la Autoridad Ambiental Nacional, se impondrá la pena máxima aumentada en un tercio. Las quemas agrícolas o domésticas realizadas por comunidades o pequeños agricultores en su territorio están exentas de esta restricción, según las leyes ambientales en vigor. No obstante, si estas quemas se salen de control y generan incendios forestales, el individuo responsable será procesado por negligencia y enfrentará una pena de prisión que oscila entre tres y seis meses. En situaciones en las cuales este delito cause la muerte de una o más personas, la condena puede aumentar significativamente, llevando a una pena de prisión que va de trece a dieciséis años (CIOP, 2014, p. 93).

2.3.3. Ley Forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre

Título I “De los recursos forestales”

Capítulo II

Atribuciones y funciones del ministerio del ambiente

El Ministerio de Ambiente tiene como una de sus responsabilidades, según el Artículo 5 literal b), garantizar la conservación y el uso sostenible de los recursos forestales y naturales existentes. En el páramo, donde existe una diversidad significativa de especies forestales, la población ha agotado en muchas ocasiones los servicios ecosistémicos que estos árboles proporcionan. Además, el Artículo 14 literal a) prioriza la forestación y reforestación en áreas específicas, como las cuencas que alimentan manantiales, arroyos y fuentes de agua, reconociendo la importancia crítica de estas áreas para el suministro de agua (Ley N°. 17, 2004, pp. 3-6).

Capítulo X

De la Protección Forestal

Art. 57.- El Ministerio del Ambiente controlará los incendios forestales, plagas, enfermedades y riesgos que afecten a los bosques y vegetación natural.

Art. 58.- El Ministerio del Ambiente organizará campañas educativas para prevenir y combatir los incendios forestales, mediante conferencias en escuelas, colegios y centros públicos, proyección de películas y otras medidas similares.

Art. 59.- Los propietarios de bosques, los contratistas de aprovechamiento forestal y, en general, los poseedores, administradores y tenedores de bosques, están obligados a adoptar las medidas necesarias para prevenir o controlar los incendios o flagelos, plagas, enfermedades y perjuicios a los recursos forestales.

Art. 60.- En el seguro agropecuario se incluirá el seguro forestal, contra riesgos provenientes de incendios, plagas, enfermedades y otros riesgos forestales, al que podrán favorecerse las personas naturales o jurídicas propietarias de bosques cultivados.

2.4. Bases conceptuales

2.4.1. *Páramo*

Los páramos son vastos ecosistemas de montaña situados a altitudes superiores a los 3500 metros sobre el nivel del mar, ubicados en la cordillera de los Andes. Caracterizados por un clima extremadamente frío y húmedo, estos hábitats exhiben una diversidad biológica significativa y desempeñan funciones cruciales como fuentes de agua y sumideros de carbono. Además, experimentan variaciones de temperatura rápidas y significativas.

2.4.2. *Ecosistema Herbazal del Páramo*

El Herbazal del Páramo se extiende a altitudes que oscilan entre los 2,303 y 4,501 metros sobre el nivel del mar, presentando un clima característico de la sierra ecuatoriana. Según las isotermas proporcionadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, este ecosistema registra una temperatura media que varía entre 2 °C y 16 °C. Con la mayor cobertura entre los ecosistemas de montaña en Ecuador, se extiende a lo largo de ambas cordilleras de los Andes, desde la provincia del Carchi hasta la provincia de Loja. Este ecosistema se identifica por conformar el paisaje distintivo de los ecosistemas altoandinos en Ecuador, generalmente localizándose en valles glaciares, laderas y llanuras montañosas a altitudes superiores a los 3,300 metros. Estos sitios son ricos en carbono orgánico (COS), y las condiciones climáticas que incluyen elevada humedad y concentración de carbono orgánico en el suelo determinan que este ecosistema se destaque por albergar una considerable cantidad de agua por unidad de volumen, además de exhibir una destacada capacidad de regulación hídrica (Ayala, 2019, pp. 1-32).

2.4.3. Incendios forestales

Los incendios forestales son sucesos de fuego descontrolados que tienen un impacto negativo en los ecosistemas naturales, incluyendo los páramos. Estos incendios pueden ser provocados por acciones humanas, como la quema de pastizales o el descuido, así como por causas naturales, como los rayos durante tormentas eléctricas. Los incendios forestales pueden ocasionar efectos importantes sobre la estructura, composición y dinámica de los ecosistemas del páramo.

2.4.4. Propiedades fisicoquímicas del suelo

Las propiedades fisicoquímicas del suelo comprenden las cualidades físicas y químicas que afectan su fertilidad, capacidad para retener agua y suministro de nutrientes para las plantas y otros organismos. Algunas características fisicoquímicas importantes abarcan la textura del suelo (porcentaje de arena, limo y arcilla), su estructura, el pH, su capacidad para retener agua y los niveles de nutrientes presentes. Los incendios forestales tienen el potencial de modificar estas propiedades, lo que, a su vez, puede tener un impacto en la salud y productividad del ecosistema de páramo.

2.4.5. Mesofauna edáfica

La mesofauna edáfica engloba organismos cuyas dimensiones varían entre los 0,2 y 2 mm. Este conjunto incluye microartrópodos, como ácaros, colémbolos, proturos, dipluros y sinfilos, así como los enquitréidos. Estos conjuntos desempeñan un papel esencial en la regulación de las condiciones del suelo, ya que influyen en los aspectos físicos, químicos y biológicos del perfil edáfico. Contribuyen significativamente a la modulación de las características ambientales en este entorno, desempeñando así un papel crucial en la salud y dinámica de los suelos (Salvador Et al., 2020, pp.1-9).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

Según el propósito de la investigación, esta compete a una investigación aplicada, ya que se enfocó en la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y la mesofauna de los suelos afectados por incendios en el ecosistema herbazal del páramo Navag. Este enfoque contribuye a una comprensión científica más profunda de estos fenómenos y sus efectos, sin necesidad de buscar una intervención directa inmediata (Gallardo, 2017, p.55; Lucio, 2021, pp. 1-187). El enfoque según la forma de obtención de datos en la investigación fue de tipo mixto, incorporando tanto métodos documentales como trabajo de campo y laboratorio. Inicialmente, se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica con el propósito de adquirir conocimientos previos similares provenientes de trabajos relacionados en distintas zonas de estudio, lo cual facilitó la comprensión, comparación y expansión del marco de investigación. Posteriormente, la investigación de campo desempeñó un papel crucial al permitir la recopilación de datos directamente en el lugar de estudio, mientras que la investigación de laboratorio complementó este proceso al proporcionar datos adicionales y análisis específicos (Nel, 2021).

Por el método de investigación corresponde a un enfoque cuantitativo al concentrarse en la medición y análisis de datos numéricos vinculados a las propiedades fisicoquímicas del suelo y la población de mesofauna en ambos sujetos de estudio. El propósito era presentar un resultado coherente y lógico que estuviera respaldado por la información recopilada en la zona de investigación (López, 2014, pp. 1-205).

El diseño implementado fue aplicado de naturaleza cuasiexperimental, ya que se centró en la investigación de las propiedades del suelo sin llevar a cabo una manipulación deliberada de variables. En este enfoque, el énfasis estuvo en la observación de los fenómenos tal como se presentaron en su entorno natural (Nel, 2021).

Se combinaron métodos analíticos, sintéticos, deductivos. Esto permitió evaluar las diferencias entre los suelos afectados por incendios y los suelos bajo conservación en el ecosistema del páramo Navag. Estos enfoques metodológicos se combinaron para abordar de manera integral los objetivos de la investigación.

El ámbito de conocimiento en el que se enmarca esta investigación es de naturaleza científica. En cuanto al tipo de razonamiento empleado, se caracteriza por ser de naturaleza racional, dado que se pone énfasis en la interpretación de datos, la reflexión lógica y el establecimiento de relaciones significativas dentro del contexto investigativo.

3.2. Área de estudio

La selección de la zona de estudio se basó en los antecedentes de la ocurrencia de incendios en el cantón Colta, específicamente en el páramo de Navag.

El área de estudio tiene una extensión total de 30,35 hectáreas, se dividió en dos estratos, una zona correspondiente a suelos conservados con una extensión de 15.88 hectáreas a los cuales les corresponde dos transectos con las siguientes codificaciones: T1-ZC (Transecto 1-zona conservada), T3-ZC (Transecto 3-zona conservada) y la siguiente zona con dos transectos correspondiente a suelos afectados por incendios que abarco una extensión de 14.47 hectáreas con las siguientes codificaciones: T2-Z.inc (Transecto 2-zona incendiada), T4-Z.inc (Transecto 4-zona incendiada).

3.2.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio comprendió el páramo de Navag, incluyendo los territorios de las parroquias de Cajabamba y Columbe, que forman parte de la Subcuenca del Río Chambo. Esta delimitación se enmarca en el proyecto "Evaluación y Secuestro de Carbono Orgánico del Suelo en Ecosistemas de Páramo en Ecuador", estas áreas están en la región interandina a alturas medias de 3212 msnm y 3110 msnm, respectivamente, situadas en el suroccidente de la Ciudad de Riobamba, a una distancia de 38 km, a lo largo de la Vía Riobamba - Cuenca (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Columbe, 2015).

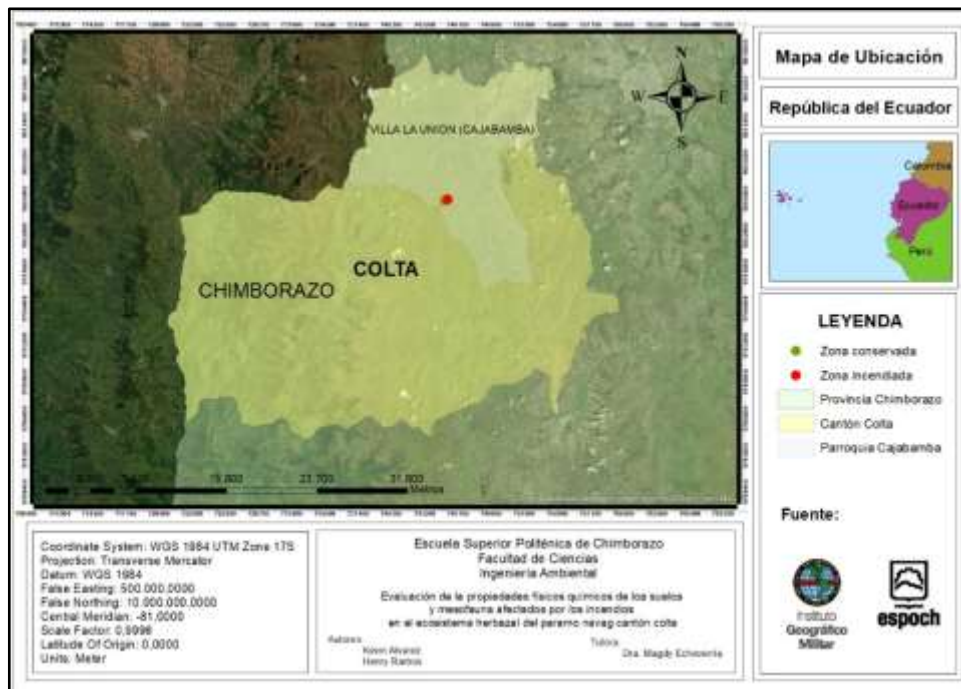


Ilustración 3-1: Ubicación del cantón Colta

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

Para establecer los límites geográficos del área de estudio, se optó por delimitarla mediante un acceso desde el cantón Colta, específicamente a lo largo de la carretera E487. Esta elección permitió una distinción clara entre la zona conservada y la que había sido afectada por incendios, creando así un ecosistema representativo que se puede encontrar en toda la provincia de Chimborazo.

Se utilizaron Google Maps y Google Earth como herramientas de GPS, aprovechando los datos proporcionados por el satélite Landsat 8. Esto permitió la determinación precisa de la ubicación de cada punto de muestreo y la delimitación de las áreas intervenidas y conservadas en las que se implementaron los transectos (Arroyo y Arroyo, 2022, pp. 1-16).

Luego de llevar a cabo una visita preliminar al área de investigación, se procedió a realizar la cartografía del lugar utilizando el software ArcGIS. Se marcaron los puntos de muestreo en función de la extensión superficial del área. Se aprovecharon las capacidades de las Herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para definir con precisión el alcance de la investigación, ya que estas herramientas ofrecen una variedad de aplicaciones y procesos que agilizaron y simplificaron de manera eficiente la tarea de analizar y delimitar la zona de estudio (Reinoso Saraguro, 2022, pp. 1-83).

3.3. Población y muestra

Suelo de la zona conservada y suelo de la zona incendiada del páramo Navag

3.3.1. Puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo representan ubicaciones específicas elegidas con el propósito de analizar cómo evolucionan y se comportan los ecosistemas naturales, ofreciendo datos cruciales que respaldan la toma de decisiones. En el contexto de esta investigación, se establecieron 4 transectos de manera estratégica en toda el área de estudio para llevar a cabo la recopilación de muestras destinadas a evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo y llevar a cabo la identificación de la mesofauna edáfica.

La Tabla 3-1 presenta las coordenadas exactas de los transectos en la zona de estudio dentro del páramo Navag. Estas coordenadas fueron registradas con precisión para facilitar la recopilación de información necesaria durante el proceso de monitoreo.

Tabla 3-1: Coordenadas de los transectos

	X (UTM)	Y (UTM)	Altitud (msnm)
T1-ZC	744316,3	9805175,8	3972
	744313.31	9805354	3957
T3-ZC	744562.75	9805360.53	3946
	744491	9805507	3948
T2-Z.inc	744540	9805271	3936
	744408	9805135	3966
T4-Z.inc	744511,51	9805137	3947
	744608	9805003	3946

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

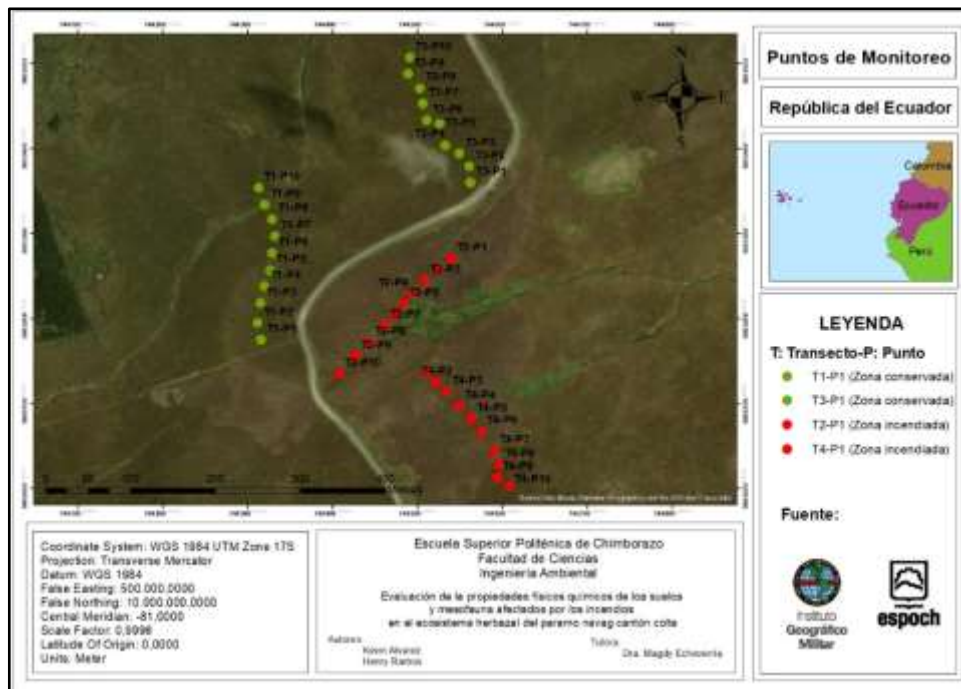


Ilustración 3-2: Puntos de monitoreo
 Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

3.3.2. Muestra

Dado que el estudio se centró en las propiedades fisicoquímicas y la mesofauna edáfica, resultó impracticable medir cada individuo de esta población en su totalidad. Por lo tanto, se optó por tomar una muestra representativa.

Para calcular la cantidad de muestras necesarias, se aplicó un método de muestreo aleatorio simple, utilizando la siguiente fórmula con los siguientes parámetros: con un margen de confianza de 1.96 y un margen de error de 0.5

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{E^2 * (N - 1) + E^2 + Z_a^2 * p * q}$$

Donde:

p: es la probabilidad de que un evento se presente.

q: a diferencia del anterior dato, es la probabilidad de que ese mismo evento no se presente.

E: es el margen de error de la investigación, el investigador puede establecerlo de manera individual.

N: tamaño de la población.

S: es la varianza.

3.4. Método de muestreo

En este estudio, se aplicó el método de muestreo recomendado por el Programa de Biología y Fertilidad del Suelo Tropical (BFST), el cual consistió en la recolección de un total de 40 muestras a través de un proceso de muestreo aleatorio simple (Robinson, 1994, pp. 5-221).

3.4.1. Muestreo de suelo y mesofauna

Para llevar a cabo el estudio, se consideró la extensión superficial del área de estudio. Esta área se dividió en dos zonas: la zona afectada por incendios y la zona bajo conservación. En cada zona, se establecieron transectos con una longitud aproximada de 200 metros cada uno. Estos transectos se utilizaron para la toma de muestras de suelo y mesofauna.

Para la recolección de la mesofauna, se establecieron cuatro transectos, cada uno compuesto por 10 monolitos de 10x10x10 cm (Ilustración 3-1). Estos monolitos se colocaron a una distancia de separación de 20 metros entre cada punto de muestreo (Ilustración 3-2). Siguiendo el método de muestreo recomendado por el Programa de Biología y Fertilidad del Suelo Tropical (BFST), se designaron 10 puntos de muestreo en cada transecto, lo que resultó en un total de 40 muestras de suelo en el área de estudio.

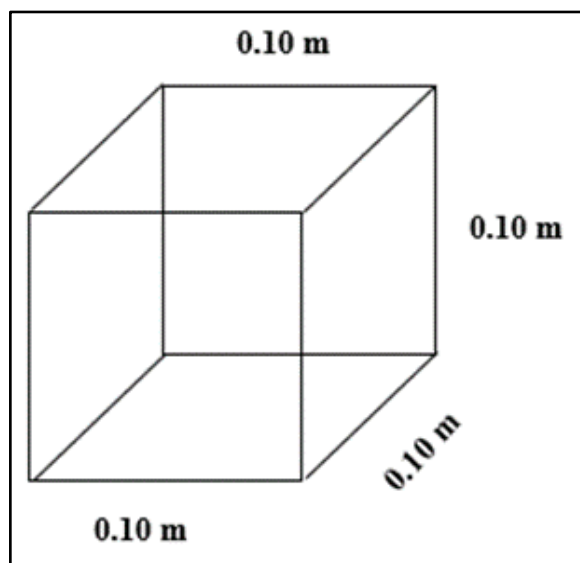


Ilustración 3-3: Diseño del monolito

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

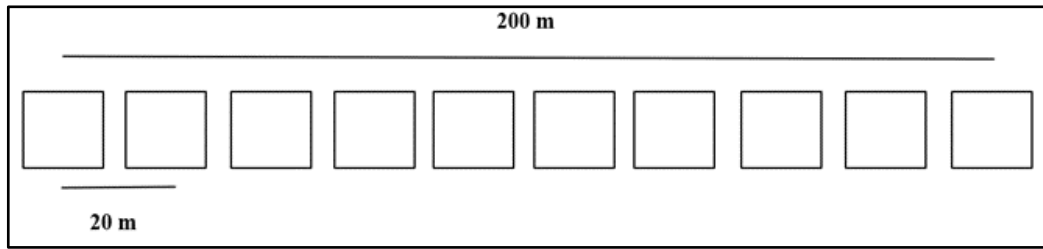


Ilustración 3-4: Distribución de monolitos por transecto

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

En cuanto a las muestras destinadas al análisis fisicoquímico de los suelos, se tomaron cinco submuestras simples en cada punto de muestreo, con una separación de 10 metros por punto de extracción. Posteriormente, se mezclaron y homogenizaron estas submuestras para obtener una muestra compuesta representativa de cada punto de muestreo

3.4.1.1. Manejo de muestras

En primer lugar, se almacenaron las muestras recolectadas en coolers diseñados para el transporte, con una identificación clara de cada una que incluía el transecto, la zona y el monolito recolectado.

En el caso de la mesofauna, se tomó especial cuidado para mantener su estado lo más natural posible hasta su llegada al laboratorio. Para lograr esto, cada monolito se envolvió con papel film. Una vez en el laboratorio, se llevó a cabo la extracción de la mesofauna del suelo, depositando cada monolito en bandejas metálicas y utilizando pinzas pequeñas para recolectar todos los organismos presentes. Cada organismo se colocó en cajas Petri plásticas, a las cuales se les asignó un código de clasificación único para evitar cualquier confusión o error durante el proceso.

Además, se empleó alcohol al 96% como agente conservante para los organismos. Cada caja Petri contenía una cantidad suficiente de este líquido para garantizar la adecuada conservación de los organismos recolectados (Merino Rodríguez, 2021, pp. 1-121).

3.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Materiales

A continuación, se detallan los materiales empleados en la realización del estudio.

Tabla 3-2: Descripción general de los materiales

Materiales y equipos de campo	
Cooler	Indispensable para el traslado de muestra para conservar la muestra a la temperatura correspondiente.
GPS	Útil para la toma de datos georreferenciales de cada punto de muestreo
Barreno	Perfecto para obtener muestras de análisis fisicoquímico a una distancia de 30 cm desde la superficie.
Hoyadora manual	Se usa únicamente para la extracción de monolitos para el análisis biológico de mesofauna.
Cilindros volumétricos	Material indispensable para el proceso determinativo de densidad aparente en el laboratorio.
Temperature and humidity Datalogger	Equipo necesario para tomar datos como: humedad, temperatura del suelo, temperatura ambiente.
Calibrador	Perfecto para medir con alta precisión las dimensiones de los monolitos, así como los cilindros metálicos.
Cajas Petri plásticas	Material útil para la separación de mesofauna y fácil reconocimiento dentro de la misma.
Papel filme	Útil para sellar las muestras en campo y mantenerlas frescas durante el traslado.

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

3.5.2. Fase de campo

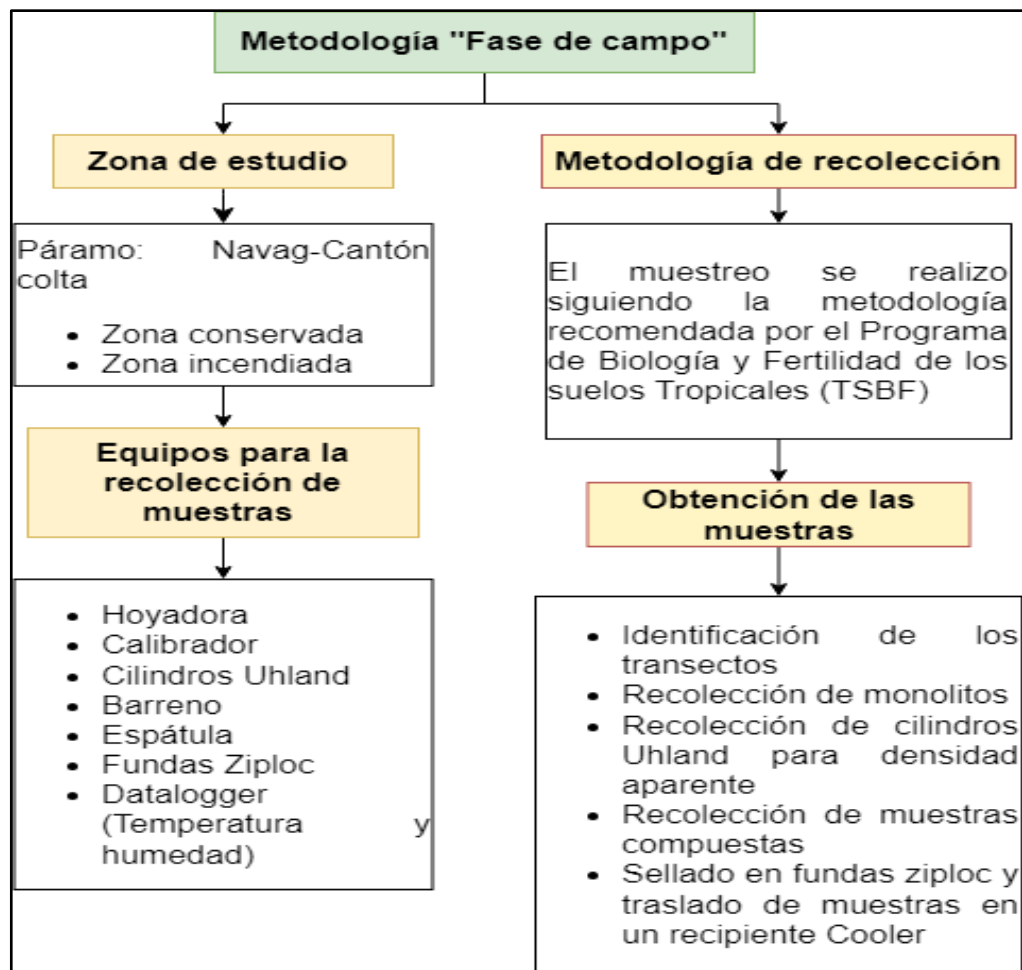


Ilustración 3-5: Metodología fase de campo

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

3.5.3. Fase de laboratorio

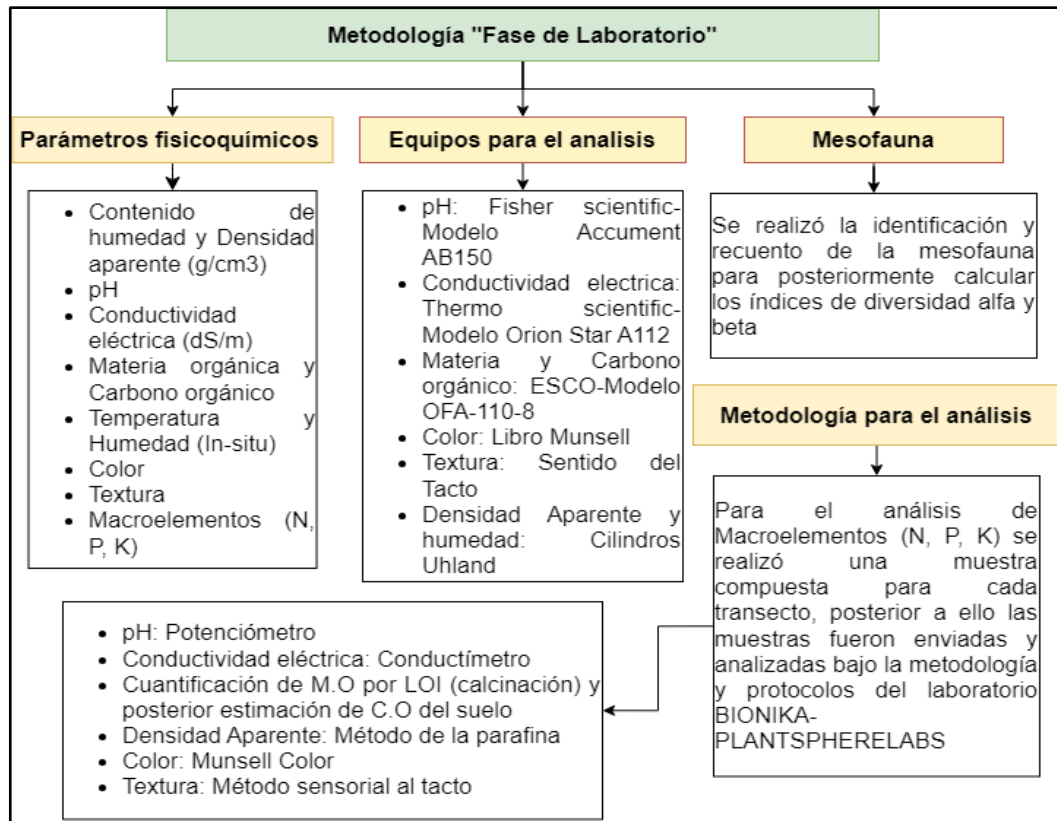


Ilustración 3-6: Metodología fase de laboratorio

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

3.5.4. Índices de diversidad Alfa y Beta

En primer lugar, se realizó la identificación y recuento de la mesofauna edáfica, desempeñando un papel crucial en la determinación del número, densidad y equilibrio de los grupos, así como en la evaluación de la biodiversidad (Gutiérrez, Altamirano, 2017).

Con el propósito de cuantificar la biodiversidad de la mesofauna del suelo en cada tipo de suelo y discernir el impacto de los incendios en su abundancia y diversidad, se calcularon los índices de biodiversidad alfa y beta (Ibáñez y García, 2020, pp. 1-53). Se utilizó las ecuaciones mencionadas en la sección de fundamentos teóricos del Capítulo II.

3.5.4.1. Índice de Shannon-Wiener

Se calculó la abundancia proporcional utilizando el índice Shannon-Wiener, el cual es ampliamente empleado para evaluar la biodiversidad en ecología y disciplinas afines. Este índice alfa se basa en la suposición de que todos los individuos son seleccionados al azar y están representados en la muestra. En este contexto, los valores del índice varían desde cero, cuando solo hay una especie presente, hasta el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por un número igual de individuos.

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i)(\ln p_i)$$

Donde:

H': Índice de Shannon

S: Número de especies

Pi: Proporción del número total de individuos que constituyen la especie

Tabla 3-3: Interpretación del índice de Shannon-Wiener

Interpretación	Valores
Diversidad baja	0,00 – 1,35
Diversidad mediana	1,36 – 3,5
Diversidad alta	Mayor a 3,5

Fuente: (Sánchez, 2020).

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

3.5.4.2. Índice de Simpson

Este índice evaluó la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenecieran a la misma especie. Su cálculo se basó en la influencia significativa de las especies dominantes en el ecosistema (Moreno, 2001).

$$\lambda = \sum_{i=1}^s p_i^2$$

Donde:

pi = abundancia proporcional de la especie i

Tabla 3-4: Interpretación del índice de Simpson

Interpretación	Valores
Diversidad baja	0,00 – 0,35
Diversidad mediana	0,36 – 0,75
Diversidad alta	0,76 – 1,00

Fuente: (Pujos, 2013, p. 20).

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

3.5.4.3. Índice de Margalef

Se utilizará el índice de diversidad de Margalef para obtener una proporción en donde se relacionará el número de especies y el número total de individuos en el total de la zona de muestreo (Moreno, 2001, p.26).

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

3.5.4.4. Índice de similitud de Sorensen

El índice de Sorensen fue utilizado para evaluar la presencia o ausencia de especies faunísticas en el suelo con el fin de identificar la relación de una especie con las comunidades recolectadas en la zona de estudio.

$$I_s = \frac{2c}{a + b}$$

Donde:

IS: Índice de Sorensen

a y b: es la riqueza de especies en los transectos examinados;

c: es el número de especies que comparten el mismo par de transectos.

Tabla 3-5: Interpretación de Sorensen

Interpretación	Valores
Disimiles	0,00 – 0,35
Mediamente similares	0,36 – 0,75
Muy similares	0,76 – 1,00

Fuente: (Pujos, 2013, p. 20).

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

3.6. Análisis estadístico

3.6.1. *T de Student*

Se utilizó una prueba t de Student (t-test) para comparar las diferencias en las propiedades fisicoquímicas entre los transectos de la zona incendiada y la zona bajo conservación. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas post hoc para identificar las propiedades específicas que mostraban diferencias significativas entre los grupos.

3.6.2. *Coefficiente de Pearson*

Con el propósito de analizar la relación entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y la abundancia de la mesofauna, se llevó a cabo un análisis de correlación lineal empleando el coeficiente de Pearson. Esta medida estadística, que varía entre -1 y 1, se utilizó para determinar la existencia de correlaciones significativas entre variables, indicando si ciertos parámetros fisicoquímicos influían en la presencia de la mesofauna. La magnitud de estas correlaciones se presenta en detalle en la tabla 3-5. De esta manera, se pudo identificar las interdependencias entre las variables estudiadas (Vicent, 1991, pp. 1-32).

Tabla 3-6: Interpretación del coeficiente de correlación

$r = 1$	Correlación perfecta
$0,8 < r < 1$	Correlación muy alta
$0,6 < r < 0,8$	Correlación alta
$0,4 < r < 0,6$	Correlación moderada
$0,2 < r < 0,4$	Correlación baja
$0 < r < 0,2$	Correlación muy baja
$r = 0$	Correlación nula

Fuente: (Sarabia, 2015).

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Parámetros fisicoquímicos

4.1.1. Parámetros físicos

Los resultados de los parámetros físicos evaluados se presentan detalladamente en la tabla 4-2, la cual exhibe los valores correspondientes a la zona de conservación (T1-ZC y T3-ZC) y la zona afectada por incendios (T2-Z.inc y T4-Z.inc).

Tabla 4-1: Propiedades físicas de los transectos conservados e incendiados del páramo Navag

Suelo	Código	DA (g/cm ³)	Humedad (%)	Textura	Color
Conservado	T1-ZC	0,617	44,7	FRANCO LIMOSO	5Y-2,5/2
	T3-ZC	0,637	44,2		
Incendiado	T2-Z.inc	0,595	47,4	FRANCO ARENOSO	5YR-4/1
	T4-Z.inc	0,586	46,5		

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

La densidad aparente, es una propiedad física fundamental que influye en la estructura y la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo. Como se observa en la tabla 4-1 los suelos de las áreas conservadas exhibieron una densidad aparente que oscila entre 0.617 y 0.637 g/cm³, mientras que los suelos de las zonas afectadas por incendios registraron valores que oscilan entre 0,586 y 0,595 g/cm³. Estos hallazgos apuntan a que, en términos generales, los suelos en las áreas impactadas por incendios presentan una menor densidad aparente en comparación con los suelos conservados. La disminución en la densidad aparente en las áreas incendiadas puede ser atribuida a diversos factores. Uno de los factores primordiales se relaciona con la degradación de la materia orgánica en el suelo debido a la combustión durante los incendios, lo que conlleva a la pérdida de agregados en el suelo y, en consecuencia, a una reducción en la densidad aparente (Amerh et al., 2022, pp. 1419-1441). Cabe destacar que, a pesar de esta diferencia, los valores de densidad aparente obtenidos se mantienen dentro del rango característico de los suelos de páramo, como lo señala Andinos (2012, p. 212), que establece que estos suelos generalmente oscilan entre 0.4 y 0.8 g/cm³ en términos de densidad aparente.

En cuanto a la humedad del suelo, se observó que los suelos conservados mantuvieron los siguientes valores: 44,7% y 44,2%, mientras que en los suelos afectados por incendios se experimentó un ligero aumento, alcanzando valores que oscilan entre 46,5% y 47,4%. Este aumento en la humedad de los suelos después de los incendios es congruente con la perspectiva de Hillemann (2018, pp. 1-2), quien sostiene que, en general, los suelos quemados con intensidad de baja a moderada gravedad tienden a volverse más húmedos debido a la reducción de la evapotranspiración después de la quema de la vegetación, lo que resulta en una menor extracción de agua del suelo hasta que las plantas se regeneran. En cambio, en situaciones de incendios con una intensidad de alta gravedad, la dinámica puede revertirse, llevando a un posible incremento en la sequedad del área, ya que el cambio en la escurritia supera al cambio en la evapotranspiración (Hillemann, 2018, pp. 1-2). Además, estos hallazgos se encuentran en línea con los resultados obtenidos por Cajilema y Piguabe (2020, pp. 44-47) en el páramo de Quimiag, donde se reportaron niveles de humedad en el suelo que variaron entre el 44.74% y el 58.87%. La ligera discrepancia observada entre los valores podría explicarse por posibles variaciones geográficas y climáticas en las diferentes áreas de estudio.

En lo que respecta a la textura de los suelos en el páramo Navag, a una profundidad de 0-30 cm, se destacaron dos clases distintas en nuestras zonas de estudio. En los dos transectos (T1-ZC y T3-ZC), correspondientes a las zonas conservadas, prevaleció la textura denominada "Franco-limosa". Contrariamente, en los transectos (T2-Z.inc y T4-Z.inc) que representan las zonas afectadas por incendios, la textura predominante fue "Franco-arenosa". Estas diferencias en la textura del suelo pueden atribuirse a procesos post-incendio. Según Mataix y Guerrero (2007, p.21), la modificación de la textura hacia un incremento porcentual de partículas gruesas puede estar relacionada con tasas de erosión más elevadas, lo que potencialmente conduce a la pérdida gradual de partículas más finas con el tiempo. Adicionalmente, Amerh et al. (2022, pp. 1419-1441) indican que la presencia aumentada de partículas de arena y limo después de un incendio forestal se origina debido al colapso y la posterior degradación de la estructura en forma de red de las partículas de arcilla en el suelo. Esto conduce a la unión de partículas más pequeñas, generando partículas de arena y limo de mayor tamaño o granulosis.

Finalmente, en relación con la propiedad del color, según la nomenclatura de la escala Munsell, los suelos muestreados en los transectos correspondientes a la zona conservada exhibieron matices en los rangos de 5Y, caracterizados por luminosidades y saturaciones que varían hacia tonalidades más oscuras. En contraste, en los transectos representativos de la zona afectada por incendios, se observaron matices en los rangos de 5YR, con luminosidades y saturaciones que tienden a mostrar una apariencia más gris y oscurecida. La notoria diferencia en la apariencia cromática de los suelos entre las áreas conservadas y las afectadas por incendios podría estar

vinculada a los niveles de contenido de materia orgánica en el suelo, como señalan Andrades et al. (2015, p. 15).

4.1.2. *Parámetros químicos*

Se llevaron a cabo análisis para determinar diversas propiedades químicas esenciales en los suelos de los transectos T1-ZC, T3-ZC (área conservada) y T2-Z.inc, T4-Z.inc (área afectada por incendios). Estas propiedades abarcaron el pH, la conductividad eléctrica, la cantidad de materia orgánica y el contenido de carbono orgánico. Adicionalmente, se realizó un muestreo compuesto en cada uno de los transectos para analizar los macroelementos, que comprenden Nitrógeno, Fósforo y Potasio. A continuación, se detallarán los resultados para cada uno de estos parámetros.

4.1.2.1. *pH*

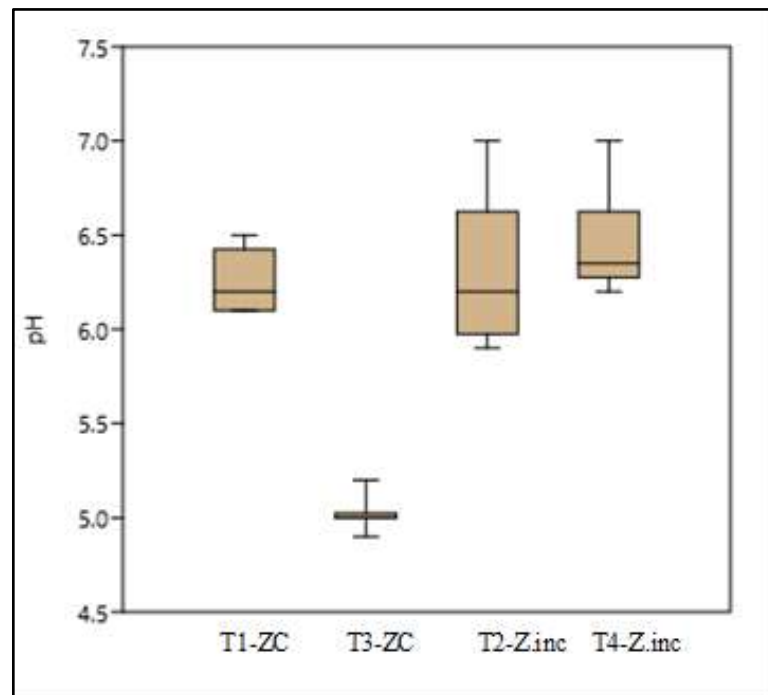


Ilustración 4-1: Diagrama de cajas y bigotes del potencial de hidrógeno (pH)

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

En la Ilustración 4-1, se presentan los resultados del pH de los suelos en cuatro transectos. En los transectos bajo conservación, el T3-ZC muestra valores de pH más bajos, entre 4.9 y 5.2, con una distribución simétrica y poca dispersión mientras que el T1-ZC tiene pH ligeramente más alto, entre 6.1 y 6.5, con dispersión moderada y una leve asimetría positiva. En contraste, en los transectos afectados por incendios, el T4-Z.inc tiene valores de pH más altos, entre 6.3 y 7.0, con poca dispersión y una clara asimetría positiva. El T2-Zinc muestra valores de pH entre 5.9 y 7.0,

con la mayor dispersión entre los transectos y asimetría positiva. No se encontraron datos atípicos en ningún transecto, respaldando la consistencia de los resultados y destacando la mayor variabilidad del pH en áreas afectadas por incendios en comparación con áreas bajo conservación.

En los transectos bajo conservación (T1-ZC y T3-ZC), los valores promedio de pH fueron 6.3 y 5.02, respectivamente, indicando suelos medianamente ácidos a ligeramente ácidos. Estos resultados están en línea con las observaciones de Hofstede et al. (2003, p.7) para suelos de páramo, que generalmente caen dentro del rango de 5 a 7. Por otro lado, los transectos afectados por incendios (T2-Z.inc y T4-Z.inc) mostraron un ligero aumento en el pH, con valores promedio entre 6.3 y 6.4, clasificándolos como ligeramente ácidos. Este incremento puede atribuirse a la incorporación de cenizas durante el incendio, aportando carbonatos, óxidos y cationes básicos al suelo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este aumento no es constante a largo plazo. Las fuertes lluvias pueden provocar un lavado del suelo, llevándose consigo los cationes y resultando en descensos significativos del pH, incluso por debajo de los valores previos al incendio (Martínez et al., 1991; Mataix y Guerrero 2007, p.16).

Este fenómeno se encuentra respaldado por el estudio de Pazmiño (2020, pp. 7-98) en la misma área, indica que, en suelos no intervenidos, el pH varía desde muy fuertemente ácido (4.86) hasta medianamente ácido (6.09). En contraste, en suelos intervenidos, pero no afectados por incendios, se encontraron valores promedio entre medianamente ácidos (6) y suelos neutros (6.93). Estos resultados subrayan la sensibilidad del pH del suelo a las intervenciones humanas y naturales, como los incendios.

4.1.2.2. Conductividad eléctrica

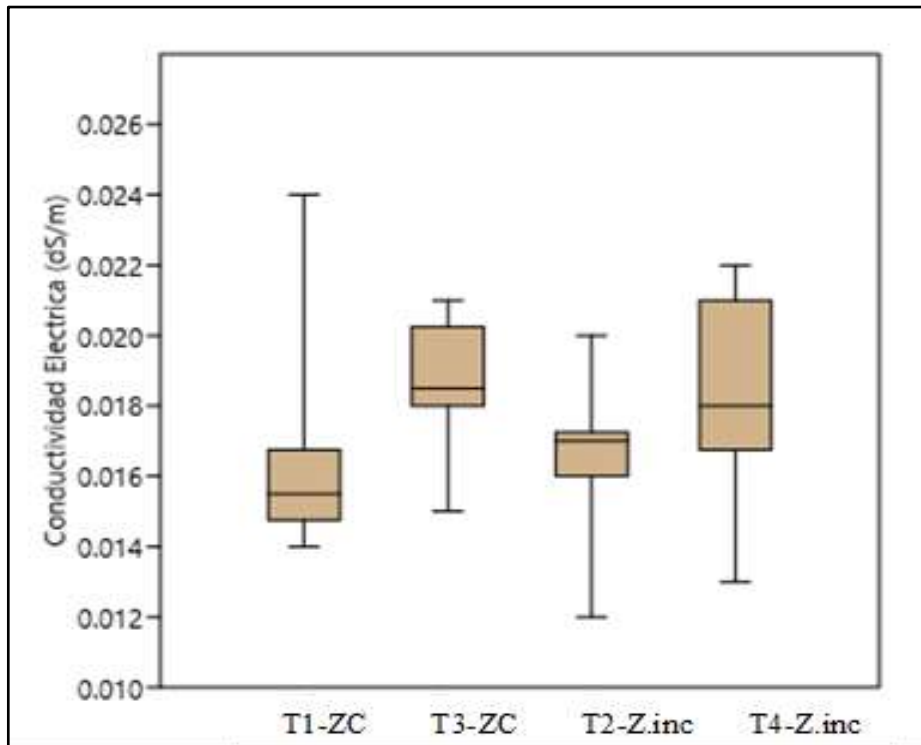


Ilustración 4-2: Diagrama de cajas y bigotes de la conductividad eléctrica (CE)

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

Los resultados de la ilustración 4-3 revelan similitudes en los valores de conductividad eléctrica entre los cuatro transectos. A pesar de una notable dispersión de datos, no se identifican valores atípicos, lo que sugiere una consistencia en los niveles de conductividad eléctrica en toda la zona de estudio. En el caso del T1-ZC, la conductividad eléctrica varió de 0,014 a 0,024 dS/m, mostrando una leve asimetría positiva. De manera similar, el T3-ZC exhibió valores entre 0,015 a 0,021 dS/m, también con asimetría positiva. En cambio, los transectos afectados por incendios presentaron una menor conductividad eléctrica en comparación con los de la zona bajo conservación. Para el T2-Z.inc, los valores oscilaron entre 0,012 y 0,020 dS/m, mostrando una asimetría negativa. En el caso del T4-Z.inc, los valores se situaron entre 0,013 y 0,022 dS/m, con una asimetría positiva.

Los valores promedio de conductividad eléctrica registrados para los transectos T1-ZC y T3-ZC fueron 0.0165 dS/m y 0.0186 dS/m, respectivamente. Por otro lado, los transectos T2-Z.inc y T4-Z.inc exhibieron valores similares a los de las zonas conservadas, con 0.01667 dS/m y 0.01813 dS/m, respectivamente. Esta semejanza en los valores de conductividad eléctrica entre las zonas podría explicarse por condiciones iniciales uniformes y por la capacidad de recuperación natural del suelo. Es importante destacar que la conductividad eléctrica está influenciada por factores

como el contenido de agua, la proporción de arcilla y la presencia de iones intercambiables en el suelo. Estos componentes son capaces de conducir la corriente eléctrica y tienen un impacto directo en las características nutricionales del suelo (Cajilema y Piguabe, 2020, p.10). Por otro lado, de acuerdo con Porta et al. (2019, p. 245), los suelos en los cuatro transectos pueden caracterizarse como no salinos, ya que sus valores de conductividad eléctrica son inferiores a 2 dS/m, lo que indica una baja presencia de sales solubles.

4.1.2.3. Materia orgánica y carbono orgánico

La presencia de materia y carbono orgánicos en el suelo son propiedades bioquímicas de vital importancia, ya que se consideran factores determinantes de la calidad del suelo. Estas propiedades no solo reflejan la salud del ecosistema, sino que también son indicadores clave de la capacidad del suelo para sustentar la vida vegetal y animal, así como para retener nutrientes esenciales (Mataix, 1999, p. 59).

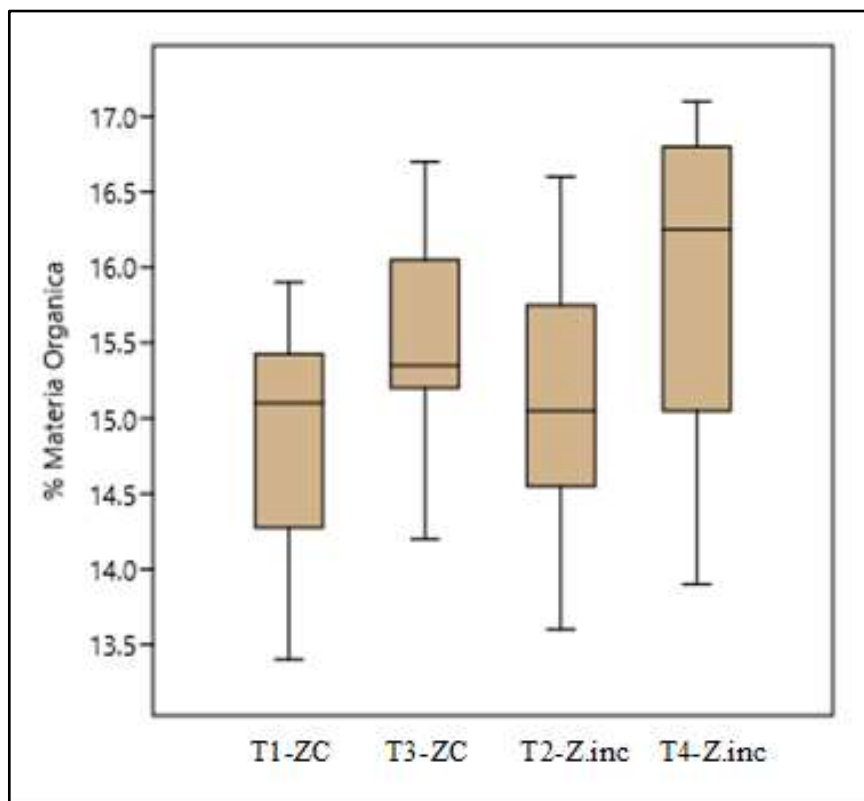


Ilustración 4-3: Diagrama de cajas y bigotes de la materia orgánica (MO)

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

Los resultados de la ilustración 4-3 muestran que los datos de materia orgánica están moderadamente dispersos en los cuatro transectos de estudio, con pequeñas diferencias en sus valores. El transecto T1-ZC tuvo los valores más bajos, oscilando entre 13,4% y 15,9%, mientras

que el transecto T3-ZC mostró valores ligeramente más altos, entre 14,2% y 16,7%. En cuanto a los transectos en áreas afectadas por incendios, el T2-Z.inc tuvo valores entre 13,6% y 16,6%, mientras que el T4-Z.inc mostró valores más altos, entre 13,9% y 17,1%. En términos de la distribución de datos, los transectos T3-ZC y T2-Z.inc mostraron una asimetría positiva, mientras que los transectos T1-ZC y T4-Z.inc presentaron asimetría negativa.

En cuanto a los promedios de materia orgánica correspondientes a los transectos T1-ZC y T3-ZC en la zona conservada, se registraron valores de 14,9% y 15,5%, respectivamente. En contraste, los transectos T2-Z.inc y T4-Z.inc en la zona afectada por incendios mostraron valores promedio de 15,1% y 15,9%, respectivamente. La intensidad del fuego, según Mataix (1999, p.58), tiene efectos significativos en la materia orgánica del suelo. En incendios de alta intensidad que afectan las capas superficiales, la materia orgánica suele disminuir. Por otro lado, en incendios de baja intensidad, la materia orgánica puede aumentar debido al aporte de material vegetal parcialmente quemado.

Los resultados obtenidos en los cuatro transectos coinciden con las observaciones de Hofstede et al. (2003, p.7), quienes señalaron una variabilidad significativa en el contenido de materia orgánica de los suelos de páramo, variando del 3% al 44%. Según estos estudios, en la zona sur del Ecuador, los suelos de páramo bajo pajonal tienen un promedio de materia orgánica del 17,4% en los primeros 30 cm de profundidad. Estos datos respaldan la idea de que, a pesar de los incendios, el contenido de materia orgánica en el ecosistema herbazal del páramo Navag se mantiene dentro de los valores típicos de la región.

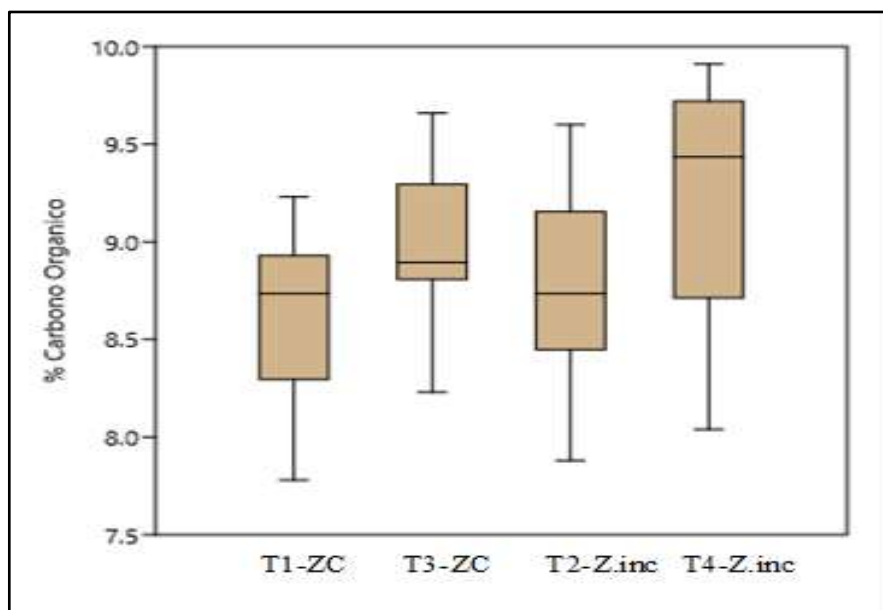


Ilustración 4-4: Diagrama de cajas y bigotes del carbono orgánico (CO)

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

Los datos de carbono orgánico en los transectos presentan una dispersión moderada (Ilustración 4-4). En la zona conservada, T1-ZC varía de 7,78% a 9,23%, mientras que T3-ZC fluctúa entre 8,23% y 9,66%. En las áreas afectadas por incendios, T2-Z.inc tiene valores de 7,88% a 9,60%, y T4-Z.inc oscila entre 8,04% y 9,91%. La distribución de datos en los transectos refleja la misma asimetría mencionada anteriormente para la materia orgánica.

Los promedios de carbono orgánico en los transectos varían entre zonas. En la zona conservada, los transectos T1-ZC y T3-ZC tienen promedios de 8,6% y 9,0%, respectivamente. En la zona afectada por incendios, los transectos T2-Z.inc y T4-Z.inc tienen promedios de 8,8% y 9,2%, respectivamente. De acuerdo con Amerh et al. (2022, pp. 1419-1441), los cambios en el carbono orgánico del suelo dependen de factores como la duración del incendio, biomasa disponible, humedad y la intensidad del fuego. Los incendios de baja intensidad pueden provocar cambios pequeños o grandes en el carbono orgánico del suelo, mientras que los incendios de alta intensidad suelen disminuir el carbono orgánico del suelo. Estos hallazgos subrayan la variabilidad en las respuestas del carbono orgánico del suelo a los incendios, destacando la complejidad de estos procesos. Además, los resultados en los cuatro transectos coinciden con las observaciones de Hofstede et al. (2023, p.61), quienes indicaron una diversidad considerable en el contenido de carbono orgánico de los suelos de páramo, oscilando desde el 0,5% hasta el 10%.

4.1.2.4. Macroelementos (N, P, K)

Tabla 4-2: Macroelementos de los transectos conservados e incendiados del páramo Navag

SUELO	CÓDIGO	NITRÓGENO (ppm)	FOSFORO (ppm)		POTASIO (ppm)	
		NITRATOS	TOTAL	Sol.H2O	TOTAL	Sol. H2O
CONSERVADA	T1-ZC	3,1	115	61	79	32
	T3-ZC	3,7	88	26	99	49
INCENDIADA	T2-Z.inc	1,5	79	42	88	25
	T4-Z.inc	0,9	68	22	74	15

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

La tabla 4-2 muestra que los suelos bajo conservación tienen valores más altos para todos los macroelementos en comparación con los suelos afectados por incendios. En cuanto a los nitratos, se registran valores de 3,1 ppm y 3,7 ppm en los transectos T1-ZC y T3-ZC, mientras que en los transectos T2-Z.inc y T4-Z.inc se obtuvieron valores entre 1,5 ppm y 0,9 ppm. Esta disminución en la zona afectada se explica, como señalan Mataix y Guerrero (2007, pp. 18-19), por la sensibilidad del nitrógeno a las altas temperaturas alcanzadas durante los incendios. Tanto el amonio como el

nitrato son susceptibles de volatilizarse a temperaturas cercanas a los 200°C, lo que contribuye a la reducción de los niveles de nitratos en la zona afectada por incendios.

El fósforo total mostró una diferencia significativa entre los suelos conservados (T1-ZC; T3-ZC), con los siguientes valores: 115 ppm y 88 ppm, mientras que los suelos incendiados (T2-Z.inc; T4-Z.inc), registraron valores entre 79 ppm y 68 ppm. A menudo, tras un incendio, los contenidos de fósforo en formas asimilables aumentan debido a la ceniza resultante de la combustión de la vegetación, como indican Mataix y Guerrero (2007, p. 18). Sin embargo, según Amerh et al. (2022, pp. 1419-1441), después de un incendio, las reservas de nutrientes en el suelo, especialmente fósforo, pueden reducirse hasta en un 35-50% debido a procesos de volatilización y oxidación. Además, Mataix y Guerrero (2007, pp. 18-19) señalan la posibilidad de pérdida de fósforo en formas solubles y particuladas debido al aumento de la escorrentía y la erosión después del fuego.






En cuanto al macroelemento potasio, se observan valores de 79 ppm y 99 ppm en los suelos conservados (T1-ZC; T3-ZC), en contraste con los 88 ppm y 74 ppm registrados en los suelos incendiados (T2-Z.inc; T4-Z.inc). Este declive en el contenido de potasio se relaciona con el efecto de las precipitaciones, que con el tiempo reducen la concentración de potasio en las cenizas, y también con la lixiviación del potasio en el suelo, lo que empobrece el sustrato en este macronutriente (Mataix, 1999, p. 191).





Es importante notar que los suelos de los 4 transectos muestran un contenido nutricional alto y una disponibilidad adecuada de macronutrientes como el fósforo y el potasio. Sin embargo, en cuanto al nitrógeno, los valores son notablemente bajos en ambos transectos. Esta variación se debe a la naturaleza dinámica y cambiante de este elemento, que puede ser influenciada incluso por intervenciones mínimas en el suelo.





4.2. Mesofauna edáfica






En la zona de estudio, se han identificado 8 clases, 11 órdenes y 19 familias que abarcan la composición taxonómica de la mesofauna. A continuación, se presenta un análisis detallado de la mesofauna encontrada, junto con imágenes y códigos correspondientes para una mejor comprensión.


Tabla 4-3: Composición taxonómica de mesofauna edáfica del páramo Navag, cantón Colta

CLASE	ORDEN	FAMILIA	IMAGEN	COD
Malacostraca	Isopoda	Porcellionidae		Sp1
Arachnida	Araneae	Lycosidae		Sp2
Clitellata	Haplota xi da	Enchytraeidae		Sp3
Chilopoda	Geophilo morpha	Geophilidae		Sp4
Insecta	Diptera	Rhagionidae		Sp5

Clitellata	Haplotaxida	Lumbricidae		Sp6
	Lepidoptera	Tineidae		Sp7
Insecta	Coleoptera	Staphylinidae		Sp8
		Elmidae		Sp9

		Scarabaeidae		Sp10
Acari	Astigmata	Lohmanniidae		Sp11
Arachnida	Araneae	Linyphiidae		Sp12
Insecta	Coleoptera	Anthicidae		Sp13

Crustacea	Isopoda	Asellidae		Sp14
Diplopoda	Platydesmida	Platydesmidae		Sp15
Acari	Trombiiformes	Trombidiidae		Sp16
Insecta	Coleoptera	Carabidae		Sp17
	Diptera	Tabanidae		Sp19

Insecta	Diptera	Dolichopodidae		Sp20

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

4.2.1. Densidad de especies

La densidad de especies se refiere a la cantidad de individuos de una especie particular que se encuentra en un área o hábitat específico. Para proporcionar una descripción de la densidad de especies en la zona intervenida y zona conservada se muestra la siguiente tabla:

Tabla 4-5: Densidad poblacional muestreada en la zona de estudio

Familia	Total	MEDIDAS DE DOMINANCIA	
		ABUN	%/Domrel
<i>porcellionidae</i>	3		0,95
<i>Lycosidade</i>	2		0,63
<i>Enchytraeidae</i>	81		25,71
<i>geophilidae</i>	155		49,21
<i>rhagionidae</i>	8		2,54
<i>lumbricidae</i>	13		4,13
<i>tineidae</i>	5		1,59
<i>staphylinidae</i>	1		0,32
<i>elmidae</i>	7		2,22
<i>linyphiidae</i>	4		1,27
<i>scarabaeidade</i>	25		7,94
<i>Acrididae sp</i>	1		0,32
<i>lohmanniidae</i>	2		0,63
<i>Hybosoridae sp</i>	3		0,95
<i>carabidae</i>	1		0,32
<i>platydesmidae</i>	1		0,32
<i>trombidiidae</i>	1		0,32
<i>anthicidae</i>	1		0,32
<i>asellidae</i>	1		0,32
	315		100

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

Dentro del primer transecto que corresponde a la zona conservada con 10 puntos muestrales se identificó un total de 13 especies distintas con una clara alta densidad de la especie *Geophilidae*, contando con 60 individuos por una extensión de 200 metros aproximadamente; continuando con

el segundo transecto que corresponde a la zona intervenida, se nota una clara disminución en la densidad de especies en la misma extensión, donde se muestra a la especie *Geophilidae* como la predominante. Continuando con el resultado en la tabla 4-5 se muestra el índice de similitud correspondiente a la zona de estudio dando continuidad al estudio.

Este patrón de distribución y densidad se repite en los transectos tercero y cuarto con una fuerte presencia de la especie anteriormente mencionada, la cual cuenta con un porcentaje del 49% de abundancia en la zona de estudio con valores similares en cada transecto muestreado. Continua con la familia *Enchytraeidae* con 81 individuos, con un salto importante en el número de individuos se encuentra la familia: *Scarabaeidae* con 25 individuos. A continuación, se cuenta 13 individuos de la familia *Lumbricidae*. A partir de las siguientes especies tales como: *porcellionidae*, *Lycosidae*, *rhagionidae*, *tineidae*, *staphylinidae*, *elmidae*, *staphylinidae*, *linyphiidae*, *Saltamontes*, *lohmanniidae*, *gusano en huevo*, *carabidae*, *platydesmidae*, *trombidiidae*, *anthicidae*, *asellidae*, no se encuentran más de 10 individuos en toda la zona de estudio, de la misma manera existen especies que se encuentran exclusivamente en zonas intervenidas y en la zona bajo conservación.

4.2.2. Distribución de la población por transecto

En la tabla 4-6, se presenta el número de individuos en cada sitio de muestreo, ofreciendo información detallada sobre la distribución específica de la población en la zona bajo estudio.

Dentro de la distribución de especies se nota una clara diferencia entre las zonas conservadas e intervenidas como se muestra a continuación, se nota una clara presencia de varias especies en la mayor parte de los puntos muestreados en la zona conservada, de manera totalmente contraria en la zona intervenida se nota una decadencia en la distribución de especies contando con un número inferior en la densidad de estas, así como la distribución en cada punto muestreado. En las siguientes ilustraciones se muestran gráficos de variación de todos los individuos de los consiguientes transectos.

En la primera grafica se muestra una mayor concentración de una misma especie perteneciente a la familia *Geophilidae*, se nota también una dispersión de individuos en todo el transecto por lo que no están focalizados en un mismo punto muestreado.

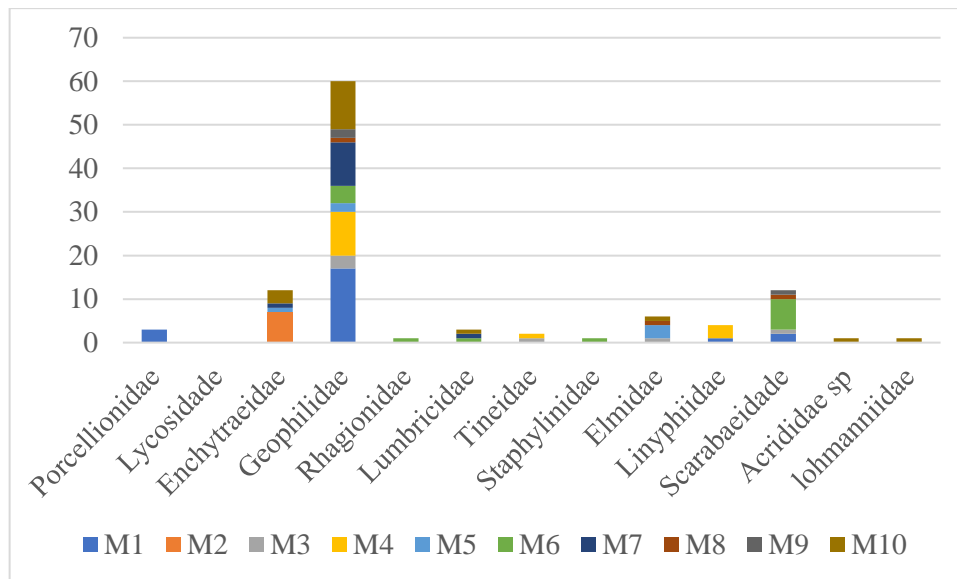


Ilustración 4-5: Variación de mesofauna en el transecto 1

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

En la Ilustración 4-5, se observa la variación de todos los individuos tabulados en el primer transecto. Se destaca una concentración significativa de una especie perteneciente a la familia *Geophilidae*, pero también se nota una dispersión de individuos, lo que indica que no están focalizados en un único punto de muestreo.

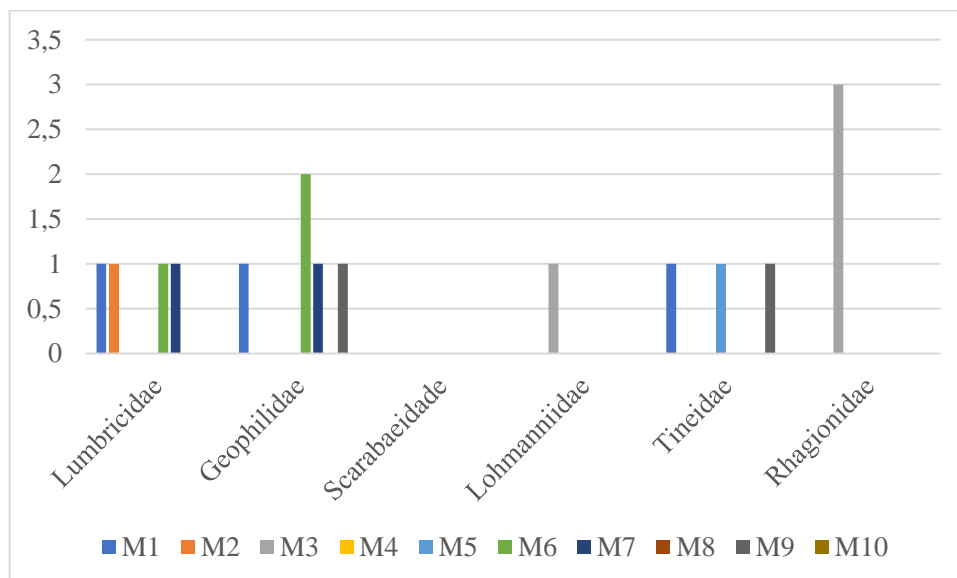


Ilustración 4-6: Variación de mesofauna en el transecto 2

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

En la ilustración 4-6, se aprecia la variación de los individuos tabulados en el segundo transecto. Aquí, se observa una distribución bastante uniforme entre especies de menos familias, con una concentración particular en puntos específicos.

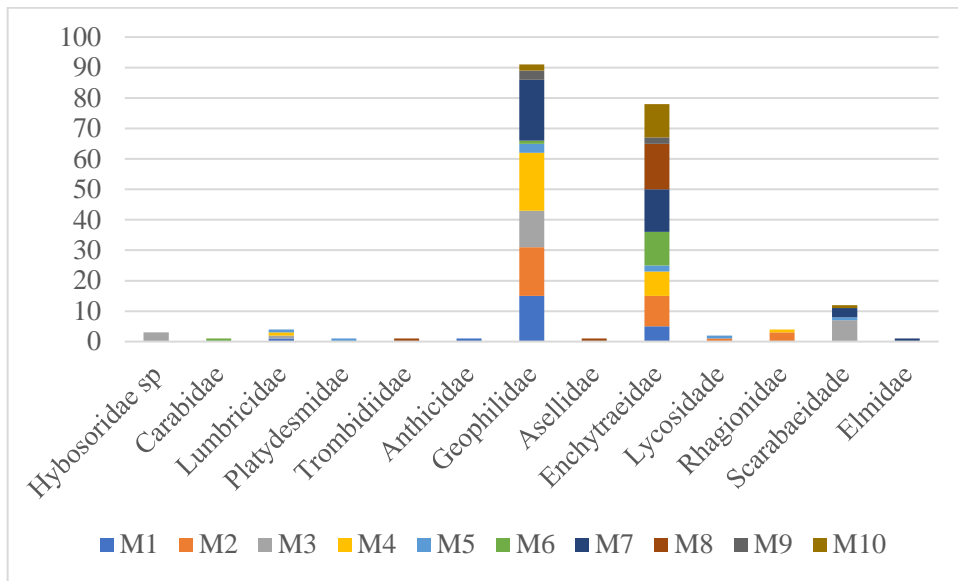


Ilustración 4-7: Variación de mesofauna en el transecto 3

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

En la ilustración 4-7, se observa la variación de todos los individuos tabulados en el tercer transecto. Destacan dos especies dominantes: *Geophilidae* y *Enchytraidae*, con una clara disparidad en su predominancia en comparación con otras familias. Además, es notable que estas especies están presentes en todos los puntos de muestreo, lo que indica que no están concentradas en un área específica.

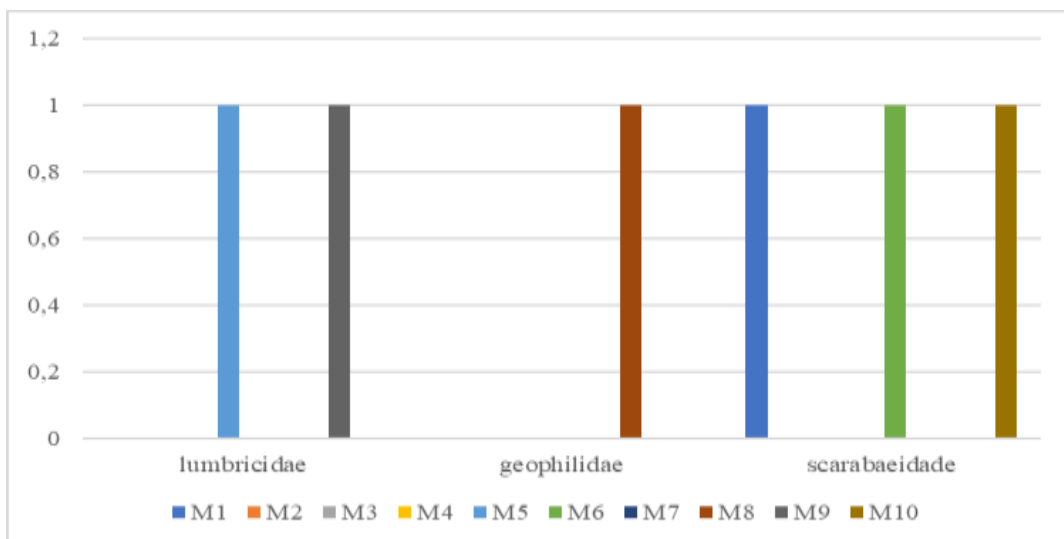


Ilustración 4-8: Variación de mesofauna en el transecto 4

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

En la ilustración 4-8, se aprecia la variación de todos los individuos tabulados en el cuarto transecto, donde se identifican tres familias: *Geophilidae*, *Enchytraidae* y *Scarabaeidae*. Se

observa una concentración particular de individuos en ciertos puntos de muestreo. Es importante notar que este transecto presenta la menor diversidad de especies en comparación con los otros.

4.2.3. Índices de diversidad alfa y beta

Los conjuntos que forman parte de la mesofauna del suelo son vulnerables a las alteraciones naturales y humanas en el entorno. Estas alteraciones causan modificaciones en la composición y cantidad de especies presentes, resultando en la pérdida de diversidad y el descenso de la estabilidad y fertilidad del suelo. Por lo tanto, la mesofauna edáfica se considera un indicador confiable del estado de conservación del suelo (Balvanera, 2009, pp. 1-47).

El número, densidad y equilibrio de estos grupos pueden predecir y evaluar los cambios causados por diversos métodos de agricultura en condiciones específicas de suelo y clima, además de brindar una visión integral del funcionamiento del ecosistema (Altieri, 1999, pp. 1-85).

Tabla 4-6: Índices de diversidad alfa y beta por transecto

	Zona conservada				Zona incendiada		
	Índice Shannon	Índice Simpson	Índice Margalef		Índice Shannon	Índice Simpson	Índice Margalef
T1-ZC	1.04 (baja)	0.65 (media)	2.56 (media)	T2-Z.inc	0.48 (baja)	0.76 (alta)	1.83 (baja)
T3-ZC	1.07 (baja)	0.63 (media)	2.29 (media)	T4-Z.inc	0.48 (baja)	0.76 (alta)	1.24 (baja)

Realizado por: Alvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

Tabla 4-7: Índice de similitud

Combinaciones posibles		Índice Sorensen	Grado de similitud
T1-ZC	T3-ZC	0,48	Medianamente similares
T2-Zinc.	T4-Z.inc	0,50	Medianamente similares
T1-ZC	T2-Z.inc	0,59	Medianamente similares
T1-ZC	T4-Z.inc	0,40	Medianamente similares

T3-ZC.	T2-Z.inc	0,33	Disimiles
T3-ZC	T4-Zinc	0,38	Medianamente similares

Realizado por: Alvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

Los índices de diversidad alfa y beta arrojan distintas perspectivas sobre la diversidad en los transectos estudiados. El índice de Shannon revela que la diversidad es baja en todos los transectos, lo que sugiere una relativa homogeneidad en la composición de especies en tanto que la incertidumbre en predecir a qué especie pertenecerá un individuo escogido al azar es baja, tanto en suelos conservados como intervenidos (Arroyo, 2018, pp. 1-78, 2018; Cubas y Lizetty, 2013, pp. 1-78).

Por otro lado, el índice de Simpson muestra una diversidad media en los transectos T1-ZC y T3-ZC, indicando una probabilidad moderada de que dos individuos tomados al azar sean de la misma especie en la zona conservada. En contraste, los transectos T2-ZC.inc y T4-ZC.inc exhiben una diversidad alta en la zona incendiada, lo que señala una mayor probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie debido a la dominancia de una especie particular (Arroyo, 2018, pp. 1-78, 2018; Cubas y Lizetty, 2013, pp. 1-78).

En cuanto al índice de biodiversidad de Margalef, muestra una baja diversidad en los transectos T2-ZC.inc y T4-ZC.inc, lo que sugiere una menor riqueza de especies en la zona incendiada. En los transectos T1-ZC y T3-ZC se registra una diversidad media, lo que indica una mayor variedad de especies en la zona conservada (Arroyo, 2018, pp. 1-78, 2018; Cubas y Lizetty, 2013, pp. 1-78)

El estudio de similitud utilizando el índice de Sorensen revela patrones intrigantes en las comunidades mesofaunísticas de las zonas conservadas e intervenidas. En la zona conservada, los transectos T1-ZC y T3-ZC muestran una similitud del 48%, indicando una conexión moderada entre sus mesofaunas. De manera similar, en la zona intervenida, los transectos T2-Z.inc y T4-Z.inc exhiben un índice del 50%, revelando también una similitud moderada. Estos hallazgos sugieren la presencia de características mesofaunísticas compartidas, posiblemente influenciadas por factores como proximidad geográfica o influencias ambientales comunes.

Sin embargo, al comparar las zonas conservadas e intervenidas, surgen diferencias notables. Entre los transectos T1-ZC y T2-Zinc se observa una conexión significativa del 59%, indicando una relación importante, aunque no idéntica entre sus comunidades de mesofauna. En cambio, la similitud entre T1-ZC y T4-Zinc es del 40%, mostrando una relación algo más débil. Para los transectos T3-ZC y T2-Zinc, se evidencia una similitud del 33%, denotando diferencias sustanciales en las comunidades de mesofauna. En el caso de los transectos T3-ZC y T4-Zinc, se

presenta una similitud del 38%, señalando una conexión moderada. Esto subraya cómo las perturbaciones, como los incendios, afectan la composición de las comunidades de mesofauna, lo que enfatiza la necesidad de tener en cuenta los impactos de estas alteraciones en la biodiversidad y el funcionamiento de estos ecosistemas.

4.3. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos en zonas incendiadas y bajo conservación

4.3.1. Comparación entre la zona incendiada y zona conservada

Tabla 4-8: Resultados prueba t-Student

Estadísticos de grupo				t	df	Sig. (bilateral)	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
Zona de estudio		N	Media				Inferior	Superior
pH	Zona conservada	20	5,635	-4,539	38	,0001	-1,0556	-0,4044
	Zona Incendiada	20	6,365					
Conductividad	Zona conservada	20	0,018	0,000	38	1,0000	-0,0020	0,0020
	Zona Incendiada	20	0,017					
Fósforo	Zona conservada	20	101,050	7,944	38	,0000	20,5296	34,5704
	Zona Incendiada	20	73,500					
Potasio	Zona conservada	20	88,450	2,709	38	,0101	1,8818	13,0182
	Zona Incendiada	20	81,000					
Nitrógeno	Zona conservada	20	3,400	22,603	38	,0000	2,0030	2,3970
	Zona Incendiada	20	1,200					
MO	Zona conservada	20	15,210	-1,024	38	,3125	-0,8785	0,2885
	Zona Incendiada	20	15,505					
CO	Zona conservada	20	8,812	-1,090	38	,2825	-0,5171	0,1551
	Zona Incendiada	20	8,993					

Mesofauna	Zona conservada	20	15,400	6,682	38	,0000	9,9674	18,6326
	Zona Incendiada	20	1,100					

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

El análisis de la prueba t de Student aplicada a las variables de las zonas conservada e incendiada (Tabla 4-9) proporciona una comprensión detallada de cómo los incendios pueden modificar las características del suelo. Los resultados destacan diferencias significativas en diversas propiedades del suelo entre estas áreas. Específicamente, se observa una alteración notable en los niveles de pH, lo que indica un cambio significativo en la acidez del suelo como consecuencia del incendio. Además, se encuentran diferencias significativas en los macronutrientes: fósforo, nitrógeno y potasio entre las zonas, sugiriendo alteraciones en la disponibilidad de nutrientes en el suelo tras el incendio. La variación en la población de mesofauna también es altamente significativa entre las zonas, sugiriendo una transformación significativa en la biodiversidad del suelo después del incendio.

En contraste, no se observan diferencias significativas en los niveles de conductividad, materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO) entre las zonas conservadas y las incendiadas ($p > 0,05$). Estos resultados sugieren que, aunque el incendio ha impactado de manera significativa en ciertas propiedades del suelo y en la fauna, otras características como la conductividad y la materia orgánica no han sido afectadas de forma considerable.

Este resultado es conexas con la perspectiva del autor De las Heras et al, (1991, p. 108) quien menciona que la materia orgánica (MO) puede verse alterada por el fuego, pero esto dependerá de la intensidad del mismo, para que exista alteraciones significativas deberá haber temperaturas superiores a los 500° C para que la combustión de la materia orgánica sea total. De acuerdo con la perspectiva de Mataix y guerrero, (2007, pp. 17-20) menciona que; la conductividad eléctrica tras la ocurrencia de un incendio aumentan ligeramente debido a la incorporación y solubilización de las cenizas, aun así, esto no se mantiene a largo plazo debido a las precipitaciones que producen un efecto de lavado, respecto al carbono orgánico (CO) este elemento puede ser modificado tanto en calidad como en cantidad, pero, en concordancia con De las Heras et al, (1991, p. 108) coinciden en que esto dependerá de la intensidad del fuego, por lo que en un incendio de baja intensidad se puede observar incrementos de carbono orgánico procedentes de la degradación térmica de la vegetación.

4.3.2. *Correlación entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y la mesofauna*

A continuación, se presentan los resultados de correlación entre los parámetros fisicoquímicos del suelo y la mesofauna del páramo Navag en cada zona de estudio, lo que permite comprender mejor las relaciones entre estos dos aspectos clave del ecosistema.

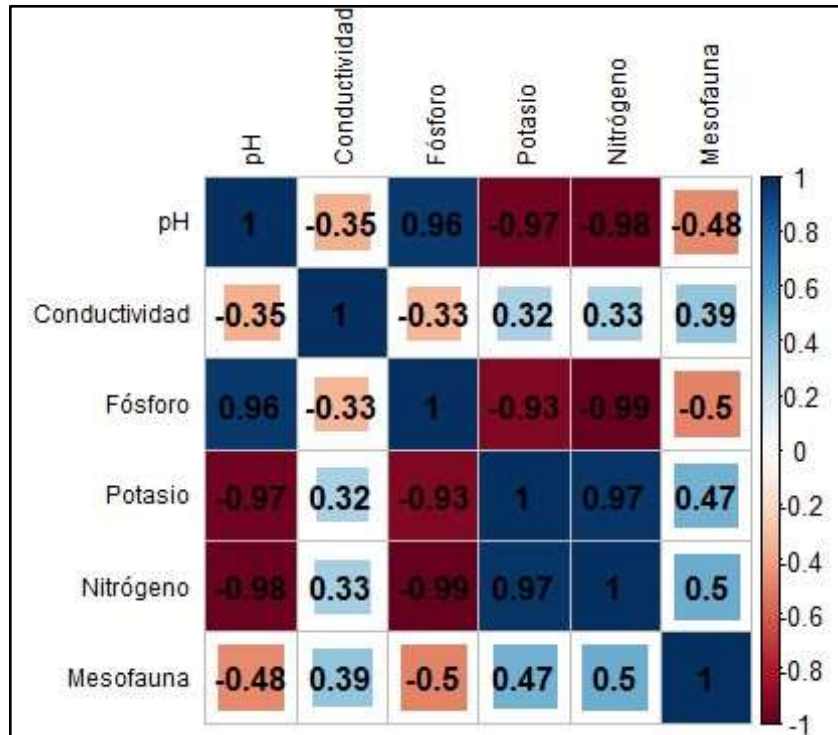


Ilustración 4-9: Correlación de Pearson de la zona conservada

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

En la ilustración 4-9 se detalla la matriz de correlación de la zona conservada, revelando complejas relaciones entre variables ambientales. Las correlaciones negativas son notables, como el pH y el fósforo, en relación al Nitrógeno y Potasio, con un valor mayor al 90%. Además, se encontró una relación negativa significativa del 50% entre el fósforo del suelo y la diversidad de mesofauna. En términos de nutrientes, se destaca una competencia casi perfecta entre el fósforo y el potasio, así como entre el fósforo y el nitrógeno, indicando que un aumento en uno implica una disminución en el otro. También se evidenció una conexión negativa entre la mesofauna y el fósforo, sugiriendo una influencia negativa de ciertas especies de mesofauna en los niveles de fósforo del suelo.

Por otro lado, se observan correlaciones positivas beneficiosas, como una relación alta entre el fósforo y el pH, indicando que un aumento en el fósforo se relaciona con un aumento en el pH del suelo. Además, hay una fuerte correlación positiva entre el potasio y el nitrógeno, indicando que estos nutrientes tienden a coexistir en niveles elevados en el suelo de esta zona conservada. La mesofauna muestra correlaciones positivas moderadas con el potasio y el nitrógeno, lo que

sugiere una relación beneficiosa para la diversidad de mesofauna cuando estos nutrientes aumentan.

Es relevante mencionar que la conductividad presenta correlaciones, tanto positivas como negativas, que no superan el 40% con otras variables, indicando una influencia limitada de la conductividad en las demás variables analizadas en esta matriz.

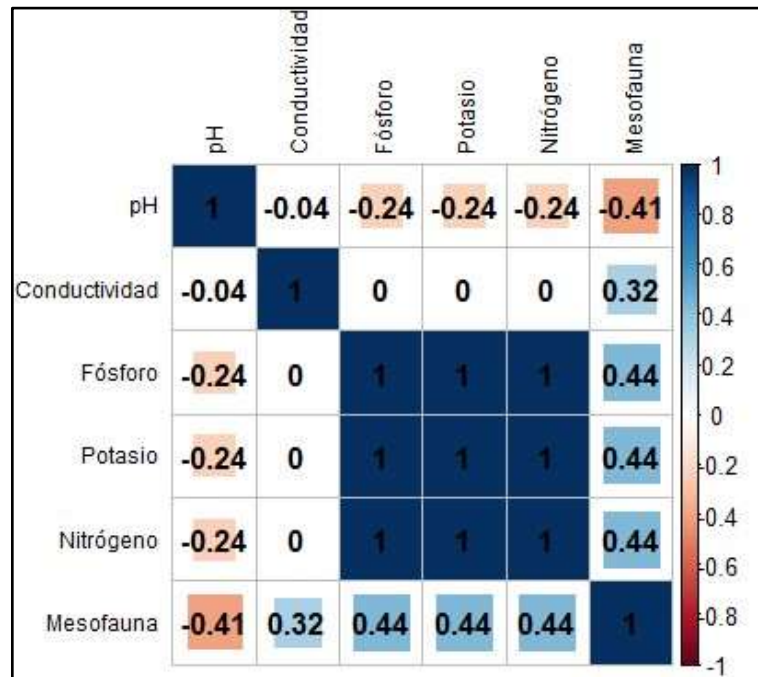


Ilustración 4-10: Correlación de Pearson de la zona incendiada

Realizado por: Álvarez, K.; Ramos, H., 2024. (GIDAC)

En la ilustración 4-10, que representa la correlación en la zona incendiada, se destacan diferencias significativas en comparación con la zona conservada. En esta zona, las correlaciones entre los macroelementos son perfectamente positivas, lo que significa que a medida que uno de ellos aumenta, los demás también lo hacen. Esto sugiere una interdependencia estrecha entre estos elementos en el contexto de la zona incendiada. Por otro lado, otros parámetros muestran correlaciones que no superan el 45%, tanto positivas como negativas, indicando complejidades únicas en esta área debido a sus condiciones específicas.

En cuanto a las relaciones negativas, la más notable es la de la mesofauna con el pH, con una correlación del 41%. Esta conexión sugiere que a medida que el pH disminuye, la diversidad de la mesofauna tiende a aumentar en la zona incendiada. Por otro lado, en las relaciones positivas, la mesofauna muestra una conexión destacada del 44% con los macroelementos. Esto implica que

a medida que estos macroelementos aumentan, también lo hace la diversidad de la mesofauna, señalando una relación positiva significativa en este contexto específico.

Estas diferencias revelan las complejidades únicas de la zona incendiada, donde las interacciones entre las variables son distintas en comparación con la zona conservada.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Las zonas afectadas por incendios revelan notables disparidades fisicoquímicas como: disminución de la densidad aparente en áreas incendiadas, con un promedio de 0.590 g/cm^3 , en contraste con el promedio de 0.627 g/cm^3 en las zonas conservadas, la humedad del suelo registrando un promedio del 47.0%, para áreas incendiadas frente al 44.0% en los suelos conservados. La textura del suelo predominante en las zonas conservadas es "Franco-limosa" y "Franco-arenosa" en las áreas afectadas por incendios. El pH en suelos conservados tiene un promedio de 5.66 y los afectados por incendios muestran un promedio de 6.35, clasificándolos como ligeramente ácidos en ambos casos. Además, los macroelementos N, P, K exhiben promedios más bajos en las áreas afectadas por incendios, señalando el impacto directo en la disponibilidad de nutrientes en el suelo.
- La mesofauna en el área de estudio exhibió una diversidad taxonómica compuesta por 8 clases, 11 órdenes y 19 familias, la familia *Geophilidae* fue la que más destacó en ambas zonas. Los índices de diversidad alfa y beta revelan una diversidad baja según el índice de Shannon, tanto en suelos conservados como incendiados, el índice de Simpson indicó una diversidad media en los transectos conservados y alta en los incendiados, sugiriendo una mayor probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar sean de la misma especie en la zona intervenida, el índice de biodiversidad de Margalef apuntó hacia una menor riqueza de especies en la zona incendiada. El análisis de similitud reveló conexiones moderadas entre transectos de la misma zona y diferencias sustanciales entre zonas conservadas e incendiadas.
- El análisis de los parámetros fisicoquímicos y biológicos en las zonas incendiadas y conservadas revela alteraciones significativas ocasionadas por los incendios forestales, a partir de los resultados de la prueba t -Student se observan cambios significativos en el pH, macroelementos y la población de mesofauna, indicando una influencia directa del fuego en las propiedades del suelo y la disponibilidad de nutrientes. No obstante, la conductividad, la materia orgánica y el carbono orgánico muestran una resistencia relativa a tales alteraciones. El análisis de correlación de Pearson destaca complejas relaciones específicas para cada zona, con correlaciones negativas y positivas notables en la zona conservada e interdependencias marcadas entre los macroelementos en la zona incendiada.

5.2. Recomendaciones

- Realizar estudios considerando el escenario espacial y temporal, con esta metodología, para evaluar cómo las condiciones fisicoquímicas del suelo y la diversidad de la mesofauna evolucionan con el tiempo después de los incendios, proporcionando una comprensión más profunda de la resiliencia y la recuperación del ecosistema.
- Continuar la línea de investigación sobre las características del suelo y la diversidad de mesofauna en diferentes ecosistemas de páramo afectados por incendios para entender patrones comunes y adaptar estrategias de restauración.
- Analizar la eficacia de prácticas concretas de restauración del suelo, como la incorporación de materia orgánica o la revegetación, para determinar su impacto en la recuperación a largo plazo de las propiedades fisicoquímicas del suelo y la biodiversidad del ecosistema afectado por incendios.
- Socializar la presente investigación con autoridades y pobladores del sector con el fin de dar a conocer la importancia del suelo del páramo Navag, generando así, conciencia para la conservación de este ecosistema montañoso.

BIBLIOGRAFÍA

ALBUJA MARIÑO, Patricia, Alexandra. “Masto fauna Mamíferos - Línea Base Componente Biótico” *Scielo* [en línea], 2018, 1(2), pp.1-45. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1542-7854. Disponible en: <https://1library.co/document/zw3wvr7y-evaluacion-impacto-ambiental-parque-metropolitano-guanguelitagua-ciudad-quito.html>

ALTIERI, M. *Bases científicas para una agricultura sustentable.* Montevideo: Nordan Comunidad. Ecuador: Impresiones Publicas, 1999, pp.1-85.

ANDINOS, L. *Páramos. Ecología, hidrología y suelos de páramos.* Ecuador: Santillán, 2012, pp. 238-293.

ANDRADES RODRÍGUEZ, Marisol.; et al. *Prácticas de Edafología. Métodos didácticos para análisis de suelos.* España: La Rioja, 2015, p.23.

ARMIJOS, Freddy. Et al. “Perspectivas para la aplicación de la permacultura en los páramos altoandinos”. *Redilat*, , 2023, 1(2), pp.1-16. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1544-2001. Disponible en: <http://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/989/1295>

ARROYO CADENA, D. P. Establecimiento de un banco de semillas del Bosque Palitahua, en la provincia de Chimborazo, cantón Penipe, sector Aguas Termales [en línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Riobamba. 2018. pp. 1-78. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/10363>

ARROYO ORTEGA, I. F., & ARROYO ORTEGA, I. F. *Evaluación de la neutralidad en la degradación de las tierras en el municipio de Ixtacamaxtitlán, Puebla.* 2da ed. Ecuador: Pasto Verde, 2022, pp.1-16.

AYALA, Jhoanna. Mapeo digital de carbono orgánico del suelo mediante imágenes satelitales y algoritmos de autoaprendizaje en el ecosistema herbazal del páramo, provincia de chimborazo, ecuador [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina. 2019. pp. 1-93. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/77541/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

BADII, M. H., et al. “Papel de la estadística en la investigación científica. Innovaciones de negocios”. *Imaginario Social* [en línea], 2007, (Argentina) 4(7), pp. 25-26. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1402-8520. Disponible en: <https://revhematologia.sld.cu/index.php/hih/article/view/872/804>

BALVANERA, P. et al. “Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos”. *Research Gate* [en línea], 2009, (Ecuador) 1(2), pp. 1-47. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 0205-0104. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262485764_Estado_y_tendencias_de_los_servicios_ecosistemicos

BARREZUETA-UNDA, S.; et al. “Evaluación del método de ignición para determinar materia orgánica en suelos de la provincia el oro-ecuador”. *Fave* [en línea], 2020, (Argentina) 19(2), pp. 25-26. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1402-8520. Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/FAVEAgrarias/article/view/9747>

CASTELLANOS, Leónides; CAPACHO, ALFONSO; CASTELLANOS HERNÁNDEZ, Leónides. Abundancia y diversidad de la mesofauna del suelo en seis municipios de Norte de Santander, Colombia. *INGE CUC*, 2021, vol. 17, no 1, p. 303-314.

CALDERÓN MEDINA, Claudia, L. “Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo”. *SciELO* [en línea], 2018, 1(2), pp.1-23. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 5142-9632. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092018000200141

CAMARGO GARCÍA, Juan Carlos. et al. “Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados”. *Acta Agron.* [en línea], 2012, 61(2), pp.151-165. [Consulta: 15-05-2023]. ISSN 5454-9658. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-281220120002000008&lng=en&nrm=iso. ISSN 0120-2812.

CARGUA, Franklin, et al. “Evaluación del estado de conservación del bosque de ceja andina sur occidental del Parque Nacional Sangay (Ecuador), para una mejor gestión del recurso forestal”. *Revista espacios*, vol. 39, no 45 (2018), pp.1-87.

CARPIO, M., et al. *El Páramo del Austro: usos del suelo y agroecología 3*. Quito-Ecuador: Abya-Yala, 2012. pp.1-8.

CARRASCO ESPEJEL, Alba Paola. Efecto de los incendios forestales en las propiedades del suelo. (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad Autónoma Chapingo, Colombia. 2022, pp.4-43.

CASTILLO, M.; et al. “Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global”. *Revista Ambiente y Desarrollo*, Vol. 9, n° 2(3) (2003), pp. 44-53.

CASTRO-HUERTA, Ricard; et al. “Respuestas de la mesofauna del suelo a la severidad del fuego en un Bosque Esclerófilo en Chile central”. *Bosques*, Vol. 12, n° 11 (2021) p. 1444.

CERVANTES ZAVALA, R. *Costo de efectividad del manejo de ecosistemas altoandinos en la regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha, Abancay, Apurímac*. Guayaquil-Ecuador: Impresiones del Estado, 2022, pp.1-76.

CUBAS, V., & LIZETTY, O. P. Composición, diversidad florística y factores antrópicos de la degradación del bosque Montano de Chadín, Chota [en línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Nacional de Cajamarca, Venezuela. 2018. pp. 1-78. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/425>

DE LAS HERAS, J.; MARTÍNEZ, J. J.; HERRANZ, J. M. Impacto ecológico de los incendios forestales. *Revista de estudios albacetenses*, 1991, vol. 29, p. 105-117.

DECRETO LEGISLATIVO 0. *Constitución de la República del Ecuador*.

DOCAMPO, Roberto. “La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola”. *Serie Actividades de Difusión*, vol. 687, n°4 (2010), pp. 81-89.

ECHEVERRÍA, Magdy, et al. Cuantificación del carbono orgánico almacenado en el suelo del páramo de Igualata, provincia de Chimborazo-Ecuador. En *Actas de la conferencia AIP*. Publicación AIP, 2018.

FAO. *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma-Italia: Impresiones S.N, 2017, pp.54-345.

GARCÍA PAUSAS, J. *Incendios forestales: una visión desde la ecología* [en línea]. Riobamba-Ecuador: Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas, pp. 1-98. 2012. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/216563?page=30>

GARCÍA, Y.; et al. “Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso”. *Pastos y Forrajes* [en línea]. 2012, (Ecuador) 35(2),pp.125-138. [Consulta: 20 agosto 2012]. ISSN 1025-9510. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0864-0394.

GONZÁLEZ, E., & RODRÍGUEZ, P. *Aplicaciones de la teledetección en degradación de suelos*. España: Boletín de la Asociación de Geográficos españoles, 2013, pp. 285-308.

GRAND, A., & MICHEL, V. “Materia orgánica del suelo”. *Horizon*, [en línea], 2020, 1(1), ISSN 1021-1548. pp. 1-3. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1021-1144. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.002>

GUALÁN BERMEJO, A. Y., & ORBE REYES, K. A. Plan de reforestación de zonas afectadas por incendios forestales nivel 2 en la Comunidad Pesillo-cantón Cayambe (Bachelor's thesis) [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Politécnica Salesiana; Pichincha, Ecuador. 2019. pp. 1-68. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17695>

GUALAVISÍ, O. *Manual para el Análisis de Suelos*. Ecuador: Ediciones Ilustrados, 2009, p.3-7.

HERRADORA GUTIÉRREZ, Y. D., & GALEANO ALTAMIRANO, N M. Diseño, Manejo de la biodiversidad y macrofauna edáfica en dos agro sistemas de granos básicos y ganado, La Gracia 2, Chinandega, Nicaragua 2015-2016 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria) [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Nacional Agraria, Nicaragua. 2017. pp. 1-98. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/3546/>

HOFSTEDE, Robert; et al. “El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador”. *Ecotropicos*, vol. 15, no 1 (2002), pp. 3-18.

HOFSTEDE, Robert. *Estrategias para la Conservación y Desarrollo Sostenible de Páramos y Punas en la Ecorregión Andina: Experiencias y perspectivas*. Madrid-España: Libros Culturales, 1997, pp. 1-5.

HOFSTEDE, Robert; et al. *Los páramos del mundo: Proyecto Atlas Mundial de los Páramos*. Quito-Ecuador: Editorial Nuevo Amanecer, 2003, p.7.

IBÁÑEZ MARTÍ, J. J., & GARCÍA-ÁLVAREZ, A. “Diversidad: biodiversidad edáfica y geodiversidad”. *Research Gate* [en línea], 2020, (Ecuador) 1(2), pp. 1-53. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 0205-0104. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257306921_DIVERSIDAD_BIODIVERSIDAD_EDAFICA_Y_GEODIVERSIDAD_JornadasCCMA_CSIC_2002r

LEFÈVRE, Clara, et al. *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto*. 2017.

LEY 0. *Código Orgánico Integral Penal*

LÓPEZ CARRATALÁ, J. “Influencia del cambio de uso sobre la erosión del suelo, carbono transportado por erosión y stocks de carbono en ambientes semiáridos mediterráneos”. *World Wide Science* [en línea], 2014, (EE.UU.) 1(3), pp. 1-205. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1587-4521. Disponible en: <https://worldwidescience.org/topicpages/p/porosidad+del+suelo.html>

LUCIO, N. Q. *Metodología de la Investigación*. Marcombo. Quito-Ecuador: Chimbacalle Imprentas, 2021, pp.1-187.

LUIS, L. L.; et al. *Páramos. Ecología, hidrología y suelos de páramos*. Quito-Ecuador: Nuevo Amanecer, 2012, pp. 238-239.

MATAIX-SOLERA, Jorge; GUERRERO, César. Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*, 2007, p. 5-40.

MAE. *Prevención y control de incendios, una prioridad nacional* [en línea] Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/prevencion-y-control-de-incendios-una-prioridad-nacional/>

MAGURRAN, Anne E. *Diversidad ecológica y su medición*. Ecuador: Prensa de la Universidad de Princeton, 1988, p. 7-54.

MAGURRAN, L. *Diversidad Alfa* [en línea]. Ecuador: Ediciones Publicas, 1988. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/anterovasquez/diversidad-alfa>

MERINO RODRÍGUEZ, M. P. Indicadores físicos químicos y biológicos del suelo en tres sistemas de plantaciones del predio Santa Rita cervecería San Juan SA Pucallpa [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Lima, Perú. 2021. pp. 1-121. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2056>

MINERVINI, MARIANA G.; et al. “Efectos del fuego en la matriz del suelo: Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas”. *Scielo* [en línea], 2018, 28(1), pp. 12-27. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 2001-1010. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2018000100012&lng=es&tlng=es.

MOMO, Fernando, & FALCO, Liliana. *Meso fauna del suelo. Biología y ecología: Microbiología agrícola. Un aporte de la investigación argentina.* Ambato-Ecuador: Editorial de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, 2003, p. 51-58.

MORALES-BETANCOURT, Juan Alejandro, & ESTÉVEZ-VARÓN, Jaime Vicente. “El páramo: ¿Ecosistema en vía de extinción?”. *Luna Azul*, vol. 22 n°2 (2006), pp. 1-13.

MORENO RAMÓN, Héctor; et al. *El Color del suelo.* Chimborazo-Ecuador: Ediciones Montañas Verdes, 2010, p.1-87.

MORENO, Claudia E. *Métodos para medir la biodiversidad. Volumen 1.* Chimborazo-Ecuador: Editorial Manuales y tesis SEA, 2000, pp.7-87.

MORENO, K. *Métodos de medición al nivel de especies* [en línea]. Ecuador: Nuevo Amanecer, 2000. [consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/anterovasquez/diversidad-alfa>

MOROCHO, Carlos, & CHUNCHO, Guillermo. “Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión”. *Bosques Latitud Cero*, vol. 9, n°2 (2019), pp. 71-83.

PAZMIÑO RODRÍGUEZ, Geraldine Micaela. *Influencia de la intervención en los suelos del páramo de Navag Chimborazo en el contenido de materia orgánica.* Chimborazo-Ecuador: Imprenta Lucia, 2020, pp.7-98.

PORTA CASANELLAS, Jaime; et al. *Edafología: Uso y protección de suelos*. Quito-Ecuador: Ediciones Mundi-Prensa, 2019, p.245.

PORTA, C. J.; et al. *Introducción a la edafología: uso y protección del suelo*. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2008, p.56.

REINOSO SARAGURO, A. R. Evaluación de dos humedales artificiales con diferentes plantas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la parroquia de Baños [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Católica de Cuenca, Azuay, Ecuador. 2022. pp. 1-83. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11091>

RICE, W. *Uso de quemas prescritas en bosques naturales de Pinus tropicalis Morelet en Pinar del Río*. Quito-Ecuador: Editorial Universitaria, 2010, pp.1-12.

ROBINSON, J. B. “Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. Edited By JM Anderson and JSI Ingram, with 13 appendices by various authors”. *Wallingford, Oxfordshire: CAB International* [en línea], 1994, (EE.UU.) 30(4), pp. 1-221. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 8519-8821. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/232141777_Tropical_Soil_Biology_and_Fertility_A_Handbook_of_Methods

ROJAS GARCÍA, J. G. Diversidad de macrofauna edáfica en diferentes tipos taxonómicos de suelos en el sector Trampolin, Pumahuasi-Leoncio Prado-2018 [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Lima, Perú. 2019. pp. 1-98. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1589>

ROUX, F. *Turismo comunitario ecuatoriano conservación ambiental y defensa de los territorios*. Quito-Ecuador: Federación Plurinacional de Turismo Comunitario del Ecuador-FEPTCE, 2013, pp.1-43.

RUBIO GUTIÉRREZ, A. La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Politécnica Salesiana; Pichincha, Ecuador. 2010. pp. 1-68. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/57951>

SALVADOR, N. Et al. “Estructura de la comunidad de la mesofauna edáfica en dos suelos con distinta intensidad de uso” *Scielo* [en línea], 2020, 1(2), pp.1-45. [Consulta: 20 agosto 2023].

ISSN 1542-7854. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672020000100007&script=sci_arttext

SÁNCHEZ, Juan; et al. “Impacto ecológico de los incendios forestales”. *Al-Basit: Revista de estudios albacetenses*, n° 29 (1991), (Ecuador) pp. 105-117.

SNGRE. *Informe de Situación – Incendios Forestales. Secretaría de Gestión de Riesgos – Institución del Estado ecuatoriano encargada de liderar el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos para garantizar la protección de personas y colectividades frente a los efectos negativos de emergencias y desastres de origen natural o antrópicos.* [en línea]. Ecuador_ Editorial NW, 2017. [Consulta: 15 Noviembre 2023]. Disponible en: https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/08/Informe-de-Situación_Incendios-Forestales-08082017_15h00.pdf

SNGRE. *(Informe Situación No. 07 de Incendios Forestales a nivel Nacional.* Quito-Ecuador: Impresiones del Estado, 2022. pp. 1-43.

SONCO SURI, Ricardo. Estudio de la diversidad alfa (α) y beta (β) en tres localidades del bosque montano en la región de Madidi, La Paz – Bolivia [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 2013. pp. 1- 154. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: http://www.mobot.org/pdfs/research/madidi/sonco_2013_thesis.pdf

VALDÉS, L. “Efectos del fuego en algunas características de suelos de pinares, Macurije, Pinar del Río, Cuba”. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales* [en línea], 2016, 12(2), pp. 60-65. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 2157-9854. Disponible en: <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/252>

VARGAS RÍOS, O. “Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación”. *Acta biológica colombiana*, Vol. 16 n°2 (2011), pp. 221-246.

VARGAS ROJAS, Ronald; et al. *Guía para la descripción de suelos* [en línea]. Ecuador: Edición División de Información, 2009. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>

VASCO LUCIO, M. M. *Cálculo de la severidad en zonas incendiadas en la subcuenca del río Chambo en el período 2017 a 2020 mediante teledetección.* 3era ed. Ecuador: Impresiones Publicas, 2021, pp.1-16.

VÁSCONEZ, Patricio, & HOFSTEDE, Robert. *Los páramos ecuatorianos*. Ecuador: Ediciones Botánica Económica Los Andes cent, 2006, pp. 91-109.

VÁSQUEZ MENESES, S. Evaluación del estado ecológico de las quebradas y sus zonas ribereñas en la ciudad de Algarrobo-Región de Valparaíso [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. 2018. pp. 1-121. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152666>

VICENT GARCÍA, J. M. *Fundamentos teórico-metodológicos para un programa de investigación arqueo-geográfica*. Ecuador: Departamento de Estudios y Publicaciones, 1991, pp.1-32.

VILLACÍS GUAMÁN, S. Et al. “Los incendios forestales y su prevención en el Ecuador”. *Inndev - Innovation & Amp; Development Ciencias Del Sur* [en línea], 2022, 1(1), pp. 1–8. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1025-4510. Disponible en: <https://www.itscs-cicc.com/ojs/index.php/inndev/article/view/32>

ANEXOS

ANEXO A: TABLA DE INDIVIDUOS POR TRANSECTO

T1-ZC											
FAMILIA	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M10	TOTAL
<i>Porcellionidae</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Lycosidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Enchytraeidae</i>	0	7	0	0	1	0	1	0	0	2	14
<i>Geophilidae</i>	17	0	3	10	2	4	10	1	2	11	60
<i>Rhagionidae</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Lumbricidae</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	3
<i>Tineidae</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
<i>Staphylinidae</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Elmidae</i>	0	0	1	0	3	0	0	1	0	1	6
<i>Linyphiidae</i>	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	4
<i>Scarabaeidae</i>	2	0	1	0	0	7	0	1	1	0	12
<i>Acrididae sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Lohmanniidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
TOTAL											108
T3-ZC											
FAMILIA	M1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M9	M10	TOTAL
<i>Hybosoridae sp</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Carabidae</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Lumbricidae</i>	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	4
<i>Platydesmidae</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Trombidiidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Anthicidae</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Geophilidae</i>	15	16	12	19	3	1	20	0	3	2	91
<i>Asellidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Enchytraeidae</i>	5	10	0	8	2	11	14	15	2	11	78
<i>Lycosidae</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2
<i>Rhagionidae</i>	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	4
<i>Scarabaeidae</i>	0	0	7	0	1	0	3	0	0	1	12

<i>Elmidae</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
TOTAL											200
T2-Z.inc											
FAMILIA	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	TOTAL
<i>Lumbricidae</i>	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	4
<i>Geophilidae</i>	1	0	0	0	0	2	1	0	1	0	5
<i>Scarabaeidade</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lohmanniidae</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Tineidae</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
<i>Rhagionidae</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
TOTAL											16
T4-Z.inc											
FAMILIA	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	TOTAL
<i>Lumbricidae</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
<i>Geophilidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Scarabaeidade</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3
TOTAL											6

ANEXO B: ÁREA DE ESTUDIO: ZONA CONSERVADA



ANEXO C: ÁREA DE ESTUDIO: ZONA AFECTADA POR INCENDIO



ANEXO D: ANÁLISIS IN SITU



ANEXO E: ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS





ANEXO F: IDENTIFICACIÓN DE LA MESOFAUNA





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 28/ 03 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Henry Wilian Ramos Pilataxi – Kevin Fernando Álvarez Andino
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniero Ambiental
 Ing. Magdy Mileni Echeverria Guadalupe Director del Trabajo de Integración Curricular
 Ing. Cristina Gabriela Calderón Tapia Asesor del Trabajo de Integración Curricular