



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**DETERMINACIÓN DE LA AFECTACIÓN DE LOS SUELOS COLINDANTES A
PLANTACIONES DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*) Y PINO (*Pinus radiata*)
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y
BIOLÓGICOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD DE PESILLO, CANTÓN
CAYAMBE**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Ambiental

AUTOR: ALEXANDER BLADIMIR PACHACAMA FIGUEROA

TUTOR: EDWIN FABIÁN BERSOSA VACA

Quito-Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Alexander Bladimir Pachacama Figueroa, con documento de identificación N° 1726067646, manifiesto que:

Soy el autor responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 23 febrero del año 2023

Atentamente,



Alexander Bladimir Pachacama Figueroa

1726067646

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Alexander Bladimir Pachacama Figueroa con documento de identificación No. 1726067646 , expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo Experimental: “Determinación de la afectación de los suelos colindantes a plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*) mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo en la comunidad de Pesillo, Cantón Cayambe.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega final del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 febrero del año 2023

Atentamente,



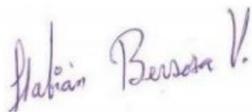
Alexander Bladimir Pachacama Figueroa

1726067646

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edwin Fabián Bersosa Vaca con documento de identificación N° 1709204141, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DE LA AFECTACIÓN DE LOS SUELOS COLINDANTES A PLANTACIONES DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*) Y PINO (*Pinus radiata*) MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD DE PESILLO, CANTÓN CAYAMBE, realizado Alexander Bladimir Pachacama Figueroa con documento de identificación N° 1726067646, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 febrero del año 2023



Dr. Edwin Fabián Bersosa Vaca M.Sc

1709204141

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a las personas más importantes que Dios me ha permitido compartir durante mi vida. A mi madre la mujer que me dio la vida, porque ha sido mi motor que impulsa mis sueños y ha estado siempre al pie de cada paso que di durante toda mi carrera. A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme. A mis hermanos los cuales me han brindado su apoyo incondicional y apoyarme en buenos y malos momentos. A mis amigos quienes me impartieron sus conocimientos, he hicieron que esta experiencia sea una de las más especiales.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, por ser el inspirador de permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi Tutor Dr. Fabian Bersosa, por la paciencia, el tiempo dedicado y por compartirme conocimientos de cómo construir nuestro proyecto de tesis desde el inicio hasta el final como estudiante de Ingeniería Ambiental.

A mis docentes y amigos que conforman esta prestigiosa institución, quienes con sus enseñanzas me ayudaron a forjarme una trayectoria de vida.

A mi familia en general por brindarme la confianza y apoyo para afrontar nuevos retos que se me han presentado a lo largo de mi vida, gracias porque han sido quienes se han robado mis nervios y compartieron mis emociones.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de esta gran meta en mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUCCIÓN	15
1.1 Problema.....	15
1.2 Delimitación	16
1.2.1 Puntos de muestreo <i>Eucalyptus globulus</i>	17
1.3 Pregunta de investigación.....	22
1.4 Objetivos	22
1.4.1 Objetivo General.....	22
1.4.2 Objetivos Específicos.....	22
1.5 Hipótesis.....	23
1.5.1 Hipótesis de investigación (H1).....	23
1.5.2 Hipótesis nula (Ho)	23
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	24
2.1 El suelo.....	24
2.1.1 Formación del suelo	24
2.1.2 Tipos de suelo	25
2.1.3 Suelos Colindantes.....	26
2.2 Servicios ecosistémicos del suelo	26
2.2.1 <i>Resiliencia del suelo</i>	27
2.2.2 <i>Degradación del suelo</i>	28
2.3 Teoría General de los impactos.....	29
2.4 Teoría sustantiva de los impactos.....	30
2.5 Impactos ecológicos a causa de las plantaciones forestales.....	30
2.5.1 Impacto sobre la hidrología	32

2.5.2	Impacto sobre la materia orgánica	33
2.5.3	Impacto sobre los aspectos físicos y químicos del suelo	34
2.6	<i>Pinus radiata</i>	39
2.6.1	Características de la especie.....	39
2.6.2	Plantaciones forestales y su propósito	39
2.7	<i>Eucalyptus globulus</i>	40
2.7.1	<i>Características</i>	40
2.7.2	<i>Plantaciones forestales</i>	41
2.8	Fauna edáfica.....	41
2.9	Flora edáfica.....	42
2.10	Fundamentación legal	44
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
3.1	Modalidad de investigación	47
3.2	Nivel de investigación	47
3.3	Determinación de cobertura en las áreas de estudio.....	47
3.4	Diseño.....	48
3.4.1	Diseño experimental.	48
3.4.2	Diseño estadístico	49
3.5	Población y muestra	49
3.6	VARIABLES.....	49
3.7	Recolección de datos.....	50
3.7.1	Materiales.....	50
3.8	Protocolos.....	52
3.8.1	Zona de estudio	52
3.8.2	Delimitación de los puntos de muestreo	53
3.8.3	Fase de campo.....	53
3.8.4	Fase de laboratorio.....	61

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1	Resultados de los análisis de laboratorio	62
4.2	Identificación de las familias	68
4.2.1	<i>Determinación de la biodiversidad edáfica</i>	68
4.2.2	<i>Clases encontradas en las tres zonas</i>	70
4.2.3	<i>Ordenes encontradas en las tres zonas</i>	71
4.2.4	<i>Familias encontradas en las tres zonas</i>	72
4.3	Bosque de Eucalipto	73
4.4	Bosque de Pino	74
4.5	Pastizales	75
4.6	Comparación de familia en las tres zonas	76
4.7	Resultados de la toma de datos en campo.....	77
4.8	Análisis de varianza ANOVA	77
4.8.1	<i>Determinación de la densidad de macroinvertebrados</i>	78
4.8.2	<i>Determinación de la composición de la comunidad de macroinvertebrados</i>	80
4.8.3	<i>Prueba de Tukey</i>	82
4.9	Discusión.....	83
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
5.1	Conclusiones	85
5.2	Recomendaciones.....	86
6	BIBLIOGRAFÍA	87
7	ANEXOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Primer punto de muestreo para <i>Eucalyptus globulus</i>	17
Figura 2 Segundo punto de muestreo para <i>Eucalyptus globulus</i>	18
Figura 3 Tercer punto de muestreo para <i>Eucalyptus globulus</i>	18
Figura 4 Primer punto de muestreo para <i>Pinus radiata</i>	19
Figura 5 Segundo punto de muestreo para <i>Pinus radiata</i>	19
Figura 6 Tercer punto de muestreo para <i>Pinus radiata</i>	20
Figura 7 Primer punto de muestreo pastizales	20
Figura 8 Segundo punto de muestreo pastizales	21
Figura 9 Tercer punto de muestreo pastizales	22
Figura 10 <i>Pinus radiata</i>	39
Figura 11 <i>Eucalyptus globulus</i>	40
Figura 12 Separación de cuadrantes en la cobertura vegetal	48
Figura 13 Mapa de puntos de muestreo	53
Figura 14 Registro de temperatura y humedad relativa del suelo.....	56
Figura 15 Muestreo en zig-zag	57
Figura 16 Muestra de suelo con corte en V	58
<i>Figura 17</i> Proceso de cuarteo.....	59
Figura 18 Puntos de muestreo en tres tipos de suelo	60
Figura 19 Dominancia de fauna edáfica	70
Figura 20 Índices de similitud	70
Figura 21 Porcentaje de las clases encontradas en 3 zonas	71
Figura 22 Porcentaje de órdenes encontrados en tres zonas.....	72
Figura 23 Comparación de familias en las tres zonas.....	76
Figura 24 Densidad en las tres zonas.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro general de puntos de muestreo	16
Tabla 2 Afecciones físico químicas en las plantaciones de pino y eucalipto.....	37
Tabla 3 Instrumentos y parámetros para el muestreo	51
Tabla 4 Coordenadas extraídas en el muestreo de suelo	54
Tabla 5 Resultados del análisis de la muestra de suelo (pino)	62
Tabla 6 Resultados del análisis de la muestra de suelo (eucalipto).....	64
Tabla 7 Resultados del análisis de la muestra de suelo (pastizales)	66
Tabla 8 Familias encontradas.....	68
Tabla 9 Cálculo de índices de diversidad PAST	69
Tabla 10 Familias de individuos en el bosque de eucalipto.....	73
Tabla 11 Identificación de individuos en el bosque de pino.....	74
Tabla 12 Familias en pastizales.....	75
Tabla 13 Datos de resultados generales	77
Tabla 14 Media \pm desviación estándar de los parámetros físico-químicos del suelo en las diferentes zonas de estudio	78
Tabla 15 ANOVA de la comunidad de macroinvertebrados	80
Tabla 16 Densidad de abundancia y la diversidad de macroinvertebrados en las diferentes zonas de estudio.....	80
Tabla 17 Prueba de Tukey general	82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Orden de trabajo laboratorio	92
Anexo 2 Registro fotográfico	93
Anexo 3 Número de individuos en las 3 zonas.....	96
Anexo 4 Taxonomía y registro fotográfico	97

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo central el determinar la afectación de los suelos colindantes a plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*) mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo en la comunidad de Pesillo, cantón Cayambe. Se realizó un levantamiento descriptivo de la ubicación y cobertura del uso de suelo y cobertura vegetal natural en el área de estudio. El uso y cobertura vegetal natural para cada tipo de estudio y su respectiva superficie para observar los cambios físicos, químicos y biológico que presenta cada zona en un análisis del suelo. Se determinó la afectación de los suelos colindantes a plantaciones de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y Pino (*Pinus radiata*) mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo en la comunidad de Pesillo, Cantón Cayambe. Los resultados de los análisis de laboratorio mostraron que el suelo es un suelo franco arenoso con un contenido de materia orgánica moderado, lo cual es un buen indicador de la fertilidad del suelo. Los resultados del análisis de varianza mostraron que no existían diferencias significativas en los parámetros físico-químicos del suelo entre las zonas de estudio. Se encontró que la abundancia y la diversidad de los macroinvertebrados eran homogéneas en las diferentes zonas de estudio, sin embargo, los resultados del análisis de varianza mostraron que existían diferencias significativas en la abundancia y la diversidad de los macroinvertebrados entre las zonas de estudio. Se evidenció que la clase de macroinvertebrados más abundante es la clase insecta. Concluyendo así que el establecimiento de plantaciones de eucalipto y pino en el país ha generado una serie de problemas ambientales, especialmente en los ecosistemas naturales.

Palabras clave: Suelo, impactos, ecosistemas, plantaciones

ABSTRACT

The main objective of this study was to determine the impact of soils adjacent to eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) and pine (*Pinus radiata*) plantations by analyzing the physical, chemical and biological parameters of the soil in the community of Pesillo, Cayambe canton. A descriptive survey of the location and coverage of land use and natural vegetation cover in the study area was carried out. The use and natural vegetation cover for each type of study and its respective surface to observe the physical, chemical and biological changes that each zone presents in a soil analysis. The impact of soils adjacent to Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) and Pine (*Pinus radiata*) plantations was determined by analyzing the physical, chemical and biological parameters of the soil in the community of Pesillo, Cantón Cayambe. The results of the laboratory analysis showed that the soil is a sandy loam soil with a moderate organic matter content, which is a good indicator of soil fertility. The results of the analysis of variance showed that there were no significant differences in soil physicochemical parameters between the study areas. The abundance and diversity of macroinvertebrates were found to be homogeneous in the different study zones, however, the results of the analysis of variance showed that there were significant differences in the abundance and diversity of macroinvertebrates among the study zones. It was evident that the most abundant macroinvertebrate class is the insect class. Thus, concluding that the establishment of eucalyptus and pine plantations in the country has generated a series of environmental problems, especially in natural ecosystems.

Keywords: Soil, impacts, ecosystems, plantations.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Problema

La presencia de especies forestales exóticas encontradas en ecosistemas nativos estratégicos se considera una de las causas de pérdida de biodiversidad y cambios en los componentes ecológicos naturales, situación que ha llevado a proponer mecanismos para evitar su propagación, teniendo en cuenta su temporalidad, el impacto identificado va más allá del campo ecológico, en la mayoría de los casos inciden por igual en la dinámica económica y social (Ruiz 2014).

La plantación de especies forestales en los últimos años en el Ecuador ha generado una serie de problemas ambientales, especialmente en los ecosistemas naturales, ya que muchas de las especies introducidas son exóticas y no están adaptadas a los factores ambientales de nuestro país, específicamente en el cantón Cayambe, se han establecido amplias extensiones de terreno para el cultivo de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*, especies que en los últimos años ha generado problemas ambientales en los ecosistemas naturales, generando un impacto negativo en la calidad del suelo, esto debido a la poca capacidad de estas especies para mantener el equilibrio hídrico en el suelo, al tener una gran capacidad de absorción de agua, causando una disminución del nivel freático y una consecuente afectación a los ecosistemas naturales (Briones, 2014).

Además de los efectos a largo plazo del cambio climático, las personas también tienen un efecto en el carácter del ecosistema que provocan una mayor preocupación e inquietud por el estado del medio ambiente. Esto se debe a plantas y animales exóticos invasores que impactan los hábitats y ecosistemas naturales. Algunos ejemplos son las especies invasoras de animales y plantas que alteran el equilibrio del ecosistema natural al cambiar las estaciones o alterar otros aspectos naturales de la naturaleza (Burbano, 2016).

Una de las preguntas más importantes relacionadas con esta problemática está ligado con el impacto ecológico que estas especies causan dentro del territorio y su impacto en la dinámica natural, ya que actualmente, en la mayoría de los casos, este es controlado por especies invasoras que son protagonistas por su alto grado de adaptación y dispersión, haciendo estrategias de manejo y erradicación (Ruiz, 2014).

La falta de manejo de estas plantaciones sin transformación tecnológica, e información insuficiente sobre el comportamiento de estas especies, así como también los ecosistemas sensibles, como los bosques andinos, los bosques altoandinos, los bosques ribereños y el subpáramo, desplazan especies de plantas nativas y alteran los ecosistemas típicos de estas áreas debido a sus formas reproductivas y su dinámica de demanda de agua y nutrientes, por lo que genera un gran problema. Perturbar los suelos y sus funciones al afectar las poblaciones de vida silvestre debido a la reducción de la disponibilidad de alimentos, refugio, hábitat y recursos propios, perturbando la regulación de los recursos hídricos.

1.2 Delimitación

Se realizó en la parroquia Olmedo, comunidad Pesillo, que se ubica en el cantón Cayambe, localizada al nororiente de la provincia de Pichincha, a 90 km desde la ciudad de Quito y a 20 km desde la ciudad de Cayambe.

Tabla 1

Cuadro general de puntos de muestreo

Ítem	Coordenada	Descripción
Primer punto	826319.479E -17240.839N	Zona de terreno plano,
Segundo	826224.175E-17286.022N	cercana a una plantación
Tercer punto	825945.158E-17007.275N	de eucaliptos.
Puntos de muestreo <i>Pinus radiata</i>		
Ítem	Coordenada	Descripción
Primer punto	824984.228E-17843.967N	

Segundo	825089.083E-17876.673N	Zona de terreno
Tercer punto	825056.543E-17630.319N	ligeramente inclinada, cercana a una plantación de pinos.

Puntos de muestreo aleatorios de pino y eucalipto

Ítem	Coordenada	Descripción
Primer punto	825474.712E-17102.871N	Zona de terreno húmedo
Segundo	825586.998E-16891.045N	y con vegetación densa,
Tercer punto	825440.351E-17051.993N	con plantaciones cercanas.

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

Nota: Los puntos de muestreo se escogieron al azar.

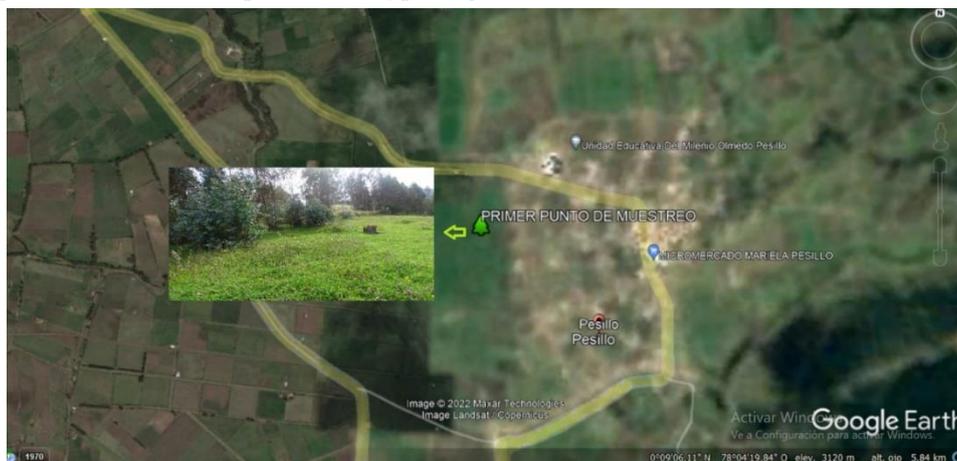
1.2.1 Puntos de muestreo *Eucalyptus globulus*

Primer punto de muestreo ubicado en la comunidad de Pesillo con coordenadas UTM (826319.479E -17240.839N). Mediante el método del cuadrante virtual en la imagen se visualiza un 50% de cobertura vegetal de árboles de Eucalipto.

Todos los puntos de muestreo se consideraron dentro de una hectárea para el estudio.

Figura 1

Primer punto de muestreo para Eucalyptus globulus

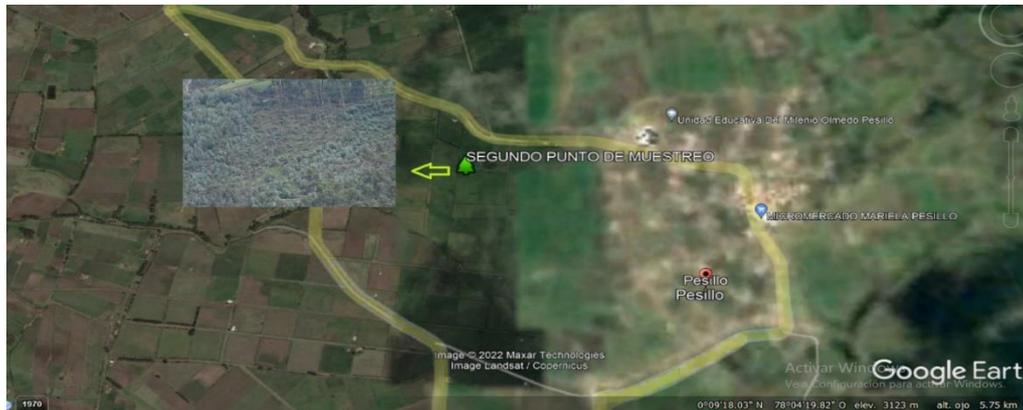


Nota: Punto de muestreo en el sector de Pesillo bosque de Eucaliptos

Segundo punto de muestreo ubicado en la comunidad de Pesillo con coordenadas UTM (826224.175E-17286.022N). Mediante el método del cuadrante virtual en la imagen se visualiza un 100% de cobertura vegetal de árboles de Eucalipto.

Figura 2

Segundo punto de muestreo para Eucalyptus globulus



Nota: Punto de muestreo en el sector de Pesillo bosque de Eucalipto

Tercer punto de muestreo ubicado en la comunidad de Pesillo con coordenadas UTM (825945.158E-17007.275N). Mediante el método del cuadrante virtual en la imagen se visualiza un 75% de cobertura vegetal de árboles de Eucalipto.

Figura 3

Tercer punto de muestreo para Eucalyptus globulus



Nota: Punto de muestreo en el sector de Pesillo bosque de eucalipto

1.2.2 Puntos de muestreo *Pinus radiata*

Primer punto de muestreo ubicado en la comunidad de Pesillo con coordenadas UTM (824984.228E-17843.967N). Mediante el método del cuadrante virtual en la imagen se visualiza un 40% de cobertura vegetal de árboles de pino.

Figura 4

Primer punto de muestreo para Pinus radiata



Nota: Punto de muestreo en el sector de Pesillo bosque de pino

Segundo punto de muestreo ubicado en la comunidad de Pesillo con coordenadas UTM (825089.083E-17876.673N). Mediante el método del cuadrante virtual en la imagen se visualiza un 50% de cobertura vegetal de árboles de pino.

Figura 5

Segundo punto de muestreo para Pinus radiata



Nota: Punto de muestreo en el sector de Pesillo bosque de pino

Tercer punto de muestreo ubicado en la comunidad de Pesillo con coordenadas UTM (825056.543E-17630.319N). Mediante el método del cuadrante virtual en la imagen se visualiza un 30% de cobertura vegetal de árboles de pino.

Figura 6

Tercer punto de muestreo para Pinus radiata



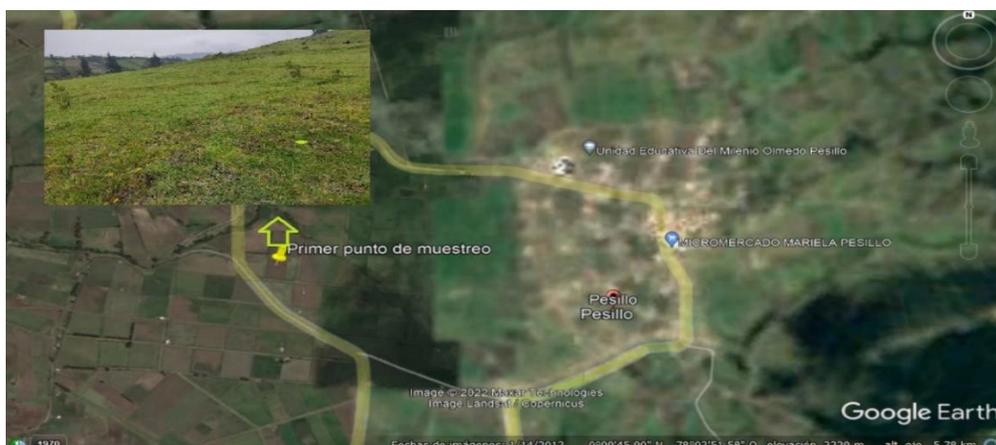
Nota: Punto de muestreo en el sector de Pesillo bosque de pino

1.2.3 Puntos de muestreo pastizales

Primer punto de muestreo realizado en pastizales con reducida existencia forestal de arbustos y árboles ubicados en Pesillo con coordenadas UTM (825474.712E-17102.871N), mediante el método del cuadrante virtual en la imagen se visualiza un 100% de cobertura vegetal.

Figura 7

Primer punto de muestreo pastizales

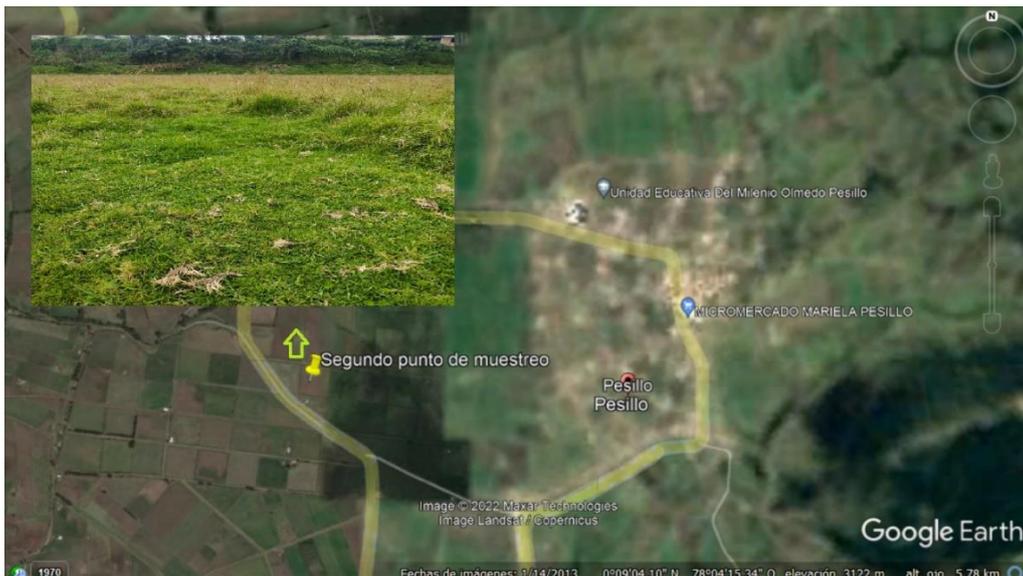


Nota: Punto de muestreo en el sector de Pesillo pastizales

- Segundo punto de muestreo realizado en pastizales con poca presencia de arbustos y árboles ubicado en Pesillo con coordenadas UTM (825586.998E-16891.045N), mediante el método del cuadrante virtual en la imagen se visualiza un 100% de cobertura vegetal.

Figura 8

Segundo punto de muestreo pastizales

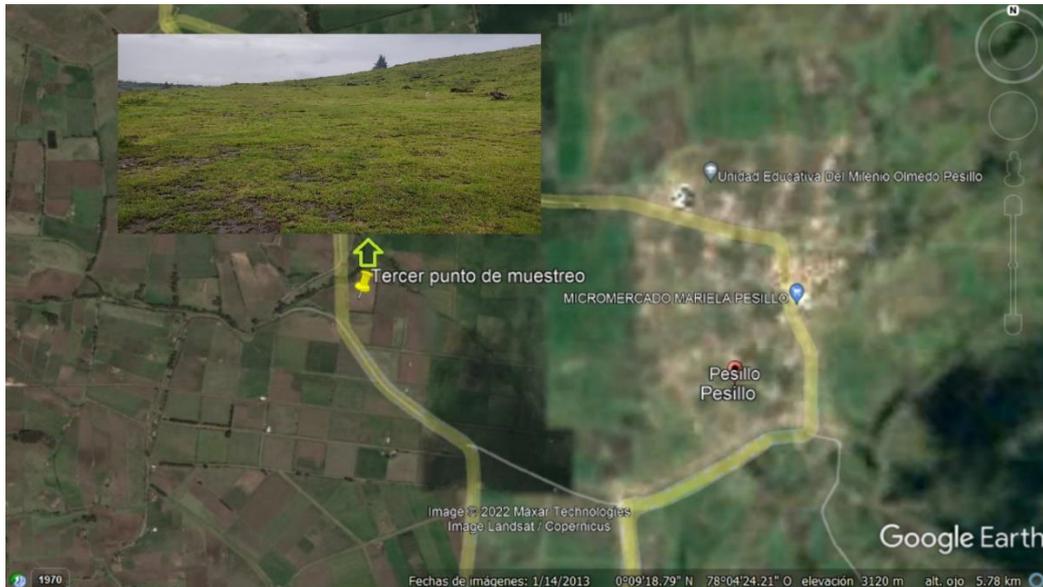


Nota: Punto de muestreo en el sector de Pesillo pastizales

- Tercer punto de muestreo realizado en pastizales ubicado en Pesillo con coordenadas UTM (825440.351E-17051.993N), mediante el método del cuadrante virtual en la imagen se visualiza un 100% de cobertura vegetal.

Figura 9

Tercer punto de muestreo pastizales



Nota: Punto de muestreo en el sector de Pesillo pastizales

1.3 Pregunta de investigación

- ¿Cómo varían las variables físicas, químicas y biológicas en los suelos en las áreas con y sin especies introducidas?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Determinar la afectación de los suelos colindantes a plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*) mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo en la comunidad de Pesillo, cantón Cayambe.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar la composición de los nutrientes que se presenten en el suelo, garantizando su estado para futuros cultivos.

- Comparar los resultados del análisis físico – químico del eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*) mediante diagramas gráficos, alcanzando niveles diferentes de afectación al suelo.
- Clasificar la fauna edáfica de los suelos aledaños a las especies introducidas, Obteniendo distintas clases.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis de investigación (H1)

Los suelos en las plantaciones de eucalipto y pino presentan diferencias significativas en las variables físicas, químicas y biológicas en comparación con los suelos en las áreas sin especies introducidas.

1.5.2 Hipótesis nula (Ho)

Los suelos en las plantaciones de eucalipto y pino no presentan diferencias significativas en las variables físicas, químicas y biológicas en comparación con los suelos en las áreas sin especies introducidas.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 El suelo

El suelo es un concepto tanto pedológico como edafológico. Se define como un cuerpo natural producto de los procesos de meteorización que puede evaluarse de acuerdo con los criterios establecidos en un sistema de clasificación de suelos aceptado internacionalmente. También indica los procesos pedogenéticos que produjeron el suelo (Nuñez, 1945, p. 13).

Por lo tanto, el suelo no es una sustancia homogénea y estática, sino un cuerpo natural dinámico y heterogéneo, producto de la interacción de diversos factores, entre los que se encuentran el clima, la vegetación, la topografía, la edad y el tipo de roca madre. Estos factores determinan las características físicas, químicas y biológicas del suelo, las cuales a su vez influyen en el tipo de vegetación que puede desarrollarse en él y en la capacidad de los suelos para proveer de nutrientes a las plantas.

La mayoría de los suelos ecuatorianos se encuentran en un proceso de degradación, debido a la tala indiscriminada de los bosques, la quema de las biomásas y la erosión hídrica y eólica. La degradación de los suelos es un proceso lento, pero irreversible, que afecta negativamente la capacidad productiva de los suelos, la biodiversidad y el bienestar de las poblaciones humanas.

2.1.1 *Formación del suelo*

El suelo es una capa natural de la tierra, en la cual se encuentran los materiales orgánicos y minerales, además de los organismos vivos que forman la biomasa. Se forma por la interacción de la roca madre (parental) con los factores climáticos (lluvia, temperatura, radiación solar, etc.) y la acción de los organismos vivos y del agua (Meaden & Kapetsky, 1992).

Los factores abióticos que intervienen en la formación del suelo son: la composición y la textura de la roca madre, la vegetación, el clima, la topografía y el tiempo. La composición de la roca madre y la textura son los que determinan la cantidad de nutrientes y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (Morgan, 1996).

La vegetación afecta la formación del suelo mediante la deposición de materia orgánica en él y el clima interviene en la formación del suelo mediante la erosión y la evapotranspiración. La topografía es importante porque influye en la forma en que el agua y el aire circulan en el suelo, y el tiempo es importante porque el suelo se forma lentamente a lo largo de miles o millones de años. La formación del suelo es un proceso natural que ocurre de forma lenta y continuada. En general, se pueden distinguir tres etapas en la formación del suelo: la pedogénesis, la pedocronogénesis y la pedometría.

La pedogénesis es la etapa en la que se forman los horizontes del suelo y se produce la mineralización de la materia orgánica. La pedocronogénesis es la etapa en la que se producen cambios en la estructura del suelo debido a la interacción de los factores abióticos (clima, vegetación, etc.) y bióticos (organismos vivos). La pedometría es la etapa en la que se mide y se caracteriza el suelo (Pérez et al., 2011).

2.1.2 Tipos de suelo

Los suelos se pueden clasificar de muchas formas, pero una de las formas más comunes de clasificar los suelos es por su textura. La textura de un suelo se refiere a la proporción de partículas finas (< 0,002 mm de diámetro) y gruesas (> 0,002 mm de diámetro) que contiene. Las partículas finas se llaman arcilla y las gruesas se llaman arena. La textura del suelo se mide en porcentaje de arena, arcilla y limo. Los suelos se pueden clasificar también por su color (Hudson, 1982).

El color del suelo se debe a la presencia de óxidos de hierro y otros minerales. El óxido de hierro es el que da el color rojizo a los suelos. Los suelos también se pueden clasificar por su contenido de materia orgánica. La materia orgánica es el material orgánico que se encuentra en el suelo, como los restos de plantas y animales. La materia orgánica se mide en porcentaje de peso (Ibañez, 2010).

2.1.3 Suelos Colindantes

Los suelos colindantes son una categoría de suelos que se encuentran en la frontera entre dos o más ecosistemas. Estos suelos están expuestos a los efectos de los factores abióticos y bióticos de los ecosistemas vecinos y, por lo tanto, pueden presentar una mayor variedad de propiedades que los suelos que no están colindantes.

Los suelos colindantes pueden ser de diferentes tipos, pero los más comunes son los suelos de ecotono y los suelos de borde. Los suelos de ecotono son los que se encuentran en la frontera entre dos ecosistemas de igual importancia, como un bosque y un campo. Los suelos de borde son los que se encuentran en la frontera entre dos ecosistemas de diferente importancia, como un bosque y una ciudad (Santos & Castro, 2012).

2.2 Servicios ecosistémicos del suelo

GIBSE es una Política Nacional de Gestión Integrada de la Biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, según lo establecido en el (MADS, 2015). Esta política establece que las funciones del ecosistema ayudan directa o indirectamente a los humanos. Estas funciones incluyen el suministro de alimentos y agua, la regulación de sequías e inundaciones, los servicios culturales y la subsistencia.

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, o (MEA, 2005), declaró que el cambio climático y el uso excesivo de los recursos hicieron que estos servicios fueran menos abundantes. Esto llevó a que fueran vistos como ecosistemas frágiles y de alto riesgo.

El suelo es una parte esencial de los ecosistemas, proporcionando una amplia gama de servicios para mantener el ecosistema en funcionamiento. Estos servicios incluyen la producción de alimentos, los ciclos biogeoquímicos, el almacenamiento de carbono y la filtración de agua. Además, los suelos brindan muchos otros servicios, incluido el mantenimiento de la estructura de los suelos y la filtración del agua. Esta información se proporciona en Burbano, (2016). La desertificación inhibe los aspectos de supervivencia de los suelos, incluida la capacidad de realizar funciones, al degradar su integridad.

2.2.1 Resiliencia del suelo

Según (Murcia & Guariguata, 2014), el término resiliencia se refiere a la capacidad de un ecosistema para volver a su estado original después de haber sido alterado. Así mismo, se relaciona con la elasticidad y la capacidad de los ecosistemas para continuar brindando los mismos servicios ecosistémicos después de posibles cambios.

La resiliencia de un ecosistema se refiere a la capacidad de un ecosistema para responder a impactos adversos. En este estudio también se asimilaron los suelos, así como se sospecharon la resiliencia de los ecosistemas, ya que los suelos, como cuerpo natural vivo, tienen la capacidad de volver a su estado natural después de su origen y desarrollo. Ser cambiado y/o resistir diferentes cambios. Asimismo, (Vogel & Smith, 2002) garantizan que la desertificación es un problema de pérdida de resiliencia debido a la degradación de las tierras secas.

Concluyendo que, la Resiliencia es la capacidad de un suelo para mantener sus propiedades y funciones a pesar de estar sometido a cambios ambientales adversos. La Resiliencia del suelo es un concepto relativo ya que un mismo suelo puede ser resiliente a una clase de estrés, pero no a otro.

La Resiliencia del suelo depende de la naturaleza de los estreses, de la magnitud de estos, de la naturaleza del suelo, del uso y manejo del suelo, de la capacidad de la vegetación para proteger al suelo, de la capacidad de la vegetación para recuperar suelo degradado y de la capacidad de la vegetación para estabilizar un suelo erosionado (Vogel & Smith, 2002).

2.2.2 Degradación del suelo

De acuerdo con (MADS, 2015), cuando se habla de degradación de suelos, se refiere a su capacidad reducida para realizar sus funciones o servicios ecosistémicos, lo que conduce a cambios. Sus propiedades fisicoquímicas y biológicas son negativas, producir así el funcionamiento del ecosistema. La degradación del suelo es un proceso natural, sin embargo, según la (Comisión Europea, 2002), el suelo es un cuerpo frágil, incapaz de resistir las amenazas y presiones provocadas principalmente por las actividades humanas, que aceleran e intensifican el proceso de degradación.

La degradación física del suelo involucra procesos tanto naturales como hechos por el hombre que causan la pérdida de las propiedades físico-mecánicas del suelo. Estos procesos incluyen la compactación, erosión y sellado de partes del terreno. Por el contrario, la degradación química y biológica del suelo implica la disminución de las propiedades químicas o biológicas de los suelos. Esto ocurre típicamente como resultado del uso excesivo o abuso de los recursos naturales. La degradación es un proceso asociado con la pérdida de nutrientes, cambios de pH y la adición de productos químicos al suelo. Los tipos típicos de degradación incluyen la salinización, la alcalinización y la acidificación. Otra degradación común es la biodegradación; implica la pérdida de biota del suelo y materia orgánica. Esto es típicamente causado por toxinas en el suelo (MADS, 2015).

La degradación del suelo se produce cuando el suelo pierde su capacidad para producir. Esto se debe a un conjunto de factores que se pueden agrupar en tres categorías principales:

erosión, compactación y contaminación. Es así como la erosión se define como un fenómeno físico que se produce cuando el agua o el viento arrastran el suelo de un sitio a otro. Hablando de otro factor como la compactación, este es un fenómeno físico que se produce cuando el suelo se aprieta y pierde su capacidad para almacenar agua y aire. Y finalmente, la compactación es un problema grave en los países en desarrollo, donde la tierra es a menudo arada con animales de tiro (MADS, 2015).

Esto puede conllevar a otros problemas como:

- Reducir la capacidad del suelo para producir alimentos, forraje y biomasa.
- Aumentar la erosión y la compactación.
- Aumentar la contaminación.
- Reducir la biodiversidad.
- Aumentar el riesgo de inundaciones y sequías.

2.3 Teoría General de los impactos

(Benalcazar & Rosero, 2010) mencionan:

En 1977, la superficie forestal nacional era de 12 millones 405 mil hectáreas. Si bien no existen cifras confiables o precisas, los diferentes gobiernos nunca se han preocupado por el manejo de los recursos naturales de la nación. Según cálculos, 15 años después, en 1992, La superficie forestal resultó en 11,5 millones (Benalcazar & Rosero, 2010).

Las plantaciones forestales que definen la vegetación natural en especies de crecimiento rápido se han convertido en una actividad emergente a nivel mundial, y América del Sur tiene la tasa de crecimiento más alta después de Asia. La mayoría de estas especies pertenecen a los géneros *Pinus*, *Cypress* y *Eucalyptus*, que pertenecen a un paisaje completamente diferente al

de los Andes y son especies importadas de otras regiones, conocidas como especies exóticas (Mena, 2001). Aunque la introducción de especies exóticas en áreas alejadas de los límites naturales suele ir acompañada de problemas ecológicos (Jobbágy, 2009).

Las plantaciones de pinos y eucaliptos causan un daño significativo al medio ambiente. Entre sus muchas consecuencias dañinas está el daño sustancial a la hidrología y el suelo de las regiones de páramos. Como resultado, la vegetación natural de estas regiones cambió significativamente. Se demostró que esto era cierto cuando las plantaciones se plantaron en lotes baldíos bien mantenidos. Según Molinillo (2002), establecer plantaciones en un área de páramo puede ayudar a aumentar la humedad del suelo y el contenido de carbono al aumentar la compactación del suelo. Esto puede ayudar a restaurar áreas dañadas y brindar una alternativa a los esfuerzos de restauración en áreas de páramo con alta degradación.

2.4 Teoría sustantiva de los impactos

En el análisis de impacto ambiental presentado por Pinilla y Suárez (1999), se planteó que los bosques comerciales de *Pinus patula* y *Eucalyptus grandis* pueden tener efectos tanto negativos como positivos, sin embargo, la presencia de plantaciones adecuadamente manejadas a menudo favorece la presencia y persistencia de la biota local. Sin embargo, la sustentada anterior puede resultar confusa ya que el estudio citado compara las plantaciones forestales antes mencionadas con pastizales con rastrojos y uso real de ganado (Gayoso & Iruome, 2017).

2.5 Impactos ecológicos a causa de las plantaciones forestales

En muchos países, el establecimiento de plantaciones con especies exóticas es cada vez más inaceptable desde el punto de vista ecológico, social y político, especialmente en lo que respecta a su impacto ambiental y la conservación de la biodiversidad. Por estas razones, han surgido preocupaciones sobre la estabilidad ecológica de las plantaciones. Aunque una de las motivaciones de la forestación es mejorar el medio ambiente a través de la conservación del

suelo y la regulación hidrológica, varias publicaciones afirman lo contrario bajo el concepto de que plantaciones de especies exóticas tienen un impacto negativo en estos aspectos ambientales a nivel nacional andino (Hofstede, 2016).

Los impactos ecológicos de las plantaciones forestales son ampliamente conocidos y debidamente documentados, estos pueden ser positivos o negativos. Los impactos positivos de las plantaciones forestales se relacionan principalmente con la producción de madera y otros productos forestales, así como el control de la erosión del suelo y la protección de las cuencas hidrográficas.

Los impactos negativos de las plantaciones forestales son muchos y variados, y se relacionan principalmente con la degradación del suelo, la pérdida de la biodiversidad, el cambio en el uso del suelo y el aumento de la demanda de agua (Cortés, 1990).

Dentro de los impactos negativos más importantes de las plantaciones forestales se encuentran:

-La degradación del suelo: las plantaciones Forestales monoespecíficas tienden a degradar el suelo debido a la pérdida de la capa vegetal, la compactación del suelo y la erosión.

-La pérdida de la biodiversidad: las plantaciones Forestales monoespecíficas tienden a reducir la diversidad biológica debido a la eliminación de la vegetación natural y el aislamiento de los ecosistemas.

-El cambio en el uso del suelo: las plantaciones forestales suelen reemplazar a los ecosistemas naturales, lo que puede tener consecuencias negativas para los seres humanos y los ecosistemas.

-El aumento de la demanda de agua: las plantaciones Forestales requieren grandes cantidades de agua para su producción, lo que puede tener consecuencias negativas para el medio ambiente y los seres humanos.

2.5.1 Impacto sobre la hidrología

Los cambios en el balance hídrico de las plantaciones en relación con los bosques naturales son menos claros (Bruijnzeel, 1990). Las diferencias en los parámetros estructurales determinan en gran medida las diferencias hidrológicas entre las plantaciones y los bosques naturales. En un estudio del balance hídrico de las plantaciones de pino radiata en Australia, Huber & Oyarzun (1985) concluyeron que, después de controlar la magnitud del aguacero, el área del sótano era la característica estructural más importante para determinar la intercepción. Un estudio sobre plantaciones de eucalipto en la India incluso mostró que el área basal se correlacionó mejor con la evaporación que el índice de área foliar (Calder, 1996).

Otros aspectos, como el tipo de hojas (anchas versus aciculares), también son importantes. Varios estudios han demostrado que las coníferas generalmente tienen tasas de retención más altas que los árboles de hoja ancha debido a la forma de aguja y al alto índice de área foliar (Tobón, 1998). Las intersecciones del 18-39% en plantaciones de pino radiata y del 19-27% en plantaciones de pino tropical (Calder, 1996) mencionadas por (Huber & Oyarzun, 1985) muestran que, en la práctica, las intersecciones en estas plantaciones son mayores que en los bosques montanos tropicales naturales.

En el estudio a unos 1900m. En Colombia, (Tobón, 1998) encontró que las intercepciones anuales en plantaciones de *Pinus patula* eran mayores que las de bosques secundarios o plantaciones de *Cupressus lusitanica*. Sin embargo, este resultado se debió a la alta tasa de intercepción en las plantaciones de pino, en relación con los otros dos tipos de

cobertura, durante períodos muy húmedos, ya que los bosques naturales secundarios tuvieron las mayores tasas de intercepción durante el resto del año.

Desde el punto de vista hidrológico, los efectos de las plantaciones forestales pueden ser beneficiosos o adversos. En general, las plantaciones de árboles mejoran la capacidad de retención de agua en el suelo, lo cual es especialmente importante en sitios con escasa precipitación y en cuencas con problemas de erosión. Las plantaciones también pueden incrementar el almacenamiento de agua en los acuíferos.

Sin embargo, también pueden causar problemas. Por ejemplo, el drenaje artificial de las plantaciones puede aumentar el caudal mínimo en un río y reducir la cantidad de agua disponible para uso humano y para el mantenimiento de los ecosistemas. También pueden interferir con el ciclo natural del agua al modificar el régimen de precipitaciones, evaporación y el movimiento de agua subterránea.

2.5.2 Impacto sobre la materia orgánica

Cambios en la calidad de la materia orgánica muerta, hierbas Amarrado en la literatura de la plantación, se puede cambiar Descomposición y formación de suelos. En Alaska, se encontró formación de suelo La ceniza reciente bajo condiciones de temperatura crítica ha dado como resultado dos tipos de suelo distintos: el podzol se encuentra bajo los bosques, mientras que la vegetación de pasto conduce a la formación de azurita (Shoji et al., 1988), y el tipo de suelo determina los beneficios del páramo (Hofstede, 2016).

Generalmente se espera que la descomposición de hojarasca de *Pinus* spp. es lenta, por la pobre calidad (relación C/N alta, altos contenidos de polifenoles) del material. Son, sin embargo, características que también están reportadas para especies de bosques nativos de la alta montaña. Hay pocos estudios comparativos sobre el deterioro de plantaciones de

vegetación natural en altitudes elevadas. Pero hay problemas asociados con las características típicas de los suelos de páramo bien conservados (Hofstede, 2016).

La materia orgánica es un componente importante del suelo, ya que mejora la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, regula la temperatura del suelo y alimenta a las bacterias y hongos del suelo. La deforestación y la reforestación pueden afectar la materia orgánica del suelo de diversas maneras. La tala de árboles y la quema de la vegetación eliminan la materia orgánica del suelo, reduciendo así su capacidad para retener agua y nutrientes, regulando la temperatura y alimentando a las bacterias y hongos. La erosión del suelo también puede eliminar la materia orgánica.

Por otro lado, la plantación de árboles y el mantenimiento de los bosques pueden aumentar la materia orgánica del suelo, ya que los árboles depositan hojas y ramas en el suelo al morir.

2.5.3 Impacto sobre los aspectos físicos y químicos del suelo

El impacto sobre los aspectos físicos y químicos del suelo es evidente a partir de los cambios en la composición del suelo y en la estructura del suelo. En las plantaciones de eucalipto, se encontraron cambios en la capacidad de retención de agua, en la capacidad de drenaje y en la estructura del suelo. En las plantaciones de pino, se encontraron cambios en la capacidad de drenaje, en la estructura del suelo y en la capacidad de almacenamiento de carbono.

En Colombia León et al., (1996) compararon las características de suelos volcánicos bajo pastos con suelos de pinos de 15 años y grandes plantaciones de eucaliptos de 2 y 5 años. No se pueden encontrar diferencias entre los suelos de plantación y de pasto, excepto el pH, que mostró más valores bajos en las plantaciones de *Pinus patula*. Moreno (1987) comparó suelos andinos cubiertos por bosques naturales, pastizales y plantaciones de pino de más de 10

años en la Meseta de Popayán a 1700 m sobre el nivel del mar. Las plantaciones se construyen en potreros.

La afectación de los aspectos físicos y químicos del suelo se debe a la sobreexplotación de los recursos naturales, la erosión, la compactación y la contaminación del suelo. La sobreexplotación es una práctica muy común en las plantaciones de eucalipto y pino, ya que se necesita una gran cantidad de madera para la producción de papel y muebles. Esto causa una degradación significativa del suelo, especialmente en las áreas de drenaje deficiente. La erosión es otro factor que afecta negativamente la calidad del suelo. Se produce cuando el agua y el viento arrastran el suelo, dejando un suelo pobre en nutrientes (Burbano, 2016).

La plantación de árboles puede afectar la composición química del suelo de varias maneras. En primer lugar, el árbol puede modificar el contenido de nutrientes del suelo, lo que puede afectar el crecimiento de las plantas. En segundo lugar, el árbol puede modificar el contenido de minerales del suelo, lo que puede afectar la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes. En tercer lugar, el árbol puede modificar el contenido de sales del suelo, lo que puede afectar la capacidad del suelo para drenar el agua.

También puede afectar el pH del suelo de varias maneras. En primer lugar, el árbol puede consumir ácidos o bases presentes en el suelo y, en segundo lugar, el árbol puede producir ácidos o bases a partir de su materia orgánica. La capacidad de los árboles para modificar el pH del suelo depende de la naturaleza ácida o básica de la materia orgánica del árbol, así como de la capacidad del árbol para extraer y almacenar cationes en sus tejidos. Los árboles que producen materia orgánica ácida, como el eucalipto, pueden disminuir el pH del suelo, mientras que los árboles que producen materia orgánica básica, como el pino, pueden aumentar el pH del suelo (Alvarado, 2015).

El impacto sobre los aspectos físicos y químicos del suelo puede ser medido a través del análisis de los parámetros físicos y químicos del suelo. Se pueden utilizar diferentes métodos para medir el impacto, pero el más común es el análisis de los parámetros del suelo. El impacto sobre los aspectos físicos del suelo se puede medir a través del análisis del contenido de materia orgánica, la textura del suelo, la estructura del suelo, la porosidad del suelo, la capacidad de retención de agua y la conductividad hidráulica. El impacto sobre los aspectos químicos del suelo se puede medir a través del análisis de la fertilidad del suelo, la acidez del suelo, la salinidad del suelo, el contenido de nutrientes y la toxicidad del suelo (Mera, 2012).

El pino es una especie que tiene un impacto muy fuerte sobre los aspectos físicos y químicos del suelo. Al cultivar esta especie, se produce una gran cantidad de residuos, que a su vez se descomponen y afectan el suelo. Esto puede causar una disminución en la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas, así como un aumento en el nivel de acidez del suelo. También puede haber un aumento en la erosión del suelo, ya que los residuos pueden impedir que el agua penetre en el suelo y que las raíces de las plantas se adhieran correctamente (Suárez, 2016).

El eucalipto, por otro lado, es una especie que tiene un impacto menos intenso sobre el suelo. Al cultivar esta especie, se produce una cantidad menor de residuos, que se descomponen más lentamente y no afectan tanto el suelo. Esto puede permitir que el suelo mantenga una mayor cantidad de nutrientes disponibles para las plantas, así como un nivel más bajo de acidez. También puede haber una menor erosión del suelo, ya que los residuos no impiden que el agua penetre en el suelo y que las raíces de las plantas se adhieran correctamente (Alvarado, 2015).

El impacto de estas dos especies de árboles sobre el suelo es muy significativo. El eucalipto y el pino son árboles que tienen una gran capacidad de absorción de agua, lo que hace que el suelo se encharca y se compacte fácilmente. Esto afecta la capacidad del suelo para

drenar el exceso de agua, lo que puede provocar anegamiento y/o erosión. También afecta la capacidad del suelo para almacenar agua, lo que puede tener un impacto negativo en las plantas y animales que viven en el suelo.

Tabla 2

Afecciones físico químicas en las plantaciones de pino y eucalipto

Ítem	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Pinus radiata</i>
Profundidad del suelo	Tiene una gran capacidad de penetración de raíces, y puede llegar a alcanzar profundidades de hasta 8 metros	Sus raíces son superficiales y no penetran profundamente en el suelo.
Densidad del suelo	Afecta negativamente la densidad del suelo, ya que provoca la disminución de la porosidad y aumento de la compactación	Afecta negativamente la densidad del suelo, ya que provoca la disminución de la porosidad y aumento de la compactación.
Porosidad del suelo	Afecta negativamente la porosidad del suelo, ya que provoca la disminución de los poros y aumento de la compactación.	Afecta negativamente la porosidad del suelo, ya que provoca la disminución de los poros y aumento de la compactación.
Limo del suelo	Aumenta el contenido de limo en el suelo.	Aumenta el contenido de limo en el suelo.

Arcilla del suelo	Aumenta el contenido de arcilla en el suelo.	Aumenta el contenido de arcilla en el suelo.
Organicidad del suelo	Aumenta la organicidad del suelo.	Aumenta la organicidad del suelo.
pH del suelo	Tiene un efecto neutral sobre el pH del suelo.	Tiene un efecto neutral sobre el pH del suelo.
Cationes intercambiables del suelo	Aumenta el contenido de cationes intercambiables en el suelo.	Aumenta el contenido de cationes intercambiables en el suelo.
Carbono orgánico del suelo	Aumenta el contenido de carbono orgánico en el suelo.	Aumenta el contenido de carbono orgánico en el suelo.
Materia orgánica del suelo	Aumenta la materia orgánica del suelo.	Aumenta la materia orgánica del suelo.

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

2.6 *Pinus radiata*

Figura 10

Pinus radiata



Nota: árbol de Pino

2.6.1 *Características de la especie*

Árbol de hasta 60 m de altura, DAP 100 cm, tronco cónico y recto, corteza interior marrón rosa crema, secretora de resina. Las hojas en forma de aguja están agrupadas en tres racimos, las flores masculinas tienen estambres peltados y las flores femeninas son cónicas o estróbilos (Vinuesa, 2013). Fruta en forma de piña en grupos de hasta 4 o 5 La corona, sin un pedúnculo diferenciado, parece estar adherida a la rama. la base es Muy asimétrica porque las escalas son más grandes en el lado opuesto de la rama. Pueden permanecer en los árboles durante años sin abrirse (Galán, 2007).

2.6.2 *Plantaciones forestales y su propósito*

Es un árbol que se establece artificialmente con una o más especies forestales, Se puede concluir que la forestación es el resultado de la forestación con un propósito Comercial, en áreas sin ellos, a través de programas de reforestación o Reforestación mediante un manejo forestal adecuado. En el país, los bosques plantados tienen usos industriales como combustible,

madera aserrada, pulpa, madera contrachapada, tableros de partículas, productos extraídos (MAE, 2014).

2.7 *Eucalyptus globulus*

Figura 11

Eucalyptus globulus



Nota: árbol eucalipto

2.7.1 Características

El *E. globulus* a menudo se denomina eucalipto o goma azul de Tasmania. El último nombre se le asigna por el aspecto de sus hojas tiernas, que son turquesas o azuladas y están cubiertas de una capa cerosa. Como su nombre indica, se clasifica como Eucalyptus, Angiosperm, subclase Dicots y Myrtaceae (Boden, 2003).

Es un árbol perennifolio de hasta 60 m de altura, y la corteza de los ejemplares adultos es de color blanco desconchándose. Tiene un cono alto, en condiciones óptimas de campo, puede alcanzar un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 120 a 210 cm (Skolem, 1990).

2.7.2 Plantaciones forestales

Si bien los impactos del desarrollo urbano son complejos y varían según la región, algunos de los impactos más significativos están relacionados con 1) niveles muy altos de consumo de energía, 2) pérdida de biodiversidad y ecosistemas, y 3) sustitución de otras formas de uso de la tierra de nativos. vegetación (Cavalier & Santos, 1999). El último factor es especialmente importante porque puede incluso acabar con ecosistemas enteros. Uno de los principales "otros usos" del suelo es la construcción. Áreas urbanas, de la mano del suelo por suelo Cultivo distinto de las plantaciones forestales exóticas con multas comerciales. Estas últimas actividades constituyen los efectos combinados de la urbanización (Richardson, 2006).

2.8 Fauna edáfica

La fauna edáfica es un conjunto de organismos que habitan el suelo y que se alimentan de la materia orgánica presente en él. La mayoría de ellos son invertebrados, aunque también existen algunos vertebrados, como los anfibios y reptiles.

La importancia de la fauna edáfica radica en que realiza una función esencial en el ciclo de la materia orgánica, ya que la descomponen y, al hacerlo, la transforman en nutrientes que son utilizados por las plantas. Asimismo, la fauna edáfica juega un papel importante en la lucha contra la erosión, ya que sus galerías pueden alcanzar profundidades de hasta 10 metros y, al hacerlo, incrementan la porosidad del suelo y mejoran su estructura (Briones, 2014).

Es un ecosistema relativamente pequeño en el que se encuentran organismos de alta diversidad biológica. Los organismos edáficos son invertebrados ocupan un (95%), entre los que se encuentran insectos, moluscos, crustáceos, arácnidos, etc. y vertebrados con un (5%), por ejemplo, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Perdomo, 2020).

La fauna del suelo cumple funciones muy importantes en los ecosistemas, entre las que se pueden mencionar:

- La degradación de la materia orgánica, lo que contribuye a la mineralización de nutrientes y al reciclaje de los elementos.

- La dispersión de semillas y la dispersión de esporas, lo que favorece la regeneración de los bosques.

- La polinización de las plantas.

- El control de plagas, ya que muchos organismos edáficos se alimentan de otros que pueden ser dañinos para las plantas.

- La formación y mantenimiento de los suelos, ya que muchos organismos edáficos excavan el suelo y mezclan las capas.

Según André (1994) su hábitat, la fauna edáfica se puede clasificar en tres grandes grupos:

- **Fauna superficial:** habita en la capa superficial del suelo, a unos pocos centímetros de profundidad. Incluye a los animales que viven en el suelo y a los que viven en la vegetación cercana al suelo, como las arañas.

- **Fauna profunda:** habita en las capas profundas del suelo, a varios metros de profundidad. Incluye a los animales que viven en el agua subterránea y a los que viven en las raíces de las plantas.

- **Fauna intersticial:** habita en los espacios intersticiales del suelo, es decir, en los huecos y grietas del suelo. Incluye a los gérmenes y a las bacterias.

2.9 Flora edáfica

La vegetación, en sentido amplio, es un conjunto de individuos de una especie vegetal que se encuentran en un hábitat determinado, en un área dada y en un momento dado. La vegetación puede ser clasificada de muchas formas, existiendo varias clasificaciones. En los suelos es común encontrar una vegetación especializada llamada flora edáfica. Esta se encuentra

íntimamente relacionada con los factores del suelo y es esencial para el mantenimiento de la estabilidad y la productividad de este (Murillo, 2019).

La flora edáfica está formada por especies de plantas que se encuentran especialmente adaptadas a los factores del suelo donde habitan. Dichas plantas viven en contacto directo con la superficie del suelo, en donde se encuentran sus raíces y, por lo tanto, están en constante interacción con este. Está formada por diferentes especies de plantas, tales como musgos, briófitos, líquenes, helechos, repollos, gramíneas, hongos y bacterias, entre otros.

Peña (2009) argumenta que, las plantas de la flora edáfica cumplen funciones importantes para la estabilidad del suelo, tales como:

- Protección del suelo contra la erosión: las raíces de las plantas ancladas en el suelo lo protegen de la erosión, ya que impiden que el agua y el viento arrastren el suelo.

- Aumento de la capacidad de infiltración de agua en el suelo: las raíces de las plantas permiten que el agua se infiltre en el suelo, lo que mejora la capacidad de almacenamiento de este.

- Protección del suelo contra la compactación: las raíces de las plantas permiten que el aire circule en el suelo, lo que evita la compactación de este.

- Aumento de la capacidad de retención de agua en el suelo: las plantas aumentan la capacidad de retención de agua en el suelo, ya que absorben el agua del suelo y la almacenan en sus tejidos.

- Aumento de la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo: las plantas almacenan carbono en sus tejidos, lo que aumenta la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo.

- Aumento de la fertilidad del suelo: las plantas aumentan la fertilidad del suelo, ya que liberan nutrientes al suelo a través de sus raíces y también almacenan nutrientes en sus tejidos.

- Aumento de la actividad microbiana en el suelo: las plantas aumentan la actividad microbiana en el suelo, ya que liberan sustancias orgánicas al suelo a través de sus raíces.

- Protección del suelo contra la erosión hídrica: las plantas protegen el suelo contra la erosión hídrica, ya que impiden que el agua arrastre el suelo.

- Protección del suelo contra la erosión eólica: las plantas protegen el suelo contra la erosión eólica, ya que impiden que el viento arrastre el suelo.

La vegetación del suelo es esencial para el mantenimiento de la estabilidad y la productividad de este. Sin embargo, la vegetación del suelo puede ser afectada por diversos factores, tales como la degradación del suelo, la erosión del suelo, el cambio climático, entre otros.

2.10 Fundamentación legal

La constitución ecuatoriana, adoptada en 2008, describe el proceso de investigación. Establece que todos los derechos garantizados a las comunidades, naciones y pueblos provienen de convenciones, declaraciones y otros instrumentos internacionales de derechos humanos. Es por eso que se les conoce como el artículo 57 de la constitución de 2008. Las personas y los pueblos indígenas tienen derechos colectivos que se afirman y garantizan de conformidad con esta legislación.

Literalmente 12.- Mantenimiento, protección y desarrollo de los saberes colectivos, sus saberes tecnocientíficos y ancestrales, los recursos genéticos que contienen la biodiversidad y la agrobiodiversidad, sus prácticas medicinales y de medicina tradicional, incluyendo los rituales de restauración, promoción y conservación y los Derechos a los sitios sagrados y las plantas, los animales, los minerales y los ecosistemas dentro de sus territorios, y el

conocimiento de los recursos y características vegetales y animales. Se prohíbe la apropiación indebida de sus conocimientos, innovaciones y prácticas en cualquier forma. Decreto del Ministerio del Medio Ambiente Las políticas y estrategias para proteger el ecosistema del páramo son las siguientes:

Política 1

El estado ecuatoriano reconoce a los Páramos como ecosistemas frágiles que requieren un cuidado especial. El Estado considera sus singulares características culturales, biológicas, sociales, económicas e incluso ecológicas. Esto se debe a que los páramos son fuentes importantes de recursos naturales y ayudan a mantener la biodiversidad de plantas y animales nativos.

Política 2

El Estado proporciona métodos para incorporar los recursos naturales en el proceso de planificación y zonificación del territorio. Esto también se aplica a los páramos, que son llanuras de gran altitud que se encuentran en los Andes. Las personas participan en la creación de su corresponsabilidad a través de compartir responsabilidades y diferencias culturales.

Política 3

El Estado proporciona métodos para incorporar los recursos naturales en el proceso de planificación y zonificación del territorio. Esto también se aplica a los páramos, que son llanuras de gran altitud que se encuentran en los Andes. Las personas participan en la creación de su corresponsabilidad a través de compartir responsabilidades y diferencias culturales.

Del título II: De la Introducción de Especies.

Art. 63.- El Ministerio del Medio Ambiente debe considerar programas que promuevan esfuerzos para detener la propagación de especies exóticas. Esto incluye la consideración de especies domésticas en la naturaleza que afectan la supervivencia de los animales nativos. Al considerar programas relacionados con esto, considere programas enfocados en transferir animales silvestres a diferentes áreas o especies domésticas que se vuelven una molestia cuando se modifica su entorno.

Art. 64.- El Ministerio del Medio Ambiente considera varios aspectos a la hora de determinar si una nueva especie se convertirá en invasora. Estos incluyen sus capacidades reproductivas y su capacidad para adaptarse a nuevos entornos.

Art. 65.- Todas las solicitudes presentadas por no nativos para la introducción de flora y fauna silvestres deben obtener primero la firma de un representante legal. Luego se debe presentar documentación adicional relacionada con la evaluación de impacto ambiental.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Modalidad de investigación

La investigación se divide en tres niveles básicos: investigación bibliográfica, investigación de campo e investigación experimental. En este caso, se van a utilizar las siguiente: Investigación bibliográfica. Se utiliza para comprender, comparar, ampliar, profundizar y derivar la cobertura vegetal natural y el uso de la tierra en el área de estudio. De campo. Para ello, se realizaron pruebas de campo como el muestreo de suelo en el área de estudio obteniendo un total de 18 muestras en tres zonas diferentes y finalmente la investigación experimental, apoyada por un análisis de laboratorio con respecto al suelo y la aplicación de labores agrícolas para mejorar la calidad de suelo.

3.2 Nivel de investigación

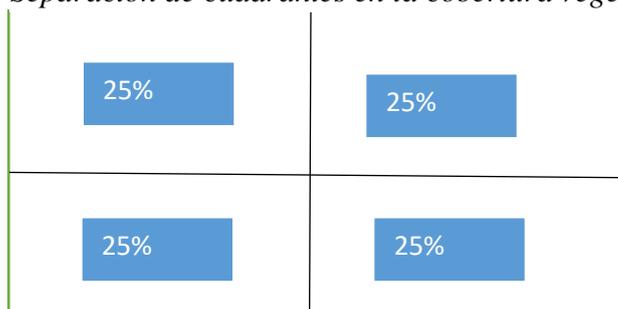
Se realizó un levantamiento descriptivo de la ubicación y cobertura del uso de suelo y cobertura vegetal natural en el área de estudio. La caracterización del suelo se realizó según el método propuesto por Soil Survey Staff (1999) el cual considera la clasificación del suelo por el sistema de pedotransfero el cual se fundamenta en la relación que existe entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y su capacidad para el cultivo. Para la caracterización física y química del suelo se tomaron muestras en las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-40 cm con una frecuencia de 4 puntos en cada una de las unidades de uso de suelo.

3.3 Determinación de cobertura en las áreas de estudio

Mediante el método de cuadrante virtual en las imágenes se pudo visualizar la abundancia de los árboles por cada punto esto con respecto a un cuadrante cada uno obteniendo el 25% con un cubrimiento total del 100% obteniendo así la cantidad de árboles visualmente.

Figura 12

Separación de cuadrantes en la cobertura vegetal



Nota: porcentajes por cuadrante en cobertura vegetal

3.4 Diseño

3.4.1 *Diseño experimental.*

Los datos que validan esta investigación fueron obtenidos a partir de un análisis de laboratorio aplicado a las muestras de suelo ubicado en 6 puntos de la zona de estudio.

Para determinar el grado de afectación de los suelos colindantes a plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*) se realizó un muestreo de suelo en la comunidad de Pesillo, cantón Cayambe. El muestreo de suelo se realizó con el objetivo de evaluar la calidad del suelo y las labores de conservación aplicadas, así como los cambios en la composición física, química y biológica del suelo. Se realizó un muestreo estratificado aleatorio sistemático y se establecieron 3 zonas de estudio (eucalipto, mixto y pino). En cada una de estas zonas se tomaron 6 muestras de suelo para el análisis físico, químico y biológico. Para el análisis físico se realizó la determinación de la temperatura y humedad relativa del suelo, densidad aparente, porosidad total, capacidad de campo y contenido de materia orgánica. Para el análisis biológico se efectuó el conteo de macroinvertebrados.

3.4.2 *Diseño estadístico*

Se realizó un análisis científico llamado Análisis de Varianza o ANOVA para determinar las diferencias entre diferentes aspectos. Se compararon diferentes puntos mediante muestreo repetido tres veces con un valor promedio utilizado para el análisis estadístico. Se utilizó el programa PAST para determinar las especies de fauna edáfica disponibles en cada localidad familiar.

3.5 Población y muestra

El estudio se realizó en la comunidad de Pesillo, cantón Cayambe, donde se seleccionaron seis localidades de muestreo con respecto a la aplicación de labores agrícolas, enviando las muestras Agro Calidad mediante un estudio óptimo del suelo estudiando las principales características físico químicas.

En cada una de las seis localidades de la comunidad se establecieron tres puntos de colocación de muestras y de igual manera se lo hizo en el sitio de control, sumando un total de 21 muestras, las mismas que fueron recolectadas trasladadas al laboratorio para su respectivo análisis con las siguientes variables:

Variables químicas:

Análisis del suelo para determinar la fertilidad del mismo, se utilizó el método de análisis de suelos de la Universidad de Idaho (Bray y Kurtz, 1945) modificado por C.E. Jackson (1958) y los valores obtenidos se compararon con los límites establecidos por Vásquez (1977) para suelos de la región andina.

Variable física: Se determinó el porcentaje de materia orgánica, el pH, la conductividad eléctrica, la densidad aparente y la capacidad de campo.

3.6 Variables

- **Variable Independiente:** Análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo en la comunidad de Pesillo

- **Variable Dependiente:** Afectación de los suelos colindantes a plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*)

3.7 Recolección de datos

3.7.1 Materiales

3.7.1.1 De campo

A continuación, se detallan los materiales utilizados en campo para la recolección de líquenes.

- Libreta de campo
- Espátulas
- Flexómetro
- Cámara
- Mascarillas
- Lápiz
- Ropa adecuada para trabajo de campo

3.7.1.2 De laboratorio

En esta fase, se mandaron las muestras de suelo a un laboratorio externo de AGROCALIDAD, para evaluar parámetros como:

- pH
- Materia orgánica
- Nitrógeno
- Fósforo
- Potasio
- Calcio
- Magnesio
- Hierro

- Manganeso
- Cobre
- Zinc

También se evaluará:

- La determinación de humedad equivalente
- Capacidad de campo
- Punto de Marchitez
- Agua aprovechable en suelo
- Determinación de la conductividad eléctrica

Instrumentos y parámetros utilizados:

Tabla 3

Instrumentos y parámetros para el muestreo

Parámetro	Instrumento
pH	Potencímetro marca corning de baja impedancia con una precisión de ± 0.2 pH unidades.
Conductividad eléctrica	conductímetro portátil marca mitronic con una precisión de $\pm 2 \mu\text{S cm}^{-1}$.
Materia orgánica	Método Walkley-Black, que consiste en la oxidación de la materia orgánica mediante el ácido sulfúrico concentrado y el permanganato de potasio

Nitrógeno	Método de Kjeldahl, el cual se basa en la digestión de la muestra a estufa, permitiendo así la liberación de los amoniacos.
Fósforo	Método de molybdenazo de amónio, el cual se basa en la formación de un complejo fluorescente
Potasio	Potencímetro de baja impedancia con una precisión de ± 0.2 pH unidades.
Calcio y Magnesio	Método EDTA, el cual se basa en la formación de un complejo con el EDTA, el cual será titulado con el ácido clorhídrico concentrado.
Hierro	Método 1,10-fenantrolina, el cual se basa en la formación de un complejo con el 1,10-fenantrolina
Manganeso	Método dicromato de potasio, el cual se basa en la oxidación del manganeso a manganeso dicromato.
Cobre, Zinc y Plomo	Método dicromato de potasio, el cual se basa en la oxidación de los metales a iones metálicos.

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

3.8 Protocolos

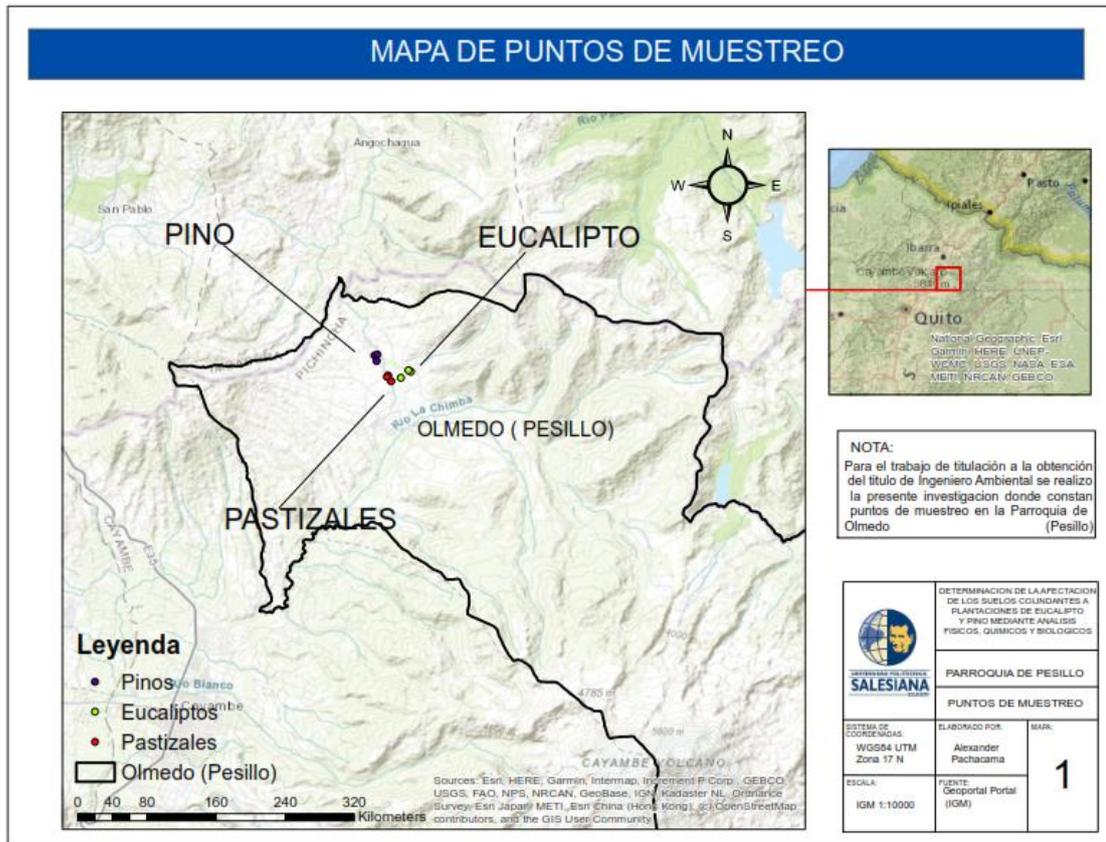
3.8.1 Zona de estudio

3.8.2 Delimitación de los puntos de muestreo

Para la delimitación de los puntos de muestreo incluidos en cada localidad, se considerando como área de estudio una hectárea, se determinó la presencia de algunas especies, además de viviendas y terrenos abandonados con vegetación sembrada.

Figura 13

Mapa de puntos de muestreo



Fuente: Pachacama, A. (2022)

3.8.3 Fase de campo

Descripción de la zona de estudio

La comunidad de Pesillo se encuentra ubicada en el cantón Cayambe, provincia de Pichincha, a una altura de 2900 msnm. La temperatura promedio es de 18°C y la precipitación anual es de 1200 mm. El clima es templado húmedo con abundantes lluvias en los meses de diciembre a marzo.

Se tomaron muestras de suelo de los alrededores de las plantaciones de pino y eucalipto, en una zona de una hectárea de la plantación.

Se consideró el cambio de pendiente de terreno, los diferentes tipos de suelo que existen en la zona, la textura del suelo, las diferentes etapas de la plantación y la distancia entre las plantaciones.

Coordenadas: las coordenadas de la zona de muestreo fueron las siguientes:

Para la elaboración del presente trabajo se identifica tres tipos de suelo en la comunidad de Pesillo.

Tabla 4

Coordenadas extraídas en el muestreo de suelo

Eucalipto	X	Y
1	826319.479E	17240.839N
2	826224.175E	17286.022N
3	825945.158E	17007.275N
Pino	X	Y
1	824984.228E	17843.967N
2	825089.083E	17876.673N
3	825056.543E	17630.319N
Pastizales	X	Y
1	825474.712E	17102.871N
2	825586.998E	16891.045N
3	825440.351E	17051.993N

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

Muestreo de suelo

El muestreo de suelo se realizó con el objetivo de evaluar la calidad del suelo y las labores de conservación aplicadas, así como los cambios en la composición física, química y biológica del suelo.

Descripción del suelo

Se procedió a la toma de datos en campo como la temperatura, humedad, densidad aparente, porosidad total, capacidad de campo y contenido de materia orgánica por medio de una perforación en suelo.

Se tomaron registros de la medición de temperatura y humedad relativa con un termo higrómetro digital que contiene un sensor externo TAYLOR de modelo 1523.

Las características de este equipo son las siguientes:

- Unidad de temperatura intercambiable en °C ó °F.
- Funciona con una pila AAA (Incluida en el equipo).
- Rango de temperatura interna es de -10 a +50°C.
- Rango de humedad interna 20 a 99%hr.
- Rango de temperatura externa (sonda) -50 a 70°C.
- Resolución: 0.1°C 1%hr.

Figura 14

Registro de temperatura y humedad relativa del suelo



Nota: Como demostración a estos registros, la temperatura en grados centígrados se ubica en la parte superior de la pantalla, mientras que la humedad relativa se encuentra en la parte inferior.

La medida de estas condiciones se realizaba colocando el sensor de marca (Taylor) su calibración es automática una vez estando en el suelo, de tal manera que éste quede dentro a una profundidad de 2 centímetros, inmediatamente los datos se registraban en la pantalla del equipo y cada dato fue registrado para evaluarlos durante cada muestra realizada.

Se llenó el picnómetro recipiente medidor gravimétricamente que nos permite determinar la densidad y porosidad.

Para tomar la capacidad de campo, se colocó el tensiómetro en el suelo y se aplicó la tensión.

Para determinar el contenido de materia orgánica se tomó una muestra de suelo de 1kg, se llevó el laboratorio para su análisis químico. Esta prueba se realizó con el fin de determinar el contenido de materia orgánica del suelo, dado que ésta es un factor que afecta al crecimiento de las plantas. Para esto se colocó un analizador de suelo para la determinación de la materia orgánica, con una precisión de 0.01% de la muestra.

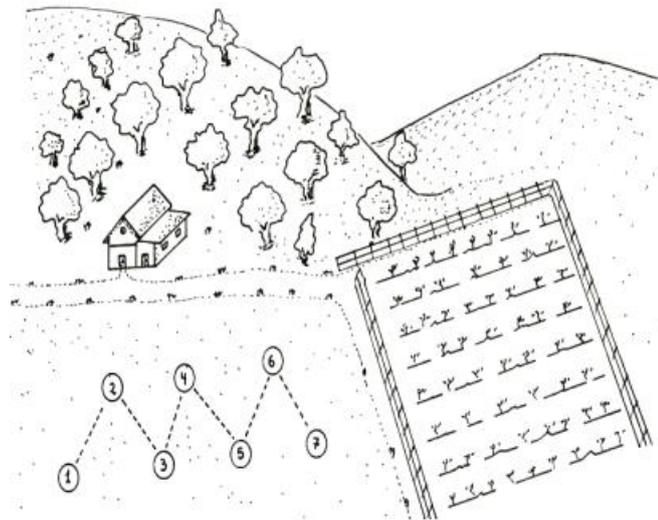
Procedimiento

El procedimiento del muestreo se llevó a cabo según la guía metodológica de (AGROCALIDAD, 2018) en donde se describe lo siguiente:

- Se tuvo la precaución de no tomar muestras durante un mes después de la última fertilización superficial tal como lo muestra el manual.
- Se realizó el muestreo, limpiando la superficie del suelo a muestrear, tomando de 20 a 25 submuestras en cada área de no más de 5 hectáreas (unidad de muestreo), formando un recorrido tortuoso o en zig-zag que abarcó todo el terreno.

Figura 15

Muestreo en zig-zag



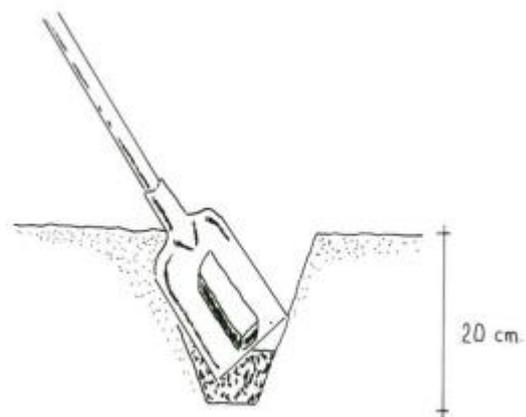
Nota: El tipo de muestreo se en zig-zag se muestra en la parte izquierda, te toman muestras se suelo en distintos puntos a una distancia de 2 metros entre punto y punto.

Fuente: (AGROCALIDAD, 2018)

- Cavar un hoyo a la profundidad apropiada, con paredes inclinadas (corte en V)

Figura 16

Muestra de suelo con corte en V



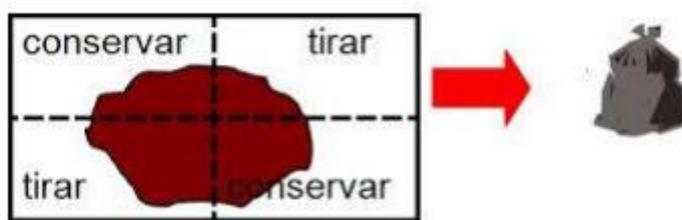
Nota: El corte en V es una manera sencilla de obtener una vista en profundidad de un área de suelo.

Fuente: (AGROCALIDAD, 2018)

- De una pared del hoyo, se tomó un trozo de tierra de 5 cm de espesor.
- Se usó un cuchillo para quitar los extremos laterales del bloque de tierra, dejando láminas de 5 cm de ancho.
- Se colocó la submuestra en un balde de plástico y homogeneizar.
- Finalmente se extendieron las submuestras sobre una lona sobre una superficie nivelada y se procedió a limpiar para despiece hasta obtener una muestra representativa de aproximadamente 1 kg.

Figura 17

Proceso de cuarteo



Nota: El método de cuarteo se utiliza para obtener una muestra representativa del suelo para su análisis. El proceso de cuarteo implica tomar una muestra de suelo y dividirla en cuatro partes iguales.

Fuente: AGROCALIDAD (2018)

- Las muestras recolectadas se colocarán en bolsas de plástico completamente selladas para evitar la pérdida de humedad. El tiempo entre la recolección de la muestra y el envío al laboratorio no debe exceder los 15 días.

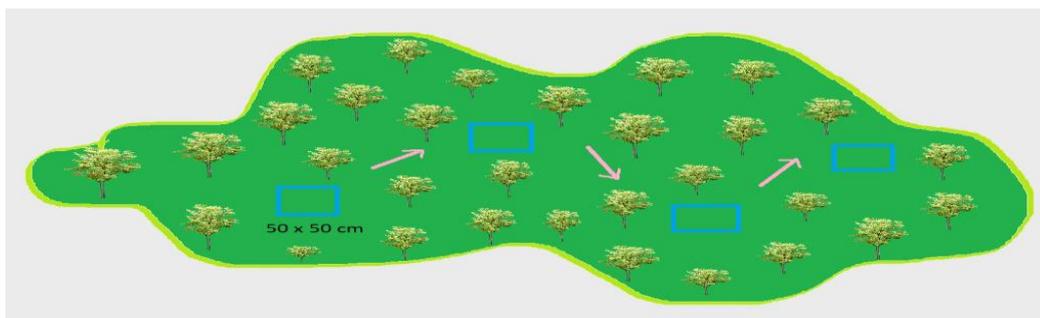
Recolección de las muestras biológicas

- a) Se trazó los puntos de muestreos en los tres tipos de suelo representando las medidas de 25 x 25 cm y de 20 cm de profundidad como lo indica la figura 15.
- b) Se retira toda la tierra obtenida en cada muestra de suelo y hojarasca esto se transfirió a 1 una cubeta con su respectivo etiquetado de la zona
- c) Una vez colectadas todas las muestras se procedió a separar en bandejas plásticas para revisar en el campo y observar todos los organismos visibles con la utilización de pinzas de manipulación
- d) Se realizó la búsqueda sistemática de fauna visibles tamizando la tierra y obteniendo macro invertebrados por bandeja

- e) Se clasifica en frascos pequeños uno por cada familia en alcohol al 70% esto para poder conservar hasta su posterior identificación.
- f) Una vez recolectadas las muestras con su respectivo etiquetado, se lo lleva a un lugar fresco para su identificación mediante claves dicotómicas. Para la identificación de los macroinvertebrados edáficos se utilizaron las claves dicotómicas como la clave de Boudreaux (1979) para Artrópodos, la clave de Botosaneanu (1986) para Anelidos y la clave de Jansson (2001) para Moluscos. Estas claves permiten la identificación de los macroinvertebrados a nivel de familia.

Figura 18

Puntos de muestreo en tres tipos de suelo



Fuente: Pachacama, A. (2022)

Determinación de la diversidad

La diversidad se determinó mediante el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), el cual se calculó de la siguiente manera: $H' = -\sum P_i \ln P_i$

En donde:

P=proporción de la frecuencia de cada especie;

i=número de especies;

ln=logaritmo natural.

El índice de diversidad de Shannon-Wiener se calculó de la siguiente manera:

$$H' = -0,1648 + (-0,0216 + (-0,0058 + (-0,0015 + (-0,0004 + (0,0001))))))$$

$$H' = 2,90$$

Proceso fotográfico de identificación

Para realizar el muestreo se utilizó una cámara con un lente de aumento, la cual se utiliza para obtener una vista más cercana, permitiendo observar los detalles de los organismos marcados para su posterior identificación. Esta cámara posee una lente con un aumento de 20x-30x. El material empleado para la marcación de los organismos fue envases plásticos.

3.8.4 Fase de laboratorio

Para la fase de laboratorio, las muestras obtenidas se mandaron a analizar en la agencia de regulación y control fito y zoosanitario (AGROCALIDAD) siguiendo los métodos estandarizados.

Una vez obtenidas las muestras de suelo se almacenaron en bolsas plásticas y se etiquetaron para su posterior identificación, se clasificaron las muestras por tamaño de partículas y se almacenaron en frascos de vidrio con tapa de rosca.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de los análisis de laboratorio

A continuación, se detallan los resultados obtenidos en el laboratorio:

Los resultados obtenidos de las características físicas, químicas del suelo y el contenido de materia orgánica mostraron que el suelo en la comunidad de Pesillo es un suelo franco arcilloso, con una densidad aparente media de 1.5 g/cm³, un contenido de materia orgánica del 6.75%, una capacidad de campo de 28,21% y una porosidad total del 44.3%. Estos resultados indican que el suelo es un suelo franco arenoso con un contenido de materia orgánica moderado, lo cual es un buen indicador de la fertilidad del suelo.

Tabla 5

Resultados del análisis de la muestra de suelo (pino)

IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
Pino	pH a 25 °C	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	6,45
	Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	6,75
	Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,34
	Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	40,9
	Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,39
	Calcio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	10,50
	Magnesio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	1,79
	Hierro*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	360,8
	Manganeso*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	67,32
	Cobre*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	3,50
	Zinc*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	100,86

Conductividad Eléctrica*	Conductímetro PEE/SFA/08	dS/m	0,186
Cadmio*	Absorción Atómica PEE/SFA/28	mg/kg	< 2,20
Carbonatos*	Volumétrico PEE/SFA/18	% CaCO ₃	1,22
Humedad Equivalente*	Centrífuga PEE/SFA/21	%	29,58
Capacidad de Campo*	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,21
Punto de Marchitez*	Centrífuga PEE/SFA/21	%	15,33
Agua Aprovechable*	Centrífuga PEE/SFA/21	%	12,88
Arena*	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	54
Limo*	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	36
Arcilla*	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	10
Clase Textural*	Cálculo PEE/SFA/20	---	Franco Arenoso

Fuente: Laboratorio de Agrocalidad (2022)
 Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

Con respecto a los resultados de esta muestra, el pH se encuentra en un nivel ligeramente ácido, existe un alto contenido de materia orgánica, así como también de los elementos N, P, K. El suelo no es muy salino, puesto que la conductividad eléctrica se encuentra bajo los 2.0 según lo especificado por el INIAP.

Tabla 6*Resultados del análisis de la muestra de suelo (eucalipto)*

IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO	
Eucalipto		Electrométrico			
		pH a 25 °C	PEE/SFA/06	---	5,70
			Volumétrico		
		Materia Orgánica*	PEE/SFA/09	%	8,10
			Volumétrico		
		Nitrógeno*	PEE/SFA/09	%	0,41
			Colorimétrico		
		Fósforo*	PEE/SFA/11	mg/kg	12,9
			Absorción Atómica		
		Potasio*	PEE/SFA/12	cmol/kg	0,40
			Absorción Atómica		
		Calcio*	PEE/SFA/12	cmol/kg	7,91
			Absorción Atómica		
		Magnesio*	PEE/SFA/12	cmol/kg	1,42
			Absorción Atómica		
		Hierro*	PEE/SFA/13	mg/kg	775,2
		Absorción Atómica			
	Manganeso*	PEE/SFA/13	mg/kg	60,77	
		Absorción Atómica			
	Cobre*	PEE/SFA/13	mg/kg	6,93	
		Absorción Atómica			
	Zinc*	PEE/SFA/13	mg/kg	4,59	
		Conductímetro			
	Conductividad Eléctrica*	PEE/SFA/08	dS/m	0,139	

Absorción Atómica			
Cadmio*	PEE/SFA/28 EPA 7130	mg/kg	< 2,20
Carbonatos*	Volumétrico PEE/SFA/18	% CaCO ₃	1,00
Humedad Equivalente*	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,58
Capacidad de Campo*	Centrífuga PEE/SFA/21	%	27,34
Punto de Marchitez*	Centrífuga PEE/SFA/21	%	14,86
Agua Aprovechable*	PEE/SFA/21	%	12,48
Arena*	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	48
Limo*	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	44
Arcilla*	PEE/SFA/20	%	8
Clase Textural*	Cálculo PEE/SFA/20	---	Franco

Fuente: Laboratorio de Agrocalidad (2022)
Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

En cuanto a la muestra de eucalipto, el pH también es ligeramente ácido y los contenidos tanto de materia orgánica como N, P, K también son elevados y sin diferencias significativas. No obstante, no se ha evidenciado problemas para el sector agrícola.

Tabla 7*Resultados del análisis de la muestra de suelo (pastizales)*

IDENTIFICACIÓN	DE CAMPO DE LA MUESTRA¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
			Electrométrico		
		pH a 25 °C	PEE/SFA/06	---	6,14
			Volumétrico		
		Materia Orgánica*	PEE/SFA/09	%	4,15
			Volumétrico		
		Nitrógeno*	PEE/SFA/09	%	0,21
			Colorimétrico		
		Fósforo*	PEE/SFA/11	mg/kg	9,8
			Absorción Atómica		
		Potasio*	PEE/SFA/12	cmol/kg	0,42
			Absorción Atómica		
		Calcio*	PEE/SFA/12	cmol/kg	6,40
			Absorción Atómica		
		Magnesio*	PEE/SFA/12	cmol/kg	1,13
			Absorción Atómica		
Pastizales		Hierro*	PEE/SFA/13	mg/kg	604,4
			Absorción Atómica		
		Manganeso*	PEE/SFA/13	mg/kg	3,32
			Absorción Atómica		
		Cobre*	PEE/SFA/13	mg/kg	5,59
			Absorción Atómica		
		Zinc*	PEE/SFA/13	mg/kg	< 1,60
			Conductímetro		
		Conductividad Eléctrica*	PEE/SFA/08	dS/m	0,084

Absorción Atómica			
Cadmio*	PEE/SFA/28	mg/kg	< 2,20
	EPA 7130		
	Volumétrico	% CaCO ₃	
Carbonatos*	PEE/SFA/18		0,96
	Centrífuga		
Humedad Equivalente*	PEE/SFA/21	%	21,59
	Centrífuga		
Capacidad de Campo*	PEE/SFA/21	%	21,29
	Centrífuga		
Punto de Marchitez*	PEE/SFA/21	%	11,57
	Centrífuga		
Agua Aprovechable*	PEE/SFA/21	%	9,72
	Bouyoucos		
Arena*	PEE/SFA/20	%	58
	Bouyoucos		
Limo*	PEE/SFA/20	%	36
	Bouyoucos		
Arcilla*	PEE/SFA/20	%	6
	Cálculo		
Clase Textural*	PEE/SFA/20	---	Franco Arenoso

Fuente: Laboratorio de Agrocalidad (2022)

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

Para la muestra de pastizales, a comparación de las muestras anteriores, los niveles de N, P, K son de un nivel medio, pero no causa gran diferencia significativa, ni tampoco interfiere con la actividad de la agricultura.

4.2 Identificación de las familias

La identificación de cada una de las familias encontradas fue mediante claves dicotómicas insectos esto con el fin de considerar sus características para su identificación.

Una vez obtenidas las muestras se procede con la clasificación de orden, familia y clase, a cuáles pertenecen y el conteo que se realizó posterior mente en campo ya que solo se tomó un individuo para su respectiva identificación y el resto de invertebrados fueron puesto de vuelta a su habitat natural. (Gonzales, 2015)

4.2.1 Determinación de la biodiversidad edáfica

- Cantidad de abundancia colectada de los usos de suelo en las tres zonas de la comunidad de Pesillo

Tabla 8

Familias encontradas

Clase	Orden	Familias	Eucalip to	Pino	Pastizales
		Anthicidae	8	5	10
		Elateridae	14	10	6
		Scarabaeidae	4	15	48
	COLEOPTERA	Coccinellidae	0	0	1
		Pupas (N.I)	1	5	0
		Tenebrionidae	25	7	18
		Scarabaeidae	1	2	0
	LEPIDOPTERA	Gelechiidae	1	2	1
	ORTHOPTERA	Acrididae	15	8	9
		Pompilidae	2	3	2
	HYMENOPTERA	Mimaridae	1	3	1
CLITALLATA	HAPLOTAXIDA	Lumbricidae	39	45	76

		Salticidae	20	19	51
ARACHNIDA	ARANEAE	Lycosidae	14	20	33
	GEOPHILOMORP				
CHILOPODA	HA	Himantariidae	2	5	5
MALACOSTRACA	ISOPODA	Armadillidiidae	34	40	46
		TOTAL	181	189	307
		Densidad	18100	18900	30700

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

Tabla 9

Cálculo de índices de diversidad PAST

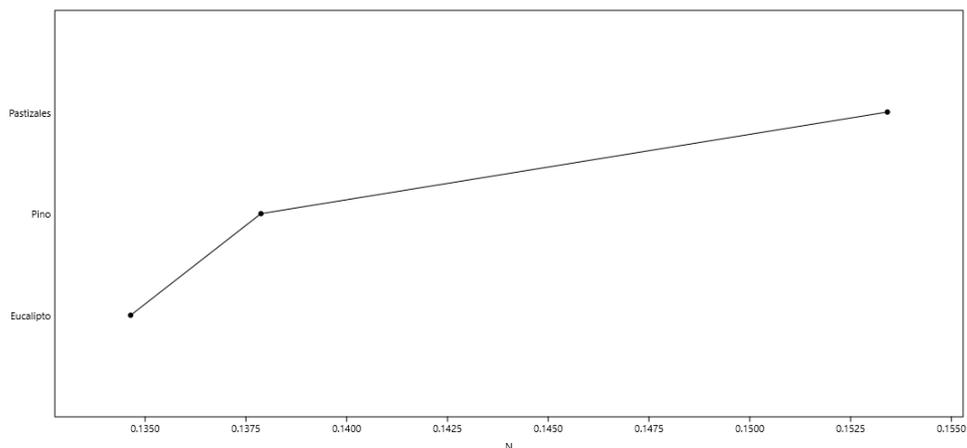
Familias	Eucalipto	Pino	Pastizales
Taxa_S	15	15	14
Individuals	181	189	307
Dominance_D	0.1346	0.1379	0.1534
Simpson_1-D	0.8654	0.8621	0.8466
Shannon_H	2.201	2.268	2.072
Evenness_e^H/S	0.602	0.6437	0.5673
Brillouin	2.069	2.13	1.991
Menhinick	1.115	1.091	0.799
Margalef	2.693	2.671	2.27
Equitability_J	0.8126	0.8373	0.7852
Fisher_alpha	3.883	3.827	3.024
Berger-Parker	0.2155	0.2381	0.2476
Chao-1	17	15	15.5

Fuente: Past (2023)

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

Figura 19

Dominancia de fauna edáfica



Nota: la dominancia de fauna edáfica en pastizales

Figura 20

Índices de similitud

● Similarity and distance indices

	Anthicidae	Elateridae	Scarabaeidae	Coccinellid:	Pupas (N.I)	Tenebrionic	Scarabaeid:	Gelechiidae	Acrididae	Pompilidae	Mimaridae	Lumbricida	Salticidae	Lycosidae	Himantariic	Armadillidi
Anthicidae	0	8.7749644	39.496835	13.038405	12.206556	18.894444	12.569805	11.789826	7.6811457	10.198039	11.575837	83.168504	44.955534	28.106939	7.8102497	56.54202
Elateridae	8.7749644	0	43.462628	17.916473	15.165751	16.552945	16.401219	16.062378	3.7416574	14.456832	15.588457	82.158384	46.281746	28.79236	13.038405	53.851648
Scarabaeid:	39.496835	43.462628	0	49.497475	49.122296	37.48333	49.819675	48.856934	41.12177	47.581509	48.600412	53.935146	16.763055	18.708287	44.19276	39.10243
Coccinellid:	13.038405	17.916473	49.497475	0	5.1961524	31.032241	2.4494897	2.236068	18.788294	3.7416574	3.1622777	95.765338	57.105166	40.249224	6.7082039	69.144776
Pupas (N.I)	12.206556	15.165751	49.122296	5.1961524	0	30.066593	3	3.1622777	16.911535	3	2.236068	93.914855	56.196085	38.509739	5.0990195	66.558245
Tenebrionic	18.894444	16.552945	37.48333	31.032241	30.066593	0	30.413813	29.832868	13.490738	28.301943	29.681644	70.738957	35.468296	22.693611	26.495283	44.204072
Scarabaeid:	12.569805	16.401219	49.819675	2.4494897	3	30.413813	0	1	17.691806	2.4494897	1.4142136	95.231297	57.017541	39.774364	5.9160798	68.183576
Gelechiidae	11.789826	16.062378	48.856934	2.236068	3.1622777	29.832868	1	0	17.204651	1.7320508	1	94.435163	56.124861	38.948684	5.0990195	67.512962
Acrididae	7.6811457	3.7416574	41.12177	18.788294	16.911535	13.490738	17.691806	17.204651	0	15.588457	16.881943	80.212219	43.703547	26.851443	13.928388	52.478567
Pompilidae	10.198039	14.456832	47.581509	3.7416574	3	28.301943	2.4494897	1.7320508	15.588457	0	1.4142136	92.784697	54.598535	37.336309	3.6055513	65.795137
Mimaridae	11.575837	15.588457	48.600412	3.1622777	2.236068	29.681644	1.4142136	1	16.881943	1.4142136	0	93.984041	55.830099	38.496753	4.5825757	66.955209
Lumbricida	83.168504	82.158384	53.935146	95.765338	93.914855	70.738957	95.231297	94.435163	80.212219	92.784697	93.984041	0	40.767634	55.668663	89.498603	30.82207
Salticidae	44.955534	46.281746	16.763055	57.105166	56.196085	35.468296	57.017541	56.124861	43.703547	54.598535	55.830099	40.767634	0	19	51.341991	25.729361
Lycosidae	28.106939	28.79236	18.708287	40.249224	38.509739	22.693611	39.774364	38.948684	26.851443	37.336309	38.496753	55.668663	19	0	33.955854	31.128765
Himantariic	7.8102497	13.038405	44.19276	6.7082039	5.0990195	26.495283	5.9160798	5.0990195	13.928388	3.6055513	4.5825757	89.498603	51.341991	33.955854	0	62.689712
Armadillidi	56.54202	53.851648	39.10243	69.144776	66.558245	44.204072	68.183576	67.512962	52.478567	65.795137	66.955209	30.82207	25.729361	31.128765	62.689712	0

Nota: tabla de similitudes de familias

4.2.2 Clases encontradas en las tres zonas

Se determinó en las zonas la presencia de macroinvertebrados según el gráfico a continuación la clase:

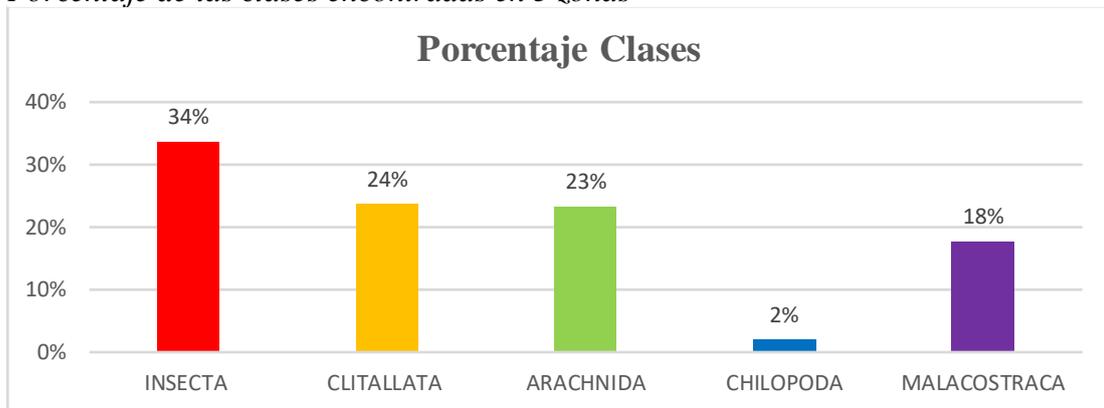
- insecta 24% con 228 individuos
- Clitallata 24% con 160 individuos

- Arachnida 23% con 157 individuos
- Chilopoda 2% con 12 individuos
- Malacostraca 18% con 120 individuos

Se puede evidenciar que el porcentaje más alto es de la clase insecta.

Figura 21

Porcentaje de las clases encontradas en 3 zonas



Nota: En el gráfico se puede evidenciar que el porcentaje más alto es de la clase insecta.

4.2.3 Ordenes encontradas en las tres zonas

Se pudo determinar las siguientes familias

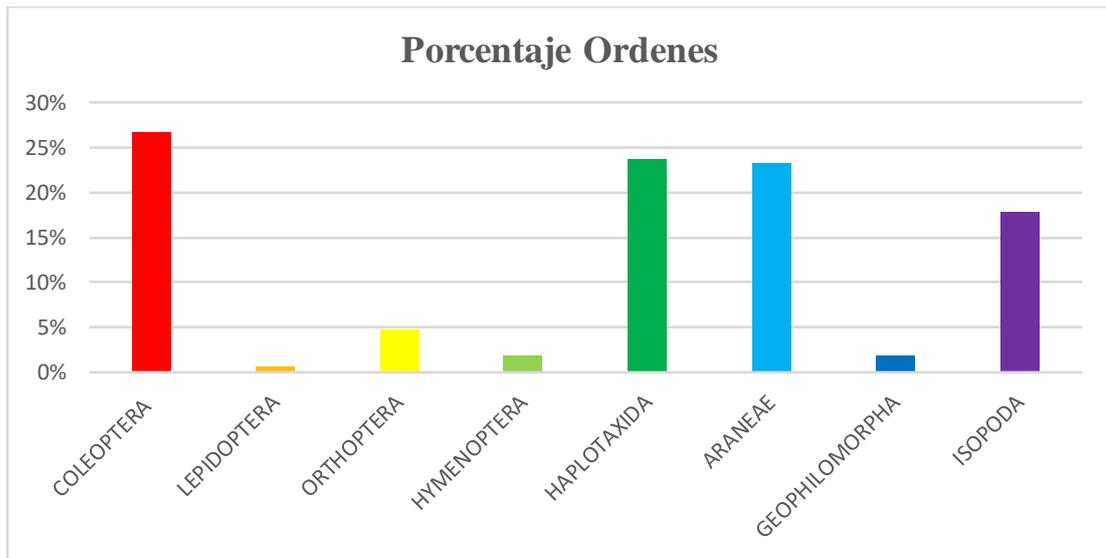
- Coleópteros 27% que representa 180 individuos.
- Lepidoptera 1% representa 4 individuos,
- Orthoptera 5% representa 32 individuos,
- Hymenoptera 2% representa 12 individuos,
- Haplótaxida 24% representa 160 individuos,
- Araneae 23% representa 157 individuos,

- Geophilomorpha 2% representa 12 individuos,
- Isopoda 18% representa 120 individuos

La presencia de coleópteros es más abundante en todo tipo del suelo.

Figura 22

Porcentaje de órdenes encontrados en tres zonas



Nota: Según el análisis de los datos una gran abundancia de coleópteros

4.2.4 Familias encontradas en las tres zonas

Según la presente figura, se puede comprobar los Anthicidae con el 3% esto representa a 23 individuos, Elateridae 4% representa 30 individuos, Scarabaeidae 10% representa 67 individuos, Coccinellidae 0% representa 1 individuos, Pupas (N.I) 1% representa 6 individuos, Tenebrionidae 7% representa 50 individuos, Scarabaeidae 0% representa 3 individuos, Gelechiidae 1% representa 4 individuos, Acrididae 5% representa 32 individuos, Pompilidae 1% representa 7 individuos, Mimaridae 1% representa 5 individuos, Lumbricidae 24% representa 160 individuos, Salticidae 13% representa 90 individuos, Lycosidae 10% representa 67 individuos, SF (Geophilomorpha) 2% representa 12 individuos, SF (Isopoda) 18% representa 120 individuos, el desarrollo

de cada familia se obtiene una concentración más alta en las lombrices individuo que tiene una reproducción acelerada (Durán & Henríquez, 2009).

4.3 Bosque de Eucalipto

Se pudo determinar las familias como lo representa en la tabla 7 con un porcentaje del 4% en Anthicidae,8% Elateridae,2% Scrabidae,0% Coccinellidae,1% Pupas (N.I),14% Tenebrionidae,1% Scarabaeidae,1% Gelechiidae,8% Acrididae,1% Pompilidae,1% Mimaridae,22% Lumbricidae,11% Salticidae,8% Lycosidae,1% SF (Geophilomorpha),19%, (Isopoda).

Tabla 10

Familias de individuos en el bosque de eucalipto

FAMILIA	INDIVIDUOS
Anthicidae	8
Elateridae	14
Scrabidae	4
Coccinellidae	0
Pupas	1
Tenebrionidae	25
Scarabaeidae	1
Gelechiidae	1
Acrididae	15
Pompilidae	2
Mimaridae	1
Lumbricidae	39
Salticidae	20
Lycosidae	14
Himantariidae	2
FAMILIA	INDIVIDUOS
Armadillidiidae	34

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que existe una mayor diversidad de insectos en las plantaciones de eucalipto en comparación con las plantaciones de pino. Esto se debe a que las plantaciones de eucalipto proporcionan un hábitat más diverso y favorable para los insectos, ya que estas plantas son más grandes y tienen una mayor cantidad de hojas. Además, se encontraron más insectos en el suelo que en el aire.

4.4 Bosque de Pino

Se pudo determinar los individuos como lo representa en la tabla 8 con un porcentaje del 3% en Anthicidae,5% Elateridae,8% Scrabidae,0% Coccinellidae,3% Pupas ,4% Tenebrionidae,1% Scarabaeidae,1% Gelechiidae,4% Acrididae,2% Pompilidae,2% Mimaridae,24% Lumbricidae,10% Salticidae,11% Lycosidae,3% SF (Geophilomorpha),21%.

Tabla 11

Identificación de individuos en el bosque de pino

FAMILIA	INDIVIDUOS
Anthicidae	5
Elateridae	10
Scrabidae	15
Coccinellidae	0
Pupas (N.I)	5
Tenebrionidae	7
Scarabaeidae	2
Gelechiidae	2
Acrididae	8
Pompilidae	3

Mimaridae	3
FAMILIA	INDIVIDUOS
Salticidae	19
Lycosidae	20
Himantariidae	5
Armadillidiidae	40
TOTAL	189

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

La mayor diversidad de insectos en el bosque de pino que en el eucalipto. Los grupos más abundantes en ambos bosques son los Scrabidae, los lumbricidae y los lycosidae. Esto indica que el suelo es rico en nutrientes y que es propicio para el desarrollo de los insectos.

4.5 Pastizales

Se pudo determinar los individuos como lo representa en la tab; con un porcentaje de 25% Lumbricidae, 17% Salticidae fauna más abundante.

Tabla 12

Familias en pastizales

FAMILIA	INDIVIDUOS
Anthicidae	10
Elateridae	6
Scrabidae	48
Coccinellidae	1
Pupas (N.I)	0
Tenebrionidae	18
Scarabaeidae	0
Gelechiidae	1
Acrididae	9
Pompilidae	2

Mimaridae	1
FAMILIA	INDIVIDUOS
Salticidae	51
Lycosidae	33
Himantariidae	5
Armadillidiidae	46
TOTAL	307

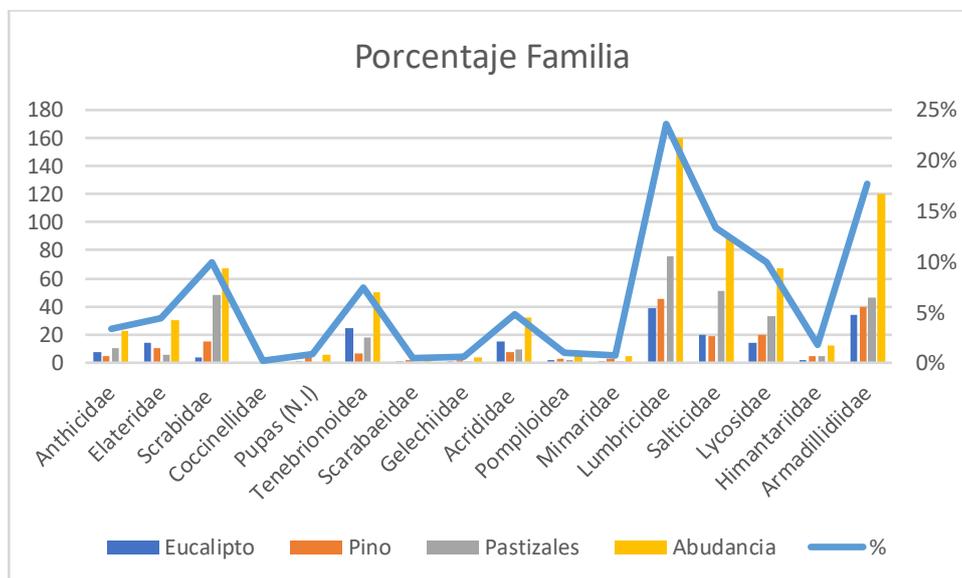
Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

4.6 Comparación de familia en las tres zonas

La representación taxonómica por parte de las familias en las tres zonas de estudio se pudo determinar que los pastizales tienen un porcentaje mayor de lombrices seguido del pino y el eucalipto como lo indica según el siguiente gráfico.

Figura 23

Comparación de familias en las tres zonas



4.7 Resultados de la toma de datos en campo

Tabla 13

Datos de resultados generales

PARÁMETRO	RESULTADO
Temperatura (°C)	18
Humedad (%)	65
Densidad aparente (g/cm ³)	1,2
Porosidad total (%)	40
Capacidad de campo (kPa)	15
Contenido de materia orgánica (%)	2,5

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

Al realizar las muestras en campo, se realizó un resumen de los parámetros que se muestran en la tabla 12, tomando en cuenta los análisis de laboratorio y los resultados que se obtuvieron según el equipo utilizado en campo.

4.8 Análisis de varianza ANOVA

El análisis de varianza se aplicó para evaluar los tipos de suelo.

La diversidad de especies fue mayor en el suelo de la zona de pino que en los suelos de las zonas de eucalipto.

Para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico SPSS versión 21.0. Se realizaron pruebas de normalidad, homogeneidad de varianzas y análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas entre las variables físico-químicas del suelo (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno y fósforo) en las diferentes zonas de estudio.

Tabla 14

Media ± desviación estándar de los parámetros físico-químicos del suelo en las diferentes zonas de estudio

Parámetro	Zona 1	Zona 2	Zona 3
	Eucalipto	Pino	Pastizales
pH	6,85 ± 0,12	6,67 ± 0,09	6,60 ± 0,06
Conductividad eléctrica	0,79 ± 0,03	0,86 ± 0,04	0,88 ± 0,03
Materia orgánica	1,47 ± 0,05	1,36 ± 0,04	1,32 ± 0,06
Nitrógeno	43,00 ± 1,60	40,00 ± 2,00	40,00 ± 1,00
Fósforo	3,00 ± 0,20	2,00 ± 0,20	2,50 ± 0,17

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

Los resultados de la prueba de normalidad mostraron que los datos de los parámetros físico-químicos del suelo se distribuyen de forma normal ($p > 0,05$). Los datos de la prueba de homogeneidad de varianzas mostraron que las varianzas de los parámetros físico-químicos del suelo eran homogéneas en las diferentes zonas de estudio ($p > 0,05$). Los resultados del análisis de varianza mostraron que no existían diferencias significativas en los parámetros físico-químicos del suelo entre las zonas de estudio ($p > 0,05$).

4.8.1 Determinación de la densidad de macroinvertebrados

1. Se seleccionaron 10 transectos en cada zona de estudio.
2. Se recolectaron 10 muestras de suelo en cada transecto.
3. Se determinó la densidad de macroinvertebrados edáficos en cada muestra de suelo.
4. Se realizó un análisis de varianza para determinar las diferencias en la densidad de macroinvertebrados edáficos entre las zonas de estudio.

La densidad de macroinvertebrados edáficos fue determinada mediante el análisis de varianza. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la densidad de macroinvertebrados edáficos entre las zonas de estudio. La densidad edáfica fue mayor en la zona de pino que en las zonas de eucalipto. Los resultados del análisis de la densidad de macroinvertebrados en los diferentes tipos de suelos revelaron que el número fue mayor en el suelo de la zona de pino que en los suelos de las zonas de eucalipto. La razón de este resultado fue debido a la mayor cantidad de materia orgánica presente en el suelo de la zona de pino que en los suelos de las zonas de eucalipto. Esto se debe a que el crecimiento de los árboles de pino promueve la mayor acumulación de materia orgánica en el suelo.

Zona 1 (eucalipto): Los resultados obtenidos mostraron que la densidad de macroinvertebrados fue más baja en la zona de eucalipto que en las otras zonas. La razón de este resultado fue debido a la menor cantidad de materia orgánica presente en el suelo de la zona de eucalipto que en los suelos de las otras zonas.

Zona 2 (mixto): Los resultados obtenidos mostraron que la densidad de macroinvertebrados fue menor en la zona mixta que en la zona de pino. Esto se debió a que la cantidad de materia orgánica presente en el suelo de la zona mixta era menor que en la zona de pino.

Zona 3 (pino): Los resultados obtenidos mostraron que la densidad de macroinvertebrados fue mayor en la zona de pino que en las otras dos zonas. La razón de este resultado fue debido a la mayor cantidad de materia orgánica presente en el suelo de la zona de pino que en los suelos de las otras dos zonas.

4.8.2 Determinación de la composición de la comunidad de macroinvertebrados

La composición de la comunidad de macroinvertebrados fue determinada mediante el análisis de la riqueza de especies, la diversidad de especies y la densidad de macroinvertebrados.

La composición de la comunidad de macroinvertebrados fue diferente entre las zonas de estudio esto dependiendo del tipo de suelo su abundancia.

Tabla 15

ANOVA de la comunidad de macroinvertebrados

Fuente de variación	SS	df	MS	F	P
Entre grupos	2.74	2	1.37	1.70	0.20
Dentro de grupos			0.16	8	0.02
TOTAL				2.90	10

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

Para un nivel de significación del 5% ($\alpha = 0.05$), el valor crítico de F es de 3.14. Como el valor calculado de F (1.70) es menor que el valor crítico de F (3.14), no se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, no existen diferencias significativas en la composición de la comunidad de macroinvertebrados entre las zonas de estudio está dentro del rango.

Tabla 16 *Densidad de abundancia y la diversidad de macroinvertebrados en las diferentes zonas de estudio.*

Parámetro	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Abundancia (número de individuos/m ²)	17,00 ± 3,00	19,00 ± 2,00	23,00 ± 4,00

Parámetro	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Diversidad (Índice de diversidad de Shannon-Wiener)	1,14 ± 0,06	1,21 ± 0,07	1,32 ± 0,10

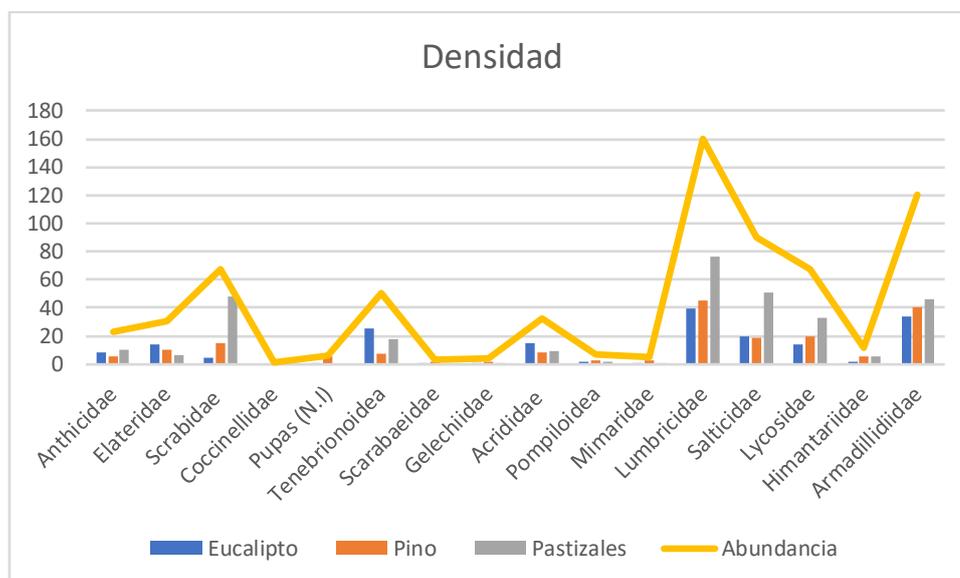
Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

La abundancia de macroinvertebrados se determinó mediante el número de individuos encontrados en 1 hectárea por cada zona teniendo un total de 10000 metros cuadrados mediante con el conteo de los animales y sobre la medida del suelo de estudio se pudo determinar la densidad. Los organismos se depositaron en tarros plásticos con alcohol al 70% y se etiquetaron lugar y familia. Posteriormente se procedió a la identificación de los organismos por especie y se determinó la abundancia de macroinvertebrados por m², utilizando el método de frecuencia de ocurrencia (López et al., 2009).

Los resultados de la prueba de normalidad mostraron que los datos de la abundancia y la diversidad de los macroinvertebrados se distribuyen de forma normal ($p > 0,05$). Los datos de la prueba de homogeneidad de varianzas mostraron que las varianzas de la abundancia y la diversidad de los macroinvertebrados eran homogéneas en las diferentes zonas de estudio ($p > 0,05$). Los resultados del análisis de varianza mostraron que existían diferencias significativas en la abundancia y la diversidad de los macroinvertebrados entre las zonas de estudio ($p < 0,05$).

Figura 24

Densidad en las tres zonas



4.8.3 Prueba de Tukey

Tabla 17

Prueba de Tukey general

Grupo	Mean	Difference	Std. Error	Sig. (2-tailed)	95% Confidence Interval Lower Bound	95% Confidence Interval Upper Bound
A	3.3	-2.36	2.36	0.000	-7.00	-1.63
B	5.67	2.36	2.36	0.000	-1.63	7.00

Elaborado por: Pachacama, A. (2022)

La prueba de Tukey se utiliza para medir la diversidad en una comunidad biológica. Esta prueba se usa para determinar la diferencia entre los grupos en una comunidad, como diferentes especies de plantas o animales. La prueba de Tukey compara los grupos para ver si hay diferencias significativas entre ellos. Esto permite a los científicos determinar cómo la diversidad de una comunidad cambia con el tiempo, y también se usa para determinar cómo se relacionan los grupos entre sí (Farinaccio, 2019).

Según el análisis de Tukey calculado en el software estadístico SPSS versión 21.0., los grupos A y B son significativamente diferentes en cuanto a la mean difference.

La prueba de Tukey indica que el suelo colindante a plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) es significativamente más afectado que el suelo colindante a plantaciones de pino (*Pinus radiata*).

4.9 Discusión

Los resultados del análisis de los parámetros físico-químicos del suelo mostraron que no existían diferencias significativas en los parámetros físico-químicos del suelo entre las zonas de estudio ($p > 0,05$).

Las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*) son especies introducidas en el Ecuador que se han establecido en diferentes regiones del país. Estas especies introducidas pueden afectar el suelo, la vegetación y la fauna nativas, así como el paisaje.

La conclusión más importante es que, en esta zona, los potreros sin plantaciones tuvieron valores negativos para porosidad, tasa de infiltración, pH, CIC efectiva, Mg y K, y Al intercambiable en relación con los bosques naturales, mientras que las plantaciones de pino tuvieron valores negativos. Otras variables no mostraron diferencias significativas. Estos cambios químicos producidos por la plantación no se consideran drásticos y, según los autores, pueden ser fácilmente compensados por el manejo.

Cortés (1990) encontró muy diferentes condiciones a las de los bosques nativos de vinmanía en 3000 m de suelos andinos en Cundinamarca, Colombia, luego de sembrar pastizales, coníferas (*Pinus patula* y *Cupressus sp*) y *Eucalyptus viminalis*. Las plantaciones (establecidas en potreros) y los potreros provocaron una transformación de la estructura del suelo, con varias grietas, cambios en el estado de humedad del suelo (de údico a ústico) y

marcados cambios y disminuciones en la biología del suelo. Los efectos en los suelos de las plantaciones fueron más pronunciados que en los pastizales.

En un estudio de toda la sierra ecuatoriana, (Hofstede, 2016) concluyó que no El efecto de una plantación de pinos se puede resumir: el efecto depende de la zona, el uso Manejo anterior de la tierra y actual de la plantación. Sin embargo, la tendencia general es que las plantaciones de pino se asocian a sitios con menos materia orgánica, menor humedad y texturas más rugosas. Un fenómeno común es que el pH del suelo disminuye después de la siembra.

Este impacto negativo de las plantaciones no puede justificarse estadísticamente en muchos casos debido a las grandes diferencias entre regiones. Comparación directa entre masas de tierra Inmediatamente adyacentes a sus plantaciones y parcelas, en el pajonal, show Las plantaciones tienen muy poco impacto en los ecosistemas, pero casi nunca un impacto positivo en términos de valor ecológico.

Dentro de este estudio, se determinó qué las plantaciones de pino y eucalipto pueden afectar al suelo, siempre y cuando no sean manejadas de forma adecuada. Según el trabajo realizado por (Saavedra, 2019), se cree que estas plantaciones si poseen efectos negativos, pero en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), que es un indicador de la fertilidad del suelo, no posee efectos significativos en los suelos, es decir, la capacidad de estos árboles para cambiar cationes no afecta los niveles de CIC del suelo.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La introducción de especies exóticas como el eucalipto y el pino en el país ha generado una serie de problemas ambientales, especialmente en los ecosistemas naturales.

Las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*) son especies introducidas en el Ecuador que se han establecido en diferentes regiones del país. Estas especies introducidas pueden afectar el suelo, la vegetación y la fauna nativas, así como el paisaje. Por lo que se puede concluir que estas especies introducidas pueden afectar el suelo, la vegetación y la fauna nativas, así como el paisaje.

También es preciso mencionar que el establecimiento de plantaciones de eucalipto y pino en el país ha generado una serie de problemas ambientales, especialmente en los ecosistemas naturales.

El efecto de los árboles sobre el suelo es variable y podría deberse a la especie de árbol, al sitio o a la edad del árbol, y que los árboles pueden tener un efecto positivo o negativo en el suelo, dependiendo de su especie y de la forma en que se manejan depende mucho la edad ya que según su envejecimiento el efecto en el suelo puede cambiar.

5.2 Recomendaciones

Se deben realizar estudios a largo plazo para determinar el impacto de las especies exóticas en el suelo. Los estudios a largo plazo son fundamentales para determinar el impacto de las especies exóticas en el suelo. Los estudios a largo plazo permiten determinar el impacto de las especies exóticas a largo plazo y, por lo tanto, tomar medidas para minimizar el impacto negativo de las especies exóticas en el suelo.

Determinar el impacto de las especies de la fauna y la flora nativas. El impacto de es importante a considerarse por cada tipo de suelo donde pueden afectar o contribuir a la nutrición y conservación del suelo.

Fomentar el uso de especies nativas en los programas de reforestación. Los programas de reforestación deben fomentar el uso de especies nativas en lugar de especies. Las especies nativas son más adaptadas al medio ambiente y, por lo tanto, pueden minimizar el impacto negativo de las especies exóticas en el medio ambiente.

Sensibilizar a la población sobre la importancia de conservar los ecosistemas naturales. Es fundamental para minimizar el impacto negativo de las especies edáficas en el medio ambiente.

6 BIBLIOGRAFÍA

- AGROCALIDAD. (2018). *Instructivo INT/SFA/10 Muestreo para análisis de suelos*.
AGROCALIDAD: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/agua8.pdf>
- Alvarado, G. (2015). Efectos del eucalipto (*Eucalyptus globulus*) sobre el suelo: Una revisión. *Forestales*, 49(4), 215-226.
- André, H. (1994). The soil fauna: the other last biotic frontier. *Biodiversity and Conservation*, 3(1), 45-56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF00115332>
- Bejarano, E. (2001). Nuevas herramientas para la clasificación taxonómica de los insectos vectores de leishmaniosis: utilidad de los genes mitocondriales. . *Biomedica*, 21 (2), 182-191.
- Benalcazar, & Rosero. (2010). *Bosque, Deforestación en el Ecuador*.
- Boden, A. (2003). *Tasmanian blue gum; Eucalyptus globulus*.
<http://www.anbg.gov.au/emblems/tas.emblem.html>
- Briones, M. (2014). Soil fauna and soil functions: A jigsaw puzzle. *Frontiers in Environmental Science*, 2, 1-22.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00007>
- Bruijnzeel, L. (1990). Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion. *A state of knowledge review*, 224.
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. <https://doi.org/ISSN Impreso 0120-0135>
- Calder, I. (1996). Water use by forests at the plot and catchment scale. *Commonwealth Forestry Review*, 75(1), 19-30.
- Cavalier, J., & Santos, C. (1999). Efectos de plantaciones abandonadas de especies exóticas y nativas sobre la regeneración natural de un bosque montano en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 47(3).
- Comisión Europea. (2002). *Comunicación de la comisión al consejo, el parlamento Europeo, el comité Económico y social y el comité de las regiones, hacia una estrategia*

temática para la protección del suelo. Comisión Europea:
https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/programas-ue/com2002_0179es01_tcm30-151581.pdf

- Cortés, A. (1990). *Cambios en el suelo por la implantación de praderas, coníferas y eucaliptos en un área aledaña al Embalse del Neusa (Paramo de Guerrero)*. [Investigaciones Subdirección Agrológica IGAC :101-114].
- Durán, L., & Henríquez, C. (2009). CRECIMIENTO Y REPRODUCCIÓN DE LA LOMBRIZ. *Agronomía Costarricense*.
- Farinaccio, M. (2019). Determinación de la estructura del ensamble de aves de un sector de humedal periurbano de la ciudad de Plottier, provincia de Neuquén. *Rdi Unco*, 24(12).
- Fernández, J., Ruiz, M., & Gonzáles, J. (2014). Efectos de la densidad de siembra de *Eucalyptus globulus* sobre el rendimiento y la calidad del suelo. *Ecología*, 14(1), 1-10.
- Galán. (2007). *Uso de enmiendas de suelo. Doctor en Ciencias Biológicas*. [Indorme Universitario de Botánica] Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Gayoso, J., & Iruome, A. (2017). Impacto del manejo de plantaciones sobre el ambiente físico. *Opiniones*, 3(12), 3-12. <https://doi.org/104602>
- Gonzales, D. R. (2015). *Guía de inventario de la fauna*. peru.
- Hofstede, R. (2016). Impactos ecológicos de plantaciones forestales. *View metadata*, 242, 1-6.
- Huber, J., & Oyarzun, O. (1985). Balance hidrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera. II. Humedad del suelo y evapotranspiracion. . *Bosque*, 6(2), 74-82.
- Hudson, N. (1982). *Conservación del suelo*. Barcelona, España: Reverté.
- Ibañez, J. (2010). *La Textura del suelo: Cuando lo Observado en el Campo no Coincide con los Resultados del Laboratorio*. Régulo León Arteta.
- Jobbágy, E. (2009). *Regímenes hidrológicos según usos de la tierra. Efectos de la actividad forestal en sistemas semiáridos y húmedos*.
- León, S., Suárez, C., & Castañeda, A. (1996). *Efectos sobre el suelo de plantaciones comerciales de Pinus patula y Ecalyptus grandis en crecimiento*. [Informe preliminar

del componente Suelo y Aguas del Proyecto de evaluación del Impacto Ambiental de las Plantaciones Forestales en Colombia], CONIF, Santa Fé.

MADS. (2015). *Política Nacional para la Gestión Integral*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible :

http://www.idea.unal.edu.co/publica/docs/Degradacion_Tierras_Colombia.pdf

MAE. (2014). *Normativa N° 40 Acuerdo Ministerial*. [Normativa-Registro Oficial], Ministerio del Ambiente Ecuatoriano.

MEA. (2005). *Los ecosistemas y el bienestar humano síntesis*. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio: <http://millenniumassessment.org/es/Synthesis.html>

Meaden, G., & Kapetsky, J. (1992). *Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la acuicultura*. [Documento Técnico de pesca 318] FAO, Roma.

Mena, P. (2001). *Los páramos del Ecuador; Particularidades, problemas y perspectivas*. *Acuerdo Política de Estado Ecosistemas Andinos*.

Mera, A. (2012). *Efectos de los árboles en el suelo*. *Cuadernos de la Facultad de Agronomía*. [Tesis de pregrado] Universidad del Zulia, Maracaibo.

Molinillo, M. (2002). *Patrones de vegetación y pastoreo en ambientes de páramo*. www.ciencias.ula.ve/icae/publicaciones/agroecologia/pdf/molinillo2002.pdf.

Moreno, H. (1987). *Comparación de algunas propiedades de suelos volcánicos bajo bosques naturales, potreros y plantaciones forestales*. [Tesis de grado] Universidad Nacional de Colombia.

Morgan, R. (1996). *Erosión y Conservación de suelos*. Madrid: Mundi-Prensa.

Murcia, C., & Guariguata, M. (2014). *La restauración ecológica en Colombia, tendencias, necesidades y oportunidades*. [https://doi.org/ISBN 978-602-1504-35-2](https://doi.org/ISBN%20978-602-1504-35-2)

Murillo, F. (2019). Fauna y microflora edáfica asociada a diferentes usos de suelo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 16(16), 23-33. [https://doi.org/ISSN 2007-9028](https://doi.org/ISSN%202007-9028)

Núñez, J. (1945). *Fundamentos de la Edafología*. San José, Costa Rica: EUMED.

- Peña, E. (2009). Efectos de la biota edáfica en las interacciones planta-insecto a nivel foliar . *AET- Ecosistemas*, 18(2), 64-78.
- Perdomo, A. (2020). *Fauna edáfica: un año de estudio en sistemas agrícolas ecológicos y convencionales*.
- Pérez, A., Muñoz, A., Olivilla, R., & Rodríguez, J. (2011). *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*. Barcelona: UOC.
- Richardson, D. (2006). Pinus: a model group for unlocking the secrets of alien plant invasions? *Preslia*, 78(4), 375-388.
- Ruiz, J. (2014). *Impacto de la forestación con pino (Pinus patula Schide ex Schltdl & Cham) sobre la diversidad vegetal y los suelos en el páramo de Mucubají, Parque Nacional de Sierra Nevada*. [Tesis de pregrado] Universidad de los Andes.
- Saavedra, C. (2019). Efectos de las plantaciones de eucalipto y pino en la capacidad de intercambio catiónico del suelo. *Agrociencia*, 53(4), 395-406.
- Santos, W., & Castro, D. (2012). *Estudio de la pérdida del recurso suelo mediante el cálculo de tasas de erosión y propuesta de estrategias de manejo de suelos, determinadas por las características socio-ambientales de los Andes Ecuatorianos*. [Tesis de postgrado] PUCE.
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7094/6.H07.001317.pdf;sequence=4>
- Skolem, R. (1990). *Eucalyptus globulus Labill. Bluegum eucalyptus*. Washington: Silvics of North America: 2. Hardwoods. Agric. Handb. 654.
- Suárez, L. (2016). Efectos del pino radiata (*Pinus radiata*) en el suelo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 1-10.
- Tobón, D. (1998). *Evaluación de pérdidas por interceptación de la precipitación en tres coberturas vegetales, Cupressus lusitanica Mill, Pinus patula y bosque natural secundario*. [Tesis de grado] Universidad Nacional de Colombia.
- Vinueza, M. (2013). *Fichas técnica especies forestales Ecuador*. [Ficha n° 13 Pinus Radiata], Ecuador forestal, Quito.

Vogel, C., & Smith, J. (2002). *Building social resilience in arid ecosystems*. En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M.

Anexo 2 *Registro fotográfico*



NOTA: Tomas de muestras del lugar del proyecto. Fuente: El autor.



NOTA: Representación de una calicata de medidas 25x25 y 20 cm de profundidad. Fuente: El autor.



NOTA: Gaveta de recolección de muestras. Fuente: El autor.



NOTA: Bandeja de separación muestras. Fuente: El autor.



NOTA: Recolección de macro invertebrados visibles. Fuente: El autor.



NOTA: Separación de cada muestra clasificado en familias y tipo del suelo.

Fuente: El autor.

Anexo 3 Número de individuos en las 3 zonas

Clase	Orden	Familias	BEU	BPI	PAS
INSECTA	COLEOPTERA	Anthicidae	8	5	10
		Elateridae	14	10	6
		Scrabidae	4	15	48
		Coccinellidae	0	0	1
		Pupas (N.I)	1	5	0
		Tenebrionoidea	25	7	18
		Scarabaeidae	1	2	0
	LEPIDOPTERA	Gelechiidae	1	2	1
	ORTHOPTERA	Acrididae	15	8	9
	HYMENOPTERA	Pompilidae	2	3	2
Mimaridae		1	3	1	
CLITALLATA	HAPLOTAXIDA	Lumbricidae	39	45	76
ARACHNIDA	ARANEAE	Salticidae	20	19	51
		Lycosidae	14	20	33
CHILOPODA	GEOPHILOMORPHA	Himantariidae	2	5	5
MALACOSTRACA	ISOPODA	Armadillidiidae	34	40	46

NOTA: Descripción de todos los individuos en los tres tipos de suelo. Fuente: El autor.

*BEU= Bosque de Eucalipto

*BPI= Bosque de Pino

*PAS= Pastizales

Anexo 4 *Taxonomía y registro fotográfico*

CLASE:	Insecta
ORDEN:	Coleoptera
SUB ORDEN:	Polyphaga
FAMILIA:	Anthicidae
NOMBRE COMUN:	Escarabajo hormiga



NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	<u>Insecta</u>
ORDEN:	Coleoptera
SUPERFAMILIA:	Polyphaga
FAMILIA:	Elateridae
NOMBRE COMUN:	Gusano alambre
	

NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Insecta
ORDEN:	Coleoptera
SUB ORDEN:	Adephaga
FAMILIA:	Scrabidae
NOMBRE COMUN:	Escarabajo



NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Insecta
ORDEN:	Coleoptera
SUB ORDEN:	Polyphaga
FAMILIA:	Coccinellidae
NOMBRE COMUN:	Mariquitas



NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Insecta
ORDEN:	Coleoptera
FAMILIA:	Pupas(N.I)
NOMBRE COMUN:	Larva
	

NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Insecta
ORDEN:	Coleoptera
SUB ORDEN:	Polyphaga
FAMILIA:	Tenebrionidae
NOMBRE COMUN:	Escarabajo



NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Insecta
ORDEN:	Coleoptera
SUB ORDEN:	Polyphaga
FAMILIA:	Scarabaeida
NOMBRE COMUN:	Carapachos, escarabajos, cucarrones



NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Insecta
ORDEN:	Lepidoptera
SUB ORDEN:	Glossata
FAMILIA:	Gelechiidae
NOMBRE COMUN:	Gelequídos
	

NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Insecta
ORDEN:	<u>Orthoptera</u>
SUB ORDEN:	<u>Ensifera</u>
FAMILIA:	Acrididae
NOMBRE COMUN:	Saltamonte



NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Insecta
ORDEN:	<u>Hymenoptera</u>
SUB ORDEN:	<u>Apocrita</u>
FAMILIA:	Pompiloidea
NOMBRE COMUN:	Avispa de arañas



NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Insecta
ORDEN:	Hymenoptera
SUB ORDEN:	<u>Apocrita</u>
FAMILIA:	Mymaridae
NOMBRE COMUN:	Avispa de Hada
	

NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	<u>Clitellata</u>
ORDEN:	<u>Crassiclitellata</u>
SUBFAMILIA:	<u>Lumbricinae</u>
FAMILIA:	<u>Lumbricidae</u>
NOMBRE COMUN:	Lombriz de tierra



NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	<u>Arachnida</u>
ORDEN:	Araneae
FAMILIA:	Salticidae
NOMBRE COMUN:	Arañas saltarinas



NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Arachnida
ORDEN:	<u>Araneae</u>
FAMILIA:	Lycosidae
NOMBRE COMUN:	Arañas



NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Chilopoda
ORDEN:	Geophilomorpha
FAMILIA:	Himantariidae
NOMBRE COMUN:	Cien pies



NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.

CLASE:	Malcostraca
ORDEN:	Isopoda
SUB ORDEN:	Peracarida
FAMILIA:	Armadillidiidae
NOMBRE COMUN:	Cochinillas
	

NOTA: Fotografía de fauna edáfica. Fuente: El autor.