

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Efecto de plantaciones de *Corymbia torelliana* en la densidad poblacional de *Aptodrilus fuhrmanni* y *Reticulitermes hageni* en Moyobamba, San Martín

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES

Jorge Nilson Medina Pardo

Marly Pilco Abanto

ASESOR

Denis Izquierdo Hernández

Rioja, Perú

2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos de los Autores

Autor 1

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores

Asesor 1

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 006 - 2022/UCSS/FIA/DI

Siendo las 10:00 a.m. del día 21 de diciembre de 2022 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Mario Antonio Anaya Raymundo | presidente |
| 2. Alejandro Ruiz Janje | primer Miembro |
| 3. Claudia Fiorella Huamaní Cahuas | segundo Miembro |
| 4. Denis Izquierdo Hernández | asesor |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Evaluación del efecto de las plantaciones de *Corymbia torelliana* en la densidad poblacional de *Aptodrilus fuhrmanni* y *Reticulitermes hageni* en el distrito de Soritor**, que presentan los bachilleres en Ciencias Ambientales, **Jorge Nilson Medina Pardo y Marly Pilco Abanto**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

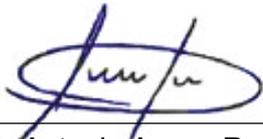
Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 21 de diciembre de 2022.



Mario Antonio Anaya Raymundo
PRESIDENTE



Alejandro Ruiz Janje
1° MIEMBRO



Claudia Fiorella Huamaní Cahuas
2° MIEMBRO



Denis Izquierdo Hernández
ASESOR

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Nueva Cajamarca, 14 de febrero de 2022

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ingeniería Agraria

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que la **tesis**, bajo mi asesoría, con título: **Efecto de plantaciones de *Corymbia torelliana* en la densidad poblacional de *Aptodrilus fuhrmanni* y *Reticulitermes hageni* en Moyobamba, San Martín**, presentado por **Jorge Nilson Medina Pardo**, con código de estudiante 2015102030 y DNI 73691784 y **Marly Pilco Abanto**, con código de estudiante 2015102050 y DNI 73527827 para optar el título profesional de Ingeniero ambiental ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Firma del Asesor (a)

DNI N°: 43089939

ORCID: 0000-0002-8346-6580

Facultad de Ingeniería Agraria - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

A mi madre María Martha Abanto Arias por la motivación, apoyo y amor incondicional.

A María Nelly Abanto Arias, quien en vida logró incentivar y sostenerme para superar cada obstáculo durante mi formación personal y académica.

A mis abuelos (Santos e Ismael), mis tíos (Rosa, Zoraida y Alberto) y demás familiares, por los consejos y la confianza que me han permitido ser una mejor persona y han hecho posible mi formación profesional.

Marly Pilco Abanto

A mis padres Jorge Medina Quispe y María Luz Pardo Fernández y hermanos, por su comprensión y apoyo incondicional para perseverar en momentos difíciles, incentivándome a luchar por mis metas, a pesar de las adversidades de la vida y todo esto con gran amor, siendo ellos mi fuente de motivación para seguir adelante.

A mis familiares por los consejos y el incentivo brindado para no desfallecer en el intento de llegar a ser profesional.

Jorge Nilson Medina Pardo

AGRADECIMIENTOS

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo por financiar y hacer realidad nuestra formación profesional.

Al Ing. Denis Izquierdo Hernández, por haber aceptado el reto de asesorarnos y compartir sus conocimientos durante el desarrollo de la investigación.

A los propietarios de las parcelas, los señores Wilbert Dúarez Contreras y Heyden Guzmán Padilla, por otorgarnos el permiso para realizar las evaluaciones requeridas por la investigación.

Al Laboratorio de Suelos del Proyecto Especial Alto Mayo - Nueva Cajamarca por realizar los análisis pertinentes a las muestras extraídas de las parcelas.

Al estadístico Paco Villalobos Villegas, por la colaboración en el procesamiento estadístico de los resultados.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE APÉNDICES	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Bases teóricas especializadas.....	12
1.2.1. El suelo	12
1.2.2. Horizontes del suelo	12
1.2.3. Clasificación de los suelos.....	13
1.2.4. Alteración de los suelos por introducción de especies exóticas	14
1.2.5. Los organismos del suelo	14
1.2.6. Composición de la macrofauna	16
1.2.7. Hábitat de la macrofauna	16
1.2.8. Función ecológica de la macrofauna	16
1.2.9. Lombrices	17
1.2.10. Termitas	19
1.2.11. Plantación forestal	21
1.2.12. <i>Corymbia torelliana</i> (<i>E. torelliana</i>)	22
1.2.13. Tipos de bosque	22
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	24
2.1. Diseño de la investigación.....	24
2.2. Lugar y fecha	24
2.3. Población y muestra	27
2.4. Técnicas e instrumentos	27
2.5. Descripción de la investigación.....	27

2.6. Identificación de las variables y su mensuración	38
2.7. Análisis estadístico de datos	40
CAPÍTULO III: RESULTADOS	41
3.1. Propiedades fisicoquímicas del suelo	41
3.1.1. Propiedades físicas del suelo	41
3.1.2. Propiedades químicas del suelo	45
3.2. Densidad poblacional de macroinvertebrados	49
3.2.1. Distribución vertical de macroinvertebrados.....	49
3.2.2. Densidad poblacional de macroinvertebrados.....	56
3.3. Correlación entre la densidad poblacional de <i>A. fuhrmanni</i> y <i>R. hageni</i> con los parámetros fisicoquímicos del suelo	62
3.3.1. Bosque primario	62
3.3.2. Plantación de <i>C. torelliana</i>	64
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	68
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	73
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS	76
TERMINOLOGÍA	90
APÉNDICES	92

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Ubicación de las parcelas de estudio</i>	25
Tabla 2. <i>Ubicación de los puntos de muestreo de suelo</i>	29
Tabla 3. <i>Metodologías para la determinación de las variables</i>	36
Tabla 4. <i>VARIABLES y su mensuración</i>	39
Tabla 5. <i>Análisis físico del suelo de bosque primario</i>	41
Tabla 6. <i>Densidad aparente en muestras de suelo de bosque primario - calicata N° 1</i>	42
Tabla 7. <i>Densidad aparente en muestras de suelo de bosque primario - calicata N° 2</i>	43
Tabla 8. <i>Análisis físico del suelo de la plantación de C. torelliana</i>	43
Tabla 9. <i>Densidad aparente en muestras de suelo de plantación de C. torelliana - calicata N° 1</i>	44
Tabla 10. <i>Densidad aparente en muestras de suelo de la plantación C. torelliana - calicata N° 2</i>	45
Tabla 11. <i>Análisis químico de las muestras de suelo de bosque primario</i>	46
Tabla 12. <i>Análisis químico del suelo de C. torelliana</i>	48
Tabla 13. <i>Individuos encontrados en el transecto 1, bosque primario</i>	49
Tabla 14. <i>Individuos encontrados en el transecto 2, bosque primario</i>	50
Tabla 15. <i>Individuos encontrados en el transecto 3, bosque primario</i>	51
Tabla 16. <i>Individuos encontrados en el transecto 4, bosque primario</i>	52
Tabla 17. <i>Individuos encontrados en el transecto 1, C. torelliana</i>	53
Tabla 18. <i>Individuos encontrados en el transecto 2, C. torelliana</i>	54
Tabla 19. <i>Individuos encontrados en el transecto 3, C. torelliana</i>	54
Tabla 20. <i>Individuos encontrados en el transecto 4, C. torelliana</i>	55
Tabla 21. <i>Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 1, bosque primario</i> ...	56
Tabla 22. <i>Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 2, bosque primario</i> ...	57
Tabla 23. <i>Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 3, bosque primario</i> ...	58
Tabla 24. <i>Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 4, bosque primario</i> ...	59
Tabla 25. <i>Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 1, C. torelliana</i>	59
Tabla 26. <i>Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 2, C. torelliana</i>	60
Tabla 27. <i>Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 3, C. torelliana</i>	61
Tabla 28. <i>Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 4, C. torelliana</i>	62

Tabla 29. <i>Correlaciones con intervalos de confianza de las características físicas del bosque primario</i>	63
Tabla 30. <i>Correlación con intervalos de confianza de A. fuhrmanni y características fisicoquímicas de bosque primario</i>	63
Tabla 31. <i>Correlaciones con intervalos de confianza de R. hageni y características fisicoquímicas del bosque primario</i>	64
Tabla 32. <i>Correlaciones con intervalos de confianza de las especies y las características físicas del suelo de C. torelliana</i>	65
Tabla 33. <i>Correlaciones con intervalos de confianza de A. fuhrmanni y las características fisicoquímicas de suelo de C. torelliana</i>	66
Tabla 34. <i>Correlaciones con intervalos de confianza de R. hageni y características fisicoquímicas de suelo con C. torelliana</i>	67

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Especie <i>A. fuhrmanni</i> ..	19
<i>Figura 2.</i> Especie: <i>R. hageni</i> ..	21
<i>Figura 3.</i> Mapa de ubicación de las parcelas de estudio.	26
<i>Figura 4.</i> Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, bosque primario.	29
<i>Figura 5.</i> Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, <i>C. torelliana</i> .	30
<i>Figura 6.</i> Ubicación de los puntos de muestreo a lo largo del transecto.	31
<i>Figura 7.</i> Monolito aislado.	31
<i>Figura 8.</i> Uso de bastidor y wincha en la división de estratos.	32
<i>Figura 9.</i> División del monolito por estratos.	32
<i>Figura 10.</i> Estrato removido.	33
<i>Figura 11.</i> Colecta de macroinvertebrados.	33
<i>Figura 12.</i> Macroinvertebrados depositados en envases de plástico.	34
<i>Figura 13.</i> Ubicación de los transectos y monolitos en el bosque primario.	34
<i>Figura 14.</i> Ubicación de los transectos y monolitos en la plantación de <i>C. torelliana</i> .	35

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Informe de determinación de la especie <i>A. fuhrmanni</i>	92
Apéndice 2. Informe de determinación de la especie <i>R. hageni</i>	93
Apéndice 3. Cálculo de la densidad aparente del suelo.....	94
Apéndice 4. Extracción y pesado de la muestra del suelo para el cálculo de la densidad aparente.....	95
Apéndice 5. Secado de las muestras de suelo en el laboratorio de ciencias de la Universidad Católicas Sedes Sapientiae.....	95
Apéndice 6. Matriz de correlación entre la densidad poblacional <i>A. fuhrmanni</i> y las propiedades físicoquímicas del suelo de la plantación de <i>C. torelliana</i>	96
Apéndice 7. Matriz de correlación entre la densidad poblacional de <i>R. hageni</i> y las propiedades físicoquímicas del suelo de la plantación de <i>C. torelliana</i>	96
Apéndice 8. Matriz de correlación entre la especie <i>A. fuhrmanni</i> y las propiedades físicoquímicas del suelo de bosque primario.....	97
Apéndice 9. Matriz de correlación entre la especie <i>R. hageni</i> y las propiedades físicoquímicas del suelo de bosque primario.....	97
Apéndice 10. Ficha de recolección de datos.....	98

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de las plantaciones de *Corymbia torelliana* en la densidad poblacional de *Aptodrilus fuhrmanni* y *Reticulitermes hageni* en el distrito de Soritor. Se aplicó un diseño no experimental y se analizó las propiedades fisicoquímicas del suelo de un bosque primario y una plantación de *Corymbia torelliana*. Además, se calculó la densidad poblacional de las especies *Aptodrilus fuhrmanni* y *Reticulitermes hageni* empleando la metodología de Tropical Soil Biology and Fertility y se determinó la relación entre las propiedades fisicoquímicas del suelo con la densidad poblacional de las especies identificadas. Como resultados se obtuvo que la clase textural del suelo del bosque primario fue franco, densidad aparente $\bar{X} = 0,922 \text{ g/cm}^3$ en profundidades de 00-30 cm, pH = 4,64, P = 9,52 ppm, K = 43,48 ppm y CIC = 10,15 mEq/100 g; respecto la clase textural del suelo de *Corymbia torelliana* se determinó como franco arcillo arenoso, la densidad aparente $\bar{X} = 1,208 \text{ g/cm}^3$, pH = 4,68, P = 8,65 ppm, K = 39,93 ppm y CIC = 8,22 mEq/100 g. La densidad poblacional para *Aptodrilus fuhrmanni* registró un valor de 127,2 ind/m² en la plantación de *Corymbia torelliana* y en el suelo de bosque primario 120 ind/m²; mientras que *Reticulitermes hageni* registró un valor de 1 569,67 ind/m² en el suelo de la plantación de *Corymbia torelliana* y 2 326,4 ind/m² en el suelo de bosque primario. Se concluyó que existe una relación estadísticamente significativa entre la clase textural limo y la densidad poblacional de *Reticulitermes hageni* (0,69), incluyendo la disponibilidad de potasio y la misma especie (0,88); es decir, un incremento en la densidad poblacional de la especie se produce cuando mayor es el porcentaje de limo y la disponibilidad de potasio del suelo.

Palabras clave: *Reticulitermes hageni*, *Aptodrilus fuhrmanni*, *Corymbia torelliana*, propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the effect of *Corymbia torelliana* plantations on the population density of *Aptodrilus fuhrmanni* and *Reticulitermes hageni* in the Soritor district. A non-experimental design was applied and the soil physicochemical properties of a primary forest and a *Corymbia torelliana* plantation were analyzed. In addition, the population density of *Aptodrilus fuhrmanni* and *Reticulitermes hageni* species was calculated using the Tropical Soil Biology and Fertility methodology and the relationship between the physical-chemical properties of the soil and the population density of the identified species was determined. The results showed that the textural class of the primary forest soil was loam, bulk density $\bar{X} = 0,922 \text{ g/cm}^3$ at depths of 00-30 cm, pH = 4,64, P = 9,52 ppm, K = 43,48 ppm and CIC = 10,15 mEq/100 g; regarding the textural class of the soil of *Corymbia torelliana* it was determined as sandy clay loam, bulk density $\bar{X} = 1,208 \text{ g/cm}^3$, pH = 4,68, P = 8,65 ppm, K = 39,93 ppm and CIC = 8,22 mEq/100 g. The population density for *Aptodrilus fuhrmanni* recorded a value of 636 ind/m² in the *Corymbia torelliana* plantation, and in the primary forest floor 600 ind/m²; while *Reticulitermes hageni* recorded a value of 7 847 ind/m² in the *Corymbia torelliana* plantation floor and 11 612 ind/m² in the primary forest floor. It is concluded that there is a statistically significant relationship between the silt textural class and the population density of *Reticulitermes hageni* (0,69), including the availability of potassium and the species itself (0,88); that is, an increase in the population density of the species occurs when the percentage of silt and the availability of potassium in the soil are higher.

Keywords: *Reticulitermes hageni*, *Aptodrilus fuhrmanni*, *Corymbia torelliana*, physicochemical properties.

INTRODUCCIÓN

El 31 % de la superficie terrestre está cubierta por bosques, de los cuales el 49 % de la superficie forestal se mantiene intacta y el 33% de estos son bosques primarios; en los últimos 30 años han desaparecido un total de 420 000 000 de hectáreas por la deforestación para la instalación de la agricultura; intentando recuperar estas superficies con plantaciones forestales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2020).

La instalación de plantaciones forestales con especies exóticas, a pesar de haber sido criticadas por los efectos que causan en los componentes ambientales cuando son instaladas en áreas de bosques primarios o nativos, se han incrementado en un promedio de 3,6 millones de hectáreas al año (Wallace y Leonhardt, 2015; Guariguata *et al.*, 2017).

En el Perú se han instalado plantaciones con especies exóticas, en mayor cantidad, haciendo uso de los géneros *Pinus*, *Eucalyptus* y *Corymbia*, sin considerar los efectos que estas especies puedan ocasionar a los sistemas edáficos (Cornelius *et al.*, 2020). Según Gutiérrez (2011), las plantaciones exóticas afectan directamente a la macrofauna y las propiedades del suelo. Barahona (2012) afirma que estas causan dentro de este recurso, una disminución en su densidad aparente, cantidad de potasio, materia orgánica, contenido humedad e incrementan los niveles de acidez.

Fioravante *et al.* (2014) indican que la especie *C. torelliana* (F. Muell.) KD Hill & LAS Johnson o también denominado *Eucalyptus torelliana*, presenta gran capacidad de adaptación, observándose un rápido crecimiento y resistencia a plagas, lo que ha generado su expansión en todas las regiones de la Amazonía. Prado (2016) menciona que *C. torelliana* es una especie de fácil manejo y reproducción porque no es atacado por herbívoros ni plagas; además, indica que pueden crecer en suelos con baja fertilidad y representan gran potencial en la industria tanto en calidad de madera como en la producción de semillas de híbridos;

ocasionando así, que en varios lugares se incentive el cultivo de plantaciones forestales con esta especie y con otras especies que también pertenecen al género *Corymbia*.

Las plantaciones de *C. torelliana* producen empobrecimiento y estimulan la erosión en los suelos, generando hábitats relativamente pobres para la mayoría de las especies edáficas (Medina, 2018); además, Carimentrand *et al.* (2002) indican que su rápida adaptabilidad ha generado en los suelos, disminución del pH, escasa disponibilidad de nutrientes, compactación, agrietamiento y disminución de poblaciones de macroinvertebrados terrestres. Lozano (2016) y Romero (2017) afirman que una ligera disminución de poblaciones de macroinvertebrados en el suelo alteraría significativamente sus propiedades fisicoquímicas, incluyendo una lenta descomposición de la necromasa (árboles y troncos muertos en pie) y el ciclado de nutrientes.

Por lo tanto, se realizó el muestreo de la densidad poblacional de las especies de *A. fuhrmanni* y *R. hageni*, se analizó las propiedades fisicoquímicas del suelo en las plantaciones con la especie *C. torelliana* en el distrito de Soritor, y se evaluó el efecto en la población de estos macroinvertebrados, debido a la importancia que presentan en los diversos procesos que ocurren en el interior del suelo (Ruiz *et al.*, 2008). Así mismo, se correlacionó la relación de la densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y *R. hageni* con los parámetros fisicoquímicos del suelo en la plantación de *C. torelliana* dado que, los macroinvertebrados identificados son utilizados como indicadores de calidad ambiental para determinar el estado de conservación y perturbación en el cambio de uso de suelo, debido a su abundancia en este, su facilidad para la realización del muestreo, su presencia a lo largo del año, elevada capacidad de reproducción, composición y diversidad taxonómica (Cabrera-Dávila, 2014; Gómez, 2015).

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de las plantaciones de *C. torelliana* en la densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y *R. hageni* en el distrito de Soritor.

Objetivos específicos

- Conocer los valores de las propiedades fisicoquímicas en el suelo con plantación de *C. torelliana* y bosque primario.
- Identificar la densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y *R. hageni* en el suelo con plantación de *C. torelliana* y bosque primario.
- Correlacionar la relación de la densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y *R. hageni* con los parámetros fisicoquímicos del suelo en la plantación de *C. torelliana*.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Penon (2018) realizó un estudio sobre el efecto de las forestaciones y la agricultura sobre la calidad de suelos y la biodiversidad en el sur de pampa ondulada, Argentina. El objetivo fue establecer si las forestaciones de *Robinia pseudoacacia* L., *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y la agricultura en comparación a los pastizales condicionan la abundancia e índices de biodiversidad de la macrofauna edáfica. El muestreo de la macrofauna fue realizado aplicando el método Tropical Soil Biology and Fertility y las muestras de las especies fueron extraídas manualmente. La metodología empleada consistió en seleccionar cuatro tratamientos en tres sitios diferentes, en cada uno de ellos realizó cuatro muestreos distintos según fechas establecidas. Los resultados demostraron que la especie *E. camaldulensis* presentó valores de 6,06 para pH y 1,19 mg/m³ para densidad aparente, indicando que el pH fue menor y el suelo estuvo más compactado en comparación al suelo con plantaciones de *R. pseudoacacia* y bosque natural; además, la macrofauna presente en el ecosistema edáfico fue pobre en riqueza y diversidad teniendo valores de 5,48 y 1,33 respectivamente, cuyos valores están por debajo de los obtenidos en *R. pseudoacacia* (5,74; 1,37) y el bosque natural (6,3; 1,56). El investigador concluyó que las plantaciones de uso natural tuvieron mayor riqueza y diversidad de macrofauna, mientras que los *Eucalyptus* tuvieron mayor densidad poblacional.

Tapia-Coral *et al.* (2016) realizaron un trabajo de investigación denominado macroinvertebrados del suelo y sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento en el Municipio de Manaus, Amazonas, Brasil; con el objetivo de determinar la abundancia de los macroinvertebrados del suelo y la concentración

de nutrientes en diversos sistemas de uso de suelo. Para el estudio participaron 10 familias, las cuales contaron con lotes donde existían diversos sistemas de uso de suelo entre los cuales fueron encontrados los monocultivos, sistemas agroforestales y bosques primarios, por cada sistema muestrearon cinco monolitos y para determinar la abundancia de macroinvertebrados emplearon el método Tropical Soil Biology and Fertility- TSBF, el cual modificaron a monolitos de 50 cm de ancho, 50 cm de largo y 20 cm de profundidad, debido a la presencia de lombrices largas. Los macroinvertebrados fueron separados y conservados en frascos con alcohol al 96 % para posteriormente ser identificados en el laboratorio. El análisis estadístico de los datos lo realizaron mediante el software R (R CORE TEAM, 2013) y el paquete ADE-4. Como resultado obtuvieron que el sistema agroforestal- SAF registró una mayor densidad poblacional con un valor de 6 924 ind/m² y el área con menor densidad poblacional fue el bosque, pues registró solo 784 ind/m². El estudio concluyó que la mayor abundancia de macroinvertebrados edáficos fueron encontrados en los SAF, pues propiciaron mejores condiciones de nutrientes para la reproducción de los mismos.

Nacionales

Sánchez (2021) desarrolló una tesis denominada propiedades químicas de los suelos en sistemas silvopastoriles en Amazonas y San Martín; el objetivo planteado fue caracterizar diferentes prototipos de sistemas silvopastoriles (SS) mediante análisis físicos y químicos. La investigación fue de tipo experimental y llevó a cabo en 10 sistemas silvopastoriles, cuatro en el distrito de Molinopampa, (cada SS asociado con una especie forestal específica tales como: *Pinus patula* Schltl. y Cham. “Pino”, *Cupressus sempervirens* L. “Ciprés”, *Ceroxylon peruvianum* Galeano, Sanín y Mejía y *Alnus acuminata* Kunth “Aliso andino”), tres en el Valle de Huayabamba (el primero estuvo asociado con la especie *Populus alba* L. “Álamo blanco”, el segundo con la especie *Inga edulis* Mart. “Guaba” y el tercero con *Eucalyptus torelliana* F. Muell.) y tres SS en el distrito de Soritor (uno asociado con la especie *I. edulis*, el segundo con *E. torelliana* y el último asociado con la especie *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke “Tornillo”). Para determinar las propiedades físicas y químicas recolectó muestras de suelo a una profundidad de 30 cm. Utilizó un diseño estadístico Completamente al Azar para las propiedades químicas y un Diseño de Bloques Completamente al Azar para las propiedades físicas, el procesamiento de los datos fue realizado mediante un Análisis de Varianza (ANVA), para la comparación de las medias de los tratamientos aplicó la Prueba de Tukey (P< 0,05) y el análisis estadístico de las variables

del estudio lo procesó en el Software RStudio versión 1.2. Los resultados mostraron que la densidad aparente fue ligeramente mayor en los SS asociados con *A. acuminata* y *C. sempervirens* L. con valores que oscilaron entre 0,90 y 1,04 g/cm³ en los SS ubicados en distrito de Molinopampa, mientras que en el valle de Huayabamba la densidad aparente tuvo diferencias numéricas con valores que oscilaron entre 1,10 y 1,18 g/cm³ en los tres SS y el distrito de Soritor presentó el valor más alto de DA en el SS con *E. torelliana* (1,44 g/cm³) y el pH de 4,78 considerado como bajo. La investigación concluyó en que los sistemas silvopastoriles tienen influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo, específicamente los asociados con la especie *E. torelliana*.

Sánchez (2018) realizó un estudio denominado evaluación de la macrofauna del suelo en cuatro diferentes sistemas de uso, en el distrito de las Piedras, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios; planteó como objetivo evaluar el efecto de cuatro diferentes usos de suelo sobre la macrofauna edáfica. La investigación fue descriptivo exploratorio transversal. Evaluó cuatro sistemas de uso de suelo (bosque, sistema agroforestal, monocultivo y pastizal), en los cuales muestreó un total de 160 monolitos, 40 por cada sistema. Para la evaluación de la macrofauna utilizó la metodología planteada por el programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), mientras que para el análisis de suelo siguió los estándares de muestreo sugeridas por el MINAM (2014), el análisis de los datos lo realizó mediante un análisis multivariado. Los resultados mostraron que el sistema agroforestal registró la mayor cantidad de macrofauna (414,5 ind/m²), seguido por el pastizal con 115,6 ind/m², monocultivo con 105 ind/m² y el bosque con 65,2 ind/m². Referente al análisis de suelo, los resultados indicaron que los sistemas estudiados presentaron un pH ácido con valores que oscilaron entre 3,93 y 5,34, el nivel de materia orgánica fue bajo (< 1,69 %), al igual que el fósforo y potasio, pues estos registraron valores inferiores a 6,2 ppm y 94 ppm, respectivamente. Llegando a la conclusión de que cuando mayor es el contenido de potasio y la capacidad de intercambio catiónico, mayor es la densidad en la población.

Lozano (2016) desarrolló una tesis denominada evaluación de la biomasa y densidad poblacional de *Lumbricus terrestris* L. en tres tipos de cobertura vegetal en el CIEFOR-Puerto Almendra, Loreto. El objetivo fue evaluar la biomasa y densidad poblacional de la *L. terrestris* en tres tipos de cobertura, entre las cuales mencionan a la cobertura arbórea,

cobertura herbácea y suelo sin cobertura vegetal. Consideró 12 tratamientos en los cuales cuantificó los macroinvertebrados mediante la metodología Tropical Soil Biology and Fertility- TSBF que consistió en construir calicatas de 25 cm de largo por 25 cm ancho y 40 cm de profundidad, que estuvieron divididas en estratos de 10 cm y determinó su biomasa con la fórmula g/m^2 . El análisis de los datos fue realizado mediante el programa Excel 2010, empleando el método estadístico ANOVA. Los resultados mostraron que la biomasa obtenida en el tipo de cobertura arbórea fue de $6,15 g/m^2$, cobertura herbácea $11,8 g/m^2$ y en suelo sin cobertura no encontró individuos, y con respecto a la densidad poblacional determinó que la cobertura herbácea tuvo mayor densidad con un total de $156,80 ind/m^2$ seguido por la cobertura arbórea con un total de $83,20 ind/m^2$. Concluyó que la cobertura herbácea cuenta con los valores más altos en lo que refiere a la biomasa y densidad poblacional; y de los estratos evaluados, el estrato de 00-10 cm fue el que tuvo mayor densidad poblacional con un total de $176 ind/m^2$.

Quinto (2016) realizó el estudio denominado propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo la influencia de tres sistemas de uso de la tierra en el distrito José Crespo y Castillo, Leoncio Prado. El objetivo del estudio fue determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos en tres sistemas de uso de tierra: ex cocal, bosque primario y sistema agroforestal, en el distrito José Crespo y Castillo, Tingo María. Los tratamientos fueron definidos de acuerdo a los tres tipos de cobertura utilizados en el estudio; para el análisis fisicoquímico, realizó el muestreo de suelo que consistió en la toma de 11 muestras que fueron distribuidas en un trazo con forma de zig zag en cada parcela, cada unidad consistió en cavar un hoyo de 30 cm de profundidad, del cual extrajo 1 kg de suelo, y al terminar la extracción lo trasladó al laboratorio de Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. El muestreo de los organismos edáficos fue realizado con el método propuesto por el programa Tropical Soil Biology and Fertility, que consistió en tomar un total de 10 muestras por cada sistema de uso de suelo; la evaluación del componente microbiano y la identificación de la macrofauna fue realizada en un laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Para determinar la relación entre las propiedades físicas y químicas con la mesofauna y macrofauna del suelo utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. Los resultados indicaron que el suelo de la parcela denominada ex cocal presentó una textura arcillosa, con pH 5,49, materia orgánica de 1,34 % y 2,82 ppm de fósforo; el suelo del

sistema agroforestal presentó una textura clasificada como franco limoso, con pH 7,28, materia orgánica de 1,34 % y 169,61 ppm de fósforo; mientras que, el suelo del bosque primario fue de tipo franco arcillo limoso, pH de 6,56, materia orgánica de 3,69 % y 42,39 ppm de fósforo. Después de obtener los resultados, concluyó que el suelo del sistema agroforestal presenta una mejor textura, el pH en el bosque primario y el sistema agroforestal es cercano al pH neutro, el bosque primario registró la mayor cantidad de materia orgánica y que la cantidad de fósforo disponible es elevada en los sistemas antes mencionados.

Ruiz (2015) realizó un estudio denominado macroinvertebrados de suelo asociados al cultivo de *Bactris gasipaes* Kunth "Pijuayo" (Arecaceae), San Martín- Perú. El objetivo fue conocer la composición de macroinvertebrados asociados al cultivo de pijuayo. La investigación fue de tipo descriptiva; para el estudio seleccionó parcelas de Pijuayo (Alianza- AL, Santa Rosa de Davicillo- SR y Bonilla- BO) con dimensiones de 50 x 50 m y en cada una instaló cinco monolitos. La colecta de los macroinvertebrados la realizó mediante el método propuesto por el programa TSBF, el cual consistió en hacer monolitos con dimensiones de 25 x 25 x 30 cm en una línea de 50 metros, para este procedimiento utilizó un bastidor de madera de 25 x 25 cm, excavó en forma de "L" alrededor de este hasta llegar a una profundidad de 30 cm para finalmente extraer los tres estratos de 10 cm cada uno, los cuales fueron colocados en fuentes de plástico para realizar la colecta de los macroinvertebrado con ayuda de pinceles y pinzas entomológicas, las especies fueron almacenadas en frascos que contenían alcohol al 70 % para su posterior conteo e identificación en el laboratorio. Los resultados registraron un promedio de 7 043 ind/m² en las parcelas estudiadas, siendo la parcela Bonilla (BO) la que presentó mayor densidad poblacional con 3 073 ind/m². El autor concluyó que la alta densidad poblacional de macroinvertebrados encontrados en el cultivo de *B. gasipaes* indicaron una elevada actividad mecánica en el suelo.

Tuesta (2015) realizó una investigación denominada evaluación de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso en el distrito de Nuevo Progreso. El objetivo fue evaluar la macrofauna en diferentes sistemas de uso de suelo en el distrito de Nuevo Progreso, enfocado en la evaluación de la macrofauna edáfica. La investigación fue de tipo descriptivo, correlacional-casual y el diseño empleado fue de tipo transversal. Para el muestreo de suelo realizó con un recorrido en zig zag y tomó 20 muestras por cada uso de suelo (cultivo de

maíz, cultivo de cocona, bosque secundario y cultivo de cacao); para el muestreo de macroinvertebrados utilizó la metodología propuesta por el programa Tropical Soil Biology and Fertility, la cual consistió en trazar transectos en línea recta y cavar 5 monolitos de 30 cm de profundidad, los cuales fueron divididos en tres capas de 10 cm cada una, recolectó las especies *in situ* y las depositó en frascos con soluciones de alcohol y formol para posteriormente ser identificados. Realizó un análisis estadístico mediante un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial de forma 4A*3B, haciendo uso del SPSS V.19. Los resultados obtenidos por el investigador mostraron que el bosque secundario presentó 881 ind/m², el cultivo de cocona 701 ind/m², el cultivo de cacao 889 ind/m² y el cultivo de maíz ind/m²; la distribución vertical indicó que la mayor parte de los macroinvertebrados fue registrada en el estrato de 00 - 10 cm de profundidad con un 54,46 % del total. De esta manera concluyó que la mayor densidad poblacional y biomasa se presentó en el cultivo de cacao y que el bosque secundario registró mayor diversidad de macroinvertebrados.

Yaros (2014) en su investigación denominada evaluación del efecto de tres sistemas de uso de tierra en las propiedades físicas, químicas y biológicas en el sector Naranjillo del distrito Padre Felipe Luyando; tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres sistemas de uso de las tierras en las propiedades físicas, químicas y biológicas. La metodología aplicada para el muestreo de suelo consistió en tomar ocho muestras, las cuales distribuyó en un trazo en forma de zig-zag en cada una de las parcelas; construyó una calicata de 30 cm de profundidad y extrajo 1 kg de muestra homogénea, esto para cada sistema de uso de suelo (ex cocal, bosque secundario y parcela de cacao). Para el muestreo de los organismos edáficos utilizó el método propuesto por el programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), que consistió en tomar cinco muestras (monolitos) de cada sistema de uso de suelo en una línea recta que fue trazada al azar, las muestras estaban separadas una distancia de 10 m. Posteriormente procedió a extraer las tres submuestras de 10 cm de profundidad por cada monolito y los organismos extraídos fueron depositados en frascos que contenían alcohol al 80 % (para los de cuerpo endurecido) y formol al 4 -10 % (para larvas e insectos de cuerpos blandos); luego, trasladó las muestras a un laboratorio de entomología para la identificación. La densidad poblacional de estos fue medida en ind/m² y la biomasa en g/m². Realizó el análisis estadístico de los datos mediante el Diseño de Bloques Completamente al Azar usando el SPSS V.19 y para determinar la relación entre los sistemas de uso de suelo y sus profundidades, procesó los datos mediante ANVA del Sistema de Análisis Estadístico- SAS,

con un nivel de significancia de 0,05. Los resultados mostraron 11 órdenes, determinando que en las tres parcelas las especies predominantes son las de orden Himenóptera (hormigas) con 759 ind/m², seguido de las Isopteras que registraron 232 ind/m², Coleópteras con 167 ind/m², Chilopoda con 122 ind/m² y las del orden Haplotaxida con 102 ind/m²; siendo estas las más abundantes en los tres sistemas; además, encontró diferencias numéricas respecto a la densidad poblacional, siendo el bosque secundario el que presentó mayor densidad con un valor promedio de 245,33 ind/m². Concluyó que los macroinvertebrados registraron picos de abundancia y mejor distribución en los suelos con mayor presencia de nutrientes y que la mayor densidad poblacional y biomasa se encontró en el estrato de 00 - 10 cm de profundidad.

Tapia-Coral *et al.* (2012) desarrolló una investigación denominada comunidad de macroinvertebrados del suelo en plantaciones forestales y sistemas naturales en la Amazonía peruana. El objetivo del estudio fue analizar el efecto de las plantaciones forestales con respecto a la recolonización de los macroinvertebrados y las propiedades químicas del suelo. El diseño experimental consistió en establecer cuatro sistemas cada uno con tres repeticiones de bloques de 50 x 50 m² en el bosque primario y plantación con *C. cateniformis* y *Simarouba amara* Aubl. El muestreo de suelo fue realizado en forma de zig zag, extrayendo tres muestras compuestas las cuales fueron tratadas y analizadas en el Laboratorio Temático de Suelos y Plantas del INPA. Los macroinvertebrados edáficos fueron colectados mediante el método del programa Tropical Soil Biology and Fertility que consistió en excavar cinco monolitos de suelo de 25 x 25 x 30 cm a lo largo de un transecto de 30 metros, estos fueron divididos en cuatro estratos, hojarasca, capas de 00 - 10, 10- 20 y 20 - 30 cm de profundidad y los individuos fueron recolectados por clasificación manual directa en campo. El análisis estadístico lo procesaron mediante el análisis de varianza (ANOVA) en el programa Systat 10.5; además, utilizaron la prueba estadística Tukey al 1 y 5 % para comprobar las diferencias entre los sistemas de estudio; así mismo, para cada grupo de variables realizaron un análisis de componentes principales asociado a un análisis discriminante para comprobar la diferencia entre ellas y para los análisis multivariantes emplearon el programa ADE-4. Los resultados indicaron que las lombrices de tierra tuvieron mayor presencia en el bosque primario y secundario con valores de 106 y 115 ind/m² respectivamente, mientras que las termitas y hormigas tuvieron mayor densidad en sistemas con *C. cateniformes* (Ducke) Ducke. y *S. amara* Aubl., registrando valores de 1 065 y 115 ind/m² en termitas, 396 y 673

ind/m² en hormigas. Respecto a las propiedades químicas, los resultados del pH no mostraron diferencia, los valores oscilaron entre 3,6 y 3,9, la concentración de aluminio, carbono y nitrógeno fue mayor en el bosque primario y bosque secundario con valores de 95,5 y 95,3 cmol.kg⁻¹, 16,2 y 18,4 g.kg⁻¹, 0,8 y 0,9 g.kg⁻¹ respectivamente, mientras que el calcio y magnesio fue mayor en la plantación de *C. catenaeformis* Ducke con valores de 0,08 cmol.kg⁻¹ para el calcio y 0,07 cmol.kg⁻¹ para el magnesio. Los resultados evidenciaron que las plantaciones forestales con las especies *C. catenaeformis* Ducke y *S. amara* Aubl, incluso como monocultivo, presentan efectos positivos en la recuperación del suelo, además de facilitar el proceso de recuperación.

Navarro (2011) realizó un trabajo de investigación denominado cuantificación del repoblamiento natural de macroinvertebrados edáficos en cinco estadios sucesionales de bosques en Puerto Almendra - Loreto. El objetivo fue evaluar la repoblación natural de macroinvertebrados edáficos en cinco tipos de bosques. El estudio fue definido como investigación básica y descriptiva; para el diseño utilizó Ex Post Facto, la población identificada fue 18,8 ha de bosques (bosque alto, bosque purma de siete años, bosque purma de 15 años, vegetación agroforestal de dos años y vegetación de seis meses); para la muestra seleccionó 1 ha de cada tipo de bosque y aplicó la metodología Tropical Soil Biology and Fertility-TSBF para colecta de macroinvertebrados edáficos, que consistió en extraer monolitos de 25 x 25 x 30 cm a los cuales dividió en cuatro capas (hojarasca, 00-10, 10-20 y 20-30 cm) y desmenuzó en plásticos de color rojo de 1 m² para luego recolectar las especies mediante revisión manual "in situ". Para los valores de densidad poblacional y biomasa de los macroinvertebrados utilizó la estadística descriptiva; y para la determinación de los índices ecológicos utilizó la estadística no paramétrica. Los resultados obtenidos sobre densidad poblacional de macroinvertebrados mostraron que el estadio de cero años registró 571 ind/m², el bosque sucesional de dos años 2 203 ind/m²; mientras que, los bosques de 7 y 15 años y bosque alto registraron 1 214, 610 y 416 ind/m² respectivamente. Concluyó que la mayor densidad poblacional de macroinvertebrados se encontró en el bosque sucesional de dos años con 2 203 ind/m², constituidos principalmente por hormigas (976 ind/m²) y termitas (875 ind/m²); así mismo, afirmó que la mayor concentración de macroinvertebrados se presentó a nivel de hojarasca y en el primer estrato (00-10 cm de suelo).

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. El suelo

El suelo es una fina capa que cubre la superficie terrestre y está compuesta por agua, oxígeno, minerales y organismos vivos; es el principal soporte de los ecosistemas y hace posible el desarrollo de la vida en el planeta (Porta *et al.*, 2013).

Para Fadda (2017), el suelo es el resultado del fraccionamiento o descomposición natural de la roca madre que se da por influencia de los factores físicos, químicos y biológicos; y cuando este contiene agua, aire y nutrientes indicados, proporciona el sustento para el desarrollo de los seres vivos.

Van (2006) define al suelo como una cobertura de tierra donde se desarrolla la vida, está compuesto por restos de roca madre, materia orgánica, seres vivos, agua y aire; además, resalta que el proceso de formación demora miles de años y si no se le brinda un adecuado manejo, la erosión o degradación se puede dar en corto plazo.

El suelo debe ser considerado como ser vivo porque está conformado por una fauna compleja, la cual se desarrolla entre las raíces, hojarasca y materia orgánica; esta fauna involucra a miles de especies, las cuales varían en tamaño que varían entre unos pocos micrómetros a varios centímetros de largo, con ciclos de vida que van desde unos pocos días hasta superar los 10 años (Brown *et al.*, 2015)

1.2.2. Horizontes del suelo

Una de las características fundamentales de los suelos para lograr sostener la vegetación son los horizontes. Un suelo no necesariamente debe tener todos los horizontes, sino solo basta que tenga uno de estos. Los horizontes edáficos son capas paralelas a la superficie del terreno, estos originados por el proceso de formación del suelo, el cual es el causante de las

propiedades y características que presentan cada horizonte; el conjunto de estos horizontes forma el perfil del suelo que es el causante de la diferenciación de este (Jordán, 2005).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021) los horizontes indican las características fundamentales del material que están constituidos los suelos y los procesos de transformación por los que este ha pasado.

Los cuales se detallan a continuación:

- a. Horizonte H: compuesto mayormente por la materia orgánica sin descomponerse o parcialmente descompuesta que está presente en la superficie del suelo, puede estar saturada de agua durante un tiempo prolongado.
- b. Horizonte O: es la materia orgánica presente en la superficie del suelo que puede estar descompuesta o no; pero, tiene la particularidad de que esta no se encuentra o no se encontrará saturada en agua por periodos prolongados.
- c. Horizonte A: presenta un color gris oscuro y se encuentra en la superficie, por debajo del horizonte O, está conformado en gran parte por materia orgánica descompuesta.
- d. Horizonte E: puede presentar colores similares al horizonte A, pero esta se encuentra por debajo de esta y por encima del horizonte B, compuesta mayormente por arena y algunas partículas de limo; pero no se encuentran estructuras rocosas, ya que en este horizonte se encuentran totalmente desintegradas.
- e. Horizonte B: presenta desde un color pardo rojizo. Generalmente está conformado por arcilla.
- f. Horizonte C: compuesto por fragmentos de roca provenientes de la roca madre.

1.2.3. Clasificación de los suelos

La FAO (1999), clasifica a los suelos por su textura:

- Arenoso: suelos compuestos por partículas pequeñas que oscilan entre 0,5 y 2 mm de diámetro, se caracteriza por tener poca reserva de nutrientes.
- Limoso: los gránulos que lo componen poseen un tamaño entre 0,02 a 0,05 mm de diámetro, son suelos fértiles debido a la presencia de materia orgánica y su color es marrón oscuro.

- Arcilloso: el tamaño de las partículas que lo conforma tiene un tamaño menor a 0,02 mm de diámetro, estos suelos se caracterizan por ser muy pesados cuando están saturados de agua, no es fácil drenarlos y desecarlos, poseen reserva de nutrientes.

1.2.4. Alteración de los suelos por introducción de especies exóticas

Tejedor *et al.* (2012) nos precisan que, la introducción de algunas especies exóticas interfiere en la circulación del agua; del mismo modo, reducen la humedad del suelo, ocasiona ligeros cambios en el ciclado de nutrientes, además, retrasan el proceso de descomposición de la hojarasca disponible (Aragón *et al.*, 2014).

Gutiérrez (2011) aclara que, las plantaciones de especies exóticas, tienen indicadores que hacen evidente un proceso de deterioro e impactos negativos en el ecosistema, como en la hidrología, efecto sobre la fertilidad del suelo, ausencia de sotobosque, riesgo de erosión de suelos y por consiguiente en la diversidad edáfica.

Narvaéz *et al.* (2017) mencionan que las especies forestales introducidas logran alterar la dinámica y composición del suelo; para los casos de reforestación cuando emplean especies exóticas como pino y eucalipto, estas tienen la capacidad de consumir mucha más agua que la vegetación nativa (Stanturf *et al.*, 2013; Bonnesoeur *et al.*, 2019).

1.2.5. Los organismos del suelo

La biodiversidad del suelo comprende una diversidad de organismos visibles y no visibles a simple vista; estos, actúan como agentes primarios para el ciclado de nutrientes, regulación de la dinámica de la materia orgánica, modifican la estructura física del suelo e incrementan la cantidad y disponibilidad de nutrientes que serán aprovechados por la vegetación (FAO, 2021).

Así mismo, algunos organismos son considerados indicadores biológicos, porque permiten monitorear el equilibrio y calidad del medio edáfico en base a la sensibilidad ante los

cambios de uso de suelo o a las practicas manejo intensivas (Wink *et al.*, 2005; Rousseau *et al.*, 2013; Ramírez *et al.*, 2014).

Los organismos edáficos son importantes para lograr descomponer la materia orgánica presente en el suelo, logrando el enriquecimiento y la modificación de las propiedades físicas y químicas, esto sucede cuando convierten dicha materia para conseguir los nutrientes necesarios para su desarrollo; sin estos, el suelo tardaría muchos años para lograr su formación (Pereira *et al.*, 2011).

Brown *et al.* (2001) clasifican a los organismos del suelo según su tamaño, reconociéndolos como:

- Microfauna: organismos con tamaño menor a 20 micrómetros, invisibles al ojo humano. Son los que completan la degradación de la materia orgánica presente en el suelo y la convierten en nutrientes para las plantas, realizando un proceso de transformación de los elementos químicos e interviniendo en los ciclos biogeoquímicos. Dentro de este grupo se encuentran presentes hongos, bacterias, protozoos y algas (Bonilla *et al.*, 2002).
- Mesofauna: organismos con tamaños que oscilan entre 20 milímetros y 20 micrómetros. Estos están constituidos por pequeños invertebrados como son los artrópodos, nemátodos, anélidos, moluscos, etc. (Jordán, 2005).
- Macrofauna: organismos que se encargan de la descomposición de la materia orgánica, reduciendo su tamaño y volumen. De esta manera, preparan la materia para que los microorganismos sigan el proceso de descomposición; así mismo, ayudan a la ventilación de los suelos y fomentan interacciones entre los componentes biológicos, físicos y químicos (Correira y Oliveira, 2000).

1.2.6. Composición de la macrofauna

La macrofauna del suelo está conformada por organismos que pasan la mayor parte de su vida en el suelo, incluyendo a los invertebrados con una longitud igual o superior a 10 mm y con un diámetro mayor a 2 mm; por lo que pueden ser distinguidos con facilidad; además, dentro de este grupo de invertebrados se pueden incluir a las lombrices, termitas, hormigas, escarabajos, cucarachas, cochinillas, milpiés, entre otros, siendo los escarabajos los más diversos, las termitas y hormigas las más abundantes, mientras que las lombrices son superiores en biomasa (Brown *et al.*, 2001).

1.2.7. Hábitat de la macrofauna

Según Bonilla *et al.* (2002), los macroinvertebrados se encuentran en tres niveles dentro del perfil del suelo:

- Nivel superficial (00 -10 cm): suelen tener gran movilidad y viven en la hojarasca hasta 5 cm del suelo; estos se alimentan de materia vegetal y animal.
- Nivel superficial (10 -20 cm): presentan una coloración gris café oscuro. Se alimentan de materia orgánica proveniente de la superficie del suelo y de los restos minerales.
- Nivel inferior (más de 20 cm): presentan una coloración pálida y viven en estas profundidades debido a la luz solar; pero en la noche salen a la superficie para alimentarse de la materia orgánica existente.

1.2.8. Función ecológica de la macrofauna

La función ecológica que desempeña la macrofauna se relaciona con ciertas propiedades del suelo, siendo una de las características su gran diversidad, rápido repoblamiento, además, pueden ser distinguidos con facilidad y eso hace posible su identificación y manipulación en el campo y la frecuencia con la que se encuentran puede considerarse un indicador biológico. (Cabrera, 2012).

La macrofauna del suelo es responsable de los servicios ecosistémicos como: fragmentación y descomposición de la materia orgánica, ciclado de nutrientes (por medio del transporte,

trituration y digestión de restos vegetales), intervienen en la porosidad y la estructura del suelo (al cavar e ingerir materia orgánica y mineral), regulan el ciclo hidrológico y actúan como controladores biológicos; estos procesos mejoran las propiedades del suelo, garantizando la fertilidad y sobre todo la calidad en los diferentes sistemas de uso (Swift *et al.*, 2012).

1.2.9. Lombrices

Las lombrices, al igual que todos los organismos están ligados al ambiente donde se desarrollan. Para incrementar su densidad poblacional requieren que la humedad, temperatura y la disponibilidad de alimentos sean las óptimas (Sellés *et al.*, 2006). Además, tienen la función principal de fragmentar y promover la descomposición de la hojarasca, generando abundantes excretas con buena composición fisicoquímica; asimismo, a través de la ingestión y transporte de suelo construyen madrigueras que permiten la porosidad, oxigenación e infiltración del agua (Brown *et al.*, 2001). Son consideradas como ingenieras del ecosistema por los servicios ambientales que realizan, entre los cuales se encuentran el control biológico, descomposición de la materia orgánica, formación y agregación del suelo; además, son consideradas indicadores biológicos, pues se relacionan con las condiciones ambientales como fertilidad del suelo y la susceptibilidad a la perturbación y contaminación del hábitat (Brown y Domínguez, 2010).

Las lombrices de tierra son macroinvertebrados capaces de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo y su continua actividad favorece la circulación del agua y oxígeno (Cabrera y Crespo, 2001); estos organismos desarrollan un papel fundamental en la formación del suelo, son capaces de acelerar la descomposición de la materia orgánica y el reciclado de nutrientes (Domínguez *et al.*, 2009). La presencia de lombrices ayuda a mantener la fertilidad del suelo, permite optimizar el ciclo del nitrógeno haciendo posible el crecimiento extensivo de las raíces; también, estimulan la actividad de diversos organismos benéficos para el suelo mediante la fragmentación de la materia orgánica (Edwards, 2004).

Clasificación taxonómica

James y Davidson (2012) clasifican a las lombrices en 11 familias, entre las cuales se mencionan a las familias Almidae, Biwadrilidae, Eudrilidae, Glossoscolecidae, Komarekionidae, Kynotidae, Microchaetidae, Rhinodrilidae, Sparganophilidae, Tritogeniidae y Tumakidae.

La familia Rhinodrilidae está dividida en géneros como:

- *Aicodrilus* Righi, *Alexidrilus* Righi, *Andiodrilus* Michaelsen, *Andiorrhinus cognetti*, *Andioscólex* Michaelsen, *Anteoides cognetti*, *Anteus* Perrier, *Aptodrilus cognetti*, *Atatina* Righi, *Aymara* Michaelsen, *Botarodrilus* Zicsi, *Bribri* Righi, *Chibui* Righi & Guerra, *Cirodrilus* Righi, *Diachaeta* Benham, *Estherella* Gates, *Eudevoscolex* Cordero, *Goiascolex* Righi, *Hexaquiloscolex* Zicsi & Csuzdi, *Inkadrilus* Michaelsen, *Irewiae* Dranchenburg, *Langioscolex* Zicsi, *Martiodrilus* Michaelsen, *Meroscolex* Cernovitov, *Nouraguesia* Csuzdi & Pavlicek, *Onoreodrilus* Rosa, *Onychochaeta* Beddard, *Opisthodrilus* Rosa, *Periscolex cognetti*, *Perolofius* Righi & Nemeth, *Pontoscolex* Schamarda, *Pseudochibui* Drachenberg, *Quimbaya* Michaelsen, *Randrilus* Moreno & Pérez Santos, *Rinodrilus* Perrier, *Tairona* Righi, *Tamayodrilus* Zicsi, *Puerta thamnodriloides*, *Thamnodrilus* Beddard, *Tuiba* Righi, Ayres & Bittencourt, *Urobena* Benham, *Zongodrilus* Righi.

Dentro del género *A. cognetti* encontramos a las especies:

- *Aptodrilus botari* Zicsi & Csuzdi, *Aptodrilus chilesensis* Zicsi, *Aptodrilus excelsus cognetti*, *A. fuhrmanni* Michaelsen (Figura 1), *Aptodrilus griseus* Zicsi, *Aptodrilus lacteus* Zicsi, *Aptodrilus loksai* Zicsi, *Aptodrilus ohansi* Michaelsen, *Aptodrilus ruvidus cognetti*, *Aptodrilus salatheii* Michaelsen, *Aptodrilus tandajapaensis* Zicsi, *Aptodrilus uncinatus* Michaelsen.

Figura 1

Especie Aptodrilus fuhrmani



Nota. Elaborado por Guzmán (2020).

1.2.10. Termitas

Las termitas, son consideradas como ingenieros del ecosistemas debido a su importancia dentro de los macroinvertebrados terrestres para ayudar a un adecuado funcionamiento de los bosques tropicales, posibilitando la mejor circulación de los nutrientes para los organismos, mantienen la integridad y rol funcional de los ecosistemas terrestres, debido a que modifican la estructura y composición del suelo; pero, sus comunidades suelen verse afectadas por algún tipo de modificación o cambio de uso de suelo y su disminución podría perturbar los suministros de carbono, produciendo cambios en el ciclado de nutrientes y en la población de microorganismos, que pueden ocasionar como resultado de la degradación del suelo y con esto, los cambios en su biodiversidad (Elias, 2021).

Las termitas son reconocidas por su intervención en la descomposición de la materia orgánica, estas son encontradas en la hojarasca y en troncos en proceso de descomposición. Para construir sus nidos, las termitas transportan grandes cantidades de materia orgánica

contribuyendo en el ciclado de nutrientes, además de potenciar la actividad de la microfauna edáfica (Cabrera, 2012).

Las termitas, al igual que las lombrices, son consideradas las más importantes dentro de los invertebrados terrestres, porque posibilitan la circulación de los nutrientes, son organismos necesarios para mantener la integridad y rol funcional de los ecosistemas terrestres, debido a que modifican la estructura y composición del suelo; pero, sus comunidades suelen verse afectadas por algún tipo de modificación o cambio de uso de suelo y su disminución podría perturbar los suministros de carbono, teniendo como resultado la degradación del suelo y con esto, los cambio en la biodiversidad (Junqueira *et al.*, 2008).

Clasificación taxonómica

Beccaloni y Eggleton (2013) clasifican a las termitas en siete familias, las cuales se mencionan a continuación:

Blattidae, Cryptocercidae, Hodotermitidae, Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Termitidae y Termopsidae.

Siendo la familia Rhinotermitidae compuesta por los géneros *Heterotermes* Frogatt y *Reticulitermes* Holmgren.

Canello y Mylles (2000) clasifican al género *Reticulitermes* en las siguientes especies:

Reticulitermes arenisca Goellner, *Reticulitermes flavipes* Kollar, *R. hageni* Banks en Banks & Snyder (Figura 2), *Reticulitermes hesperus* Banks en Banks & Snyder, *Reticulitermes tibialis* Banks en Banks & Snyder y *Reticulitermes virginicus* Bancos.

Figura 2

Especie *R. hageni*



Nota. Elaborado por Guzmán (2020).

1.2.11. Plantación forestal

Según la Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763 (2011), son ecosistemas forestales constituidos por la intervención humana mediante la instalación de una o más especies forestales; pueden ser nativas o introducidas. Tienen como fin la reproducción de madera u otros fines como protección, restauración ecológica, recreación, provisión de servicios ambientales o cualquier combinación de las anteriores.

Gonzales (2010) precisa que las plantaciones forestales traen consigo a la industria forestal, bioenergía, servicios ambientales como la captura de carbono, ecoturismo, conservación de suelo, recuperación de ecosistemas, entre otros. Paudyal *et al.* (2020) indican que las plantaciones forestales pueden ser benéficas para el medio ambiente, ya que alivian la presión de las industrias sobre los bosques naturales, se aprovechan las tierras degradadas y se genera desarrollo social-económico.

1.2.12. *Corymbia torelliana* (*E. torelliana*)

Los *Eucalyptus* son procedentes de Australia y su capacidad para poder habitar en los suelos pobres o sin vegetación es lo que hace a esta especie muy querida en la siembra o en la instalación de plantaciones forestales en lugares diferentes al de su procedencia. El *Eucalyptus* tiene la capacidad para producir hojas en abundancia, por lo que, si se destruye la parte aérea de la planta, puede producir brotes más fuertes que los iniciales, debido a que su lignotubérculo se desarrolla generalmente desde una edad muy temprana (FAO, 1981).

La especie *C. torelliana* crece en suelos franco arenosos o suelos francos de origen volcánico, exigiendo suelos con buen drenaje y adecuada humedad; presenta mejor desarrollo en zonas lluviosas. Esta especie es posiblemente la que cuenta con la copa más densa y su sombra permite que elimine mayor parte o todo el sotobosque existente dentro de las plantaciones. Esta especie ha sido sembrada en muchas partes del mundo, dando buenos resultados con lo que respecta a su adaptación, desarrollo y resistencia ante las inclemencias climáticas (Hodel, 2012).

Carimentrad *et al.* (2002) menciona que los principales efectos negativos del género *Eucalyptus* son la pérdida de agua por su transpiración, el cambio de pH, agotamiento de nutrientes y cambios en la biología del suelo, eliminación de especies nativas y la monotonía del paisaje.

1.2.13. Tipos de bosque

Bosque primario

Los bosques primarios son grandes extensiones de árboles compuestas por especies nativas, en el cual las actividades humanas no han tenido influencia y los procesos ecológicos no están alterados, mantienen sus composiciones naturales de especies arbóreas, troncos en estado de descomposición, procesos de regeneración natural y conservación de sus características iniciales (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2010).

Según el Decreto supremo N° 020 (2015), un bosque primario es un bosque natural que ha sido capaz y es capaz de evolucionar en el tiempo por sí mismo, este se caracteriza principalmente por presentar árboles nativos adultos, donde no hay evidencia de alguna actividad humana, tampoco existe alteración significativa de sus procesos ecológicos y tiene la capacidad de albergar una gran diversidad de fauna.

Bosque secundario

Es aquel bosque de carácter sucesional que se desarrollan sobre los suelos que originalmente han sido destruidos por actividades humanas. Su recuperación va a depender, en su mayoría, por la duración y la intensidad de su uso anterior, así como de la descomposición de semillas para su repoblación (Chokkalingam y de Jong, 2001).

Bosque protector

Son aquellas plantaciones que han sido establecidas en áreas con fines de recuperación de la cobertura forestal de suelos y hábitats críticos, además de la conservación de cuencas y fuentes de agua, así lo define la Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763 (2015).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La investigación tuvo un alcance descriptivo, es decir, se describieron las propiedades fisicoquímicas de las muestras del suelo extraídas del bosque primario y de la parcela de *C. torelliana* y se calculó la densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y *R. hageni*. Cazau (2006) menciona que este tipo de investigación descriptiva consiste en recopilar los datos, organizarlos y describirlos.

El estudio fue de diseño no experimental, no se manipularon las variables del estudio, solo se basó en extraer la información tal y como se encontró en su contexto natural para posteriormente analizarlas (Hernández *et al.*, 2014). Además, la investigación fue de tipo correlacional debido a que se conoció el grado de asociación entre las propiedades fisicoquímicas y la densidad poblacional de macroinvertebrados recolectados. Abreu (2012) define a la investigación correlacional como aquella que mide la relación existente entre dos o más variables en una situación determinada.

2.2. Lugar y fecha

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Soritor, departamento de San Martín. Soritor tiene una temperatura que varía entre 18 a 28 °C y presenta una precipitación desde 500 a 4 000 mm, clasificándose así, como un bosque húmedo premontano tropical. Presenta un suelo llano en la zona urbana y accidentado en la zona rural, debido a que se encuentra rodeado de cerros cubiertos de vegetación (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2000).

El ámbito de estudio donde se establecieron las dos parcelas (Tabla 1), una con plantación de *C. torelliana* de 6 años de edad cuyo propietario es el señor Wilbert Duárez Contreras, y dos hectáreas de bosque primario, propiedad del señor Heyden Gúzman Padilla, estuvieron ubicadas en la margen izquierda de la carretera que conduce al distrito de Soritor (Figura 3).

Los valores de densidad poblacional de las especies y las propiedades físico - químicas del suelo que han sido obtenidas del bosque primario, sirvieron como testigo para evaluar si la presencia de la especie *C. torelliana* tiene algún efecto en la densidad poblacional de las especies *A. fuhrmani* y *R. Hageni*.

El trabajo de investigación tuvo una duración de 12 meses, iniciando el 20 de agosto del 2020 hasta el 31 de agosto del 2021.

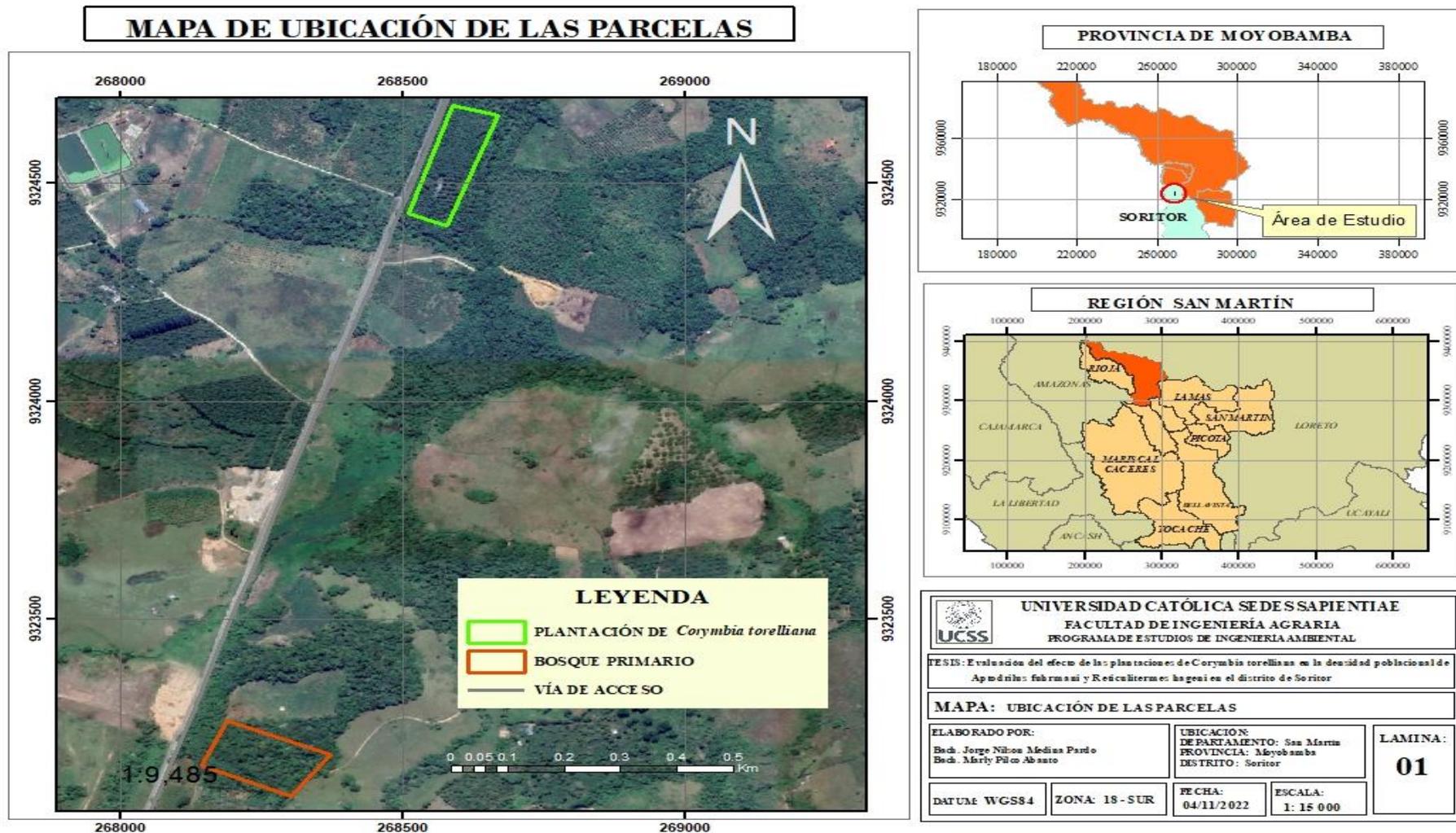
Tabla 1

Ubicación de las parcelas de estudio

Parcelas	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m)
	E	N	
Bosque primario	268189	9323264	873
	268373	9323189	876
	268300	9323093	874
	268142	9323162	874
	268587	9324680	862
<i>C. torelliana</i>	268668	9324653	863
	268577	9324406	859
	268507	9324432	860

Figura 3

Mapa de ubicación de las parcelas de estudio



2.3. Población y muestra

La población estuvo conformada por las especies *A. fuhrmanni* y *R. hageni* presentes en el suelo de la plantación de *C. torelliana* y el bosque primario, en el distrito de Soritor.

La muestra estuvo formada por las especies *A. fuhrmanni* y *R. hageni* registradas en los monolitos de las áreas seleccionadas (*C. torelliana* y bosque primario).

2.4. Técnicas e instrumentos

a. Técnicas

Observación directa, Baena (2017) indica que “la observación directa es aquella donde el mismo investigador procede a la recopilación de la información; sin dirigirse a los sujetos involucrados; recurre directamente a su sentido de observación” (p.72).

Muestreo de suelo en zig zag, considerado como el más práctico y sencillo de aplicar (Mendoza y Espinoza, 2017).

b. Instrumentos

Ficha de recolección de datos: permitió registrar el número de macroinvertebrados en cada monolito y tipo de parcela (ver Apéndice 10).

2.5. Descripción de la investigación

Durante la investigación se realizó la colecta de macroinvertebrados y la obtención de las muestras de suelo para evaluar las propiedades fisicoquímicas; los procedimientos fueron divididos por etapas, entre las cuales se mencionan a la etapa preliminar, etapa de campo y etapa de gabinete (Quinto, 2016), las cuales se detallan a continuación:

a. Etapa preliminar

- Se formalizó el permiso con los señores Wilbert Duárez Contreras y Heyden Guzmán Padilla, propietarios de las parcelas con plantaciones de *C. torelliana* y bosque primario.
- Se realizó el reconocimiento del área de estudio y se trazó el camino para el ingreso a la plantación de *C. torelliana* y al bosque primario; además se elaboró los mapas y croquis de los transectos de muestreo.
- Se adquirió los equipos que fueron utilizados en la etapa de campo, los cuales son palana, cinta métrica, plástico, GPS, bastidor de madera, machete, envases de plástico, entre otros.
- Se realizó un ensayo sobre como extraer las muestras de suelo y el procedimiento para la obtención y el conteo de macroinvertebrados siguiendo la guía propuesta por el programa TSBF.

b. Etapa de campo

Muestreo de suelo

En esta fase se realizó el muestreo de suelo, que consistió en construir calicatas en las parcelas de estudio (Figuras 4 y 5), cada una de 30 cm de profundidad de las cuales se recolectó 1 kg de suelo por muestra; los puntos para el muestreo fueron ubicados en zig zag (Quinto, 2016; Bazán, 2017). Luego de extraer las muestras, estas se trasladaron al laboratorio de suelo del Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM) para el análisis de las propiedades fisicoquímicas. La ubicación (en coordenadas) de los puntos de muestreo se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2

Ubicación de los puntos de muestreo de suelo

Puntos de muestreo	Ítems	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m.)
		E	N	
Bosque primario	PMB 1	268183	9323191	875
	PMB 2	268212	9323220	875
	PMB 3	268214	9323192	876
	PMB 4	268218	9323152	877
	PMB 5	268247	9323175	877
	PMB 6	268275	9323195	878
	PMB 7	268276	9323165	878
	PMB 8	268279	9323131	877
	PMB 9	268310	9323155	877
	PMB 10	268334	9323176	877
<i>C. torelliana</i>	PMC 1	268628	9324649	863
	PMC 2	268592	9324637	864
	PMC 3	268606	9324613	864
	PMC 4	268623	9324580	865
	PMC 5	268594	9324569	864
	PMC 6	268562	9324558	864
	PMC 7	268579	9324517	863
	PMC 8	268593	9324483	862
	PMC 9	268565	9324467	861
	PMC 10	268532	9324447	860

Figura 4

Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, Bosque primario



Figura 5

Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, *C. torelliana*



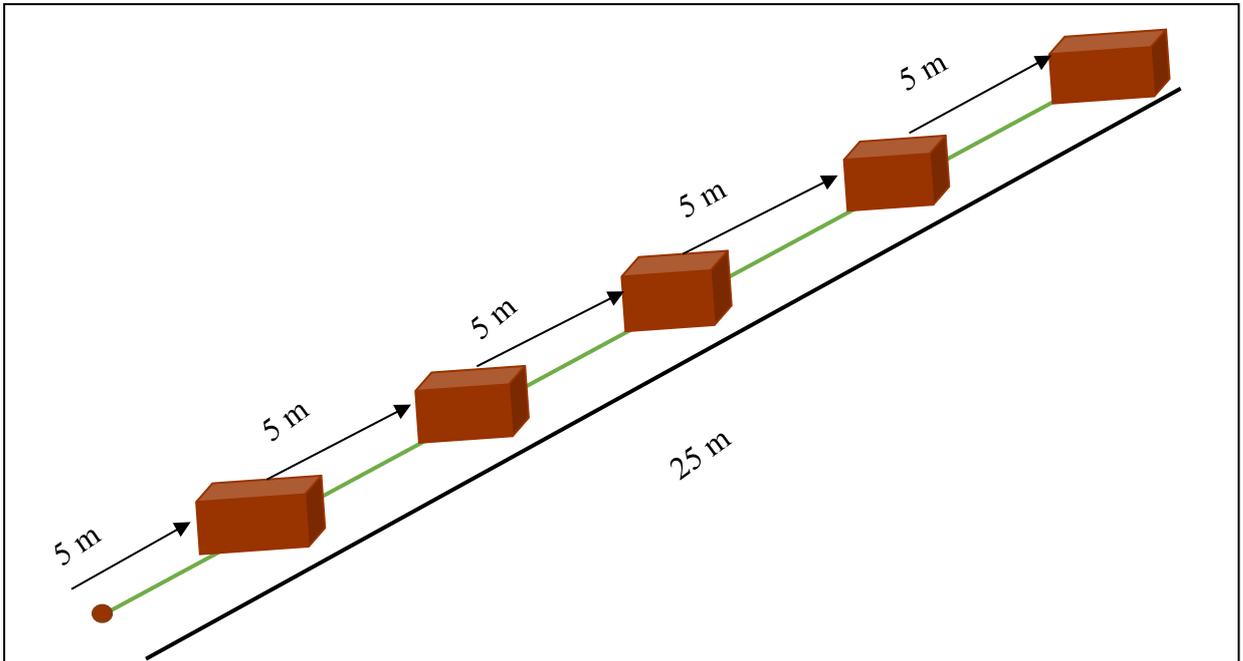
Muestreo de macroinvertebrados

Para la colecta de macroinvertebrados se utilizó la metodología propuesta por el programa Tropical Soil Biology and Fertility [TSBF] (Anderson y Ingram, 1994), que consistió en:

- a. Medir un transecto lineal de 25 m de largo y ubicar cinco puntos a lo largo de este (Figura 6).

Figura 6

Ubicación de los puntos de muestreo a lo largo del transecto



- b. Aislar el monolito cortando un espacio fuera del cuadrante en forma de “L” con dimensiones de 20 cm de ancho y 30 cm de profundidad (Figura 7).

Figura 7

Monolito aislado



c. Con ayuda del bastidor de madera y una wincha se dividieron los estratos, cada uno de 10 cm de profundidad (Figura 8 y 9).

Figura 8

Uso de bastidor y cinta métrica en la división de estratos



Figura 9

División del monolito por estratos



- d. Remover las tres capas de suelo de 10 cm cada una y depositarlas en plásticos de color blanco de 1 m² (Figura 10).

Figura 10

Estrato removido



- e. Colectar los macroinvertebrados y depositarlos en envases de plástico (Figura 11 y 12).

Figura 11

Colecta de macroinvertebrados



Figura 12

Macroinvertebrados depositados en envases de plástico



f. Ubicación de transectos y monolitos (Figura 13 y 14)

Figura 23

Ubicación de los transectos y monolitos en el bosque primario

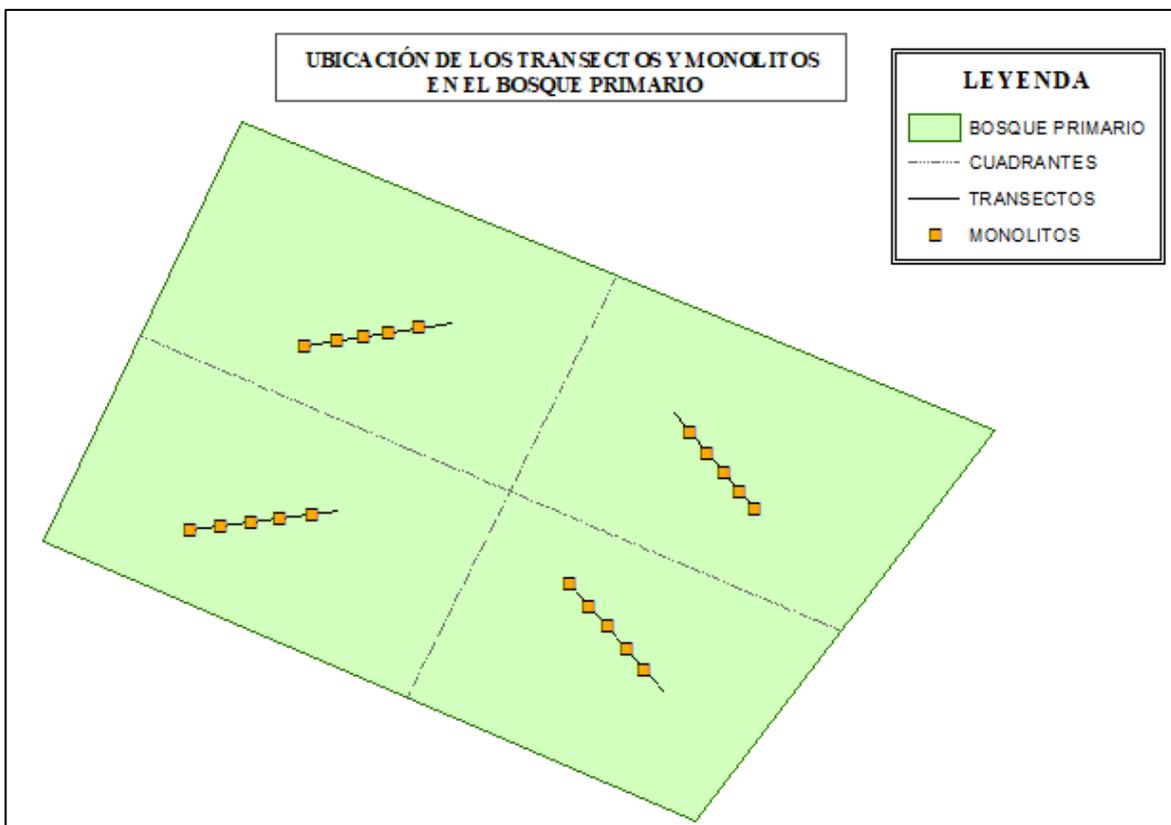
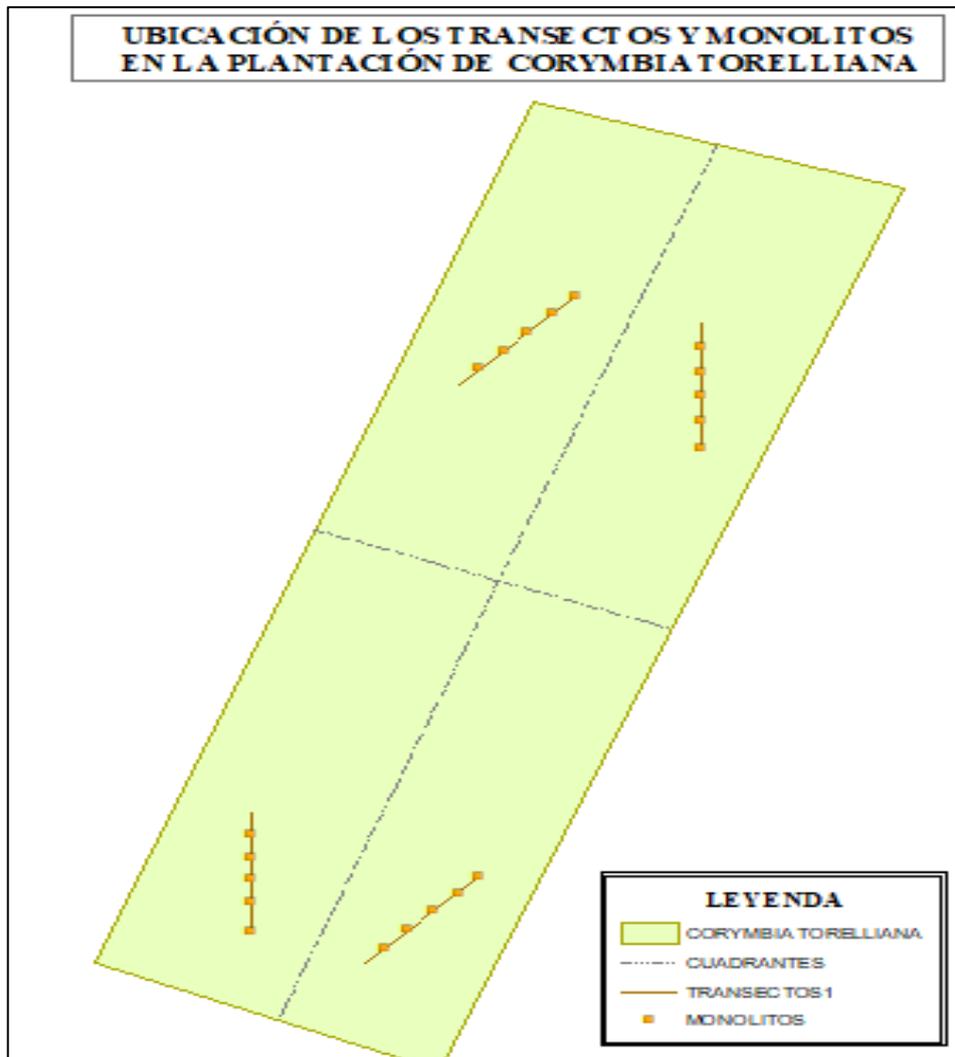


Figura 34

Ubicación de los transectos y monolitos en la plantación de C. torelliana



Identificación de especies

Se realizó una colecta de lombrices y termitas en ambas parcelas los cuales fueron divididos en cuatro muestras (2 muestras de termitas y 2 muestras de lombrices). Una muestra de lombrices y termitas fueron agregadas en solución de alcohol al 70 % y puestos en envases de vidrio debidamente sellados, las dos muestras restantes fueron agregados en suelo extraído de las mismas parcelas y también fueron selladas para finalmente ser enviadas al laboratorio de la Asociación Científica para la Conservación de la Biodiversidad para su respectiva identificación (ver Apéndice 1 y 2).

Muestreo para la densidad aparente

Se utilizó el método del cilindro de volumen conocido, el cual consistió en excavar una calicata de un metro de profundidad, se dividió en tres estratos de 30 cm cada uno y se introdujo 3 cilindros por cada área delimitada. Las muestras extraídas fueron pesadas e introducidas en sobres manilas para ser transportadas al laboratorio de la Universidad Católica Sedes Sapientiae para ser secada (ver Apéndices 4 y 5).

Etapa de laboratorio

En esta etapa se analizó las características fisicoquímicas de las muestras de suelo recolectadas en la etapa de campo, se consideraron todas las variables propuestas en el estudio. El análisis del suelo se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio del Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM).

Para determinar los valores de las distintas variables se consideró algunas técnicas, las cuales se mencionan en la Tabla 3.

Tabla 3

Metodologías para la determinación de las variables

Variable	Metodología empleada
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos
pH	Potenciómetro en suspensión suelo: agua
Conductividad eléctrica	Extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1
Carbonatos	Gasovolumétrico con Calcímetro de Bernard
Materia orgánica	Walkley y Black
Nitrógeno	Micro Kjeldahl
Fósforo	Olsen Modificado
Capacidad de Intercambio Catiónico	Suma de bases intercambiables
Sodio y Potasio	Fotometría de Llama
Calcio y Magnesio	Versenato E.D.T.A
Aluminio cambiante	Yuan, extracción con KCl 1N

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de análisis de suelo, caracterización.

La densidad aparente se determinó mediante el método del cilindro de volumen conocido, siendo uno de los procedimientos para la determinación de esta propiedad física, el uso de la estufa de laboratorio para el secado de las muestras de suelo extraídas de la plantación de *C. torelliana* y bosque primario, las cuales fueron sometidas a 105 °C durante 24 h, después fueron pesadas y los datos que se obtuvieron fueron registrados y haciendo uso de la fórmula $da = P_{ss}/V_t$, se calculó la densidad aparente. Este procedimiento se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de ciencias de la Universidad Católica Sedes Sapientiae (ver Apéndice 3).

Etapa de gabinete

En la etapa de gabinete se realizó las tabulaciones y el procesamiento de los datos obtenidos en campo y laboratorio haciendo uso del programa Excel y R estudio, donde se aplicó la prueba estadística de coeficiente de correlación de Pearson con la finalidad de evaluar el efecto de las plantaciones de *C. torelliana* y bosque primario en la densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y *R. hageni*, en el distrito de Soritor. Se ha considerado el análisis de correlación de Pearson por la naturaleza de los datos, que son cuantitativos continuos (Hernández *et al.*, 2018).

Al respecto Hernández *et al.* (2014) indican que el coeficiente de correlación de Pearson varía de -1 a +1, donde:

- 1.00 = correlación negativa perfecta.
- 0.90 = Correlación negativa muy fuerte.
- 0.75 = Correlación negativa considerable.
- 0.50 = Correlación negativa media.
- 0.25 = Correlación negativa débil.
- 0.10 = Correlación negativa muy débil.
- 0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.
- +0.10 = Correlación positiva muy débil.
- +0.25 = Correlación positiva débil.
- +0.50 = Correlación positiva media.
- +0.75 = Correlación positiva considerable.

+0.90 = Correlación positiva muy fuerte.

+1.00 = Correlación positiva perfecta.

2.6. Identificación de las variables y su mensuración

Tabla 4

Variables y su mensuración

Variables	Indicadores	Metodología Empleada	Mensuración	
Suelo de plantaciones de <i>C. torelliana</i>: Suelo que se caracteriza por tener un pH ácido y una textura arcillosa arenosa (Stanturf <i>et al.</i> , 2013; Rockwood <i>et al.</i> , 2022)	Arena	Hidrómetro de Bouyoucos	%	
	Arcilla	Hidrómetro de Bouyoucos	%	
	Limo	Hidrómetro de Bouyoucos	%	
	Clase textural	Triángulo textural	Arcilloso, franco-arcilloso, franco, franco-limoso, Arenoso	
	Materia orgánica	Walkley y Black	%	
	Densidad aparente	Cilindro de volumen conocido	g/cm ³	
	pH	Potenciómetro en suspensión suelo: agua	1: 1	
	Conductividad eléctrica	Extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1	dS/m	
	Suelo de bosque primario: Superficie sólida donde acumula agua, aire, materia orgánica, nutrientes y diversidad de organismos (Escolástico <i>et al.</i> , 2013).	Nitrógeno	Micro Kjeldahl	%
		Fósforo	Olsen modificado	ppm
Potasio		Fotometría de llama	ppm	
CIC		Suma de bases intercambiables	mEq/100 g de suelo	
Calcio		Versenato E.D.T. A	mEq/100 g de suelo	
Magnesio		Versenato E.D.T. A	mEq/100 g de suelo	
Sodio		Fotometría de llama	mEq/100 g de suelo	
Aluminio		Yuan, extracción con KCl 1N	mEq/100 g de suelo	
Población de <i>A. fuhrmanni</i>: Conjunto de individuos de <i>A. fuhrmanni</i> (Morlans, 2004).		N° de individuos de <i>A. fuhrmanni</i>	N° de individuos / área del monolito	ind/m ²
				ind/ha
Población de <i>R. hageni</i>: Conceptualización: Conjunto de individuos de <i>R. hageni</i> (Morlans, 2004).	N° de individuos de <i>R. hageni</i>	N° de individuos / área del monolito	ind/m ²	
			ind/ha	

2.7. Análisis estadístico de datos

La data se ordenó en Microsoft Excel 2019, se realizó los cálculos de la densidad poblacional de las especies *A. fuhrmanni* y *R. hageni*, además de la densidad aparente del suelo. Para la determinación del grado de asociación entre la densidad poblacional y las variables fisicoquímicas del suelo se utilizó el programa R estudio (ver Apéndices 6, 7, 8 y 9).

2.8. Materiales

- GPS
- Cámara fotográfica
- Calculadora científica
- Balanza digital
- Palana y machete
- Bastidor de madera
- Bolsas plásticas transparentes
- Cinta métrica
- Rafia y estacas
- Bolsas de papel
- Libreta de campo
- Taper de polietileno
- Etiquetas y bolígrafo

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Propiedades fisicoquímicas del suelo

3.1.1. Propiedades físicas del suelo

Propiedades físicas del suelo de bosque primario

Los resultados de las propiedades físicas del suelo (Tabla 5) obtenidos de las 10 muestras indican que la arena tuvo un valor de 47,69 %, la arcilla 21,25 %, el limo 31,06 % y la materia orgánica registró un valor de 0,77 %. Asimismo, la clase textural indica que el suelo del bosque primario es un suelo franco.

Tabla 5

Análisis físico del suelo de bosque primario

N°	Clave de laboratorio	Tipo de cultivo	Procedencia	Análisis Físico			Clase textural	Materia orgánica (% de MO total)
				Textura				
				Arena %	Arcilla %	Limo %		
1	ASC20-0170	Bosque primario	BP-001	51,72	17,32	30,96	Franco / Franco Arenoso	0,750
2	ASC20-0171	Bosque primario	BP-002	45,84	23,16	31	Franco	0,787
3	ASC20-0172	Bosque primario	BP-003	47,52	23,24	29,24	Franco / Franco Arcillo Arenoso	0,760
4	ASC20-0173	Bosque primario	BP-004	45,68	21,28	33,04	Franco	0,784
5	ASC20-0174	Bosque primario	BP-005	48,36	20,74	32,38	Franco	0,753

Continuación

6	ASC20-0175	Bosque primario	BP- 006	49,84	23,46	29,42	Franco	0,786
7	ASC20-0176	Bosque primario	BP- 007	44,8	19,57	31,53	Franco	0,761
8	ASC20-0177	Bosque primario	BP- 008	50,66	21,58	30,03	Franco	0,772
9	ASC20-0178	Bosque primario	BP- 009	46,59	19,81	32,76	Franco	0,764
10	ASC20-0179	Bosque primario	BP- 010	45,89	22,34	30,24	Franco	0,781
Promedio				47,690	21,250	31,060	Franco	0,770

Densidad aparente del suelo del bosque primario

En la Tabla 6 se aprecia el promedio por estrato de la densidad aparente en el suelo de bosque primario, cuyos valores son de 0,937, 1,279 y 1,439 g/cm³, respectivamente, en la calicata N° 1.

Tabla 6

Densidad aparente en muestras de suelo de bosque primario - calicata N° 1

Bosque Primario							
Muestras		1	Densidad 1 g/cm ³	2	Densidad 2 g/cm ³	3	Densidad 3 g/cm ³
00-30 cm	Suelo húmedo	110	0,842	120	0,883	141	1,086
	Suelo seco	83		87		107	
30-60 cm	Suelo húmedo	156	1,248	158	1,259	163	1,33
	Suelo seco	123		124		131	
60-90 cm	Suelo húmedo	169	1,37	168	1,472	170	1,476
	Suelo seco	135		145		145,4	

En la Tabla 7 se observa el promedio por estrato de la densidad aparente en el suelo de bosque primario, cuyos valores son 0,987, 1,295 y 1,462 g/cm³, respectivamente, en la calicata N° 2.

Tabla 7*Densidad aparente en muestras de suelo de bosque primario - calicata N° 2*

Bosque Primario							
Muestras		1	Densidad 1 g/cm ³	2	Densidad 2 g/cm ³	3	Densidad 3 g/cm ³
00-30 cm	Suelo húmedo	112	0,856	118	0,879	138	0,987
	Suelo seco	84,3		86,6		97,2	
30-60 cm	Suelo húmedo	154	1,153	155	1,237	165	1,295
	Suelo seco	113,6		121,9		127,6	
60-90 cm	Suelo húmedo	167	1,344	169	1,466	170	1,462
	Suelo seco	132,4		144,4		144	

Propiedades físicas del suelo de la plantación de *C. torelliana*

En la Tabla 8, los porcentajes de arena, arcilla y limo en la plantación de *C. torelliana* son de 49,44, 24,19 y 26,37 %, respectivamente, y referente a la clase textural se aprecia que es un suelo Franco arcillo arenoso. El promedio de materia orgánica es de 0,78 %.

Tabla 8*Análisis físico del suelo de la plantación de *C. torelliana**

N°	Clave de laboratorio	Tipo de cultivo	Procedencia	Análisis Físico			Clase textural	Materia orgánica (% de MO total)
				Textura				
				Arena %	Arcilla %	Limo %		
1	ASC20 - 0180	<i>C. torelliana</i>	CT- 001	45,44	31,24	23,32	Franco Arcillo Arenoso	0,775
2	ASC20 - 0181	<i>C. torelliana</i>	CT- 002	59,52	21,2	19,28	Franco Arcillo Arenoso	0,770
3	ASC20 - 0182	<i>C. torelliana</i>	CT- 003	47,4	27,16	25,44	Franco Arcillo Arenoso	0,778
4	ASC20 - 0183	<i>C. torelliana</i>	CT- 004	45,4	17,16	37,44	Franco	0,797
5	ASC20 - 0184	<i>C. torelliana</i>	CT- 005	46,32	24,25	25,37	Franco arcillo arenoso	0,772
6	ASC20 - 0185	<i>C. torelliana</i>	CT- 006	48,51	30,45	22,26	Franco arcillo arenoso	0,791

Continuación

7	ASC20 - 0186	<i>C. torelliana</i>	CT- 007	45,76	18,48	34,39	Franco	0,773
8	ASC20 - 0187	<i>C. torelliana</i>	CT- 008	57,59	17,93	20,24	Franco arenoso	0,781
9	ASC20 - 0188	<i>C. torelliana</i>	CT- 009	49,8	26,68	30,19	Franco arcillo arenoso/franco	0,774
10	ASC20 - 0189	<i>C. torelliana</i>	CT- 010	48,66	27,35	25,77	Franco arcillo arenoso	0,785
	Promedio			49,44	24,19	26,37	Franco arcillo arenoso	0,780

Densidad aparente de suelo de *C. torelliana*

La Tabla 9 presenta el promedio de densidad aparente por estrato en el suelo de la plantación de *C. torelliana* y los valores son 1,216, 1,315 y 1,382 g/cm³, respectivamente, en la calicata N° 1.

Tabla 9*Densidad aparente en muestras de suelo de plantación de *C. torelliana* - calicata N° 1*

		Plantación de <i>C. torelliana</i>					
Muestras		1	Densidad 1	2	Densidad 2	3	Densidad 3
			g/cm ³		g/cm ³		g/cm ³
00-30 cm	Suelo húmedo	118	0,954	157	1,324	163	1,370
	Suelo seco	94		130,4		135	
30-60 cm	Suelo húmedo	169	1,425	166	1,269	158	1,253
	Suelo seco	140,4		125		123,4	
60-90 cm	Suelo húmedo	170	1,462	157	1,384	162	1,299
	Suelo seco	144		136,4		128	

La Tabla 10 presenta el promedio de densidad aparente por estrato en el suelo de la plantación de *C. torelliana* y los valores son 1,342, 1,287 y 1,359 g/cm³, respectivamente en la calicata N° 2.

Tabla 10*Densidad aparente en muestras de suelo de la plantación C. torelliana - calicata N° 2*

Plantación de C. Torelliana							
Muestras		1	Densidad 1	2	Densidad 2	3	Densidad 3
			g/cm ³		g/cm ³		g/cm ³
00-30 cm	Suelo húmedo	119	0,946	154	1,312	161	1,342
	Suelo seco	93,2		129,3		132	
30-60 cm	Suelo húmedo	170	1,378	168	1,326	160	1,287
	Suelo seco	135,7		131		126,8	
60-90 cm	Suelo húmedo	169	1,433	156	1,454	165	1,359
	Suelo seco	142,2		143,2		134	

3.1.2. Propiedades químicas del suelo**Propiedades químicas del suelo de bosque primario**

En la Tabla 11 se muestran los promedios de las propiedades químicas de las muestras de suelo de bosque primario, los cuales se detallan a continuación:

El pH registra un promedio de 4,648, la conductividad eléctrica un valor de 0,00116 dS/m, el nitrógeno registra un porcentaje de 0,039, el fósforo 9,520 ppm y el potasio 43,480 ppm. La capacidad de intercambio catiónico es de 10,145, el promedio de los valores de calcio, magnesio, sodio, potasio y aluminio son 2,2; 0,335; 0,15; 0,11 y 7,35 mEq/100 g de suelo, respectivamente.

Tabla 11*Análisis químico de las muestras de suelo de bosque primario*

Análisis Químico														
N°	Clave de laboratorio	Tipo de cultivo	Procedencia	pH 1:1	Conductividad Eléctrica dS/m	Elementos Disponibles			CIC mEq/ 100 g de suelo	Elementos Intercambiables				
						N %	P ppm	K ppm		Ca	Mg mEq/ 100 g de suelo	Na	K	Al
1	ASC20-0170	Bosque primario	BP- 001	4,8	0,001 34	0,037	6,9	40,7	14,46	3,2	0,48	0,18	0,1	10,5
2	ASC20 - 0171	Bosque primario	BP- 002	4,64	0,001 04	0,04	8,1	44,1	9,59	1,6	0,24	0,14	0,11	7,5
3	ASC20 - 0172	Bosque primario	BP- 003	4,63	0,001 26	0,038	8,4	38,7	8	2,4	0,34	0,16	0,1	5
4	ASC20 - 0173	Bosque primario	BP- 004	4,52	0,000 98	0,04	14,7	50,4	8,53	1,6	0,28	0,12	0,13	6,4
5	ASC20 - 0174	Bosque primario	BP- 005	4,61	0,001 27	0,035	7,4	42,6	9,74	2,7	0,32	0,13	0,12	7,2
6	ASC20 - 0175	Bosque primario	BP- 006	4,72	0,001 24	0,042	9,6	47,3	10,22	1,5	0,28	0,18	0,1	5,9
7	ASC20 - 0176	Bosque primario	BP- 007	4,56	0,001 02	0,04	10,1	39,4	8,41	2,1	0,39	0,12	0,11	10,3
8	ASC20 - 0177	Bosque primario	BP- 008	4,63	0,001 15	0,038	8,3	40,9	11,98	2,4	0,35	0,16	0,13	6,8
9	ASC20 - 0178	Bosque primario	BP- 009	4,59	0,000 99	0,041	12,4	49,3	8,94	2,8	0,42	0,14	0,1	7,1
10	ASC20 - 0179	Bosque primario	BP- 010	4,78	0,001 31	0,037	9,3	41,4	11,58	1,7	0,25	0,17	0,1	6,8
		Promedio		4,648	0,001 16	0,039	9,520	43,480	10,145	2,200	0,335	0,150	0,110	7,350

Propiedades químicas en el suelo de la plantación de *C. torelliana*

En la Tabla 12 se muestran los datos del análisis químico de las muestras de suelo de la plantación de *C. torelliana*, los cuales se detallan a continuación:

El pH registra un promedio de 4,668, la conductividad eléctrica un valor promedio de 0,000 89 dS/m, el nitrógeno registra un promedio de 0,039 %, el fósforo 8,650 ppm y el potasio 39,90 ppm.

El valor promedio de la capacidad de intercambio catiónico es de 11,690, el promedio de los valores de calcio, magnesio, sodio, potasio y aluminio son 2,6; 0,375; 0,163; 0,115 y 8,180 mEq/100 g de suelo, respectivamente.

Tabla 12*Análisis químico del suelo de C. torelliana*

Análisis Químico														
N°	Clave de laboratorio	Tipo de cultivo	Procedencia	pH 1:1	conductividad Eléctrica dS/m	Elementos disponibles			CIC mEq/ 100 g de suelo	Elementos intercambiables				
						N %	P ppm	K ppm		Ca	Mg	Na	K	Al
										mEq/ 100 g de suelo				
1	ASC20 - 0180	<i>C. torelliana</i>	CT- 001	4,63	0,000 83	0,038	7,4	40,1	12,45	3,6	0,5	0,15	0,1	8,1
2	ASC20 - 0181	<i>C. torelliana</i>	CT- 002	4,58	0,001 59	0,039	9,6	34,8	10,11	1,6	0,22	0,2	0,09	8
3	ASC20 - 0182	<i>C. torelliana</i>	CT- 003	4,78	0,000 63	0,039	7,2	36,2	12,97	2,8	0,42	0,16	0,09	9,5
4	ASC20 - 0183	<i>C. torelliana</i>	CT- 004	4,68	0,000 63	0,039	10,4	48,6	11,23	2,4	0,36	0,14	0,18	7,1
5	ASC20 - 0184	<i>C. torelliana</i>	CT- 005	4,63	0,000 69	0,037	8,2	35,3	10,71	2,8	0,46	0,18	0,12	7,7
6	ASC20 - 0185	<i>C. torelliana</i>	CT- 006	4,73	0,000 67	0,038	7,3	40,5	12,63	1,9	0,39	0,15	0,1	9,2
7	ASC20 - 0186	<i>C. torelliana</i>	CT- 007	4,66	0,001 52	0,039	9,1	43,1	12,6	1,6	0,38	0,16	0,14	7,5
8	ASC20 - 0187	<i>C. torelliana</i>	CT- 008	4,71	0,000 78	0,04	9,8	38,6	10,59	3,8	0,26	0,18	0,09	8,3
9	ASC20 - 0188	<i>C. torelliana</i>	CT- 009	4,69	0,000 84	0,037	8,6	42,9	11,28	2,9	0,28	0,17	0,11	7,9
10	ASC20 - 0189	<i>C. torelliana</i>	CT- 010	4,59	0,000 75	0,039	8,9	39,2	12,33	2,6	0,48	0,14	0,13	8,5
Promedio				4,668	0,000 89	0,039	8,650	39,930	11,690	2,600	0,375	0,163	0,115	8,180

3.2. Densidad poblacional de macroinvertebrados

3.2.1. Distribución vertical de macroinvertebrados

Macroinvertebrados registrados en el bosque primario

En la Tabla 13 se muestran los datos promedios de la cantidad de individuos por estrato encontrados en el bosque en el transecto N° 1, los cuales se detallan según especie:

A. fuhrmanni

En el estrato de 00-10 cm se registró 13,4 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 1,4 individuos, mientras que en el estrato de 20-30 cm 0,2 individuos.

R. hageni

En el estrato de 00-10 cm se registró 38,6 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 28 individuos y en el estrato de 20-30 cm se registró 4,2 individuos.

Tabla 13

Individuos encontrados en el transecto 1, bosque primario

N° de transecto	Tipo de especie	Estrato	N° de individuos por monolito					Promedio por estrato
			1	2	3	4	5	
1	<i>A. fuhrmanni</i>	00-10 cm	1	4	1	29	32	13,4
		10-20 cm	1	0	0	1	5	1,4
		20-30 cm	1	0	0	0	0	0,2
		Total	3	4	1	30	37	
	<i>R. hageni</i>	00-10 cm	15	80	43	5	50	38,6
		10-20 cm	93	45	2	0	0	28
		20-30 cm	21	0	0	0	0	4,2
		Total	129	125	45	5	50	

La Tabla 14 muestra los datos promedio de la cantidad de individuos encontrados en el transecto N° 2, los cuales se indican según especie:

A. fuhrmanni

En el estrato de 00-10 cm se registró 1,2 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 0,6 individuos y en el estrato de 20-30 cm se registró 0,4 individuos.

R. hageni

En el estrato de 00-10 cm se registró 212 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 50 individuos y en el estrato de 20-30 cm se registró 4,4 individuos.

Tabla 14

Individuos encontrados en el transecto 2, bosque primario

N° de transecto	Tipo de especie	Estrato	N° de individuos por monolito					Promedio por estrato
			1	2	3	4	5	
2	<i>A. fuhrmanni</i>	00-10 cm	1	2	0	1	2	1,2
		10-20 cm	0	0	0	1	2	0,6
		20-30 cm	1	0	1	0	0	0,4
		Total	2	2	1	2	4	
	<i>R. hageni</i>	00-10 cm	4	343	170	448	95	212
		10-20 cm	23	17	33	176	1	50
		20-30 cm	2	0	5	15	0	4,4
	Total	29	360	208	639	96		

En la Tabla 15 se muestran los datos promedio de la cantidad de individuos encontrados en el transecto N° 3, los cuales se indican según especies:

A. fuhrmanni

En el estrato de 00-10 cm se registró 4,4 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 1,8 individuos y en el estrato de 20-30 cm se registró 1,8 individuos.

R. hageni

En el estrato de 00-10 cm se registró 83,2 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 20 individuos y en el estrato de 20-30 cm se registró 8,6 individuos.

Tabla 15

Individuos encontrados en el transecto 3, bosque primario

N° de transecto	Tipo de especie	Estrato	N° de individuos por monolito					Promedio por estrato
			1	2	3	4	5	
3	<i>A. fuhrmanni</i>	00-10 cm	2	13	1	5	1	4,4
		10-20 cm	1	2	2	2	2	1,8
		20-30 cm	5	1	2	0	1	1,8
		Total	8	16	5	7	4	
	<i>R. hageni</i>	00-10 cm	27	209	179	0	1	83,2
		10-20 cm	70	23	1	0	6	20
		20-30 cm	42	1	0	0	0	8,6
		Total	139	233	180	0	7	

En la Tabla 16 se muestran los datos promedio de los individuos encontrados en el transecto N° 4, los cuales se indican según especie:

A. fuhrmanni

En el estrato de 00-10 cm se registró 3,4 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 1,2 individuos y en el estrato de 20-30 se registró 0,2 individuos.

R. hageni

En el estrato de 00-10 cm se registró 116 individuos, en el estrato 10-20 cm se registró 11,8 individuos y en el estrato de 20-30 cm se registró 4,8 individuos.

Tabla 16*Individuos encontrados en el transecto 4, bosque primario*

N° de transecto	Tipo de especie	Estrato	N° de individuos por monolito					Promedio por estrato
			1	2	3	4	5	
4	<i>A. fuhrmanni</i>	00-10 cm	10	0	0	0	7	3,4
		10-20 cm	1	0	0	0	5	1,2
		20-30 cm	0	0	0	0	1	0,2
		Total	11	0	0	0	13	
	<i>R. hageni</i>	00-10 cm	9	146	389	36	0	116
		10-20 cm	0	56	0	3	0	11,8
		20-30 cm	24	0	0	0	0	4,8
		Total	33	202	389	39	0	

Macroinvertebrados registrados en la plantación de *C. torelliana*

En la Tabla 17 se muestran los datos promedio de los individuos encontrados en el transecto N° 1, los cuales se indican según especie:

A. fuhrmanni

En el estrato de 00-10 cm se registró 6,2 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 0,8 individuos y en el estrato de 20-30 cm se registró 0,6 individuos.

R. hageni

En el estrato de 00-10 cm se registró 1 individuo, en los estratos de 10-20 cm y de 20-30 cm no se registró individuos.

Tabla 17*Individuos encontrados en el transecto 1, C. torelliana*

N° de transecto	Tipo de especie	Estrato	N° de individuos por monolito					Promedio por estrato
			1	2	3	4	5	
1	<i>A. fuhrmanni</i>	00-10 cm	1	3	13	11	3	6,2
		10-20 cm	0	0	2	0	2	0,8
		20-30 cm	0	0	1	0	2	0,6
		Total	1	3	16	11	7	
	<i>R. hageni</i>	00-10 cm	0	0	0	0	5	1
		10-20 cm	0	0	0	0	0	0
		20-30 cm	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	5		

En la Tabla 18 se muestran los datos promedio de los individuos encontrados en el transecto N° 2, los cuales se indican según especie:

A. fuhrmanni

En el estrato de 00-10 cm se registró 7 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 1 individuo y en el último estrato no se registró presencia de individuos.

R. hageni

En el estrato de 00-10 cm se registró 98 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 47,8 individuos y en el último estrato se registró 1 individuo.

Tabla 18*Individuos encontrados en el transecto 2, C. torelliana*

N° de transecto	Tipo de especie	Estrato	N° de individuos por monolito					Promedio por estrato
			1	2	3	4	5	
2	<i>A. fuhrmanni</i>	00-10 cm	0	9	4	19	3	7
		10-20 cm	2	2	0	1	0	1
		20-30 cm	0	0	0	0	0	0
		Total	2	11	4	20	3	
	<i>R. hageni</i>	00-10 cm	2	480	3	0	5	98
		10-20 cm	1	237	1	0	0	47,8
		20-30 cm	0	5	0	0	0	1
		Total	3	722	4	0	5	

En la Tabla 19 se muestran los datos promedio de los individuos encontrados en el transecto N° 3, los cuales se indican según especie:

A. fuhrmanni

En el estrato de 00-10 cm se registró 9 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 2 individuos y en el último estrato se registró 0,4 individuos promedio.

R. hageni

En el estrato de 00-10 cm se registró 117,8 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 28 individuos y en el estrato de 20-30 cm se registró 1 individuo.

Tabla 19*Individuos encontrados en el transecto 3, C. torelliana*

N° de transecto	Tipo de especie	Estrato	N° de individuos por monolito					Promedio por estrato
			1	2	3	4	5	
3	<i>A. fuhrmanni</i>	00-10 cm	6	14	20	0	5	9
		10-20 cm	0	9	1	0	0	2
		20-30 cm	0	2	0	0	0	0,4

	Total	6	25	21	0	5	
	00-10 cm	43	404	128	0	14	117,8
<i>R. hageni</i>	10-20 cm	0	0	140	0	0	28
	20-30 cm	0	0	5	0	0	1
	Total	43	404	273	0	14	

En la Tabla 20 se muestran los datos promedio de los individuos encontrados en el transecto N° 4, los cuales se indican según especie:

A. fuhrmanni

En el estrato de 00-10 cm se registró 3,4 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 1,4 individuos y en último estrato no se registró individuos.

R. hageni

En el estrato de 00-10 cm se registró 38 individuos, en el estrato de 10-20 cm se registró 6,8 individuos y en el estrato de 20-30 cm se registró 54 individuos.

Tabla 20

Individuos encontrados en el transecto 4, C. torelliana

N° de transecto	Tipo de especie	Estrato	N° de individuos por monolito					Promedio por estrato
			1	2	3	4	5	
4	<i>A. fuhrmani</i>	00-10 cm	5	2	1	4	5	3,4
		10-20 cm	4	1	0	0	2	1,4
		20-30 cm	0	0	0	0	0	0
		Total	9	3	1	4	7	-
	<i>R. hageni</i>	00-10 cm	71	11	23	82	3	38
		10-20 cm	2	0	31	0	1	6,8
		20-30 cm	0	0	270	0	0	54
		Total	73	11	324	82	4	-

3.2.2. Densidad poblacional de macroinvertebrados

Densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y *R. hageni* registrados en el bosque primario

La Tabla 21 muestra los datos de densidad poblacional basados en el transecto 1, los cuales se detallan a continuación:

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 240 ind/m² y de *R. hageni* es de 1 132,8 ind/m².

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 2 400 000 ind/ha y de *R. hageni* es de 11 328 000 ind/ha.

Tabla 21

Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 1, bosque primario

Transecto	Especie	Monolito	ind/m ²	ind/ha
1	<i>A. fuhrmanni</i>	1	48	480 000
		2	64	640 000
		3	16	160 000
		4	480	4 800 000
		5	592	5 920 000
		Promedio	240	2 400 000
	<i>R. hageni</i>	1	2 064	20 640 000
		2	2 000	20 000 000
		3	720	7 200 000
		4	80	800 000
		5	800	8 000 000
Promedio	1 132,8	11 328 000		

La Tabla 22 muestran los datos de densidad poblacional basados en el transecto 2, los cuales se detallan a continuación:

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 35,2 ind/m² y de *R. hageni* es de 4 262,4 ind/m².

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 352 000 ind/ha y de *R. hageni* es de 42 624 000 ind/ha.

Tabla 22

Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 2, bosque primario

Transecto	Especie	Monolito	ind/m ²	ind/ha
2	<i>A. fuhrmanni</i>	1	32	320 000
		2	32	320 000
		3	16	160 000
		4	32	320 000
		5	64	640 000
		Promedio	35,2	352 000
	<i>R. hageni</i>	1	464	4 640 000
		2	5 760	57 600 000
		3	3 328	33 280 000
		4	10 224	102 240 000
		5	1 536	15 360 000
Promedio	4 262,4	42 624 000		

La Tabla 23 muestra los datos de densidad poblacional basados en el transecto 3, los cuales se detallan a continuación:

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 128 ind/m² y de *R. hageni* es de 1 788,8 ind/m².

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 1 280 000 ind/ha y de *R. hageni* es de 17 888 000 ind/ha.

Tabla 23*Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 3, bosque primario*

Transecto	Especie	Monolito	ind/m ²	ind/ha
3	<i>A. fuhrmanni</i>	1	128	1 280 000
		2	256	2 560 000
		3	80	800 000
		4	112	1 120 000
		5	64	640 000
		Total	128	1 280 000
	<i>R. hageni</i>	1	2 224	22 240 000
		2	3 728	37 280 000
		3	2 880	28 800 000
		4	0	0
5		112	1 120 000	
	Total	1 788,8	17 888 000	

La Tabla 24 muestra los datos de densidad poblacional basados en el transecto 4, los cuales se detallan a continuación:

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 76,8 ind/m² y de *R. hageni* es de 2 121,6 ind/m².

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 768 000 ind/ha y de *R. hageni* es de 21 216 000 ind/ha.

Tabla 24*Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 4, bosque primario*

Transecto	Especie	Monolito	ind/m ²	ind/ha
4	<i>A. fuhrmanni</i>	1	176	1 760 000
		2	0	0
		3	0	0
		4	0	0
		5	208	2 080 000
		Total	76,8	768 000
	<i>R. hageni</i>	1	528	5 280 000
		2	3 232	32 320 000
		3	6 224	62 240 000
		4	624	6 240 000
		5	0	0
	Total	2 121,6	21 216 000	

Densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y *R. hageni* registrados en la plantación de *C. torelliana*

La Tabla 25 muestra los datos de densidad poblacional basados en el transecto 1, los cuales se detallan a continuación:

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 121,6 ind/m² y de *R. hageni* es de 16 ind/m².

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 1 216 000 ind/ha y de *R. hageni* es de 160 000 ind/ha.

Tabla 25*Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 1, C. torelliana*

Transecto	Especie	Monolito	ind/m ²	ind/ha
1	<i>A. fuhrmanni</i>	1	16	160 000
		2	48	480 000
		3	256	2 560 000
		4	176	1 760 000
		5	112	1 120 000
		Promedio	121,6	1 216 000
	<i>R. hageni</i>	1	0	0

Continuación

	2	0	0
	3	0	0
	4	0	0
	5	80	800 000
	Promedio	16	160 000

La Tabla 26 muestra los datos de densidad poblacional basados en el transecto 2, los cuales se detallan a continuación:

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 128 ind/m² y de *R. hageni* es de 2 348,8 ind/m².

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 1 280 000 ind/ha y de *R. hageni* es de 23 488 000 ind/ha.

Tabla 26

Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 2, C. torelliana

Transecto	Especie	Monolito	ind/m ²	ind/ha
2	<i>A. fuhrmanni</i>	1	32	320 000
		2	176	1 760 000
		3	64	640 000
		4	320	3 200 000
		5	48	480 000
		Promedio	128	1 280 000
	<i>R. hageni</i>	1	48	480 000
		2	11 552	115 520 000
		3	64	640 000
		4	0	0
		5	80	800 000
	Promedio	2 348,8	23 488 000	

La Tabla 27 muestra los datos de densidad poblacional basados en el transecto 3, los cuales se detallan a continuación:

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 182,4 ind/m² y de *R. hageni* es de 2 332,8 ind/m².

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 1 824 000 ind/ha y de *R. hageni* es de 23 328 000 ind/ha.

Tabla 27

Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 3, C. torelliana

Transecto	Especie	Monolito	ind/m ²	ind/ha
3	<i>A. fuhrmanni</i>	1	96	960 000
		2	400	4 000 000
		3	336	3 360 000
		4	0	0
		5	80	800 000
		Promedio	182,4	1 824 000
	<i>R. hageni</i>	1	688	6 880 000
		2	6 464	64 640 000
		3	4 288	42 880 000
		4	0	0
		5	224	2 240 000
Promedio		2 332,8	23 328 000	

La Tabla 28 muestra los datos de densidad poblacional basados en el transecto 4, los cuales se indican a continuación:

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 76,8 ind/m² y de *R. hageni* es de 1 580,8 ind/m².

La densidad poblacional de *A. fuhrmanni* es de 768 000 ind/ha y de *R. hageni* es de 15 808 000 ind/ha.

Tabla 28*Densidad poblacional de macroinvertebrados, transecto 4, C. torelliana*

Transecto	Especie	Monolito	ind/m ²	ind/ha	
4	<i>A. fuhrmanni</i>	1	144	1 440 000	
		2	48	480 000	
		3	16	160 000	
		4	64	640 000	
		5	112	1 120 000	
		Promedio		76,8	768 000
	<i>R. hageni</i>	1	1 168	11 680 000	
		2	176	1 760 000	
		3	5 184	51 840 000	
		4	1 312	13 120 000	
5		64	640 000		
	Promedio		1 580,8	15 808 000	

3.3. Correlación entre la densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y *R. hageni* con los parámetros fisicoquímicos del suelo

3.3.1. Bosque primario

En la Tabla 29 se muestran las correlaciones correspondientes a la densidad poblacional y las características físicas del suelo de bosque primario. La correlación entre la especie *A. fuhrmanni* y arcilla tuvo un valor de 0,65, siendo estadísticamente significativa ($p < 0,05$); es decir, que a mayor sea el porcentaje de arcilla en el suelo, la densidad poblacional de la especie incrementa. Referente a la correlación entre *A. fuhrmanni* y la densidad aparente del suelo esta tuvo un valor de -0,45; esto indica que, mientras la densidad aparente del suelo en g/cm^3 aumenta la densidad poblacional de la especie disminuye, pero no es estadísticamente significativa ($p > 0,05$). El valor de la correlación entre *A. fuhrmanni* y limo fue de -0,68, lo que indica que la densidad poblacional de la especie incrementa mientras el porcentaje de limo de suelo sea menor y la correlación entre la densidad poblacional de la especie *R. hageni* y limo fue de 0,73 lo que indica que mientras el porcentaje de limo en el suelo sea mayor, la densidad poblacional de la especie incrementa, esta correlación es estadísticamente significativa ($p < 0,05$).

Tabla 29*Correlación entre la densidad poblacional y las características físicas del bosque primario*

Variable	<i>A. fuhrmanni</i>	<i>R. hageni</i>
1. Arena	-0,12 [-0,70; 0,55]	-0,01 [-0,64; 0,62]
2. Arcilla	0,65* [0,04; 0,91]	-0,30 [-0,78; 0,41]
3. Limo	-0,68* [-0,92; -0,09]	0,73** [0,19; 0,93]
4. Materia orgánica	-0,16 [-0,72; 0,52]	0,39 [-0,32; 0,82]
5. Densidad Aparente	-0,45 [-0,84; 0,25]	0,05 [-0,06; 0,66]

Nota. Los valores entre corchetes indican el intervalo de confianza del 95 % para cada correlación. El intervalo de confianza es un rango plausible de correlaciones de población que podrían haber causado la correlación de la muestra (Cumming, 2014). * indica $p < 0,05$ ** indica $p < 0,01$.

Según la Tabla 30 la correlación entre *A. fuhrmanni* y el pH fue de 0,13; es decir, mientras la densidad poblacional de la especie incrementa, el pH en el suelo incrementa, pero este valor no es estadísticamente significativo ($p > 0,05$) y el valor de la correlación entre la densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y Potasio fue de -0,43, lo que indica que la densidad poblacional de la especie incrementa mientras la disponibilidad de potasio en el suelo es menor. Lo que se aprecia es que *A. fuhrmanni* no presenta correlación significativa ($p > 0,05$) con las características de Nitrógeno, Fósforo y CIC.

Tabla 30*Correlación entre la densidad poblacional de A. fuhrmanni y características químicas de bosque primario*

Variable	<i>A. fuhrmanni</i>
1. pH	0,13 [-0,55; 0,70]
2. Nitrógeno	0,06 [-0,59; 0,67]
3. Fósforo	-0,40 [-0,82; 0,30]
4. Potasio	-0,43 [-0,84; 0,27]
5. CIC	-0,28 [-0,77; 0,42]

Nota. Los valores entre corchetes indican el intervalo de confianza del 95 % para cada correlación. El intervalo de confianza es un rango plausible de correlaciones de población que podrían haber causado la correlación de la muestra (Cumming, 2014). * indica $p < 0,05$ ** indica $p < 0,01$.

La Tabla 31 muestra las correlaciones de la especie *R. hageni* y las características químicas del suelo de bosque primario. La correlación entre *R. hageni* y el pH fue de -0,38; esto quiere decir que, mientras la densidad poblacional de la especie incrementa, el valor pH en el suelo disminuye, pero el valor de esta correlación no es estadísticamente significativo ($p > 0,05$). La correlación entre *R. hageni* y potasio fue de 0,63, considerada estadísticamente significativa ($p < 0,05$); esto indica que la densidad poblacional de la especie incrementa mientras la disponibilidad de potasio en el suelo es mayor.

Tabla 31

Correlación de la densidad poblacional R. hageni y características químicas del bosque primario

Variable	<i>R. hageni</i>
1. pH	-0,38 [-0,82, 0,32]
2. Nitrógeno	0,01 [-0,63, 0,63]
3. Fósforo	0,42 [-0,29, 0,83]
4. Potasio	0,63* [0,01, 0,90]
5. Capacidad de Intercambio Catiónico	-0,25 [-0,76, 0,45]

Nota. Los valores entre corchetes indican el intervalo de confianza del 95 % para cada correlación. El intervalo de confianza es un rango plausible de correlaciones de población que podrían haber causado la correlación de la muestra (Cumming, 2014). * indica $p < 0,05$ ** indica $p < 0,01$.

3.3.2. Plantación de *C. torelliana*

En la Tabla 32 se registran los datos de correlación entre las especies *A. fuhrmanni* y *R. hageni* con las propiedades físicas del suelo de la plantación de *C. torelliana*.

La correlación entre la densidad de *A. fuhrmanni* y materia orgánica es de 0,27; esto indica que la densidad poblacional de la especie incrementa cuando el porcentaje de la materia orgánica en el suelo es mayor, pero este valor no es estadísticamente significativo ($p > 0,05$). La correlación entre la densidad poblacional de *R. hageni* y limo fue de 0,69, siendo esta correlación considerada estadísticamente significativa ($p < 0,05$); es decir, la densidad poblacional de la especie incrementa, cuando el porcentaje de limo en el suelo incrementa. La correlación entre *R. hageni* y materia orgánica fue de 0,54, considerada estadísticamente

significativa ($p < 0,05$); esto indica que la densidad poblacional de la especie incrementa cuando el porcentaje de materia orgánica en el suelo incrementa. La correlación entre *A. fuhrmanni* y la densidad aparente fue de 0,13; esto indica que la densidad poblacional de la especie incrementa cuando la densidad aparente del suelo (g/cm^3) incrementa; pero esta correlación no es estadísticamente significativa ($p > 0,05$).

Tabla 32

Correlación entre la densidad poblacional de las especies y las características físicas del suelo de la plantación de C. torelliana

Variable	<i>A. fuhrmanni</i>	<i>R. hageni</i>
1. Arena	0,25 [-0,45, 0,76]	-0,32 [-0,79, 0,38]
2. Arcilla	-0,23 [-0,75, 0,47]	-0,28 [-0,77, 0,42]
3. Limo	-0,21 [-0,74, 0,48]	0,69* [0,10, 0,92]
4. Materia orgánica	0,27 [-0,43, 0,77]	0,54 [-0,13, 0,87]
5. Densidad Aparente	0,13 [-0,54; 0,70]	0,34 [-0,37; 0,80]

Nota. Los valores entre corchetes indican el intervalo de confianza del 95 % para cada correlación. El intervalo de confianza es un rango plausible de correlaciones de población que podrían haber causado la correlación de la muestra (Cumming, 2014). * indica $p < 0,05$ ** indica $p < 0,01$

La Tabla 33 muestra las correlaciones entre la densidad poblacional especie *A. fuhrmanni* y las propiedades químicas del suelo en la plantación de *C. torelliana*. La correlación entre la densidad de *A. fuhrmanni* y el pH fue de -0,12; esto indica que la densidad poblacional incrementa, cuando el pH en el suelo disminuye; pero esta correlación es considerada como estadísticamente no significativa ($p > 0,05$).

Tabla 33

Correlación entre la densidad poblacional de A. fuhrmanni y las características químicas de suelo de C. torelliana

Variables	<i>A. fuhrmanni</i>
1. Ph	-0,12 [-0,70; 0,55]
2. Nitrógeno	0,06 [-0,06; 0,06]
3. Fósforo	0,10 [-0,56; 0,69]
4. Potasio	-0,22 [-0,75; 0,47]
5. Capacidad de Intercambio Catiónico	-0,22 [-0,75; 0,47]

Nota. Los valores entre corchetes indican el intervalo de confianza del 95% para cada correlación. El intervalo de confianza es un rango plausible de correlaciones de población que podrían haber causado la correlación de la muestra (Cumming, 2014). * indica $p < 0,05$ ** indica $p < 0,01$

La Tabla 34 muestra las correlaciones de la densidad poblacional de la especie *R. hageni* y las propiedades químicas del suelo en la plantación de *C. torelliana*. La correlación entre la densidad poblacional de *R. hageni* y el pH fue de 0,28; esto indica que la densidad poblacional de la especie incrementa cuando el pH en el suelo incrementa, pero este valor no es estadísticamente significativo ($p > 0,05$). La correlación entre *R. hageni* y potasio fue de 0,88, considerándose estadísticamente significativa ($p < 0,05$); esto indica que la densidad poblacional de la especie incrementa cuando la disponibilidad de potasio (ppm) en el suelo incrementa.

La correlación entre *R. hageni* y la densidad aparente fue de 0,34; lo que indica que la densidad poblacional de la especie incrementa, cuando la densidad aparente del suelo incrementa, pero esta correlación no es estadísticamente significativa ($p > 0,05$).

Tabla 34

Correlación entre la densidad poblacional de R. hageni y características químicas de suelo con C. torelliana

Variable	R. hageni
1. pH	0,28 [-0,42; 0,77]
2. Nitrógeno	-0,03 [-0,65; 0,61]
3. Fósforo	0,36 [-0,35; 0,81]
4. Potasio	0,88** [0,57; 0,97]
5. Capacidad de Intercambio Catiónico	0,07 [-0,59; 0,67]

Nota. Los valores entre corchetes indican el intervalo de confianza del 95 % para cada correlación. El intervalo de confianza es un rango plausible de correlaciones de población que podrían haber causado la correlación de la muestra (Cumming, 2014). * indica $p < 0,05$ ** indica $p < 0,01$

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

4.1. Propiedades fisicoquímicas del suelo

4.1.1. Propiedades físicas del suelo

La clase textural del suelo del bosque primario estudiado fue franco, con densidad aparente que osciló entre 0,84 y 1,09 g/cm³ en profundidades de 00-30 cm. Valores cercanos registraron Díaz *et al.* (2014), al caracterizar suelos amazónicos de bosques primarios degradados y no degradados, tuvieron en cuenta variables como variación de la temperatura, evapotranspiración y precipitación, determinaron que la clase textural de los suelos eran francos, con densidad aparente entre 1,22 y 1,34 g/cm³. Al respecto la FAO (2009) sostiene que los suelos con buena porosidad son aquellos cuya densidad aparente están por debajo de 1,3 g/cm³, esto garantiza un mejor movimiento del agua, circulación del aire y favorece la actividad de la fauna edáfica (United States Department of Agriculture [USDA], 2008). Estos valores pueden incrementar con la profundidad del suelo, debido al bajo contenido de materia orgánica y como consecuencia se produciría la compactación del suelo (Flores y Alcalá, 2010) afectando el desarrollo radicular (ralentización o paralización) de las plantas, la capacidad de aireación, el almacenamiento y drenaje del agua y la retención de nutrientes (Rucks *et al.*, 2004).

Los valores de densidad aparente registrada en el suelo de la plantación de *C. torelliana* varía entre 0,95 y 1,37 g/cm³ y la clase textural del suelo se determinó como franco arcillo arenoso. Resultados similares encontró Sánchez (2021), donde la densidad aparente del suelo evaluado fue 1,32 y 1,44 g/cm³ y la textura fue franco arcillo arenoso. Blanco-Sepúlveda (2009) afirma que, mientras el valor de la densidad aparente incrementa la compactación del suelo también incrementa; esto modifica la estructura porosa en orden y tamaño, repercutiendo de manera significativa en el desarrollo y crecimiento de las plantas porque

decrece la conductividad hidráulica, el proceso de retención de agua y la difusión de gases y en consecuencia afecta la actividad de la fauna edáfica (Salamanca y Siavosh, 2005). Al respecto, Flores (2009), Palma-López *et al.* (2015) y Vigo y Oclocho (2017) sostienen que las plantaciones forestales de *Eucalyptus* o *Corymbia* actúan de manera diferente respecto a otras especies forestales, inicialmente reducen significativamente la cantidad de agua en el suelo por su rápido crecimiento y por la capacidad de almacenar agua en las raíces que genera la compactación del suelo, produciendo un aumento en la densidad aparente.

4.1.2. Propiedades químicas del suelo

Los resultados del análisis químico del bosque primario muestran que el pH tuvo un valor de 4,648 considerado como un pH ácido. Guillén *et al.* (2006) al analizar muestras de suelo de bosque primario registró valores de pH menores a 4, determinando que los pH ácidos ejercen una barrera selectiva para muchos invertebrados puesto que, algunas especies se pueden presentar como acidofílicas y otras como calciofílicas. Por otro lado, Rosas-Patiño *et al.* (2017) sostienen que las regiones de clima tropical generalmente presentan suelos con pH ácido, determinados por fenómenos de lavado intenso como consecuencia de las altas precipitaciones. Además, Escobedo (2007) determinó que los suelos en la región San Martín son poco fértiles debido a los bajos niveles de pH registrados; esto podría afectar la movilidad de iones, la disolución de minerales, el intercambio iónico, la actividad de la micro y macrofauna y la disponibilidad de nutrientes.

El valor promedio de pH registrado en el suelo de la plantación de *C. torelliana* fue de 4,668. Para Bautista *et al.* (2003), las plantaciones de *Pinus* y *Eucalyptus* en suelos agrícolas incrementan la acidez del suelo provocando la alteración de procesos edáficos como: hidrólisis ácida, lixiviación de cationes básicos, nitrificación y baja actividad de macroinvertebrados. Además, el pH ácido es considerado como una de las propiedades que determina la composición y abundancia de las especies presentes en el suelo (Lavelle, 1996; Zerbino, 2010; Rendón *et al.*, 2011, como se citó en Escobar *et al.*, 2017).

Para el bosque primario los elementos disponibles como el nitrógeno registraron un promedio de 0,039 48 %, fósforo 9,53 ppm (nivel normal) y potasio 43 ppm (nivel bajo),

respectivamente, mientras que para *C. torelliana* el nitrógeno tuvo un valor de 0,039 % igual al bosque primario, fósforo 8,65 ppm (nivel bajo) y potasio 39,93 ppm (nivel bajo). Los resultados antes mencionados para *C. torelliana* son similares a los obtenidos por Toribio (2020), donde el análisis de las muestras de suelo de bosque reforestado con eucalipto registró niveles bajos para nitrógeno (0,03 %), fósforo (9,45 ppm) y potasio (70,97 ppm). Al respecto Andrades y Martínez (2014) determinaron que los valores altos de P =13 ppm y K =136 ppm favorecen el desarrollo de raíces y mejora la consistencia de los tejidos en las plantas; sin embargo, al cambiar la cobertura de bosque a un sistema agrícola o forestal influye en la cantidad y disponibilidad de los nutrientes, puesto que de estar presentes en la vegetación en pie y en la necromasa se pierden por lavado o volatilización generando el empobrecimiento de suelos (Quinto, 2016).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en el suelo de bosque primario obtuvo un valor de 10,15 mEq/100 g de suelo, calcio y magnesio registraron valores promedio de 2,2 y 0,35 mEq/100 g de suelo, en cambio en el suelo con plantación de *C. torelliana* la capacidad de intercambio catiónico obtuvo un valor de 11,69 mEq/100 g de suelo, Ca = 2,6 mEq/100 g de suelo y Mg = 0,375 mEq/100 g de suelo. Yara Analytical Services (2017) indica que la capacidad de intercambio catiónico es ligeramente baja si sus valores se encuentran por debajo de los 15 mEq/100 g de suelo. Andrades y Martínez (2014) afirman que la capacidad de intercambio catiónico desempeña un papel importante en la fertilización del suelo y según los estudios de Céspedes (2007), la reducción del intercambio catiónico también provoca una disminución en la cantidad de materia orgánica en el horizonte A de plantaciones de *Eucalyptus*, esto podría afectar la estructura, aireación y la actividad biológica del suelo.

4.2. Densidad poblacional de macroinvertebrados

4.2.1. Distribución vertical de la especie de *A. fuhrmanni* y *R. hageni*

La mayor cantidad de individuos se encontró en el primer estrato de suelo (00-10 cm), registrando en el bosque primario 112 individuos de la especie *A. fuhrmanni* y 2 249 individuos de la especie *R. hageni* y en la plantación de *C. torelliana* se registró 128 individuos de *A. fuhrmanni* y 1 274 individuos de *R. hageni*, según Ruiz-Cobo *et al.* (2010), Rendón *et al.* (2011) y Camero y Chamorro (2021), la cantidad de macroinvertebrados

disminuye mientras la profundidad del suelo incrementa; pues la preferencia de los macroinvertebrados por permanecer en el primer estrato puede ser determinada por la vasta disponibilidad de nutrientes, mayor humedad y menor grado de compactación en comparación a los niveles inferiores de suelo. Según Moradi *et al.* (2020), la profundidad calculada para registrar el 90 % de macroinvertebrados en el suelo están entre 0 a 10 cm. Otros autores como Gillison *et al.* (2003) han determinado correlaciones positivas entre la riqueza de plantas vasculares y la riqueza de todas las termitas que se alimentan del suelo; es decir, las plantas afectan la disponibilidad de nichos de la macrofauna edáfica a través de la influencia de la cubierta vegetal en el clima del suelo, la modificación de la estructura y el drenaje por la penetración de las raíces y el suministro de nutrientes a los organismos presentes en el suelo. Para Frouz (2018) existen variables que influyen en la cantidad de invertebrados presentes en los primeros 10 cm de suelo, entre ellas están la temporada de muestreo, la migración estacional, la recolonización, el gradiente de humedad y las inundaciones.

4.2.2. Densidad poblacional de macroinvertebrados

Los valores de densidad poblacional de la especie *A. fuhrmanni* registrados en el bosque primario fue menor (120 ind/m²) en comparación a los resultados obtenidos en la plantación forestal de *C. torelliana*, donde se registró un promedio de 127,2 ind/m²; para la especie *R. hageni* se obtuvo un valor promedio de 2 326,4 ind/m² en el bosque primario y 1 569,6 ind/m² para la plantación forestal. Diferentes resultados registraron en su investigación Tapia-Coral *et al.* (2012), cuya densidad poblacional de lombrices fue mayor en el bosque primario (106 ind/ m²) en comparación a las plantaciones forestales; para el caso de las termitas en la plantación forestal los autores registraron valores superiores (1 065 y 2 459 ind/ m²) y para bosque primario la densidad poblacional fue de solo 807 ind/m². Pashanasi (2001) afirma que en los suelos de bosques primarios no intervenidos la densidad de invertebrados para oligochaetas e isópteras pueden registrar promedios que oscilan entre 382 a 853 ind/m², esto lo confirma Tuesta (2015), quién registró 518,40 ind/m² para la subclase Oligochaeta y 694 ind/m² para Isoptera en bosques secundarios. Sin embargo, las densidades no siempre están relacionadas con la abundancia o diversidad de organismos, por ejemplo, en plantaciones forestales, sistemas agroforestales y silvopastoriles estos valores para densidad poblacional pueden ser muy superiores con promedios de 654 a 1 034 ind/m² y 557 hasta 2 896 ind/m², pero con índices de riqueza y biodiversidad muy bajos esto puede deberse

a la cantidad de biomasa disponible o a la colonización de especies oportunistas de terrenos disturbados.

4.3. Correlación entre la densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y *R. hageni* con los parámetros fisicoquímicos del suelo de *C. torelliana*

En cuanto a los resultados obtenidos de la correlación realizada entre la densidad poblacional de las especies estudiadas y los parámetros fisicoquímicos del suelo; en la plantación de *C. torelliana*, se registró que entre la densidad poblacional de la especie *A. fuhrmanni* y arcilla la correlación es de -0,23 y entre la especie *R. hageni* y arcilla es de -0,28 respectivamente. Además, entre la densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y Limo la correlación tuvo un valor de -0,21 y entre *R. hageni* y Limo el valor fue de 0,69. Estos resultados difieren con los valores registrados por Sánchez (2018), donde el coeficiente de correlación entre la densidad poblacional de macrofauna (16 especies identificadas) y arcilla fue de -0,037 y entre la densidad poblacional de macrofauna y limo la correlación tuvo un valor de 0,238, donde las correlaciones positivas indican que, la densidad poblacional de las especies incrementa, cuando los valores de arcilla y limo en suelo incrementan, lo contrario sucede con las correlaciones negativas, puesto que, la densidad poblacional de las especies incrementan, cuando los valores de arcilla y limo disminuyen. En el estudio la correlación entre la densidad poblacional de *A. fuhrmanni* y arcilla es considerada estadísticamente no significativa.

Así mismo, la densidad poblacional de la especie *A. fuhrmanni* y el pH propicia una correlación inversamente proporcional con un valor de -0,12 (esto indica que, mientras la densidad poblacional de la especie incrementa, el valor de pH disminuye) a diferencia de la correlación entre la densidad poblacional de la especie *R. hageni* y el pH que generó una correlación directamente proporcional (0,28); es decir, que mientras la densidad poblacional de la especie incrementa, el valor del pH también incrementa; sin embargo los valores de ambas correlaciones son consideradas estadísticamente no significativas. Resultados similares registraron Yaros (2014), donde la correlación entre densidad poblacional (11 Ordenes identificadas) y el pH fue de 0,18 y Sánchez (2018) registró una correlación con un valor de -0,17; demostrando que el incremento o disminución la densidad poblacional de macroinvertebrados no influye en los valores de pH.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Los promedios de los parámetros físicos del suelo del bosque primario fueron: la clase textural franco y la densidad aparente $0,922 \text{ g/cm}^3$ y para el suelo de la plantación de *C. torelliana* la clase textural fue franco arcillo arenoso y la densidad aparente $1,208 \text{ g/cm}^3$ estos valores fueron registrados en los primeros 30 cm de suelo.
2. Los parámetros de las propiedades químicas del suelo de bosque primario evaluados registraron valores para $\text{pH} = 4,64$, $\text{P} = 9,52 \text{ ppm}$, $\text{K} = 43,48 \text{ ppm}$ y $\text{CIC} = 10,15 \text{ mEq/100 g}$ de suelo observándose una ligera diferencia con los parámetros evaluados para la plantación de *C. torelliana* $\text{pH} = 4,68$, $\text{P} = 8,65 \text{ ppm}$, $\text{K} = 39,93 \text{ ppm}$ y $\text{CIC} = 8,22 \text{ mEq/100 g}$ de suelo.
3. La densidad poblacional para *A. fuhrmanni* registró un valor promedio de $127,2 \text{ ind/m}^2$ en la plantación de *C. torelliana*, este promedio fue superior al encontrado en suelo de bosque primario (120 ind/m^2); en cuanto a la densidad poblacional de la especie *R. hageni* en la plantación de *C. torelliana* se registró un valor promedio de $1\,569,6 \text{ ind/m}^2$, este promedio fue inferior al que se registró en el suelo de bosque primario donde la densidad poblacional tuvo un valor de $2\,326,4 \text{ ind/m}^2$. Estos resultados determinan que las plantaciones forestales con la especie *C. torelliana* en los primeros seis años después de su instalación genera un efecto negativo en la densidad poblacional de *R. hageni*.
4. En el suelo del bosque primario se concluyó que la especie *A. fuhrmani* tuvo una relación directa con el porcentaje de arcilla e inversa con el porcentaje de limo con valores de correlación de $0,65$ y $-0,68$, respectivamente; y la especie *R. Hageni* tuvo una relación directa con el porcentaje de limo y la cantidad de potasio con valores de correlación de

0,73 y (0,63), respectivamente; siendo estas correlaciones estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

5. En el suelo de *C. torelliana* se concluyó que la especie *R. Hageni* tuvo una relación directa con el porcentaje de limo, materia orgánica y la cantidad de potasio con un valor de correlación de 0,69; 0,54 y 0,88 respectivamente; estas indican que son estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar el estudio en plantaciones de mayor edad a la que se consideró en la investigación; debido a que, se podría evaluar con mayor precisión si la presencia de la especie *C. torelliana* influye en las condiciones físicas y químicas del suelo mientras alcanza su madurez.

- ✓ Realizar estudios similares donde se incluyan otros indicadores como la infiltración, porosidad y color del suelo; además, realizar muestreos de toda diversidad de macrofauna en el sistema evaluado y en diferentes estaciones del año.

- ✓ Incentivar a las municipalidades, para que, a través de las gerencias de desarrollo ambiental, promuevan proyectos de reforestación con especies nativas de la zona.

- ✓ Realizar investigaciones sobre la biodiversidad y el comportamiento de la macrofauna y mesofauna teniendo en cuenta los pisos altitudinales, características fisiográficas y los tipos de bosque del distrito para tomar decisiones políticas de protección de estas especies.

REFERENCIAS

- Abbona, A., y Sarandón, J. (2014). Manejo de nutrientes en los agroecosistemas. En S.J. Sarandón y C.C. Flores (Eds.). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*. pp.211-234. Editorial de la Universidad de la Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>
- Abreu, L. (2012). Hipótesis, método y diseño de investigación. *Daena: international journal of good conscience*, 7(2), 187-197. <http://www.spentamexico.org/v7-n2/7%282%29187-197.pdf>
- Aguilar, C. y Lladós, A. (2019). Descubriendo la importancia y la biodiversidad de los suelos mediante monolitos de suelo. Recursos didácticos para la enseñanza secundaria. *Enseñanza de las ciencias de la tierra*, 27(1), 31-37. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/356263>
- Anderson, M. y Ingram, S. (1994). *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods*. CAB International. https://www.researchgate.net/publication/232141777_Tropical_Soil_Biology_and_Fertility_A_Handbook_of_Methods
- Andrades, M. y Martínez, E. (2014). *Fertilidad del Suelo y parámetros que la definen* (4ª ed.). Editorial Universidad de la Rioja. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902>
- Aragón, R., Montti, L., Ayup, M. y Fernández, R. (2014). Exotic species as modifiers of ecosystem processes: Litter decomposition in native and invaded secondary forests of NW Argentina [Especies exóticas como modificadoras de procesos ecosistémicos: Descomposición de hojarasca en bosques secundarios nativos del NO argentino]. *Acta Oecológica*, 54, 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.03.007>
- Baena, G. (2017). *Metodología de la Investigación, serie integral por competencias* (3ª ed.). Grupo Editorial Patria. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf
- Barahona, C (2012). *Influencia de las plantaciones de Eucalyptus globulos Labill y Pinus radiata D. Don en las propiedades del suelo, Chamiseria-Junín* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio digital de la UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2610/Barahona%20Urano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bautista, A., Del Castillo, F. y Gutiérrez, C. (2003). Patrones de desarrollo del suelo asociados con sucesión secundaria en un área originalmente ocupada por bosque

mesófilo de montaña. *Ecosistemas* 2003(3).
[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8908/1/ECO_12\(3\)_18.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8908/1/ECO_12(3)_18.pdf)

- Bautista, F. y Palacio, G. (2005). Caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán, implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Universidad Autónoma de Campeche.
https://www.researchgate.net/publication/236954599_Caracterizacion_y_manejo_de_los_suelos_de_la_Peninsula_de_Yucatan_Implicaciones_agropecuarias_forestales_y_ambientales_UAC-UAY-INE_Yucatan_Mexico
- Bazán, R. (2017). Manual de procedimiento de los análisis de suelos y agua con fines de riesgo. Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA.
https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/504/1/Bazan-Manual_de_procedimientos_de_los.pdf
- Beccaloni, W. y Eggleton, O. (2013). Orden Blattodea. En: biodiversidad animal: un esbozo de una clasificación de alto nivel y un estudio de la riqueza taxonómica (Addenda 2013). *Zootaxa*, 3703, 46-48.
https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=666640#null
- Blanco-Sepúlveda, R. (2009). La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia*, 43(3), 231-239.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000300002
- Bonilla, C., Gómez, E. y Sánchez, M. (2002). El suelo: los organismos que los habitan. Universidad Nacional de Colombia- Sede Palmira.
<https://es.scribd.com/document/325087743/CA-5-El-Suelo-Los-Organismos-Que-Lo-Habitan>
- Bonnesoeur, V., Locatelli, B. y Ochoa-Tocachi, B. (2019). Impactos de la forestación en el agua y los suelos de los andes: ¿Qué sabemos? Resumen de Políticas.
<https://agritrop.cirad.fr/591482/1/Bonnesoeur%202019%20Impacto%20de%20la%20Forestacion%20en%20el%20Agua%20y%20Suelos.pdf>
- Boyd, J. y Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units [¿Qué son los servicios ecosistémicos? La necesidad de unidades contables ambientales estandarizadas]. *Ecological economics*, 63 (2-3), 616-626. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.01.002>
- Brown, G. y Domínguez, J. (2010). Uso das minocas como bioindicadoras ambientais: principios e práticas- o 3º encontro latino americano de ecologia e taxonomia de oligoquetas (ELAETAO3) [Uso de las lombrices de tierra como bioindicadoras ambientales: principios y prácticas- el 3º encuentro latino americano de ecología y

taxonomía de oligochetos (ELAETAO3)]. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(2), 1-18.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v26nspe2/v26nspe2a1.pdf>

Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, C., Bueno, J., Moreno, G., Lavelle, P., Ordaz, V. y Rodríguez, C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)*, 79-110.
<https://azm.ojs.inecol.mx/index.php/azm/article/view/1847>

Brown, G., Niva, C., Guidetti, M., de Almeida, S., Nadolny, H., Xarão, G., Santos, A., de Andrade, G., Pasini, A., Bartz, M., Dietter, K., Thomazini, M., Baretta, D., da Silva, E., Antonioli, Z., Decaens, T., Lavelle, P., Sousa, J. y Carvalho, F. (2015). Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. En L.M. Parron, J. Ruiz, E. Batista, G. G. Brown y R. Bardy (Eds.). *Serviços ambientais em sistemas grícolas e florestais do bioma mata atlântica* (1ª ed. pp. 122-154). Embrapa. <https://www.comiteguandu.org.br/conteudo/servicos-ambientais-sistemas-agricolas.pdf>

Cabrera-Dávila, C. (2014). Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba. <https://docplayer.es/8347137-Manual-practico-sobre-la-macrofauna-edafica-como-indicador-biologico-de-la-calidad-del-suelo-segun-resultados-en-cuba.html>

Cabrera, G. (2012). La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. *Pastos y forrajes*, 35(4), 349-363.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942012000400001

Cabrera, G. y Crespo, C. (2001). Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(1), 3-9.
<https://www.redalyc.org/pdf/1930/193014947002.pdf>

Camero, E. y Chamorro, C. (2021). Artropofauna asociada a suelos de bosques altoandinos del macizo colombiano. *Entomotropica*, 36, 16-26. https://sventomologia.org/wp-content/uploads/2021/03/2021_36_16-26.pdf

Canello, E. y Myles, T. (2000). Isopteros. *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*, 2, 295-315.
https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=623930#null

Carimentrand, J., Lugo, L. y Lozada, J. (2002). Efectos inducidos en los suelos por las plantaciones de eucaliptos en el estado de portuguesa, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 17(31), 101-120.
https://www.researchgate.net/publication/236596550_Efectos_inducidos_en_los_suelos_por_las_plantaciones_de_Eucalipto_en_el_Estado_Portuguesa_Venezuela

- Cazau, P. (2006). Introducción a la investigación a las ciencias sociales (3ª ed.). Academia. <https://es.scribd.com/document/283048176/Pablo-Cazau-Introduccion-a-La-Investigacion-en-Ciencias-Sociales>
- Céspedes, C. (2007). Impacto de las plantaciones de eucaliptos en el suelo. <https://wrm.org.uy/es/articulos-del-boletin-wrm/uruguay-plantaciones-de-eucalipto-degradan-suelos-y-emiten-carbono/>
- Chokkalingam, U. y De Jong, W. (2001). Secondary forest: a working definition and typology [Bosque secundario: una definición y tipología de trabajo]. *International Forestry Review*, 3(1), 19-26. https://www.researchgate.net/publication/228744378_Secondary_forest_A_working_definition_and_typology
- Comisión Nacional de Diversidad Biológica. (2021). Plan de Acción Nacional sobre las Especies Exóticas Invasoras en Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1791886/ANEXO%20PROYECTO%20DECRETO%20SUPREMO%20-%20Propuesta%20Plan%20de%20Acci%C3%B3n%20Nacional%20sobre%20las%20Especies%20Ex%C3%B3ticas%20Invasoras%20en%20Per%C3%BA.pdf.pdf>
- Correira, M. y Oliveira, L. (2000). Fauna de solo: aspectos generáis e metodológicos [Fauna del suelo: aspectos generales y metodológicos]. *Embrapa Agrobiología*, 112. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/27350/1/doc112.pdf>
- Cumming, G. (2014). The new statistics: why and how [Las nuevas estadísticas: por qué y cómo]. *Psychological Science*, 25(1), 7-29. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0956797613504966>
- Decreto Supremo 020 del 2015. Por la cual se aprueba el reglamento para la gestión de las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales. 30 de Setiembre del 2015. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-reglamento-gestion-las-plantaciones#:~:text=Decreto%20Supremo%20N%C2%B0%20020,forestales%20y%20los%20Sistemas%20agroforestales>
- Díaz, E., Mercado, G. y Muñoz, A. (2014). Caracterización de las propiedades físicas de algunos suelos amazónicos degradados y no degradados con relación a la fisiografía en la provincia de Padre Abad, Ucayali, Perú. Universidad Nacional de Ucayali. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNU_cd8486fd6a08921df871c12807f1c450/Description#tabnav
- Domínguez, J., Aira, M. y Gómez-Brandón, M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas*, 18(2), 20-31. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/61>

- Edwards, A. (2004). *Earthworm ecology* (2^a ed.). CRC Press. <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=7mHvxY-1BKsC&oi=fnd&pg=PA3&dq=The+importance+of+earthworm+ecology+2004&ots=FNhSLKK13I&sig=HfAPUW3AFKZjWn7MSx4rWAjoSVY#v=onepage&q=The%20importance%20of%20earthworm%20ecology%202004&f=false>
- Elias, D. (2021). *Impacts of tropical forest modification on soil microbial communities, function and resilience* [Tesis doctoral, Lancaster University]. <https://eprints.lancs.ac.uk/id/eprint/162866/1/2021EliasPhD.pdf>
- Escobar, A., Bartolomé, J. y Gonzáles, N. (2017). Estudio comparativo de macrofauna del suelo en sistema agroforestal, potrero tradicional y bosque latifoliado en microcuenca del trópico seco, Tomabú, Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 22, 39-49. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i22.4520>
- Escobedo, R. (2007). Estudios temáticos para zonificación ecológica y económica del departamento de San Martín. http://terra.iiap.gob.pe/assets/files/macro/zee-san-martin/05_Suelos_CUM_2007.pdf
- Escolástico, C., Cabildo, M., Claramunt, R. y Claramunt, T. (2013). *Ecología I: Introducción, organismos y poblaciones*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://docer.com.ar/doc/50cecc>
- Espinoza, E. (2018). Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Parte I. *Conrado*, 14(65), 36-46. https://www.researchgate.net/publication/328268666_Las_variables_y_su_operacionalizacion_en_la_investigacion_educativa_Parte_I
- Fadda, S. (2017). *Introducción a la edafología*. Universidad Nacional de Tucumán. <https://www.coursehero.com/file/21204582/Introduccion-a-la-Edafologia-1/>
- Fioravante, C., Francisco, T., Moura, A. y Paludzyszyn, E. (2014). *Corymbia torelliana: estado da arte de pesquisas no Brasil* (1^a ed.). Embrapa Florestas. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113641/1/Doc.-261-Reis.pdf>
- Flores, E. (2009). Efecto de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.) sobre los suelos de comunidades asentadas en la red ferroviaria Cochabamba-Cliza. *Acta Nova*, 4 (2-3), 338-355. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892009000100013
- Flores, L. y Alcalá, R. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Forest Resources Assessment. (2020). *Terms and definitions*. <https://www.fao.org/3/I8661EN/i8661en.pdf>

- Frouz J. (2018). Effects of soil macrofauna plant interactions on soil formation and plant community development during primary succession in post mining sites [Efectos de las interacciones de las plantas con la macrofauna del suelo en la formación del suelo y el desarrollo de la comunidad vegetal durante la sucesión primaria en sitios posteriores a la minería]. EGU General Assembly, 20. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-5298.pdf>
- Gillison, N., Jones, T., Susilo, X. y Bignell, E. (2003). Vegetation indicates diversity of soil macroinvertebrates: a case study with termites along a land-use intensification gradient in lowland Sumatra [La vegetación indica diversidad de macroinvertebrados del suelo: un estudio de caso con termitas a lo largo de una gradiente de intensificación del uso de la tierra en las tierras bajas de Sumatra]. *Organisms Diversity & Evolution*, 3, 111-126. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1439609204700628?token=D38557F1B083609EE9C66D10F15E730BE6638A1EAEAEF12502E1C43CAF720AE0A51247BF94CDF1F78B07C8878557F0D1&originRegion=us-east-1&originCreation=20220210225357>
- Gómez, A. (2015). *Efectividad de obras de conservación de suelo implementados en la finca La Milagrosa, Municipio de Camoapa, Bocao, 2014* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio digital UNAN. <http://repositorio.unan.edu.ni/778/1/10403.pdf>
- Gonzales, A. (2010). *Proyecto: Plantaciones forestales* [Tesis de maestría, Universidad Iberoamericana]. Repositorio digital UIA. <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/014802/014802.pdf>
- Gordillo, J. (2010). *Estudio del proceso de mineralización de abono orgánico en el suelo para el cultivo ecológico de algodón* [Tesis de maestría, Universidad de Sevilla]. Repositorio digital US. https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/49372/pfc_angel_j_gordillo_rivero.pdf?sequence=1&isallowed=y
- Guariguata, M., Arce, J., Amour, T. y Capella, J. (2017). Las plantaciones forestales en el Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. Centro para la Investigación Forestal Internacional. <https://doi.org/10.17528/cifor/006461>
- Guerrero, T, Reed, C. y Vegter, B. (1999). La industria forestal y los recursos naturales en la Sierra Madre de Chihuahua: impactos sociales, económicos y ecológicos. Texas Center for Policy Studies. <http://www.texascenter.org/publications/forestal.pdf>
- Guillén, C., Soto-Adames, F. y Springer, M. (2006). Variables físicas, químicas y biológicas del suelo sobre las poblaciones de colémbolos en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 30(2), 19-29. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43630202.pdf>

- Gutiérrez, F. (2011). Efectos negativos de las plantas exóticas maderables sobre el bosque nativo andino. *Logos, Ciencia & Tecnología*, 3, 78-90. <https://www.redalyc.org/pdf/5177/517751801007.pdf>
- Guzmán, R. (2020). Informe de determinación de especies. *Asociación Científica para la Conservación de la Biodiversidad*.
- Hernández, J., Espinoza, F., Rodríguez, J., Chacón, J., Toloza, C., Arenas, M., Carillo, S. y Bermúdez, V. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(5), 586- 601. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55963207025>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6^a ed.). McGraw-Hill. https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Hodel, R. (2012). Trees in the landscape, Part 3: *Corymbia torelliana* [Árboles en el paisaje, Parte 3: *Corymbia torelliana*]. *Western Arborist*. <https://ucanr.edu/sites/HodelPalmsTrees/files/186122.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2000). Conociendo Moyobamba, guía estadística. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib0436/Libro.pdf
- James, W. y Davidson, K. (2012). Filogenia molecular de lombrices de tierra (Annelida; Crassiclitella) basada en secuencia de genes 28S, 18S y 16S. *Sistemática de Invertebrados*, 26(2), 213-229. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=974256#null
- Jordán, A. (2005). Manual de edafología. Universidad de Sevilla. <http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-c2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf>
- Junqueira, K., Diehl, E. y Filho, B. (2008). Termites in eucalyptus forest plantations and forest remnants: an ecological approach [Termitas en plantaciones forestales de eucalipto y remanentes de bosque: un enfoque ecológico]. *Bioikos*, 22(1), 3-14. <http://seer.sis.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/bioikos/article/view/814/794>
- Lavelle, P. (1996). Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function [Diversidad de la fauna del suelo y función del ecosistema]. *Biology International*, 33. https://www.researchgate.net/profile/Patrick-Lavelle/publication/32971315_Diversity_of_Soil_Fauna_and_Ecosystem_Function/1

inks/0f31753485dab75412000000/Diversity-of-Soil-Fauna-and-Ecosystem-Function.pdf

Ley 29763 de 2011. Por la cual se expide la ley forestal y de fauna silvestre. (2011) D.O. N°. 446980. <https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29763.pdf>

López, L. (2004). Población, muestra y muestreo. *Punto Cero*, 9(8), 69-74. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012

Lozano, K. (2016). *Evaluación de la biomasa y densidad poblacional de Lumbricus terrestris en tres tipos de cobertura vegetal en el CIEFOR- Puerto Almendra, Loreto 2014* [Tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio digital UNAP. https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4217/Katiuska_Tesis_Titulo_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Medina, D. (2018). *Influencia de los bosques de eucaliptos en la conformación del sotobosque en la cabecera de la cuenca del río Jequetepeque: Caso Yumagal, San Juan Cajamarca* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio digital UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2433/TESIS%20POSGRADO%20DUBER%20MEDINA%20B.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mendoza, B. y Espinoza, A. (2017). Guía técnica para el muestro de suelos (1ª ed.). Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2017). Preguntas frecuentes. <http://www.minam.gob.pe/estandares-de-calidad-ambiental/wp-content/uploads/sites/146/2017/06/Preguntas-frecuentes.pdf>

Moradi, J., John, K., Vicentini, F., Veselá, H., Vicena, J., Ardestani, M. y Frouz, J. (2020). Vertical distribution of soil fauna and microbial community under two contrasting post mining chrono sequences: Sites reclaimed by alder plantation and unreclaimed regrowth [Distribución vertical de la fauna del suelo y la comunidad microbiana bajo dos cronosecuencias posmineras contrastantes: sitios reclamados por plantaciones de aliso y rebrotes no reclamados]. *Global Ecology and Conservation* 23 (2020) e01165. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01165>

Morlans, M. (2004). Introducción a la ecología de poblaciones. Universidad Nacional de Catamarca. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Morlans-2004.pdf>

Narváez, M., Aguirre, N. y Maldonado, M. (2017). Efecto de la introducción de las especies forestales en los suelos degradados en procesos de restauración ecológica en el sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(2), 22-38.

https://redib.org/Record/oai_articulo1948357-efecto-de-la-introducci%C3%B3n-de-especies-forestales-en-suelos-degradados-en-procesos-de-restauraci%C3%B3n-ecol%C3%B3gica-en-el-sur-del-ecuador

Navarro, E. (2011). *Cuantificación del repoblamiento natural de macroinvertebrados edáficos en cinco estadios sucesionales de bosque en Puerto Almendra, Loreto* [Tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio digital UNAP. <http://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2976/T%20578.757%20N29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1981). El eucalipto en la repoblación forestal. <http://www.fao.org/3/a-ac459s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1999). El suelo, diferencias según su aspecto físico y químico. <https://www.fao.org/3/ah645s/AH645S04.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). Guía para la descripción de los suelos. <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). Evaluación de los Recursos Naturales. Términos y Definiciones. <http://www.fao.org/3/a-am665s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015). Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico. <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). La biodiversidad del suelo. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8642es>

Palma-López, J., Salgado-García, S., Martínez, G., Zavala-Cruz, J. y Lagunes-Espinoza, L. (2015). Cambios en las propiedades del suelo en plantaciones de eucalipto de tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5), 163-172. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000200004#:~:text=Las%20plantaciones%20de%20eucalipto%2C%20actual,por%20el%20uso%20del%20sitio.

Paudyal, K., Samsudin, B., Baral, H., Okarda, B., Vu, P., Paudel, S. y Keenan, J. (2020). Spatial assessment of ecosystem services from planted forest in central Vietnam

[Evaluación espacial de los servicios ecosistémicos de los bosques plantados en el centro de Vietnam]. *Forest*, 11(8): 822, 1-19. <https://doi.org/10.3390/f11080822>

Pashanasi, B. (2001). Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*, 12 (1-2), 75-97. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/publ695.pdf>

Penon, E. (2018). *Efecto de las reforestaciones y la agricultura sobre la calidad de suelos y la biodiversidad en el sur de Pampa Ondulada* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Luján]. Repositorio Universidad UNLu. <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/615/Penon%202018%20ultima%20version.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, F., Mauro, F., Calle, A. y Velarde, E. (2011). Edafología 1 (1ª ed.). Espacio gráfico comunicaciones S. A. <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>

Perissé, P., Lovey, R., Molineli, L. y Sacandaliarias, M. (2014). Estrategias y tácticas de supervivencia de *Cologania broussonetii* (Balb) DC. (Fabaceae-Faboideae). *Phyton*, 83, 275-281. <http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol83/Perisse.pdf>

Porta, J., López-Acevedo, M. y Poch, M. (2013). Edafología. Uso y protección de los suelos. Mundi Prensa. <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767503/edafologia--uso-y-proteccion-de-suelos>

Prado, F. (2016). *Evaluación de cuatro tipos de sustratos para la producción de eucalipto (Eucalyptus torelliana F. Muell) en vivero, en el municipio de Santa Cruz, Alta Verapaz* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio digital USAC. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/17/17_1136.pdf

Quinto, E. (2016). *Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo la influencia de tres sistemas de uso de la tierra en el distrito José Crespo y Castillo, Leoncio Prado* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio digital UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1303>

Ramírez, W., García, Y., Sánchez, S., López, M. y Hernández, L. (2014). Caracterización de la macrofauna edáfica en sistemas de producción intensiva de césped. *Pastos y Forrajes*, 37(2), 222-227. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942014000200005

Rendón, S., Artunduaga, F., Ramírez, R., Quiroz, A. y Leiva, I. (2011). Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo en cultivos de mora, pasto y aguacate. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(1), 5793-5802. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/26381/26731>

- Rockwood, D., Huber, D., Crawford, M., Rucks, P., Cordero, I., Fabbro, K. Minogue, P., Romeo, S. y Hodge, G. (2022). Eucalyptus ampifolia and Corymbia torelliana in the southeastern USA: genetic improvement and potential uses [Eucalyptus ampifolia y Corymbia torelliana en el sureste de EE. UU: mejoramiento genético y usos potenciales]. *Forest*, 13:1 (75), 1-11. <https://doi.org/10.3390/f13010075>
- Romero, G. (2017). *Macroinvertebrados de suelo en diferentes unidades agroecológicas de café (Coffea arabica L.) en la región San Martín* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio digital UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2458>
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, J. y Menjivar-Flores, C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la amazonía colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J. y Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República. <https://www.doccity.com/es/propiedades-fisicas-del-suelo-1/4687085/>
- Ruiz, C. (2015). *Macroinvertebrados de suelo asociados al cultivo de Bactris gasipaes Kunth "Pijuayo" (Areceae) San Martín- Perú* [Tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio digital UNAP. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/3293>
- Ruiz-Cobo, H., Feijoo, A. y Rodríguez, C. (2010). Comunidades de macroinvertebrados edáficos en diferentes sistemas de uso de suelo de la tierra en la parte media de la cuenca del río Otún, Colombia. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(2), 165-178. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000500012
- Ruiz, N., Lavelle, P. y Jiménez, J. (2008). Soil macrofauna field manual. Technical level. Organizaciónn de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/i0211e/i0211e.pdf>
- Rousseau, L., Fonte, S., Téllez, O., Hoek, R. y Lavelle, P. (2013). Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua [La macrofauna del suelo como indicadores de la calidad del suelo y los impactos del uso de la tierra en los agroecosistemas de pequeños agricultores del occidente de Nicaragua]. *Indicadores ecológicos*, 27, 71-82. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X12004086>
- Salamanca, A. y Siavosh, K. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56(2), 381-397. https://www.researchgate.net/publication/281442048_LA_DENSIDAD_APARENT

E_Y_SU_RELACION_CON_OTRAS_PROPIEDADES_EN_SUELOS_DE_LA_ZONA_CAFETERA_COLOMBIANA

- Sánchez, Y. (2021). *Propiedades físicas y químicas de los suelos en sistemas silvopastoriles en Amazonas y San Martín* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio digital UNALM. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4749>
- Sánchez, G. (2018). *Evaluación de la macrofauna del suelo en cuatro diferentes sistemas de uso, en el Distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, Departamento Madre de Dios* [Tesis de grado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. Repositorio digital UNAMAD <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/348>
- Sellés, S., Ferreyra, R., Ahumada, R., Santalices, M., García-Huidobro, A. y Ruiz, R. (2006). Lombrices de tierra como agentes mejoradores de las propiedades físicas del suelo en huertos frutales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7066>
- Stanturf, J., Vance, E., Fox, T. y Kirst, M. (2013). Eucalyptus beyond its native range: environmental issues in exotic bioenergy plantations [Eucalipto más allá de su área de distribución nativa: problemas ambientales en plantaciones exóticas de bioenergía]. *International Journal of Forestry Research*, 2013, 1-5. <https://doi.org/10.1155/2013/463030>
- Swift, M., Bignell, D., Moreira, F. y Huisling, E. (2012). El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: conceptos y guía general. En F., Moreira, E.J. Huisling y D.E. Bignell (Eds). *Manual de biología de suelos tropicales*. pp. 29-52. Instituto Nacional de Ecología. http://189.240.101.244:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/217/667_2012_M anual_biologia_suelos_tropicales.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Taboada, L. (2011). Cobertura Vegetal. Practicas Agro-culturales de conservación de suelos. <https://es.scribd.com/document/74195533/COBERTURA-VEGETAL>
- Tapia-Coral, C., Luizão, F., Pashanasi, B. y del Castillo, D. (2012). Comunidade de macroinvertebrados do solo em plantíos florestais e sistemas naturais na amazonia peruana [Comunidad de macroinvertebrados de suelo en plantaciones forestales y sistemas naturales en la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*]. *Folia Amazónica*, 21(1-2), 33-44. <http://revistas.iiap.org.pe/index.php/foliaamazonica/article/view/30/55>
- Tapia-Coral, S., Texeira, A., Velásquez, E. y Waldez, F. (2016). Macroinvertebrados de suelo y sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8, 260-267. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/380/422>

- Tejedor, N., Álvarez, E., Arango, S., Araujo, A., Blundo, C., Boza, T., la Torre, M., Gaviria, J., Gutierrez, N., Jorgensen, M., León, B., López, R., Malizia, L., Millán, B., Moraes, M., Pacheco, S., Rey, J., Timaná de la Flor, M., Ulloa, C., Vacas, O. y Newton, C. (2012). Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes Tropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2), 148-166. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54026849012>
- Toribio, R. (2020). *Efecto de las plantaciones de eucalipto (Eucalyptus globulus) y un bosque natural de aliso (Alnus glutinosa) en la calidad de suelo; en la zona de Quivilla- Dos de Mayo 2019* [Tesis de grado, Universidad de Huánuco]. Repositorio digital UDH <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2513;jsessionid=BA87CD8D1FD255DC090CF80536513530>
- Tuesta, M. (2015). *Evaluación de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso en el distrito de Nuevo Progreso* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio digital UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1091>
- United States Department of Agriculture. (2008). Bulk density, Moisture/ Aeration, Soil Quality Kit-Guides for Educators. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053260.pdf
- Van, J. (2006). El suelo: sus componentes físicos. Estación Experimental Agropecuaria. [https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_\(1\).pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_(1).pdf)
- Vigo, C. y Oclocho, F. (2017). *Influencia de las plantaciones de eucalipto (Eucalyptus globulus) en las características del suelo a diferentes pisos altitudinales, distritos de Magdalena, Tingo y San Isidro del Maino, Amazonas, 2017* [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio digital UNTRM. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1195>
- Vinuesa, P. (2016). Correlación: teoría y práctica. *Universidad Nacional Autónoma de Mexico*. https://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema8_correlacion.pdf
- Wallace, H. y Leonhardt, S. (2015). Do hybrid trees inherit invasive characteristics? Fruits of *Corymbia torelliana* X *C. citriodora* hybrids and potential for seed dispersal by bees [¿Los árboles híbridos heredan características invasivas? Frutos de híbridos de *Corymbia torelliana* X *C. citriodora* y potencial para la dispersión de semillas por las abejas]. *Plos One*, 10(9), 1-15. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0138868>
- Wink, C., Carus, J., Kurzmann, C. y Rovedder, A. (2005). Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental [Insectos del suelo como indicadores de la calidad ambiental].

Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, 4(1), 60-71.
<https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5405/3607>

Yara Analytical Services. (2017). Cation exchange capacity.
<https://www.yara.co.uk/siteassets/crop-nutrition/media/uk/uk-analytical/understanding-cation-exchange-capacity.pdf/>

Yaros, M. (2014). *Evaluación del efecto d tres sistemas de uso de la tierra en las propiedades físicas, químicas y biológicas en el sector Naranjillo del Distrito Padre Felipe Luyando* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio digital UNAS. http://repositorio_unas.edu.pe/handle/UNAS/1067

TERMINOLOGÍA

A continuación, se describen conceptos de algunos términos empleados durante la investigación:

- **Cobertura.** Es la capa que se observa en el suelo y está representada principalmente por las especies vegetales existentes o por sus residuos (Taboada, 2011).
- **Ciclado de nutrientes.** Es el movimiento de los nutrientes, de manera gaseosa o sedimentarias que se dan de los organismos vivos al ambiente o viceversa, suelen ser llamados ciclos biogeoquímicos (Abbona y Sarandón, 2014).
- **Compactación.** La FAO (2015), menciona que es el aumento de la densidad y porosidad en el suelo, lo que impide el flujo del agua, la ventilación y el proceso de intercambio catiónico de gases.
- **Correlación.** Es una medida para determinar la relación entre dos variables cuantitativas, es regulada y puede variar indicando una correlación perfecta, negativa o positiva (Vinuesa, 2016).
- **Densidad aparente.** Es la relación entre la masa del suelo seca y el volumen total de este, incluyendo el espacio poroso; esta propiedad del suelo indica su grado de compactación, siendo considerado como un indicador del suelo (Flores y Alcalá, 2010).
- **Densidad poblacional.** Es el número de individuos por unidad de superficie; es decir, la concentración de individuos en un área determinada (Lozano, 2016).
- **Especie exótica.** Especie introducida por el hombre a un lugar geográfico diferente al de su origen; es decir, no pertenecen a los procesos ecológicos y ecosistemas donde se han introducido y desarrollado (Comisión Nacional de Diversidad Biológica [CONADIB], 2021).

- **Lignotubérculo.** Órgano que tiene como función brindar resistencia a la planta, estos son tallos subterráneos que acumulan agua, carbohidratos y nutrientes, que permiten el rápido crecimiento de un nuevo brote (Perissé *et al.*, 2014)
- **Mineralización.** Es la transformación del nitrógeno orgánico mediante un proceso realizado por los microorganismos del suelo que conducen a su forma inorgánica para que pueda ser asimilado por las plantas (Gordillo, 2010).
- **Monolito.** Es una herramienta para poder observar y estudiar directamente el estado del suelo como su color, estructura, granulometría, tipo de horizontes, actividad biológica del suelo, entre otro tipo de propiedades (Aguilar y Lladós, 2019).
- **Muestreo.** Método que involucra procedimientos y criterios para extraer elementos que componen el total de la población (López, 2004).
- **Parámetro.** Unidad o elemento de medida, que puede ser de carácter físico, químico o biológico (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).
- **Servicios ecosistémicos.** Son todos los bienes y servicios que resultan a partir del funcionamiento de los ecosistemas y que directa e indirectamente benefician a la humanidad en el ámbito individual, social y económico (Boyd y Banzhaf, 2007).

APÉNDICES

Apéndice 1. Informe de determinación de la especie *A. fuhrmanni*



N° 2020-003-b

INFORME DE DETERMINACIÓN DE ESPECIES

Por medio del presente, se informa los resultados de la determinación hasta nivel de especie de las muestras enviadas para tal fin, provenientes de la localidad de **Soritor, Distrito de Moyobamba, Región de San Martín**, colectados por **Jorge Nilson Medina Pardo**, a una altitud de **875 msnm**.

Clase.- Clitellata Michaelsen, 1919

Subclase.- Oligochaeta Grube, 1850

Orden.- Crassiclitellata Jemieson, 1988

Familia.- Rhinodrillidae Benhan, 1890

Género.- *Aptodrilus* Cognetti, 1904

Especie.- *Aptodrilus* cf. *fuhrmanni* Michaelsen, 1917

Determinado por.- Rubén A. Guzmán Pittman

NOTA.- No se tienen reportes detallados de Oligochaeta para Perú, por lo que se tuvo que revisar las descripciones originales de cada especie, por lo que es muy probable que corresponda a la especie *Aptodrilus fuhrmanni* (Michaelsen, 1917) basados en su morfología y distribución.



Lima, 22 de Octubre de 2020

Anexo.-
Fotografías con escala


RUBÉN A. GUZMÁN PITTMAN
Responsable en Lima
Asociación Científica para
la Conservación de la
Biodiversidad



INFORME DE DETERMINACIÓN DE ESPECIES

Por medio del presente, se informa los resultados de la determinación hasta nivel de especie de las muestras enviadas para tal fin, provenientes de la localidad de **Soritor, Distrito de Moyobamba, Región de San Martín**, colectados por **Jorge Nilson Medina Pardo**, a una altitud de **875 msnm**.

Clase.- Insecta Linnaeus, 1758

Orden.- Blattodea Wattenwyl, 1882

Infraorden.- Isoptera Brullé, 1832

Familia.- Rhinotermitidae Froggatt, 1897

Género.- *Reticulitermes* Holmgren, 1913

Especie.- *R. cf. hageni* Banks in Banks & Snyder, 1920

Determinado por.- Rubén A. Guzmán Pittman

NOTA.- Debido a la muy escasa información a cerca de los termites en Perú, y revisando bases de datos de museos a nivel mundial, los especímenes corresponderían con mucha probabilidad a la especie *Reticulitermes hageni* Banks in Banks & Snyder, 1920.



Lima, 22 de Octubre de 2020

Anexo.-
Fotografías con escala


RUBÉN A. GUZMÁN PITTMAN
Responsable en Lima
Asociación Científica para
la Conservación de la
Biodiversidad

Apéndice 3. Cálculo de la densidad aparente del suelo

Bosque primario						
Estratos	Suelo seco (g)	Densidad 1	Suelo seco (g)	Densidad 2	Suelo seco (g)	Densidad 3
00-30 cm	83	$da = 83 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 0.842 \text{ g/cm}^3$	87	$da = 87 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 0.883 \text{ g/cm}^3$	107	$da = 107 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.086 \text{ g/cm}^3$
30-60 cm	123	$da = 123 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.248 \text{ g/cm}^3$	124	$da = 124 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.259 \text{ g/cm}^3$	131	$da = 131 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.330 \text{ g/cm}^3$
60-90 cm	135	$da = 135 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.370 \text{ g/cm}^3$	145	$da = 145 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.472 \text{ g/cm}^3$	145.4	$da = 145.4 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.476 \text{ g/cm}^3$

Bosque primario						
Estratos	Suelo seco (g)	Densidad 1	Suelo seco (g)	Densidad 2	Suelo seco (g)	Densidad 3
00-30 cm	84.3	$da = 84.3 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 0.856 \text{ g/cm}^3$	86.6	$da = 86.6 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 0.879 \text{ g/cm}^3$	97.2	$da = 97.2 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 0.987 \text{ g/cm}^3$
30-60 cm	113.6	$da = 113.6 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.153 \text{ g/cm}^3$	121.9	$da = 121.9 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.237 \text{ g/cm}^3$	127.6	$da = 127.6 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.295 \text{ g/cm}^3$
60-90 cm	132.4	$da = 132.4 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.344 \text{ g/cm}^3$	144.4	$da = 144.4 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.466 \text{ g/cm}^3$	144	$da = 144 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.462 \text{ g/cm}^3$

<i>Corymbia torelliana</i>						
Estratos	Suelo seco (g)	Densidad 1	Suelo seco (g)	Densidad 2	Suelo seco (g)	Densidad 3
00-30 cm	94	$da = 94 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 0.954 \text{ g/cm}^3$	130.4	$da = 130.4 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.324 \text{ g/cm}^3$	135	$da = 135 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.370 \text{ g/cm}^3$
30-60 cm	140.4	$da = 140.4 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.425 \text{ g/cm}^3$	125	$da = 125 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.269 \text{ g/cm}^3$	123.4	$da = 123.4 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.253 \text{ g/cm}^3$
60-90 cm	144	$da = 144 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.462 \text{ g/cm}^3$	136.4	$da = 136.4 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.384 \text{ g/cm}^3$	128	$da = 128 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.299 \text{ g/cm}^3$

<i>Corymbia torelliana</i>						
Estratos	Suelo seco (g)	Densidad 1	Suelo seco (g)	Densidad 2	Suelo seco (g)	Densidad 3
00-30 cm	93.2	$da = 93.2 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 0.946 \text{ g/cm}^3$	129.3	$da = 129.3 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.312 \text{ g/cm}^3$	132	$da = 132 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.342 \text{ g/cm}^3$
30-60 cm	135.7	$da = 135.7 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.378 \text{ g/cm}^3$	131	$da = 131 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.326 \text{ g/cm}^3$	126.8	$da = 126.8 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.287 \text{ g/cm}^3$
60-90 cm	142.2	$da = 142.2 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.433 \text{ g/cm}^3$	143.2	$da = 143.2 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.454 \text{ g/cm}^3$	134	$da = 134 \text{ g}/98.52 \text{ cm}^3 = 1.359 \text{ g/cm}^3$

Apéndice 4. Extracción y pesado de la muestra del suelo para el cálculo de la densidad aparente



Apéndice 5. Secado de las muestras de suelo en el laboratorio de ciencias de la Universidad Católica Sedes Sapientiae



Apéndice 6. Matriz de correlación entre la densidad poblacional *A. fuhrmanni* y las propiedades fisicoquímicas del suelo de la plantación de *C. torelliana*

Aptodrilus fuhrmani	-0.2245 (.5330)	-0.2220 (.5376)	-0.1214 (.7384)	0.0550 (.8800)	0.1036 (.7757)	0.1302 (.7200)	
DA	0.2225 (.5366)	0.2560 (.4752)	0.4821 (.1582)	0.0849 (.8156)	0.0861 (.8130)		
P	-0.6440 (.0445)	0.3880 (.2678)	-0.3479 (.3246)	0.4859 (.1545)			
N	-0.0022 (.9951)	0.0341 (.9256)	0.0909 (.8027)				
pH	0.4001 (.2520)	0.1616 (.6555)					
K	0.1870 (.6050)						
CIC							
	CIC	K	pH	N	P	DA	Aptodrilus fuhrmani

Apéndice 7. Matriz de correlación entre la densidad poblacional de *R. hageni* y las propiedades fisicoquímicas del suelo de la plantación de *C. torelliana*

Reticulitermes hageni	-0.0275 (.9399)	0.0699 (.8479)	0.2834 (.4276)	0.3435 (.3312)	0.3562 (.3124)	0.8818 ($< .001$)	
K	0.0341 (.9256)	0.1870 (.6050)	0.1616 (.6555)	0.2560 (.4752)	0.3880 (.2678)		
P	0.4859 (.1545)	-0.6440 (.0445)	-0.3479 (.3246)	0.0861 (.8130)			
DA	0.0849 (.8156)	0.2225 (.5366)	0.4821 (.1582)				
pH	0.0909 (.8027)	0.4001 (.2520)					
CIC	-0.0022 (.9951)						
N							
	N	CIC	pH	DA	P	K	Reticulitermes hageni

Apéndice 8. Matriz de correlación entre la especie *A. fuhrmanni* y las propiedades fisicoquímicas del suelo de bosque primario

Aptodrilus fuhrmanni	-0.4495 (.1925)	-0.4341 (.2100)	-0.4045 (.2462)	-0.2796 (.4340)	0.0624 (.8641)	0.1253 (.7302)	
pH	-0.1244 (.7320)	-0.3285 (.3540)	-0.5924 (.0711)	0.7904 (.0065)	-0.2847 (.4254)		
N	0.0030 (.9935)	0.5859 (.0751)	0.5791 (.0794)	-0.4036 (.2475)			
CIC	-0.0998 (.7838)	-0.2700 (.4505)	-0.5239 (.1201)				
P	0.1577 (.6634)	0.7558 (.0114)					
K	-0.0686 (.8507)						
DA							
	DA	K	P	CIC	N	pH	Aptodrilus fuhrmanni

Apéndice 9. Matriz de correlación entre la especie *R. hageni* y las propiedades fisicoquímicas del suelo de bosque primario

Reticulitermes hageni	-0.3848 (.2722)	-0.2511 (.4841)	0.0065 (.9859)	0.0517 (.8872)	0.4153 (.2326)	0.6315 (.0502)	
K	-0.3285 (.3540)	-0.2700 (.4505)	0.5859 (.0751)	-0.0686 (.8507)	0.7558 (.0114)		
P	-0.5924 (.0711)	-0.5239 (.1201)	0.5791 (.0794)	0.1577 (.6634)			
DA	-0.1244 (.7320)	-0.0998 (.7838)	0.0030 (.9935)				
N	-0.2847 (.4254)	-0.4036 (.2475)					
CIC	0.7904 (.0065)						
pH							
	pH	CIC	N	DA	P	K	Reticulitermes hageni

Apéndice 10. Ficha de recolección de datos

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

I. DATOS PERSONALES

1.1. Parcela:			
1.2. N° de transecto			
1.3. Fecha:	Duración:	Hora de inicio:	Hora de finalización:
1.4. Responsable del muestreo:			
1.5. Asesor:			

		MONOLITO (N° de individuos)				
II. INDIVIDUOS REGISTRADOS	ESTRATO	1	2	3	4	5
2.1. <i>Aptodrilus fuhrmani</i>	00-10 cm					
	10-20 cm					
	20-30 cm					
2.2. <i>Reticulitermes hageni</i>	00-10 cm					
	10-20 cm					
	20-30 cm					
III. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS						
<i>Aptodrilus fuhrmani</i>						
3.1. Tamaño						
<i>Reticulitermes hageni</i>						
3.2. Tamaño						