

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Forestal



TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO FORESTAL

**“EFECTOS INDUCIDOS EN LOS SUELOS, POR LAS
PLANTACIONES DE (*Pinus radiata* D. Dom.) EN EL
CENTRO POBLADO LLULLAPUQUIO
CAJAMARCA – PERÚ”**

Presentado por:

Bach. Marisol Orrillo Vásquez

Asesor:

Dr. Wilfredo Poma Rojas

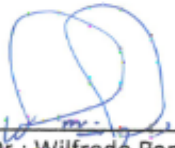
CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. **Investigador:** Marisol Orrillo Vásquez
DNI: 48251125
Escuela Profesional/Unidad UNC: Ingeniería Forestal
 2. **Asesores:**
DR: Wilfredo Poma Rojas
 3. **Facultad/Unidad UNC:** Ciencias Agrarias
 4. **Grado académico o título profesional:**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
 5. **Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación: "EFECTOS INDUCIDOS EN LOS SUELOS, POR LAS PLANTACIONES DE (*Pinus radiata* D. Dom.) EN EL CENTRO POBLADO LLULLAPUQUIO CAJAMARCA – PERÚ"
6. **Fecha de evaluación:** 11/18/2022
 7. **Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)
 8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 6%
 9. **Código Documento:** D150173867
 10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 30/01/2025

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>

Dr.: Wilfredo Poma Rojas DNI: 26719942

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los diez días del mes de octubre del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 059-2023-FCA-UNC, de fecha 16 de enero del 2023**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EFECTOS INDUCIDOS EN LOS SUELOS, POR LAS PLANTACIONES DE (*Pinus radiata* D. Dom.) EN EL CENTRO POBLADO LLULLAPUQUIO CAJAMARCA - PERÚ"**, realizada por la Bachiller **MARISOL ORRILLO VÁSQUEZ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las once horas y veinticinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de quince (15); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las trece horas y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Walter Ricardo Roncal Briones
SECRETARIO

Ing. Nehemias Honorio Sangay Martos
VOCAL

Dr. Wilfredo Poma Rojas
ASESOR

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por el regalo de la vida, la salud y por ser mi guía en cada paso de mi camino. A mi madre y a mi hijo, quienes son el pilar fundamental de mi existencia, les dedico mi más profundo agradecimiento, ya que son mi mayor fuente de inspiración y el motor de mi superación constante.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor, Dr. Wilfredo Poma Rojas, por su orientación constante y sus valiosos aportes para realizar dicha investigación.

A los docentes, Dr. Edin Edgardo Alva Placencia, Ing. Nehemías Honorio Sangay Martos e Ing. M. Sc. Walter Roncal Briones, este último que me inspiró a realizar esta investigación en la cooperativa Lullapuquio.

A los docentes que se encargaron de mi formación académica y profesional en la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

ÍNDICE

	Pàg.
RESUMEN -----	12
ABSTRACT -----	13
I. INTRODUCCIÓN -----	14
1.1.Objetivos de la investigación-----	15
1.2.Objetivo general-----	15
1.3.Objetivos específicos-----	15
1.4. Hipótesis de la investigación-----	15
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA -----	16
2.1.Antecedentes de la Investigación -----	16
2.2.Bases teóricas-----	19
2.2.1. Generalidades del pino radiata -----	19
2.2.1.1.Taxonomía -----	20
2.2.1.2.Morfología -----	20
2.2.1.3.Ecología -----	21
2.2.2. Suelo -----	21
2.2.3. Plantaciones forestales-----	21
2.2.4. Suelos forestales -----	22
2.2.5. Suelo natural-----	22
2.2.6. La hojarasca -----	22
2.2.7. Análisis de características de los suelos-----	22
2.2.8. Observaciones de suelos -----	23
2.2.9. Propiedades físicas del suelo-----	23
a. Textura del suelo-----	23
b. Estructura del suelo-----	23
c. Color del suelo-----	24
d. Permeabilidad-----	24
e. Profundidad efectiva -----	24
f. Drenaje-----	24
2.2.10. Propiedades químicas del suelo-----	25
a. Materia orgánica-----	25

b.	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	25
c.	Conductividad eléctrica	25
d.	(pH) del suelo	26
e.	Porcentaje de saturación de bases	26
f.	Fósforo (P)	26
g.	Potasio (K)	27
h.	Nitrógeno (N)	27
2.2.11.	Nivele de parámetros edáficos	28
2.3.	Definición de términos básicos	32
a.	Color	32
b.	Impacto	32
c.	Plantación forestal	32
d.	Propiedades físicas	32
e.	Propiedades químicas	32
f.	Suelo forestal	32
g.	Textura	32
h.	Materia orgánica	33
i.	Estructura	33
j.	Efectos inducidos	33
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1.	Ubicación del área de estudio	34
3.2.	Características del área de estudio	36
3.2.1.	Accesibilidad	36
3.2.2.	Clima	36
3.2.3.	Suelos	36
3.3.	Ecología	37
3.4.	Materiales y equipos	39
a	Experimental	39
b	De campo	39
c	De gabinete	39
3.5.	Metodología	39

3.5.1. Población -----	39
3.5.2. Muestras -----	40
3.5.3. Variables e indicadores-----	42
a. Variables descriptivas-----	42
3.5.4. Procedimiento-----	42
3.5.4.1.Fase de campo-----	43
3.5.4.2.Fase de post campo-----	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	46
4.1. Resultados del análisis de suelo-----	46
4.1.1. Textura -----	48
4.1.2. Estructura -----	52
4.1.3. Color -----	52
4.1.4. Permeabilidad -----	53
4.1.5. Profundidad efectiva -----	53
4.1.6. Drenaje -----	54
4.2. Análisis químico del suelo-----	55
4.2.1. pH-----	55
4.2.2. Conductividad Eléctrica (ds/m) -----	57
4.2.3. Materia orgánica (%) -----	60
4.2.4. Fósforo (ppm)-----	62
4.2.5. Potasio (ppm) -----	64
4.2.6. Nitrógeno (%) -----	67
4.2.7. Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) -----	69
4.2.8. Cationes cambiables -----	71
a) Calcio (Ca^{+2}) -----	71
b) Magnesio (Mg^{+2}) -----	73
c) Potasio (K^{+}) -----	75
d) Sodio (Na^{+}) -----	77
e) Aluminio + Hidrógeno ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$) -----	79
4.2.9. Saturación de bases (%) -----	82

V. CONCLUSIONES O RECOMENDACIONES -----	84
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA -----	86
VII. ANEXOS -----	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Textura del suelo.....	27
Tabla 2 Reacción del suelo.	28
Tabla 3 Materia orgánica.	28
Tabla 4 Nitrógeno total.	29
Tabla 5 Fósforo disponible.	29
Tabla 6 Potasio disponible.	29
Tabla 7 Carbonato de Calcio.....	30
Tabla 8 Capacidad de Intercambio Catiónico.	30
Tabla 9 Porcentaje de saturación de bases.	30
Tabla 10 Ubicación de calicatas.	39
Tabla 11 Métodos de Análisis de Suelos.	43
Tabla 12 Resultados de análisis de caracterización del suelo.	44
Tabla 13 Textura del suelo.....	45
Tabla 14 Estructura del suelo.....	48
Tabla 15 Color del suelo.	49
Tabla 16 Permeabilidad del suelo.	50
Tabla 17 Profundidad efectiva del suelo.....	50
Tabla 18 Lectura de Perfiles.	51
Tabla 19 pH en las calicatas.....	52

Tabla 20 Conductividad Eléctrica (C.E. (dS/m)).....	54
Tabla 21 Porcentaje de M.O. (%).....	56
Tabla 22 Valores de fósforo (ppm).....	58
Tabla 23 Valores de potasio (ppm).....	60
Tabla 24 Porcentajes de Nitrógeno (%).....	62
Tabla 25 Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g).....	65
Tabla 26 Calcio (Ca +2).....	67
Tabla 27 Magnesio (Mg +2).....	69
Tabla 28 Potasio (K+)......	71
Tabla 29 Sodio (Na+).	73
Tabla 30 Aluminio + Hidrógeno (Al +3 + H+).	75
Tabla 31 Porcentaje de saturación de bases (%).....	77
Tabla 32 Perfil MO-1.....	88
Tabla 33	90
Tabla 34 Perfil MO-2.....	91
Tabla 35	93
Tabla 36 Perfil MO-3.....	94
Tabla 37	96
Tabla 38 Perfil MO-4 (calicata testigo).	97
Tabla 39	99
Tabla 40 Análisis de suelos: Caracterización.	100
Tabla 41 Análisis de suelos: Caracterización.	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio.....	34
Figura 2 Mapas de zonas de vida.....	37
Figura 3 Mapa de ubicación de calicatas.....	40
Figura 4 Porcentaje de Arena en cada horizonte.....	46
Figura 5 Porcentaje de Limo en cada horizonte.....	47
Figura 6 Porcentaje de Arcilla en cada horizonte.....	48
Figura 7 Valores de pH presentes en cada horizonte.....	52
Figura 8 Valores promedios de pH en las entre ambas muestras.....	53
Figura 9 Valores de Conductividad Eléctrica presentes en cada horizonte.....	54
Figura 10 Valores promedios de C.E. entre ambas muestras.....	55
Figura 11 Contenido de Materia orgánica en cada horizonte.....	56
Figura 12 Comparación del valor promedio de % de MO de las calicatas con plantaciones y sin plantaciones.....	57
Figura 13 Valores de Fósforo presentes en cada horizonte de las calicatas.....	58
Figura 14 Valores promedios de muestras.....	59
Figura 15 Valores de Potasio presentes en cada horizonte de las calicatas.....	60
Figura 16 Valores promedios del K entre ambas muestras.....	61
Figura 17 Porcentaje de Nitrógeno de cada horizonte de las calicatas.....	62
Figura 18 Valores promedios de Nitrógeno entre ambas muestras.....	64
Figura 19 Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico presentes en cada horizonte.....	65
Figura 20 Valores promedios de CIC.....	66
Figura 21 Valores de calcio presentes en cada horizonte.....	67

Figura 22 Valores promedios de Ca +2 entre ambas muestras.....	68
Figura 23 Valores de magnesio presentes en cada horizonte.	69
Figura 24 Valores promedios de Mg +2 entre ambas muestras.....	70
Figura 25 Valores de Potasio (K+) presentes en cada horizonte.	71
Figura 26 Valores promedios de K + entre ambas muestras.	72
Figura 27 Valores de sodio (Na+) presentes en cada horizonte.....	73
Figura 28 Valores promedios de Na +.	74
Figura 29 Valores de aluminio + hidrógeno presentes en cada horizonte del área de estudio.	75
Figura 30 Valores promedios de Al+3H+ entre ambas muestras.	76
Figura 31 Porcentaje de Saturación de bases de cada horizonte.....	77
Figura 32 Valores promedios de PSB entre ambas muestras.	78

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar los efectos inducidos de las plantaciones de *Pinus radiata* sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de estudio. El análisis compara suelos con y sin plantaciones, considerando factores clave como textura, permeabilidad, pH, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros.

Los resultados del estudio muestran que las plantaciones de *Pinus radiata* generan efectos sobre las propiedades del suelo. Por un lado, se observa una mejora en la estructura del suelo y un incremento en el contenido de materia orgánica, especialmente en los horizontes superficiales. Sin embargo, también se detecta un efecto notable en el pH, que disminuye de un rango ácido a extremadamente ácido (4.41 - 5.25). Esta acidificación afecta la disponibilidad de nutrientes esenciales, como calcio y magnesio, y podría limitar la fertilidad del suelo a largo plazo.

En cuanto a la materia orgánica, los suelos con plantaciones muestran valores que van de 10% y el 17.10%. Mostrando una diferencia con la calicata sin plantación donde los valores son de 14.76%. Este comportamiento podría atribuirse a la acumulación superficial de humus característico de las coníferas, cuya descomposición es más lenta y menos efectiva en su integración con el suelo mineral.

Las plantaciones de *Pinus radiata* ayudan a recuperar suelos degradados y aumentar la cobertura forestal. Sin embargo, también tienen efectos adversos, como acidificar el suelo y reducir nutrientes clave, lo que puede afectar su sostenibilidad en el tiempo. Este estudio es crucial para guiar decisiones sobre reforestación y manejo de suelos en áreas como Lullapuquio.

Palabras claves: *pinus radiata*, plantaciones forestales, Lullapuquio

ABSTRACT

The main objective of this study is to evaluate the impact of *Pinus radiata* plantations on the physicochemical properties of the soil in the study area. The analysis compares soils with and without plantations, considering key factors such as texture, permeability, pH, cation exchange capacity, organic matter, nitrogen, phosphorus, and potassium, among others.

The study results show that *Pinus radiata* plantations have both beneficial and detrimental effects on soil properties. On the one hand, an improvement in soil structure and an increase in organic matter content, especially in the surface horizons, are observed. However, a notable effect on pH is detected, which decreases from a mildly acidic range to extremely acidic (4.41 - 5.25). This acidification affects the availability of essential nutrients such as calcium and magnesium, potentially limiting soil fertility in the long term.

Regarding organic matter, soils with plantations show a significant increase, with values ranging between 10% and 17.10%. However, this increase is slightly lower than that observed in areas without plantations, where values average 14.76%. This behavior may be attributed to the accumulation of surface humus characteristic of conifers, whose decomposition is slower and less effective in integrating with the mineral soil.

Although *Pinus radiata* plantations contribute to the recovery of degraded soils and increase forest cover, they also have negative effects such as soil acidification and the depletion of essential nutrients, which could compromise their long-term sustainability. This study is crucial for guiding decisions related to reforestation and soil management in areas such as Lullapuquio.

Keywords: *Pinus radiata*, forest plantations, Lullapuquio.

I. INTRODUCCIÓN

El *Pinus radiata* D. Don es una especie introducida que ha demostrado un gran éxito en la adaptación a diferentes tipos de suelos, incluyendo aquellos con deterioro agrícola o lixiviación. Esta especie se adapta bien a suelos ácidos o muy ácidos y contribuye a la mejora de suelos dañados o con carencias nutricionales (González, J. P. 2020).

En Perú, a principios del año de 1980, el *Pinus radiata* D. Don fue incluido en los programas de reforestación, aunque inicialmente en una escala pequeña. En 1986, las estadísticas de reforestación del INFOR reportaron el establecimiento de aproximadamente 209,475 ha de plantaciones forestales a nivel nacional. De estas, el 23% estaban localizadas en Cajamarca, Lambayeque, La Libertad y Áncash (Picard, 1988).

El *pinus radiata* es una especie que se adapta a distintos suelos tanto ácidos o muy ácidos, generalmente profundos y franco arenosos de buena permeabilidad. El *Pinus radiata* es la especie más utilizada en los programas de forestación y reforestación, especialmente en la sierra de Cajamarca. Según ADEFOR, en esta región existen 25.000 hectáreas de plantaciones forestales, de las cuales el 40% corresponde a *Pinus radiata* .

Por ello, esta investigación realizada busca generar información en la zona de estudio, "Efectos inducidos en los suelos por las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en el centro poblado Llullapuquio, Cajamarca, Perú".

Objetivos de la investigación

1.1.Objetivo general

- ✓ Determinar los efectos inducidos de la plantación de *Pinus radiata* D. Don en las propiedades fisicoquímicas del suelo en el Centro Poblado Llullapuquio, Cajamarca, Perú.

1.2.Objetivo específico

- ✓ Evaluar los efectos inducidos las características físicas de suelos bajo plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, en el centro poblado de Llullapuquio.
- ✓ Evaluar los efectos inducidos de la plantación de *Pinus radiata* D. Don en las propiedades químicas del suelo.

1.3.Hipótesis de la investigación

Las plantaciones de *pinus radiata* D. Don tiene efectos inducidos en los suelos con plantación o en suelos sin plantación en el centro poblado Llullapuquio.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la Investigación

Según Lozada, J. *et al* (2011). El *Pinus radiata* D. Don, es originario de un entorno costero de California, se ha introducido en muchas partes del mundo como especie exótica para la forestación. La supervivencia y el crecimiento de los árboles jóvenes plantados en varios lugares parecen razonables. Trata los siguientes aspectos: *Pinus radiata* en su entorno nativo y en plantaciones *ex situ*, procedencia y variaciones genéticas, limitaciones medioambientales y nicho climático, enfermedades y plagas, lecciones de las introducciones fallidas y el uso de *Pinus radiata* para la restauración ecológica. Se describe brevemente el crecimiento temprano de *Pinus radiata* plantado en la zona del valle seco del río. También se identifican los 10 problemas potenciales asociados a la introducción de *P. radiata* en Aba y las necesidades futuras de investigación.

Las plantaciones de pino en el estado portugués, Venezuela, se adaptan bien a terrenos arenosos y poco fértiles, con baja productividad agropecuaria. Sin embargo, las operaciones de plantación y la fisiología de la planta generan impactos como la compactación y la acidez del suelo, cuestionando la sostenibilidad de estos proyectos. El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios en algunas características del suelo que previamente albergaban cultivos o sabanas, utilizando tres calicatas en plantaciones de pino de 13 años y tres en pastizales (como testigo). Se analizaron características como profundidad, color, estructura, textura, materia orgánica, pH, nutrientes y compactación. Los resultados muestran efectos estadísticamente significativos en la disminución del contenido de limo (no atribuible a la plantación), un aumento en la conductividad eléctrica y el cobre, posiblemente relacionado con el uso de agroquímicos. Se concluye que, tras 13 años de plantaciones de pino, los cambios significativos en el suelo son

limitados, pero se confirma la tendencia a la disminución del pH, como se ha observado en otros estudios (Lozada, J. et al., 2011) .

Cotrina & Vallejos (1993) determinó , en plantaciones de *Pinus radiata* de 0 a 29 años, la fertilidad del suelo a una profundidad comprendida entre 0-5 cm y 15-30 cm. Los resultados, mostraron una disminución de los niveles de materia orgánica y pH, en relación a otras especies de crecimiento rápido como el cultivo agrícola y cultivo herbáceo (Mayta, 2019).

Leon – Gamboa, et al, (2010) realizó un estudio de los efectos del pino sobre la antropofauna del suelo de un bosque alto andino, el cual consistió en la comparación de suelos con bosques nativos y plantaciones de pino, todos ellos a una profundidad de 0-15 cm. Después de realizar los análisis concluyeron que hay una disminución de niveles de nitrógeno, fósforo, materia orgánica, calcio, magnesio, zinc, cobre en las siguientes proporciones con respecto a los bosques nativos N 1.12%, P 0.02%, MO 10.36%, Ca 0.34%, Mg 0.06%, Zn 18.55 ppm y Cu 3.84 ppm. Sin embargo, con respecto al potasio se tiene un incremento ligero para la plantación de pino en 0.01 % y la densidad aparente es superior en 0.07 g/ml. Confirmando de esa manera que las plantaciones con pino sobre el suelo generan impactos negativos en algunas propiedades edáficas de los suelos. (Leon – Gamboa, et al, 2010)

En los suelos en áreas altoandinas de la región Amazonas, se evaluaron el efecto de las plantaciones de *Pinus patula* sobre las características fisicoquímicas del suelo a partir de la comparación entre dos sistemas paralelos: sistemas forestales con pino, y sistemas a campo abierto, es decir, sin componente arbóreo. Para realizar esta evaluación trabajaron con seis áreas en diferentes pisos altitudinales, sumando un total de 18 áreas, nueve de ellos con plantaciones de pino y nueve sin pino, en los cuales realizaron cuatro calicatas mediante un

Muestreo Aleatorio Estratificado (MAE), tomando muestras de suelos a dos profundidades, de 0 a 15cm, y de 15 a 30 cm. Recolectaron un total de 144 muestras. Los resultados en referencia al pH indicaron que las áreas con plantaciones de pino (pH: 4,50) presentaron una ligera reducción con respecto a las áreas sin pino (pH: 4,83), mientras que la materia orgánica se incrementa (de 3,93 % a 5,54%). En relación al potasio, las áreas con plantaciones de pino presentaron menores cantidades (109,50ppm) en comparación con las áreas sin pino (135,73 ppm); esto mismo ocurre con el contenido de fósforo, el cual aumenta de 6,81 a 6,83 ppm (Oliva, et al, 2016).

En el estudio realizado sobre Los Efectos de las plantaciones de *Pinus* sobre las propiedades del suelo, Cullpa Alta, Huancayo – Junín. Se Obtuvieron las unidades muestrales de suelo de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus teocote* Schltdl. & Cham, establecidas hace 20 años, a una altitud de 3 550 msnm, con una pendiente de 45%, y áreas con vegetación nativa compuesto por árboles de *Alnus acuminata* HBK. Los resultados obtenidos mostraron que las plantaciones de *Pinus* tienen efectos en un incremento en la densidad aparente y una disminución de la porosidad del suelo, provocando su compactación y una disminución en la humedad lo cual es perjudicial para el desarrollo de las plantas. Asimismo, observaron alteraciones sobre las propiedades químicas, disminución del contenido de materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico, reacción fuertemente ácida, baja disponibilidad de cationes cambiabiles (Ca^{++} y Mg^{++}) e incremento de la acidez intercambiable. Valores bajos de pH afectan directamente la asimilación y disponibilidad de nutrientes, el bajo contenido de materia orgánica conduce a un deterioro de la calidad del suelo afectando directamente el aprovisionamiento natural de nutrientes y afectando las propiedades físicas del suelo (Dionisio, 2012).

2.2.Bases teóricas

2.2.1. Generalidades del *Pinus radiata*

Origen :*Pinus radiata* D, es una especie de pino nativa de las regiones montañosas del este de México. Este árbol se caracteriza por su rápido crecimiento y su adaptabilidad a una variedad de suelos, aunque prefiere suelos profundos y bien drenados. Los pinos radiatas pueden alcanzar alturas de entre 20 y 30 metros, con troncos rectos y corteza escamosa de color marrón rojizo. Sus hojas, que son acículas, suelen agruparse en fascículos de tres a cinco y son notablemente delgadas y flexibles, lo que le confiere su nombre específico "radiata", que significa "extendida" en latín.

La madera de *Pinus radiata* es valorada en la industria maderera debido a su calidad y versatilidad. Se utiliza comúnmente en la fabricación de papel, productos de madera contrachapada y muebles. Además, esta especie es frecuentemente plantada en programas de reforestación y proyectos de restauración ecológica debido a su capacidad de crecimiento rápido y su resistencia a diversas condiciones ambientales adversas.

Desde un punto de vista ecológico, *Pinus radiata* juega un papel importante en su hábitat natural, proporcionando refugio y alimento a diversas especies de fauna. Sin embargo, cuando se introduce fuera de su rango nativo, puede convertirse en una especie invasora, afectando negativamente a las especies locales y a los ecosistemas. Smith, J. (2023).

2.2.1.1.Taxonomía

Pertenece al reino Plantae, su clase es Coníferas, orden Pinales, familia Pinaceae, genero Pinus, especie Radita. (Limache 1985).

2.2.1.2.Morfología

Son árboles que pueden alcanzar de 15-50 m de altura, raramente 60 m, el fenotipo de su tronco es recto, agrietado y arrugado con corteza pardo rojiza gruesa, las hojas son de color verde vino, aquilladas con dos canales resiníferos, miden 10-15 cm. de largo, reunidas en fascículos de 3 a 5 hojas que nacen de las pequeñas ramitas denominadas braquiblastos. Sus semillas son de color negro, encontrándose bien conservado en las piñas de 7 – 14 x 5 – 8 cm, aparecen en verticilos de 3 – 5 o apareadas, sus frutos presentan inflorescencias masculinas y femeninas, asimétricos, ovoides y castaños, los estróbilos masculinos son amentiformes, compuestas de numerosas hojas polínicas, mientras las femeninas posee 2 óvulos en cada hoja carpelar. Sus raíces presentan radicular bastante extenso, profundo si el suelo tiene características adecuadas para su desarrollo, en forma general se desarrolla muy bien en los primeros 50 cm de profundidad (Zegarra, 2011).

2.2.1.3.Ecología

El *Pinus radiata* D. Don en su lugar de origen se cultiva bajo los 1000 a 2000 msnm en zonas de clima suave y húmedo, con exigencias a la humedad ambiental y escasas heladas. Es muy resistente a las sequías debido a que apenas percibe precipitaciones. Además, el pino no crece en suelos compactos, de poco fondo o mal drenados, la producción se da mejor en suelos fuertes y húmedos, los silíceos-arcillosos profundos son los mejores suelos que favorecen (Asturnatura, 2005). Además, la Universidad Técnica del Norte Ecuador (2010) menciona que la temperatura óptima para sus raíces es de 15 °C siendo cinco grados menos de su requerimiento, con esto contrarrestar la poca resistencia a las heladas en muchos países del sur de Europa (Mayta, 2019).

2.2.2. Suelo

El suelo es la capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra y que es explotada por las raíces de las plantas y a partir de la cual obtienen sostén, nutrientes y agua. Desde una perspectiva ambiental, tiene un rol fundamental en todos los procesos Ecosistémicos, debido a las funciones y servicios que realiza, tales como la regulación y la distribución del flujo de agua o como amortiguador de los efectos de diversos contaminantes (Food & Health, 2013).

2.2.3. *Plantaciones forestales*

Las plantaciones forestales son superficies arbóreas que se han obtenido de forma artificial, mediante plantación o siembra. Los árboles pertenecen en general a una misma especie (ya sea nativa o introducida), tienen los mismos años de vida y presentan una separación homogénea (Facts, 2015).

2.2.4. Suelos Forestales

El suelo forestal es un componente muy importante del sitio, que puede ser susceptible a modificaciones en forma natural por la silvicultura, ya sea con actividad antropógena involuntaria o a través de planificadas intervenciones, además indica que las formas de producir alteraciones del suelo pueden tener efectos positivos o negativos para el ecosistema y especialmente en la nutrición de la planta y en la fertilidad del suelo forestal

2.2.5. Suelo natural:

Se refiere al material no consolidado y no cementado que se encuentra en la superficie terrestre, formado por una mezcla de minerales, materia orgánica, agua y aire. Este tipo de suelo no ha sido alterado significativamente por actividades humanas y mantiene sus características físicas, químicas y biológicas originales. Los suelos naturales juegan un papel

crucial en diversos procesos ecológicos, como la regulación del agua, la provisión de nutrientes para las plantas y el soporte de la biodiversidad. Smith, (2020, p. 45)

2.2.6. La Hojarasca:

Empieza el proceso de formación, acumulación y descomposición de la materia orgánica; produciéndose en el suelo ácidos orgánicos. Los ácidos liberan cationes H^+ que son fuertemente atraídos y adsorbidos por las micelas orgánicas e inorgánicas, desplazando a gran parte de los demás cationes. Los cationes H^+ a su vez promueven la solubilización del Al^{+3} , el que también es adsorbido en las micelas. Con las lluvias se provoca el lavado de los otros cationes, promoviendo la acidez del suelo (White y Molnar, 2002).

2.2.7. Análisis de caracterización de los suelos

Según el D.S. N° 013 (2010) AG, define al análisis de caracterización como la determinación de las características físico – mecánicas y químicas del suelo mediante procedimientos de laboratorio y comprende lo siguiente: pH, calcáreo total, materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, cationes cambiables, aluminio, conductividad eléctrica y textura. D.S. N° 013 (2010)

2.2.8. Observaciones de suelos

Según el D.S. N° 013 (2010) AG la observación de suelos consiste en la descripción, identificación y evaluación de las características de los horizontes de suelos determinados en calicatas, barrenajes y/o en cortes naturales del terreno. Las calicatas son excavaciones en el terreno, de aproximadamente 1.50m de largo, 0.80m de ancho y 1.50 m de profundidad. Esta profundidad puede variar debido a la presencia de factores limitantes tales como capas endurecidas, elevada gravosidad o pedregosidad dentro del perfil, presencia de roca , napa freática cerca de la superficie.

2.2.9. Propiedades físicas del suelo

a. Textura del suelo

La textura es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina, en el suelo; estas partículas, se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar) (Jaramillo, 2002). Así mismo, la textura puede determinar el contenido de materia orgánica de un suelo, siendo este mayor en los suelos de grano fino que en los suelos de textura gruesa (García A. , 2009).

b. Estructura

La estructura es el arreglo de las partículas del suelo. Se debe entender por partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas. Por lo tanto, «partícula» designa a toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (arena, limo, arcilla) o secundaria (agregado o unidad estructural). (Rucks, et,2004)

c. Color del Suelo

El color del suelo depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta ciertas propiedades del suelo. Se usa para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de material parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato (FAO, 2021).

d. Permeabilidad: se refiere a la capacidad del suelo para permitir el paso de agua y aire a través de sus poros. Es una propiedad importante para entender cómo el agua se mueve y se almacena en el suelo (Smith, 2020, p. 45).

e. Profundidad efectiva

La profundidad efectiva de un suelo es el espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vistas a conseguir el agua y los nutrientes indispensables. Esta información resulta ser de suma importancia para el crecimiento de las plantas. La mayoría puede penetrar sus raíces más de un metro, si las condiciones del suelo lo permiten. Un suelo debe tener condiciones favorables para recibir, almacenar y hacer aprovechable el agua para las plantas, a una profundidad de por lo menos un metro (García, 2017).

f. Drenaje Es la acción de evacuar el agua contenida en el perfil del suelo y que genera saturación y condiciones de humedad muy altas que impiden un buen desarrollo de las raíces del cultivo. Se practica en aquellos terrenos en los cuales hay presencia de un nivel freático cerca de la superficie del suelo. (SENARA, 2021).

2.2.10. Propiedades químicas del suelo

a. Materia orgánica (M.O)

Se encuentra compuesta por humus, hojas secas, tallos rotos, microorganismos, tejidos muertos, etc. El proceso de descomposición de la materia orgánica se da primeramente en el horizonte O del suelo, seguidamente los microorganismos empiezan la descomposición liberando CO₂ hacia la atmósfera. Su importancia se basa principalmente en la protección de la erosión, mejora la productividad de los cultivos,

incrementa la temperatura edáfica, ocasionalmente adelanta la germinación de las semillas (Almorox; et al 2010).

b. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la habilidad de las partículas de suelo que tienen carga negativa para atraer y retener cargas positivas de iones calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+), sodio (Na^+), amonio (NH_4^+), aluminio (Al^{+++}) e hidrógeno (H^+) (Ezpinoza, et al,2013).

c. Conductividad eléctrica (C.E)

La conductividad eléctrica se utiliza para medir el riesgo potencial del daño a una planta debido a las sales en el suelo, y se mide con una mezcla de 1:2 suelo: agua. Esta medida incluye todas las sales solubles, no solo cloruro de sodio (sal común) que es la sal con que la gente está familiarizada (Ezpinoza, et al,2013).

d. Potencial de hidrógeno (pH)

Es la medida de la concentración de acidez o alcalinidad, una propiedad importante de la calidad del suelo, debido a que se encuentra correlacionado con otras propiedades del suelo, además los valores del pH varía según las sales de Ca y Na, o a iones H^+ y Al^{3+} , es decir, si el valor del pH es menor a 5 los macro y micro nutrientes como el nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y boro son deficientes, mientras si los valores son mayores a 6, se origina problemas de disponibilidad de fósforo, fierro, zinc, manganeso y cobre. Así mismo, la regulación del pH se da principalmente por la cal y yeso debido a que el yeso permite acidificar y la cal incrementa la alcalinidad (Cedepa, 2012).

e. Porcentaje de saturación de bases

La saturación de bases representa el porcentaje de los sitios de intercambio en el suelo ocupados por los iones básicos Ca, Mg, Na y K. La diferencia entre ese número y 100 es el porcentaje de los sitios de intercambio ocupados por cationes ácidos: Al y H. En la mayoría de las situaciones, una saturación con bases relativamente alta (>60%) es deseable. (Espinoza, et al, 2013).

f. fósforo (P)

El fósforo (P) es un importante macronutriente de las plantas, está involucrado en el control de las reacciones enzimáticas y es clave en la regulación de las vías metabólicas. Asimismo, es un constituyente de nucleótidos, fosfolípidos y compuestos de fosfato para transferir energía (Pallardy, 2008). El P se produce en formas orgánicas e inorgánicas en las plantas y es probablemente transportada en ambas formas (Bustan, et al, 2013).

g. Potasio (K)

Es un nutriente esencial para las plantas, interviene en el equilibrio hídrico, celular, absorción y reducción de nitratos, es decir, es muy importante para las épocas de sequía, porque evita la pérdida de agua. Favorece la resistencia de enfermedades, al frío y a la salinidad y disminuye la transpiración. Participa en la síntesis de la proteína y en la síntesis de glúcidos azúcares y almidones (Calla, 2017).

h. Nitrógeno (N)

El nitrógeno es uno de los nutrientes de la planta que más investigación ha generado, no solo por ser un constituyente esencial para la productividad de los cultivos, sino también por el fuerte impacto que genera en los organismos animales, vegetales, la salud humana en forma general al ecosistema. (Facts, 2015).

Su presencia en el suelo es consecuencia, en su mayor parte, de la descomposición de los materiales orgánicos, esencialmente se considera que el 99% del nitrógeno total estuvo en forma orgánica. Se ha demostrado que existen formas de incorporarse N al suelo mediante la mineralización, composición de las sustancias orgánicas, acción de algunos microorganismos y finalmente en menor proporción por medio de las lluvias. En los suelos minerales se lo encuentran en cantidades relativamente pequeñas, si bien llega a sobrepasar el 0.05% solo en las capas superficiales (Fox, et al , 2009).

2.2.11. Nivele de parámetros edáficos.

Tabla 1

Textura del suelo.

TEXTURA		
Grupos Texturales		Clase textural
Símbolo	Grupos	
G	Gruesa	Arena
		Arena franca
MG	Moderadamente Gruesa	Franco arenoso
		Franco
M	Media	Franco limoso
		Limoso
		Franco arcilloso
MF	Moderadamente Fina	Franco arcillo limoso
		Franco arcillo arenoso

		Arcillo arenoso
F	Fina	Arcillo limoso
		Arcilloso

Tabla 2

Reacción del suelo.

Término descriptivo	Rango (pH)
Ultra ácida	< de 3,5
Extremadamente ácida	3,6 - 4,4
Muy fuertemente ácida	4,5 - 5,0
Fuertemente ácida	5,1 - 5,5
Moderadamente ácida	5,6 - 6,0
Ligeramente ácida	6,1 - 6,5
Neutra	6,6 - 7,3
Ligeramente alcalina	7,4 - 7,8
Moderadamente alcalina	7,9 - 8,4
Fuertemente alcalina	8,5 - 9,0
Muy fuertemente alcalina	> 9,0

Tabla 3

Materia orgánica.

Nivel	Contenido (%)
Bajo	< de 2
Medio	2 - 4

Alto	> de 4
------	--------

Tabla 4

Nitrógeno total.

Nivel	Contenido (%)
Bajo	< de 0,10
Medio	0,10 – 0,20
Alto	> de 0,20

Tabla 5

Fósforo disponible.

Nivel	Contenido (ppm)
Bajo	menor de 7
Medio	7 – 14
Alto	mayor de 14

Tabla 6

Potasio disponible.

Nivel	Contenido (ppm)
Bajo	< 100
Medio	100 – 240
Alto	> 240

Tabla 7*Carbonato de Calcio.*

Nivel	Contenido (%)
Bajo	< de 1,0
Medio	1,0 – 5,0
Alto	5,0 – 15,0

Tabla 8*Capacidad de Intercambio Catiónico.*

Nivel	cmol (+) / kg de suelo
Muy Bajo	< de 6
Bajo	6 – 12
Medio	12 – 14
Alto	> de 14

Tabla 9*Porcentaje de saturación de bases.*

Nivel	Acetato de amonio
Bajo	Menor de 50
Alto	Mayor de 50

2.3. Definición de términos básicos

- a. **Color:** depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación de minerales presentes (FAO, 2021).
- b. **Impacto:** se refiere a los efectos que la intervención planteada tiene sobre la comunidad en general (Libera, 2007).
- c. **Plantación forestal:** son superficies arboladas que se han obtenido de forma artificial, mediante plantación o siembra (Facts, 2015).
- d. **Propiedades físicas:** son las características entre ellas el color, textura, estructura, porosidad, permeabilidad, profundidad efectiva, drenaje, densidad aparente, otra propiedad física de los suelos que se considera es la temperatura, que tiene como fuente principal la irradiación solar (Flores, 2009).
- e. **Propiedades químicas:** son de mucha importancia en el desarrollo del perfil del suelo y en sus propiedades físicas y también biológicas. (Dionisio, 2012).
- i. **Suelos Forestales:** Es un componente muy importante del sitio, que puede ser susceptible a modificaciones en forma natural por la silvicultura, ya sea con actividad antropógena involuntaria o a través de planificadas intervenciones. Las formas de producir alteraciones del suelo pueden tener efectos positivos o negativos para el ecosistema y especialmente en la nutrición de la planta y en la fertilidad del suelo forestal (Luna, 2006).
- f. **Textura:** se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (FAO, 2021).

- g. Materia orgánica:** La materia orgánica del suelo es producto de los diversos ciclos de vida de los seres vivos, cuyos cuerpos liberan residuos y sustancias que, al descomponerse, conforman una masa diversa, rica en nutrientes y altamente aprovechable por los organismos autótrofos como las plantas - Fuente: <https://concepto.de/materia-organica/>
- h. Estructura:** Según Sánchez (1981), citado por (Castillo, 2005) define estructura del suelo como: "el tamaño, la forma y el arreglo de las partículas primarias que forman las partículas compuestas, y el tamaño, forma y arreglo de las partículas compuesta". Lo que se considera como buena estructura depende del aire y el agua se mueve a través del suelo.
- i. Efectos inducidos:** se refiere a las alteraciones que ocurren en las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo como consecuencia de una intervención externa o un evento, ya sea de origen natural o antropogénico (causado por el ser humano) . Estos efectos no son espontáneos, sino que resultan de una acción directa, como la aplicación de fertilizantes, la deforestación, el riego, la contaminación o la compactación del suelo por maquinaria pesada. (Smith, J., Johnson, L., y Martínez, R. 2019).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio.

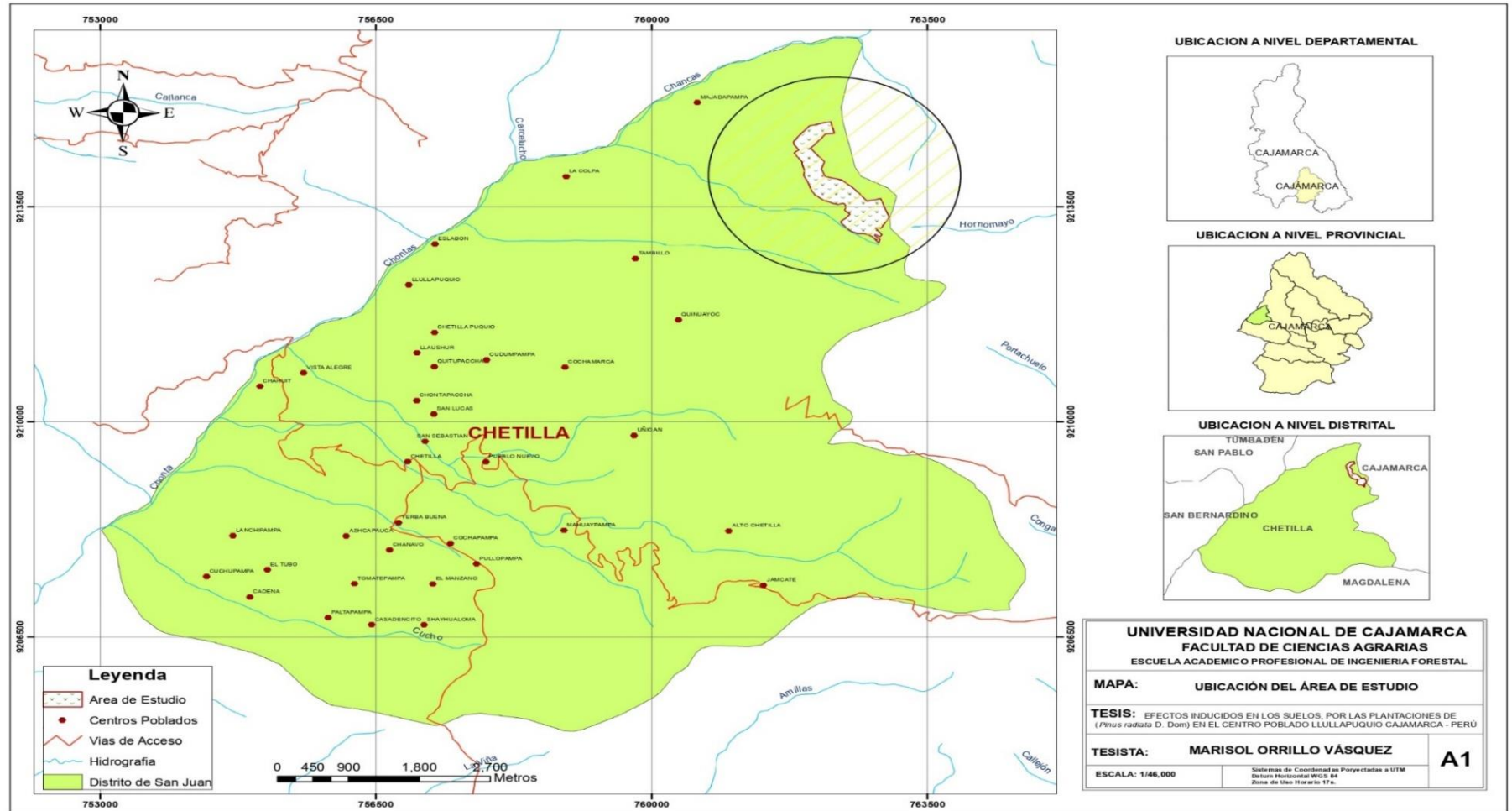
El área de estudio se encuentra dentro la Cooperativa Lullapuquio lo cual está ubicada en el distrito de Chetilla, provincia de Cajamarca y departamento Cajamarca, Perú.

Lullapuquio, geográficamente se encuentra ubicado entre las coordenadas UTM 761708m, 762701 m Este, 9213594 m, 9214025 m Norte 14f, (Zona: 17s, Datum: WGS-84), a una altitud de 3550 a 3815 msnm.

La plantación fue establecida en 1997 con el apoyo de ADEFOR, que propuso a la comunidad ceder el terreno para convertirse en socios del proyecto, beneficiando a 57 integrantes. Los socios colaboraron en la instalación de las plantaciones en un sistema tribalillo, un área de 72 ha, con una densidad de 1000 plántones por hectárea, mientras que ADEFOR proporcionó apoyo técnico y trabajo remunerado para los pobladores locales, generando empleo y fortaleciendo la participación.

Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio.



3.2. Características del área de estudio

3.2.1. Accesibilidad

Para acceder a la plantación de *Pinus radiata* D. Don. localizado en el centro poblado de Lullapuquio, distrito de Chetilla, requiere un tiempo aproximado de 45 min en vehículo desde la ciudad de Cajamarca. La ruta principal para llegar al área de estudio es por la carretera Cajamarca - Porcón, se toma desvío en el km 16, hacia el centro poblado Lullapuquio, haciendo un total de recorrido desde Cajamarca hasta el lugar de estudio aproximado de 20 Km.

3.2.2. Clima

El clima en el área de estudio es húmedo-templado frío con temperatura media entre 3°C y 16°C con una precipitación media anual de 1 500 mm (García, M. 2015).

3.2.3. Suelos

Los suelos del centro poblado de Lullapuquio, donde se encuentra la plantación de *Pinus radiata* D. Don, son principalmente Cambisoles y Andosoles. Presentan un relieve ondulado y están cubiertos por pastos naturales, bosques y vegetación arbustiva. Se forman a partir de rocas volcánicas y depósitos detríticos, en una topografía irregular con pendientes de ligeras a empinadas.

Son suelos superficiales a moderadamente profundos, de textura media, buen drenaje, alta capacidad de retención de humedad y reacción de ligeramente a fuertemente ácida. Su fertilidad es media, con niveles moderados a altos de materia orgánica y potasio, y bajos a medios de fósforo. Son ideales para uso forestal y actividades pecuarias, según su aptitud y características físicas y químicas (SERFOR, 2016).

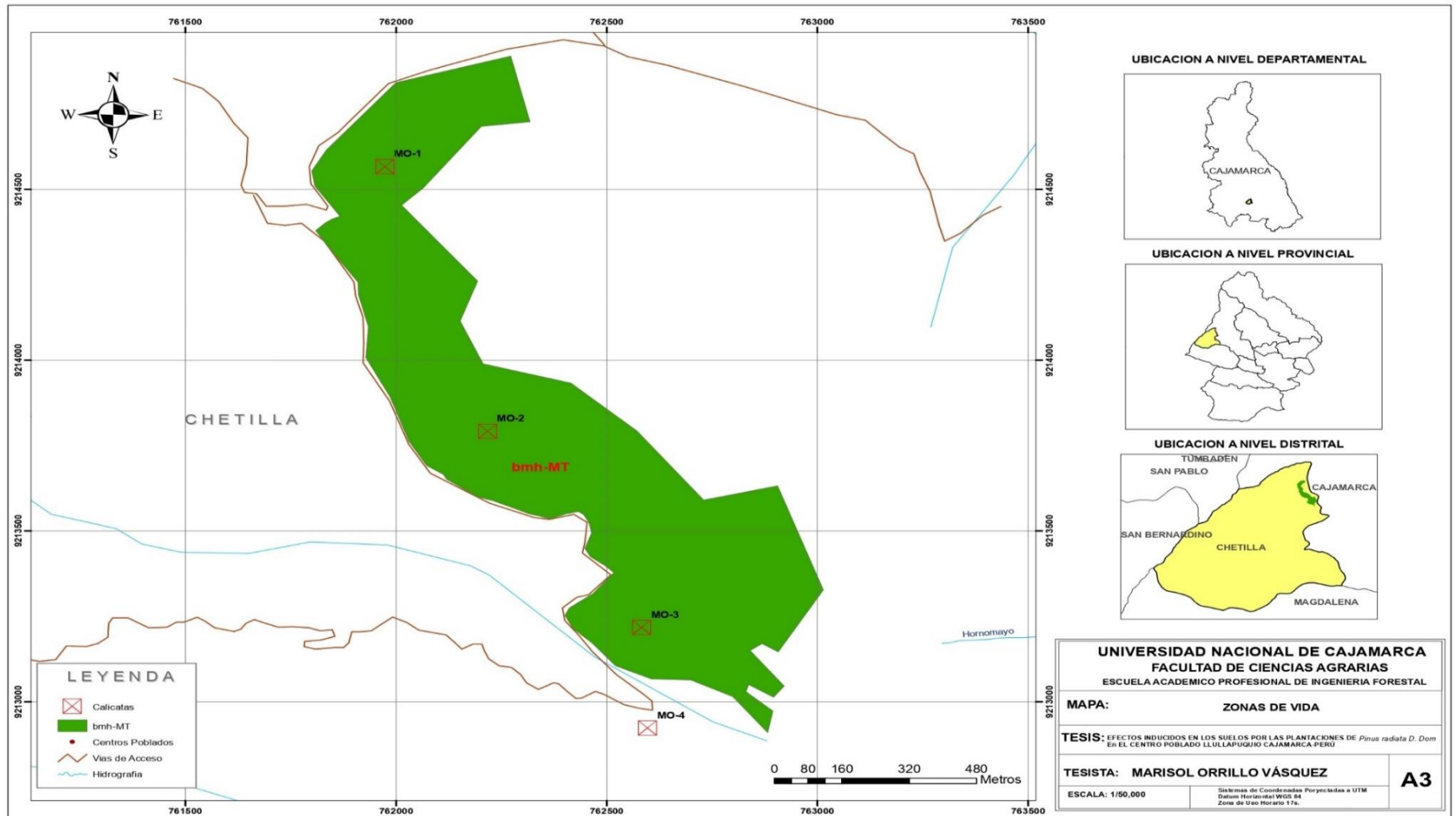
3.3.Ecología

Las zonas de vida identificada en el área de estudio es una expresión de las condiciones climáticas en función de la precipitación promedio anual, la evapotranspiración potencial y la altura sobre el nivel del mar. La zona de vida corresponde al bosque muy húmedo- Montano Tropical (bmh-MT), comprendido entre 2 900 y 3 9000 msnm. (ONERH 1997)

La vegetación circundante de la zona de estudio, se caracteriza por la presencia de especies exóticas como: el *Calamadrosti*, *Stipa ichu*, *Vulpia myuros*, *Schizachyrium sanguineum*; *Polygonaceae*, *Rumex acetosella*, *Asteraceae Baccharis*, *Pappobolus microphyllus*, *Gnaphalium dombeyanum*; *Lamiaceae*, *Minthastadys toaectosa*, *Rosaceae*, *Rubus robustus*, *Fabaceae*, *Dalea weberbaueri*, además de presentar condiciones adecuadas para la actividad agropecuaria.

Figura 2

Mapas de zonas de vida.



3.4. Materiales y equipos

a. Experimental

- Plantación forestal de *Pinus radiata* D. Don.

b. De campo

- GPS
- Cámara fotográfica
- Wincha
- Tarjetas de lectura de perfiles
- Bolsas para muestras
- Palana
- Pico
- Cartografía base digital.
- Tabla de colores Munsell

c. De Gabinete

- Materiales de escritorio
- Software: ARCGIS (version libre).

3.5. Metodología

3.5.1. Población

La población está conformada por plantaciones de *pinus radiata* D. Don con una edad aproximada de 27 años, la plantación tiene una superficie de 72 ha aproximadamente, la misma que se encuentra en el centro poblado de Lullapuquio.

3.5.2. Muestra

Para la investigación se establecieron cuatro parcelas de 10 m x 20 m. En cada parcela se excavó una calicata de 1.00 m x 0.80 m, realizándose la lectura correspondiente. Tres calicatas (MO-1, MO-2 y MO-3) se ubicaron en suelos con plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, mientras que la cuarta (MO-4) se estableció en suelo sin cobertura forestal, fuera de la plantación, y se utilizó como testigo.

En cada calicata se recolectaron dos muestras de suelo correspondientes a los dos primeros horizontes, con un peso aproximado de 1 kg por muestra. El muestreo fue de tipo no probabilístico intencional, seleccionando las unidades más representativas y homogéneas para garantizar la calidad de los datos..

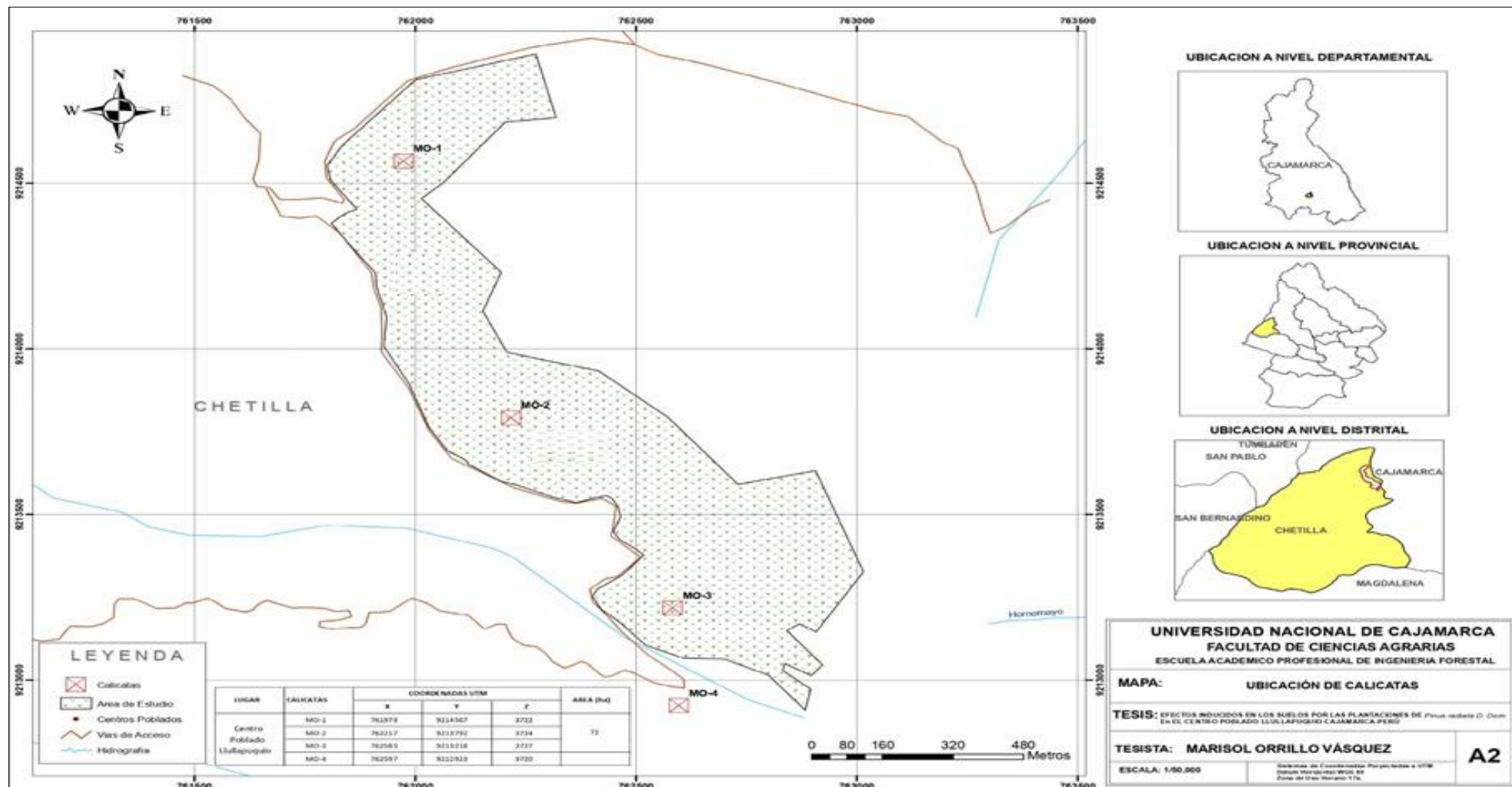
Tabla 10

Ubicación de calicatas.

COORDENADAS UTM (Zona 17 Mapa Datum WGS 84)			
CALICATAS	ESTE(m)	NORTE(m)	ALTITUD (msnm)
MO – 1(Suelo con plantaciones)	761973	9214567	3722
MO – 2 (Suelo con plantaciones)	762217	9213792	3724
MO – 3 (Suelo con plantaciones)	762583	9213218	3727
Testigo MO- 4 (suelo sin plantaciones)	762597	9212923	3720

Figura 3

Mapa de ubicación de calicatas.



3.5.3. Variables e indicadores

a. Variables descriptivas

- **Propiedades físicas**

- Textura
- Estructura
- Color
- Permeabilidad
- Profundidad efectiva
- drenaje

- **Propiedades químicas**

- Materia orgánica (M.O)
- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)
- Potasio (K)
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)
- Cationes cambiables
- pH
- Conductividad eléctrica (C.E)

3.5.4. Procedimiento

La metodología, consiste en realizar un análisis de caracterización del suelo en las parcelas con *Pinus radiata* D. Don., y comprende las siguientes fases:

3.5.4.1. Fase de campo

a. Determinación del número de unidades de análisis.

Para determinar el número y la cantidad de muestras de suelo, se realizó la recolección en cada parcela seleccionada mediante una calicata excavada en cada sitio. De cada calicata se extrajeron muestras con un peso aproximado de 1 kg, asegurando una cantidad representativa para los análisis de caracterización del suelo. Esta metodología permitió garantizar la homogeneidad y representatividad de las muestras, reflejando de manera precisa las condiciones edáficas de cada parcela evaluada.

b. Demarcación de parcelas seleccionadas.

Con ayuda del mapa base y un sistema de posicionamiento global (Receptor GPS Garmin 64s) se ubicó en campo el punto medio de las 4 parcelas seleccionadas, para luego realizar lo siguiente:

- Delimitación de las parcelas.
- Hacer las calicatas.
- Realizar la lectura y recolectar muestras de las calicatas.
- Análisis en el laboratorio.

3.5.4.2. Fase de post campo

- #### **a. Análisis de laboratorio:** se ha llevado a cabo el procesamiento de las muestras de suelo recolectadas durante el trabajo de campo. Estas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina. El análisis

realizado se enfocó en la caracterización del suelo, evaluando diversas propiedades físicas y químicas del mismo.

Tabla 11

Métodos de Análisis de Suelos.

Análisis Mecánico Textural	Método del Hidrómetro de Bouyoucos
Conductividad Eléctrica:	Lectura del extracto de saturación en celda eléctrica
Potencial de Hidrógeno (pH)	Método del Potenciómetro, relación suelo agua 1:1
Calcáreo total	Método Gaso – volumétrico
Materia Orgánica	Método de Walkley y Black
Nitrógeno total	Método KJELDAHL
Fósforo disponible	Método de Olsen Modificado, Extractor NaHCO ₃ 0,5M, pH 8,5
Potasio disponible	Método de Peech, extractor Acetato de Sodio, pH 4,8
Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)	Método del Acetato de Amonio 1N, pH 7,0
Cationes Cambiables	Determinaciones en el Extracto de Amonio:
Ca	Método del E.D.T.A.
Mg	Método del Amarillo de Tiazol
K	Fotómetro de Llama
Na	Fotómetro de Llama
Aluminio Cambiable	Método del KCl 1N

Nota. Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de La Universidad Nacional Agraria La Molina.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados del análisis de suelos

Tabla 12

Resultados de análisis de caracterización del suelo.

Calicata	Horizonte	pH	ANÁLISIS MECÁNICO									Clase Textural	CATIONES CAMBIABLES								
			C.E.	CaCO ₃	M.O.	N	P	K	Arena	Limo	Arcilla		CIC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺	Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
			dS/m	%	%	%	ppm	ppm	%	%	%		meq/100g								
MO-1	A1	4.41	0.03	0.00	17.10	0.75	8.6	106	58	33	9		46.40	1.26	0.28	0.43	0.07	6.35	8.39	2.04	4
	BC	4.45	0.03	0.00	12.27	0.57	12.2	58	64	29	7	Fr.A.	41.60	0.64	0.20	0.29	0.07	4.35	5.55	1.20	3
MO-2	A1	4.41	0.06	0.00	10.00	0.48	12.8	151	46	39	15	Fr.	34.40	1.53	0.58	0.49	0.08	8.75	11.43	2.68	8
	Bw	4.45	0.04	0.00	7.10	0.32	12.2	236	56	27	17	Fr.A.	31.36	1.03	0.30	0.46	0.13	11.65	13.57	1.92	6
MO-3	A1	4.88	0.09	0.00	10.07	0.43	209.9	118	36	43	21	Fr.	28.48	10.80	0.60	0.39	0.18	1.50	13.47	11.98	42
	Bw	5.25	0.02	0.00	5.52	0.22	184.1	58	20	41	39	Fr.Ar.L.	19.84	10.20	0.68	0.29	0.11	0.75	12.03	11.29	57
MO-4	A1	4.87	0.03	0.00	14.76	0.60	110.5	289	36	47	17	Fr.	34.56	4.95	0.93	0.76	0.13	4.55	11.32	6.77	20
	Bw	5.13	0.02	0.00	8.90	0.38	107.6	140	50	31	19	Fr.	28.80	4.48	0.58	0.42	0.08	4.35	9.91	5.56	19

La Tabla 12 muestra que: Los suelos con plantación de *Pinus radiata* presentan mayor fertilidad, reflejada en niveles altos de materia orgánica (5.52-14.76%), nitrógeno total (0.22-0.75%) y capacidad de intercambio catiónico (19.85-46.40 meq/100g). Sin embargo, su acidez (pH 4.41-5.25) y los altos niveles de aluminio (1.50-8.75 meq/100g) pueden limitar el desarrollo de algunas especies.

Por otro lado, los suelos sin plantación, al carecer de cobertura forestal, muestran menor capacidad de retención de nutrientes y están más expuestos a la erosión. Además, la lixiviación y la menor acumulación de materia orgánica afectan su fertilidad general.

En ambos casos, los suelos son aptos para actividades forestales, pero los suelos con plantación ofrecen mejores condiciones de fertilidad y estructura. No obstante, se requiere un manejo adecuado para mitigar la acidez y optimizar la sostenibilidad a largo plazo.

4.2. Textura

Tabla 13

Textura del suelo.

Muestra	Horizonte	Arena	Limo	Arcilla	Clase
		%	%	%	textural
MO-1 (1)	A1	58	33	9	Fr.A.
MO-1 (2)	BC	64	29	7	Fr.A.
MO-2 (1)	A1	46	39	15	Fr.
MO-2 (2)	B1	56	27	17	Fr.A.
MO-3 (1)	A1	36	43	21	Fr.
MO-3 (2)	Bw	20	41	39	Fr.Ar.L.
MO-4 (1)	A1	36	47	17	Fr.
MO-4 (2)	Bw	50	31	19	Fr.

Tabla 13 se puede observar que la textura del suelo en el horizonte superficial (A) de las calicatas MO-2 (1), MO-3(1) dentro de la plantación, así como del testigo MO-4(1) es Franco, a excepción de la calicata MO-1(1) que tiene una clase textural Franco

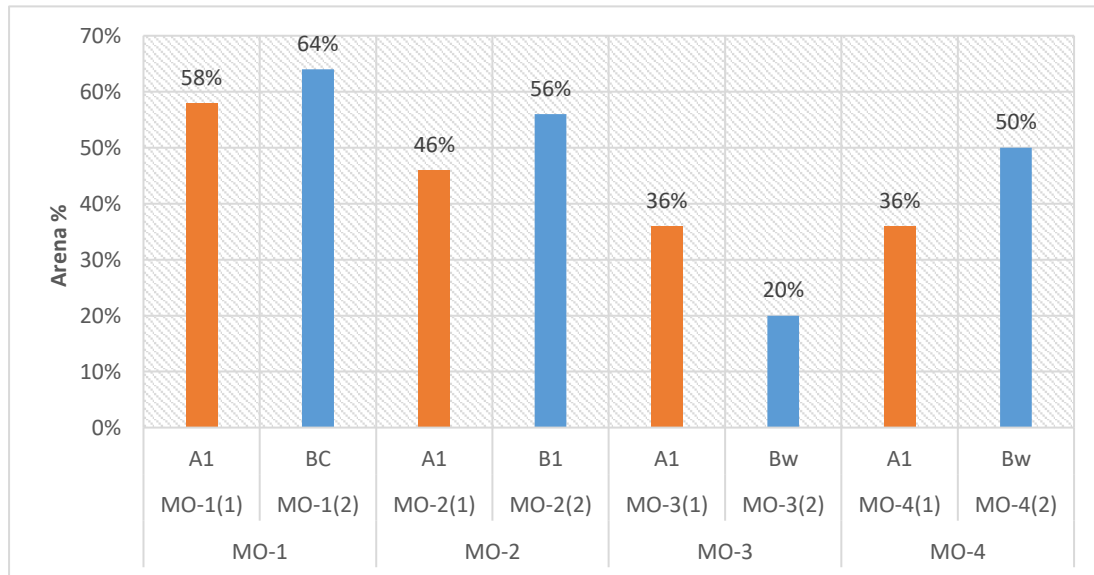
arenoso; no existiendo una diferencia significativa entre la textura de los suelos de la plantación frente al testigo (MO-4(1)).

Sin embargo, en el horizonte B, se observa que la textura es Franco arenoso en la MO-2(2) y en la MO-3(2) a Franco arcillo limoso en MO-3(2) dentro de la plantación, frente al testigo que tiene una textura Franco (MO-4(2)).

El análisis de la textura del suelo en los diferentes horizontes (A y B) de las calicatas reveló diversas tendencias y diferencias texturales que pueden influir significativamente en la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, además de afectar su estructura y la actividad biológica asociada.

Figura 4

Porcentaje de Arena en cada horizonte.



Respecto al porcentaje de arena en cada horizonte, según la Figura 4 y la Tabla 13, los horizontes superficiales (A) de las calicatas MO-1 y MO-2 presentan una mayor cantidad de arena en comparación con el horizonte A de la calicata testigo. (MO-4), con la excepción de la calicata MO-3. Este comportamiento puede atribuirse a un incremento en la erosión dentro de la plantación, generado por el arrastre de partículas de arcilla y limo como consecuencia de la escorrentía superficial.

Un patrón similar se observa en el horizonte B, donde las calicatas MO-1 y MO-2 muestran un mayor contenido de arena, al igual que la calicata testigo (MO-4), con la excepción de la calicata MO-3.

El análisis del porcentaje de arena en los diferentes horizontes de las calicatas proporciona información clave sobre los procesos de erosión y las características del suelo en áreas con plantaciones.

Figura 5

Porcentaje de Limo en cada horizonte.

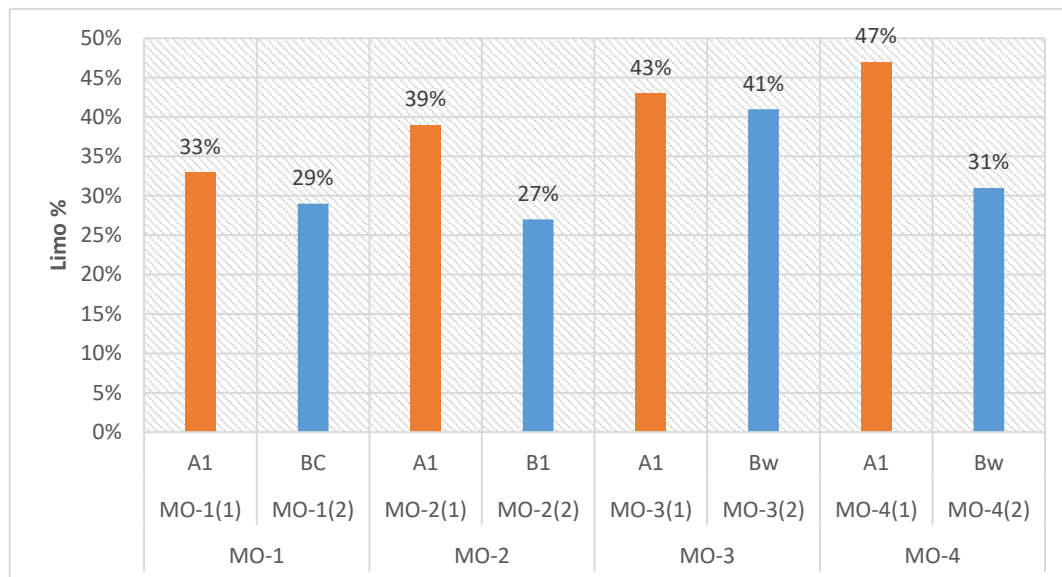
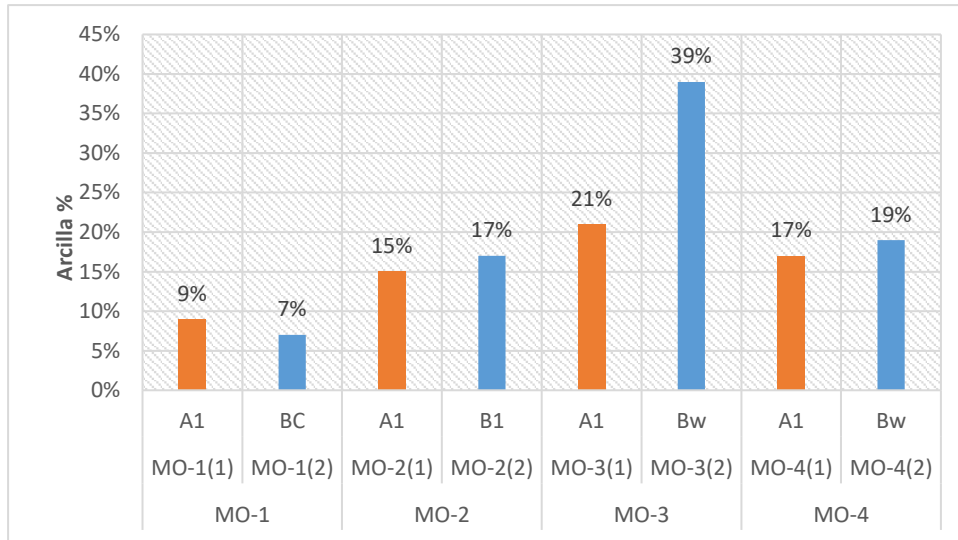


Tabla 13 y Figura 5, muestra que el horizonte A del suelo sin plantación M-4 presenta un mayor porcentaje de limo (47%) que el horizonte de superficie de las calicatas leídas dentro de la plantación; Esto se debe a que en el suelo sin plantación se registra una menor erosión, lo que reduce significativamente la pérdida de limo por efecto de la escorrentía superficial. en razón de que fuera del bosque existe una mayor cobertura de pasto natural y arbustos que limita la erosión hídrica a nivel del horizonte B de las calicatas leídas dentro de la plantación se observa que mayormente no existe una diferencia significativa en respecto a la parcela testigo.

Figura 6

Porcentaje de Arcilla en cada horizonte.



Los resultados indican que el porcentaje de arcilla varía entre las parcelas con plantación y la parcela testigo. En el horizonte A, la parcela testigo (17%) presenta valores ligeramente superiores a las calicatas MO-1(1) y MO-2(1), pero menores que MO-3(1). Este patrón se repite en el horizonte B, donde la parcela testigo MO-4(2) muestra mayor porcentaje de arcilla que MO-1(2) y MO-2(2), aunque es superada por MO-3(2), con un 39%.

Estas diferencias podrían estar relacionadas con factores como la variabilidad natural del suelo y el efecto de la plantación en el transporte y redistribución de partículas finas, posiblemente debido a procesos de erosión y acumulación diferenciada.

Tabla 14

Estructura del suelo.

Calicata	Estructura
MO – 1	Bsfm2
MO – 2	Bsfm2
MO – 3	Bsfm2
Testigo MO- 4	Bsfm2

Los resultados indican que la estructura del suelo en el horizonte superficial, caracterizada por bloques subangulares finos y de grado moderado, es consistente tanto en los suelos con

plantaciones como en el suelo de la parcela testigo. Esto sugiere que la presencia de la plantación no ha generado modificaciones significativas en, clase o grado de la estructura del suelo. Por lo tanto; la estructura observada es más influenciada por las condiciones inherentes del suelo, como el material parental y los procesos pedogenéticos, que por el efecto de la plantación.

4.2.1.1.Color

Tabla 15

Color del suelo.

Calicata	Horizonte	Color
MO – 1	A1	10YR 2/1
MO – 2	A1	10YR 2/1
MO – 3	A1	7.5YR 2/0
MO - 4	A1	10YR 2/1

Se observa que el color del suelo en el horizonte A tanto de las plantaciones, así como en el testigo presenta un color negro en húmedo, indicando una consistencia en las características cromáticas del suelo en estas áreas. Esto sugiere condiciones edáficas homogéneas en términos de color en el horizonte A entre las plantaciones y el área testigo.

4.2.2.3. Permeabilidad

Tabla 16

Permeabilidad del suelo.

Calicata	Permeabilidad
MO – 1	Moderada
MO – 2	Moderada
MO – 3	Moderada
MO – 4	Moderada

En la Tabla 16 se puede apreciar los resultados obtenidos de los perfiles leídos en donde nos indican que tanto en las calicatas dentro de las plantaciones y la testigo presenta una permeabilidad moderada, el cual está en función de la textura del suelo y contenido de materia orgánica.

4.2.1.2. Profundidad efectiva

Tabla 17

Profundidad efectiva del suelo.

Calicata	Profundidad efectiva (cm)
MO – 1	66 cm
MO – 2	55 cm
MO – 3	65 cm
MO – 4	70 cm

Según la Tabla 17, la profundidad efectiva en todas las parcelas con plantación y en la parcela testigo corresponde a suelos moderadamente profundos. Las parcelas con plantación presentan profundidades efectivas que oscilan entre 55 y 66 cm, mientras que la parcela testigo tiene una profundidad efectiva de 70 cm. Esto puede reducir la profundidad efectiva del suelo al hacer que ciertas capas sean más difíciles de explorar para las raíces, lo que impacta en la disponibilidad de nutrientes y agua para las plantas.

Drenaje

Tabla 18

Lectura de Perfiles.

Calicata	Drenaje
MO – 1	Bueno
MO – 2	Bueno
MO – 3	Bueno
MO – 4	Bueno

En la tabla 18 se puede apreciar que el drenaje es bueno tanto en las parcelas dentro de la plantación, así como en la testigo, con una buena capacidad de movimiento del agua dentro del perfil, cubriendo totalmente el alto contenido de materia orgánica que presenta estos suelos de altura, lo cual es favorable para la plantación por la situación de humedad al nivel del perfil del suelo.

ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO

4.2.1.3. La Reacción o pH

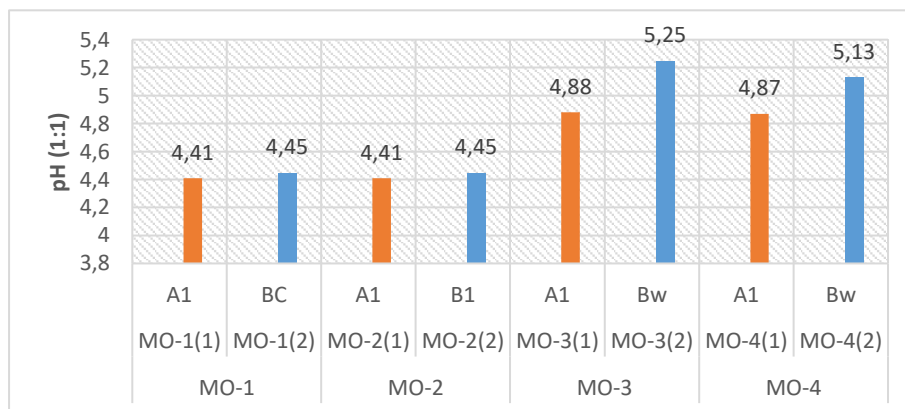
Tabla 19

pH en las calicatas.

Calicata	Muestra	Horizonte	pH
MO - 1	MO-1 (1)	A1	4.41
	MO-1 (2)	BC	4.45
MO-2	MO-2 (1)	A1	4.41
	MO-2 (2)	B1	4.45
MO-3	MO-3 (1)	A1	4.88
	MO-3 (2)	Bw	5.25
MO-4	MO-4 (1)	A1	4.87
	MO-4 (2)	Bw	5.13

Figura 7

Valore de pH presentes en cada horizonte.



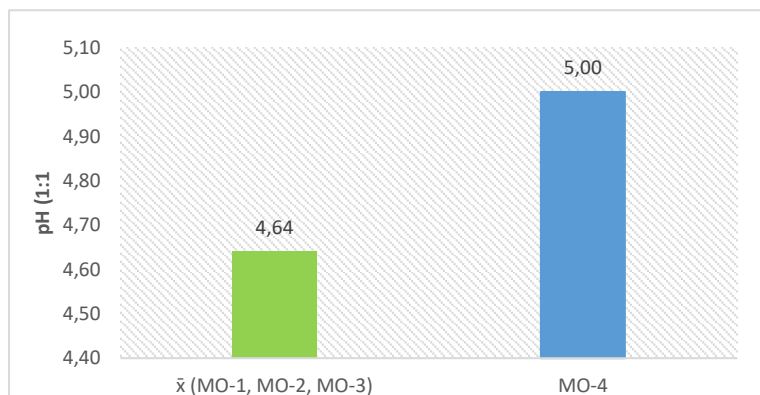
La Tabla 19 y la Figura 7 nos indica los valores de pH; observando que el horizonte A de las calicatas leídas dentro de la plantación varia de (4,41 – 4,88) pH muy fuertemente ácido, mientras que la calicata testigo MO-4 presenta una reacción muy fuertemente ácido pH (4,87), obteniendo también un pH fuertemente ácido.

El mismo comportamiento se puede observar en el horizonte B de las calicatas MO-3, dentro de la plantación de pino, la cual presenta un pH muy parecido al horizonte B de la calicata testigo. Estos valores indican que el pH, varían muy ligeramente desde extremadamente ácido, hasta fuertemente ácida (pH: 4.45- 5.25).

La razón de estos resultados radica en que el pino acidifica el pH del suelo. Como consecuencia, se observa un leve efecto inducido en el pH del suelo debido a la presencia de las plantaciones de *Pinus radiata*. Este fenómeno resulta de la descomposición de la hojarasca y la liberación de compuestos ácidos que alteran las propiedades químicas.

Figura 8

Valores promedios de pH en las entre ambas muestras.



Los niveles promedio de pH no muestran diferencias significativas entre el suelo testigo (MO-4) y los suelos con plantaciones de pino (MO-1, MO-2 y MO-3), cuyo pH varía entre 5.00 y 4.64, clasificándolos como suelos muy fuertemente ácidos. Las parcelas con plantaciones presentan una ligera disminución del pH (4.64) en comparación con los suelos sin plantaciones (pH 5.00), indicando mayor acidez dentro de la plantación. Esta reacción ácida, cercana al umbral de pH 5, se debe a la menor actividad en la solución del suelo, influenciada por el aluminio intercambiable ($Al^{3+} + H^+$) que promueve la acidificación mediante hidrólisis, además de reducir las bases principales, como calcio y magnesio (Porta et al., 2003).

4.2.1.4. Conductividad Eléctrica

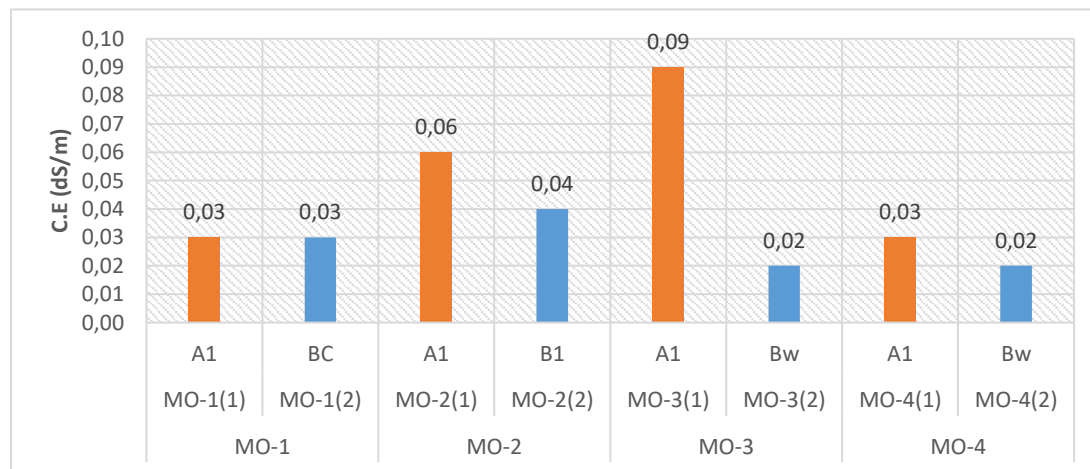
Tabla 20

Conductividad Eléctrica (C.E. (dS/m)).

Muestra	Horizonte	C.E (dS/m)
MO-1 (1)	A1	0.03
MO-1 (2)	BC	0.03
MO-2 (1)	A1	0.06
MO-2 (2)	B1	0.04
MO-3 (1)	A1	0.09
MO-3 (2)	Bw	0.02
MO-4 (1)	A1	0.03
MO-4 (2)	Bw	0.02

Figura 9

Valores de Conductividad Eléctrica presentes en cada horizonte.

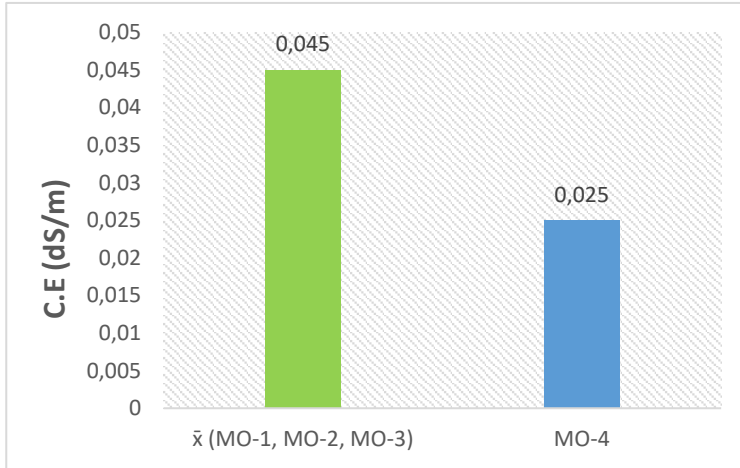


Los valores de conductividad eléctrica (CE) presentados en la Tabla 20 y la Figura 9 indican que el horizonte A, de todas las calicatas leídas dentro del bosque son muy parecidas a la conductividad eléctrica de la parcela testigo, siendo suelos no salinos, (CE: 0.03 – 0.09

dS/m), el mismo comportamiento se observa en los horizontes B, tanto en las calicatas dentro del bosque y la testigo siendo también no salinos (CE 0.02-0.04 dS/m), (MINAGRI 2002).

Figura 10

Valores promedios de C.E. entre ambas muestras.



El análisis de los valores de conductividad eléctrica (CE) muestra que en la calicata MO-4 (sin plantaciones), la CE es de 0.025 dS/m, mientras que el promedio de las calicatas MO-1, MO-2 y MO-3 (con plantaciones) es de 0.045 dS/m. Estos resultados indican que no existen diferencias significativas entre ambos grupos. Los valores de CE registrados reflejan un nivel de 0.045 dS/m en los suelos con plantaciones y de 0.025 dS/m en los suelos sin plantaciones, sugiriendo que las plantaciones de *Pinus radiata* no tienen un impacto notable en la conductividad eléctrica del suelo, tal como se observa en estudios previos (Arriola et al., 2012).

4.2.1.5. Materia orgánica (%)

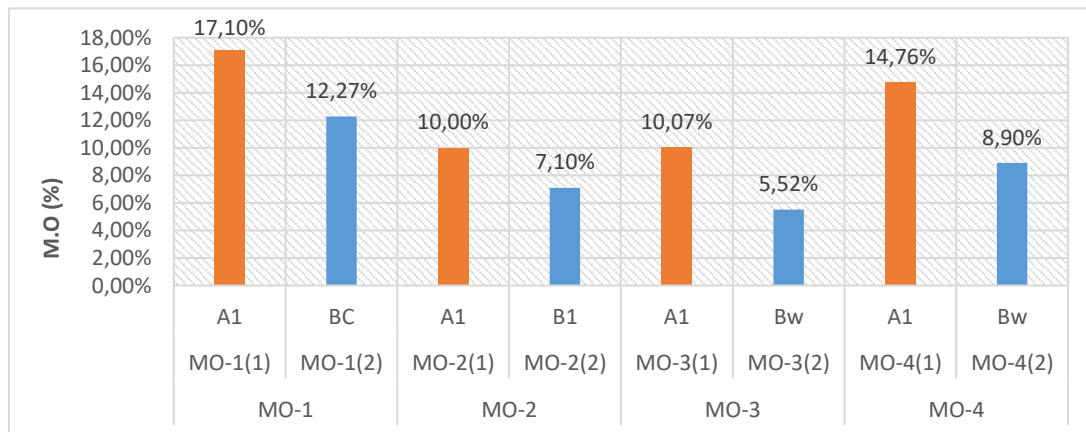
Tabla 21

Porcentaje de M.O. (%).

Calicata	Muestra	Horizonte	M.O (%)
MO – 1	MO-1 (1)	A1	17.10
	MO-1 (2)	BC	12.27
MO – 2	MO-2 (1)	A1	10.00
	MO-2 (2)	B1	7.10
MO – 3	MO-3 (1)	A1	10.07
	MO-3 (2)	Bw	5.52
MO – 4	MO-4 (1)	A1	14.76
	MO-4 (2)	Bw	8.90

Figura 11

Contenido de Materia orgánica en cada horizonte.

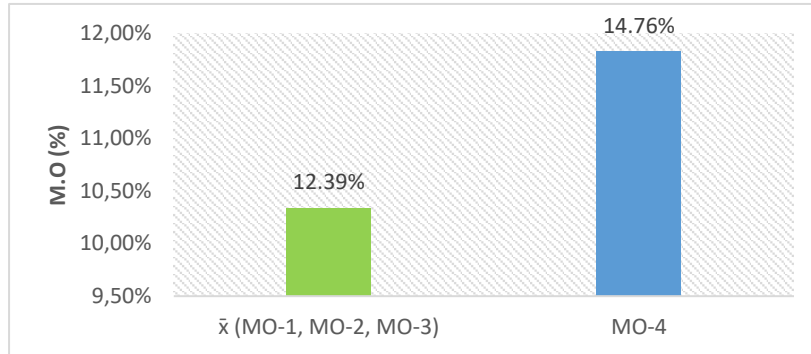


Los datos de la Tabla 21 y la Figura 11 muestran que en el horizonte A los porcentajes de materia orgánica en las calicatas con plantaciones varían entre 10.07% y 17.10%, lo cual indican niveles altos de materia orgánica. En comparación, la calicata testigo presenta también un valor alto de 14.76% de materia orgánica en el horizonte A1. Por otro lado, en

el horizonte B, tanto de las parcelas dentro del bosque (MO: 5.52-12.27%) , así como del testigo (MO: 8.9.%) presenta niveles altos.

Figura 12

Comparación del valor promedio de % de MO del horizonte A de las calicatas con plantaciones y sin plantaciones.



Los porcentajes de materia orgánica indican que los valores promedio en suelos con plantaciones (MO-1, MO-2 y MO-3) son ligeramente menores en comparación con la calicata testigo, con promedios de 12.39% frente a 14.76%. El mismo comportamiento se observa en lo reportado por Estupiñan (2003). Esto se explica por la influencia del tipo de vegetación, ya que las coníferas poseen resinas difíciles de descomponer con bajo contenido de calcio, magnesio y potasio. Además, el humus producido por las coníferas no se incorpora fácilmente al suelo mineral y se acumula superficialmente, característico de los bosques de coníferas en regiones frías y montañosas (Dionisio, 2012).

En forma general los niveles de materia orgánica, son altos tanto dentro de la plantación y el testigo, siendo ligeramente mayor el contenido de materia orgánica fuera de la plantación

Por lo tanto, se observa un ligero efecto inducido en la materia orgánica del suelo, por efecto de las plantaciones de *pinus radiata*.

4.2.1.6. Fósforo (ppm)

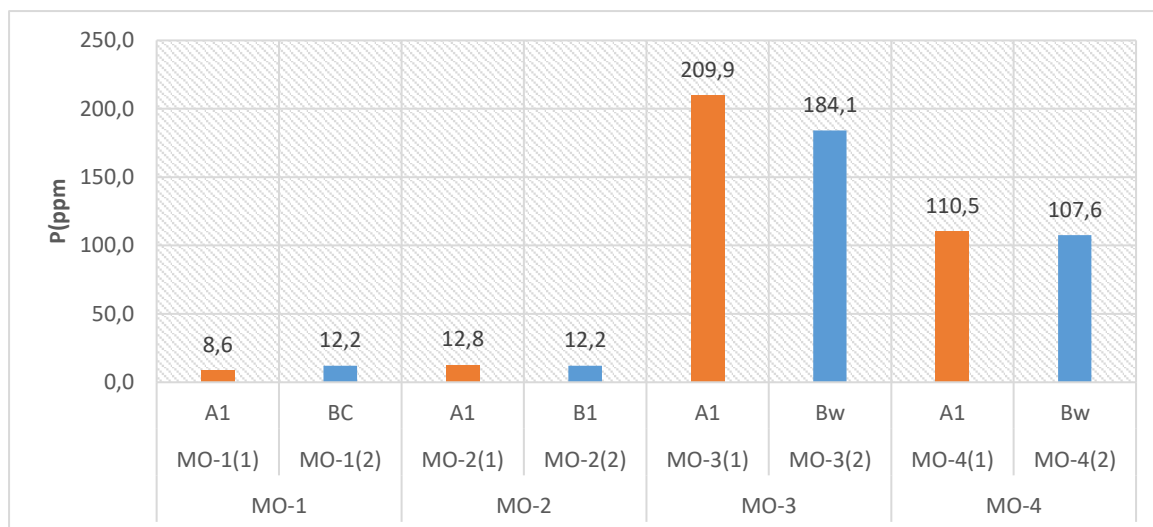


Tabla 22

Valores de fósforo (ppm).

Muestra	Horizonte	P (ppm)
MO-1 (1)	A1	8.6
MO-1 (2)	BC	12.2
MO-2 (1)	A1	12.8
MO-2 (2)	B1	12.2
MO-3 (1)	A1	209.9
MO-3 (2)	Bw	184.1
MO-4 (1)	A1	110.5
MO-4 (2)	Bw	107.6

Figura 13

Valores de Fósforo presentes en cada horizonte de las calicatas.

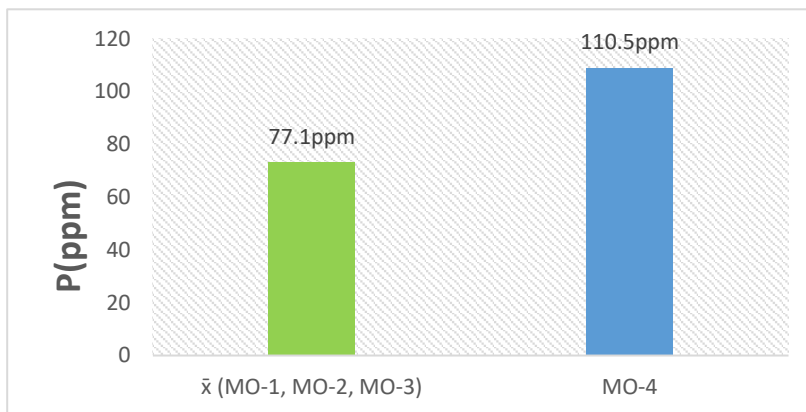
La Tabla 22 y la figura 13 muestran que en el horizonte A, la calicata MO-3 presenta un nivel alto de fósforo de 209.9 ppm, la muestra de la calicata MO-1 y MO-2, muestran niveles medios de fósforo (P:12.2ppm), la calicata testigo MO-4 también nos muestra un

nivel alto de 110.5 ppm. En los horizontes B, también se observa el mismo comportamiento.

El fósforo es alto en suelos con plantaciones de pino porque la acumulación y descomposición de las acículas del pino enriquecen la capa superficial del suelo con materia orgánica rica en fósforo. Además, la acidificación del suelo por el pino libera fósforo de los minerales presentes.

Figura 14

Valores promedios del contenido P del horizonte A.



Los valores promedio de fósforo indican que los suelos con plantaciones tienen una menor concentración de fósforo (77.1 ppm) en comparación con los suelos naturales que presentan un valor de 110.5 ppm. Esto demuestra que los suelos con plantaciones poseen una menor concentración de fósforo.

También se debe a la disponibilidad de fósforo que tiende a formar compuestos insolubles en suelos ácidos, como fosfatos de hierro y aluminio, que las plantas no pueden absorber fácilmente.

4.2.1.7. Potasio (ppm)

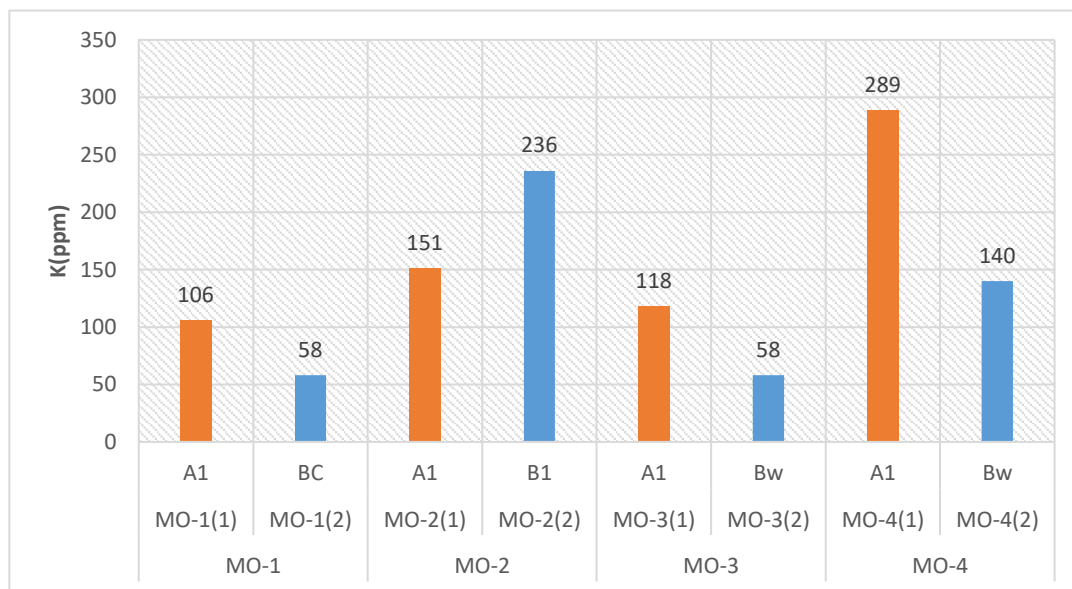
Tabla 23

Valores de potasio (ppm).

Muestra	Horizonte	K (ppm)
MO-1 (1)	A1	106
MO-1 (2)	BC	58
MO-2 (1)	A1	151
MO-2 (2)	B1	236
MO-3 (1)	A1	118
MO-3 (2)	Bw	58
MO-4 (1)	A1	289
MO-4 (2)	Bw	140

Figura 15

Valores de Potasio presentes en cada horizonte de las calicatas.



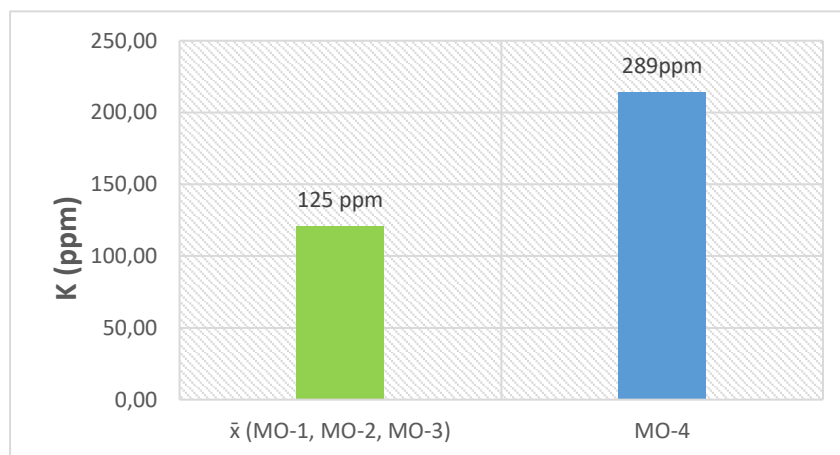
La Tabla 23 y la Figura 15 muestran los valores de potasio disponible en los horizontes A, las calicatas MO-1, MO-2 y MO-3 tienen valores medios de potasio

disponible que varían entre 106 y 151 ppm, mientras que la parcela testigo (MO-4) muestra un nivel alto de potasio disponible (289 ppm). En el horizonte B, dentro de la plantación el potasio disponible varia de nivel bajo a alto (P: 58-236 ppm), en cambio en el horizonte B, fuera de la plantación (testigo) presenta un nivel medio (P: 240 ppm).

La razón podría deberse a la menor extracción de potasio por parte de las plantas, ya que, en ausencia de plantaciones, el suelo retiene más de este nutriente. Además, la descomposición natural de la materia orgánica en el suelo no perturbado puede liberar más potasio al suelo.

Figura 16

Valores promedios de K disponible del horizonte A



El análisis mostrado en la Figura 16 indica que los suelos con plantaciones (MO-1, MO-2 y MO-3) tienen un nivel medio de potasio disponible de (K:125 ppm) en comparación con los suelos de la parcela testigo (MO-4), que presentan un nivel alto de potasio disponible (K: 289 ppm). Los valores de potasio disponible en las plantaciones

fueron menores que los valores de la parcela de suelo natural. Estos resultados coinciden con la investigación de Oliva et al. (2016)

La razón de que encontramos nivel medio de potasio es a la falta de oxígeno en el bosque, ya que están en competencia por los nutrientes.

4.2.1.8. Nitrógeno (%)

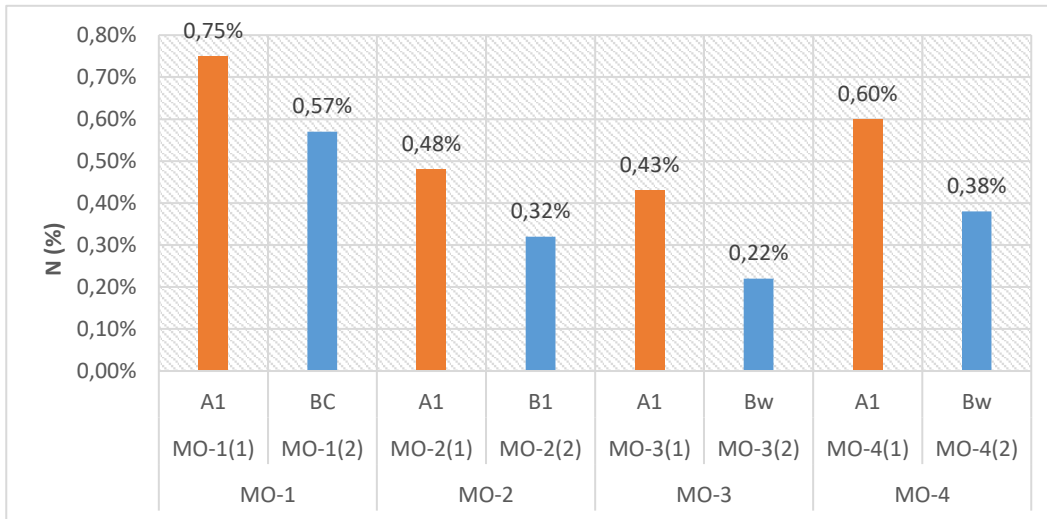
Tabla 24

Porcentajes de Nitrógeno (%).

Muestra	Horizonte	N (%)
MO-1 (1)	A1	0.75
MO-1 (2)	BC	0.57
MO-2 (1)	A1	0.48
MO-2 (2)	B1	0.32
MO-3 (1)	A1	0.43
MO-3 (2)	Bw	0.22
MO-4 (1)	A1	0.60
MO-4 (2)	Bw	0.38

Figura 17

Porcentaje de Nitrógeno de cada horizonte de las calicatas.

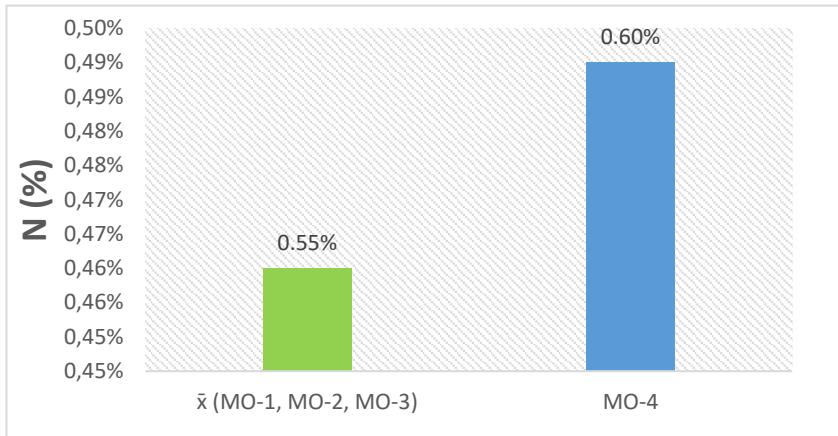


El porcentaje de nitrógeno presente en los suelos con plantaciones de pino, según la Tabla 24 y la Figura 17, muestra que en el horizonte A presentan niveles altos los cuales varía entre 0,43% y 0,75%, con un promedio de 0,55% siendo este considerado alto. En comparación, la parcela testigo tiene un nivel alto con porcentaje de nitrógeno de 0,60%, ligeramente mayor que en las calicatas MO-2 y MO-3, pero menor que en la calicata MO-1. En el horizonte B, el comportamiento es similar: el porcentaje de nitrógeno en la parcela testigo es mayor que en las calicatas MO-2 y MO-3, pero menor que en la calicata MO-1.

Estos resultados sugieren que las plantaciones de *Pinus radiata* pueden influir en la concentración de nitrógeno en el suelo, aunque no de manera consistente en todos los sitios, ya que la variabilidad en los valores indica la presencia de otros factores que también pueden estar afectando la disponibilidad de nitrógeno en los suelos estudiados.

Figura 18

Valores promedios de Nitrógeno en el horizonte A.



Los valores promedio de nitrógeno en el horizonte A según la Figura 18 indican que los suelos con plantaciones (MO-1, MO-2 y MO-3) tienen niveles de medios a alto de nitrógeno (N 0.55%) en comparación con los suelos naturales (MO-4), que presentan un porcentaje de (N: 0.60%) nitrógeno muy parecido. Los porcentajes de nitrógeno obtenidos en esta investigación fueron similares tanto dentro de la plantación, así como en la testigo.

En tal sentido, aunque los suelos con plantaciones tienen niveles relativamente altos de nitrógeno, los suelos naturales tienen un porcentaje ligeramente mayor debido a un ciclo de nutrientes más estable y menos demanda de nitrógeno por parte de las plantas.

4.2.1.9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC meq/100g)

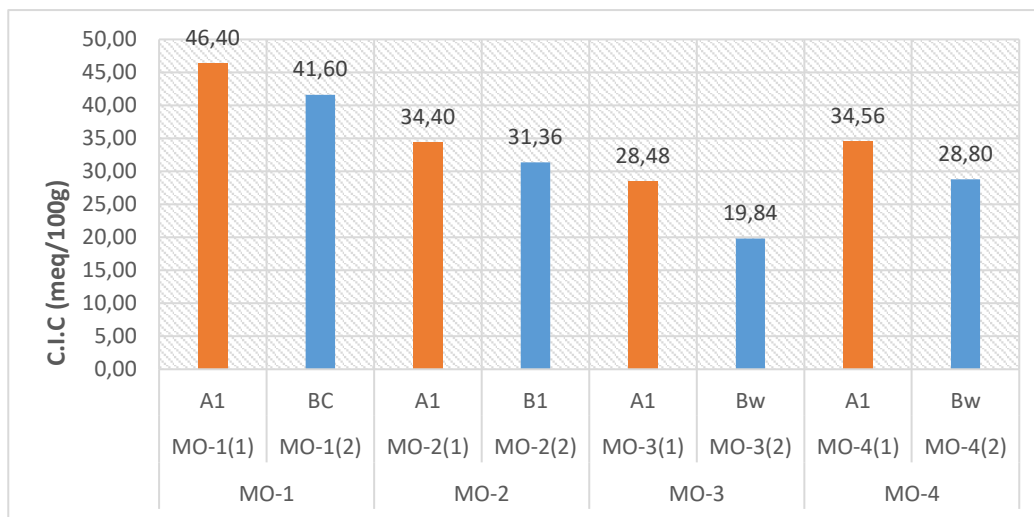
Tabla 25

Capacidad de intercambio catiónico.

Muestra	Horizonte	CIC (meq/100g)
MO-1 (1)	A1	46.40
MO-1 (2)	BC	41.60
MO-2 (1)	A1	34.40
MO-2 (2)	B1	31.36
MO-3 (1)	A1	28.48
MO-3 (2)	Bw	19.84
MO-4 (1)	A1	34.56
MO-4 (2)	Bw	28.80

Figura 19

Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico presentes en cada horizonte.



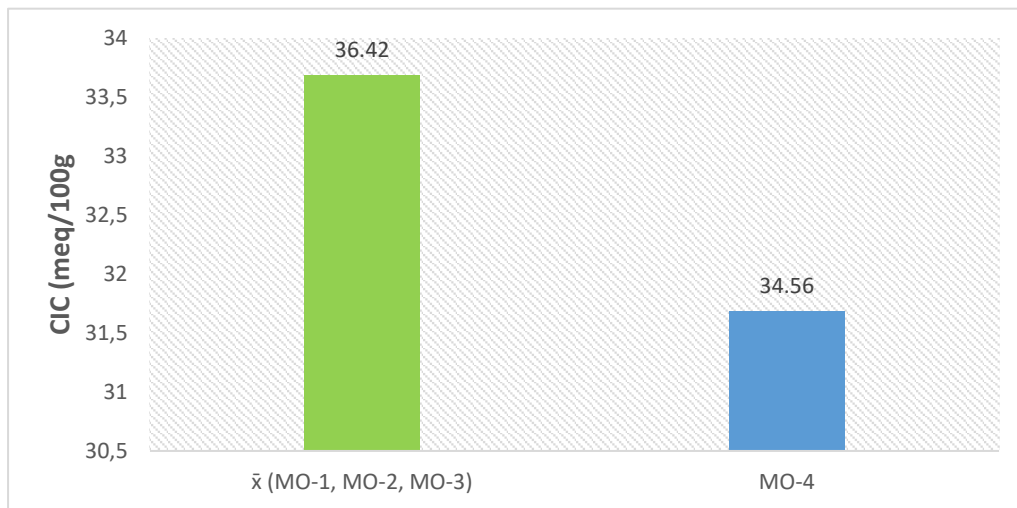
Los valores de capacidad de intercambio catiónico (CIC), como se muestran en la Tabla 25 y la Figura 19, indican que en el horizonte A, la parcela testigo (calicata MO-4) presenta un valor mayor que las calicatas MO-2 y MO-3, pero mucho menor que la calicata MO-1 (CIC: 46.40 meq/100 g) en plantaciones de pino. En el horizonte B, la calicata MO-1

tiene la mayor concentración de CIC (410.60 meq/100 g) en comparación con la parcela testigo (calicata MO-4), que tiene una mayor concentración de CIC que la calicata MO-3, pero menor que la calicata MO-2 en plantaciones de pino.

En todos los casos tanto dentro de la plantación, así como en la parcela testigo fuera del bosque presentan niveles altos de la capacidad de intercambio catiónico.

Figura 20

Valores promedios de CIC en el horizonte A



Los valores promedio de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), según el análisis mostrado en la Figura 20, indican que en el horizonte A del suelo natural (MO-4) presenta una menor concentración de (CIC:34.56 meq/100 g) en comparación con los suelos con plantaciones (MO-1, MO-2 y MO-3), que tienen ligeramente una mayor concentración de (CIC:36.42 meq/100g). además, los valores del CIC tanto dentro de la plantación y el testigo son niveles altos pero muy parecidos.

Estos resultados obtenidos difieren con lo reportado por Dionisio (2012), que encontró valores de CIC más bajos en sus parcelas de pino.

4.2.1.10. Cationes cambiabiles

b. Calcio (Ca^{+2})

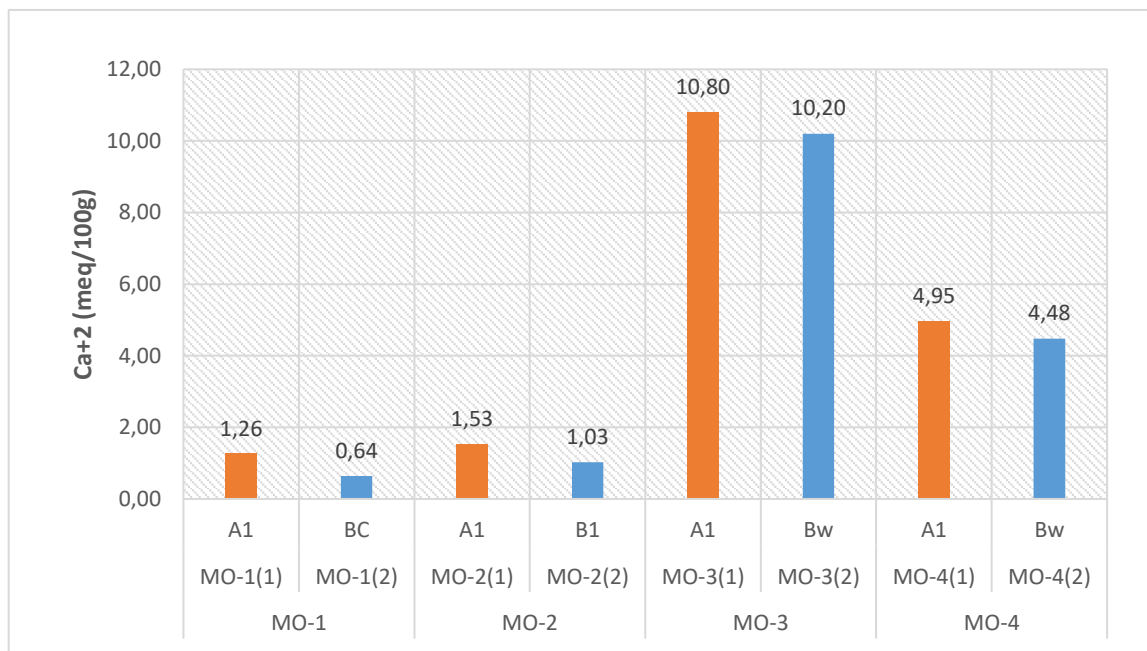
Tabla 26

Calcio

Muestra	Horizonte	Ca^{+2} (meq/100g)
MO-1 (1)	A1	1.26
MO-1 (2)	BC	0.64
MO-2 (1)	A1	1.53
MO-2 (2)	B1	1.03
MO-3 (1)	A1	10.80
MO-3 (2)	Bw	10.20
MO-4 (1)	A1	4.95
MO-4 (2)	Bw	4.48

Figura 21

Valores de calcio presentes en el horizonte.

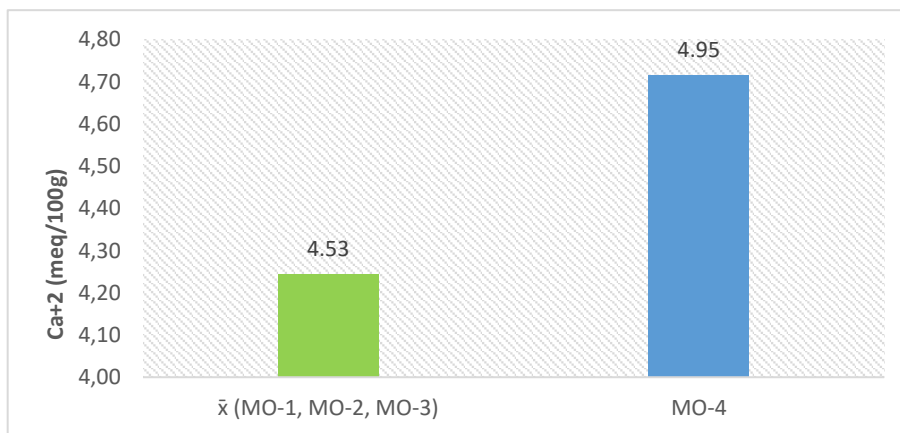


Los valores de calcio, según la Tabla 26 y la Figura 21, indican que en el horizonte A, de la calicata MO-3 tiene la mayor concentración de calcio (Ca^{2+} :10,80 meq/100g), en comparación con la parcela testigo que tiene una concentración menor (Ca^{2+} :4,95 meq/100g), pero mayor que las calicatas MO-1 y MO-2. El horizonte B presenta un comportamiento similar: la concentración de Ca^{2+} en la calicata testigo es mayor que en los suelos de las calicatas MO-1 y MO-2, pero menor que en la calicata MO-3 dentro de la plantación MO-4:10.20meq/100g). En forma general, se observan niveles bajos de calcio tanto dentro de la plantación, así como en la testigo fuera del bosque.

En tal razón los niveles bajos de calcio observados tanto dentro de la plantación como en la parcela testigo podrían deberse a la composición natural del suelo en la región, combinado con la extracción de nutrientes por las plantas y procesos de lixiviación que reducen su concentración en las capas superficiales del suelo.

Figura 22

Valores promedios de Ca^{+2} en el horizonte A.



Se puede observar en la Figura 22, que los valores de Ca en el horizonte A indican que las concentraciones promedio de las calcitas MO-1, MO-2 y MO-3 en suelos con plantaciones presentan valores ligeramente menores de calcio (Ca: 4,52 meq/100g) respecto a la testigo (Ca: 4.95meq/100g), siendo su mayor valor igual.

c. Magnesio (Mg+2)

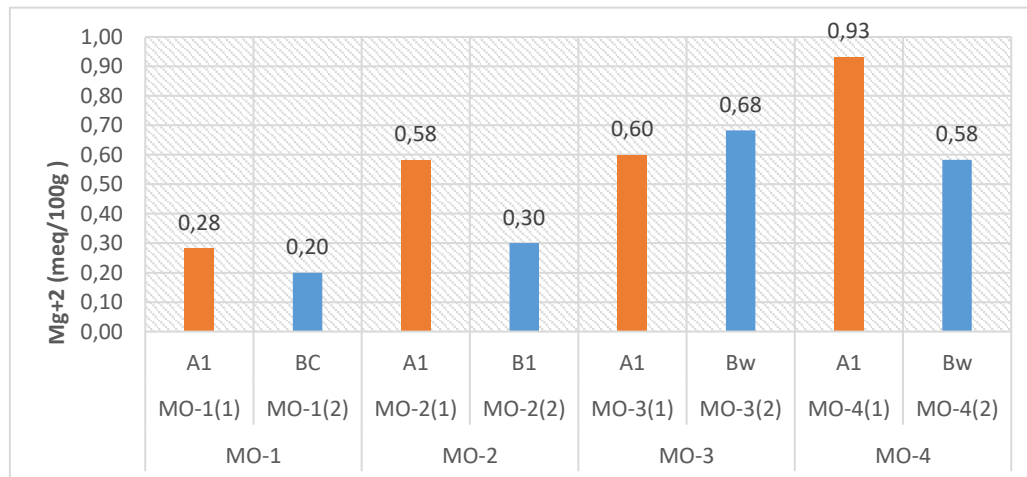
Tabla 27

Magnesio

Muestra	Horizonte	Mg +2 (meq/100g)
MO-1 (1)	A1	0.28
MO-1 (2)	BC	0.20
MO-2 (1)	A1	0.58
MO-2 (2)	B1	0.30
MO-3 (1)	A1	0.60
MO-3 (2)	Bw	0.68
MO-4 (1)	A1	0.93
MO-4 (2)	Bw	0.58

Figura 23

Valores de magnesio presentes en cada horizonte.

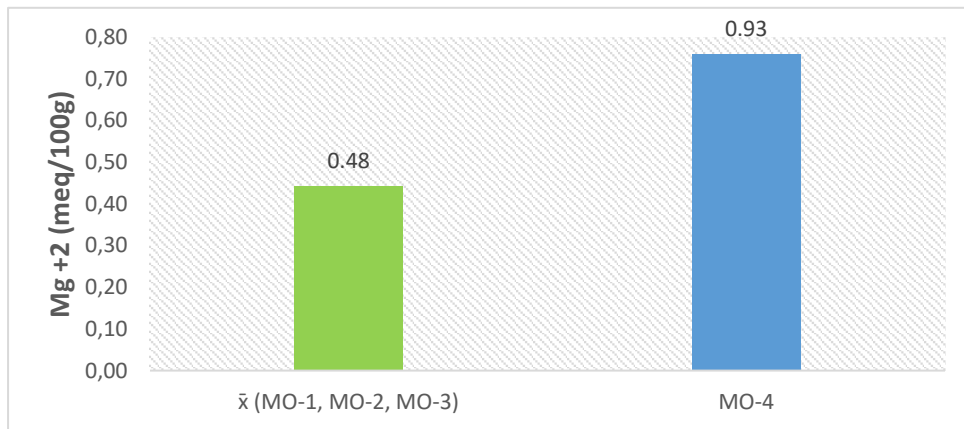


Respecto a los valores de magnesio, se puede observar que los horizontes A de las calicatas MO-1, MO-2 y MO-3, presentan una menor concentración de magnesio que el horizonte A de la calicata testigo (Mg:0.93 meq/100g). A nivel del horizonte B se puede decir que la parcela testigo presenta mayor concentración de magnesio que las calicatas MO-1 y MO-2. Pero ligeramente menor contenido de magnesio que la calicata MO-3.

En tal razón las diferencias en la concentración de magnesio entre las calicatas de la plantación y la parcela testigo pueden estar influenciadas por la absorción de las plantas, el aporte de materia orgánica y los procesos de lixiviación que afectan la disponibilidad de este nutriente en las distintas capas del suelo.

Figura 24

Valores promedios de Mg en el horizonte A.



Los valores promedios de magnesio en el horizonte A, de acuerdo a la Figura 24, indican que las concentraciones promedio de las calicatas MO-1, MO-2 y MO-3 presentan menores valores de magnesio (Mg:0.48 meq/100g) respecto a la parcela testigo (Mg0.93 meq/100g.)

d. Potasio (K⁺)

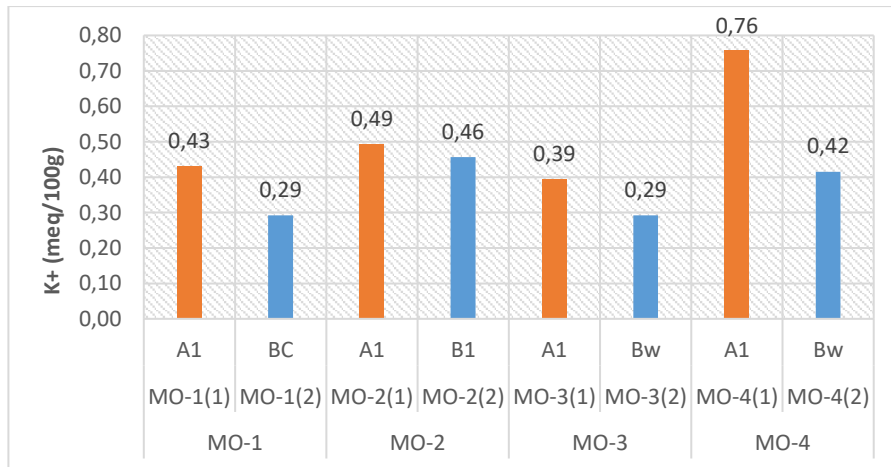
Tabla 28

Potasio

Muestra	Horizonte	K ⁺ (meq/100g)
MO-1 (1)	A1	0.43
MO-1 (2)	BC	0.29
MO-2 (1)	A1	0.49
MO-2 (2)	B1	0.46
MO-3 (1)	A1	0.39
MO-3 (2)	Bw	0.29
MO-4 (1)	A1	0.76
MO-4 (2)	Bw	0.42

Figura 25

Valores de Potasio presentes en cada horizonte.



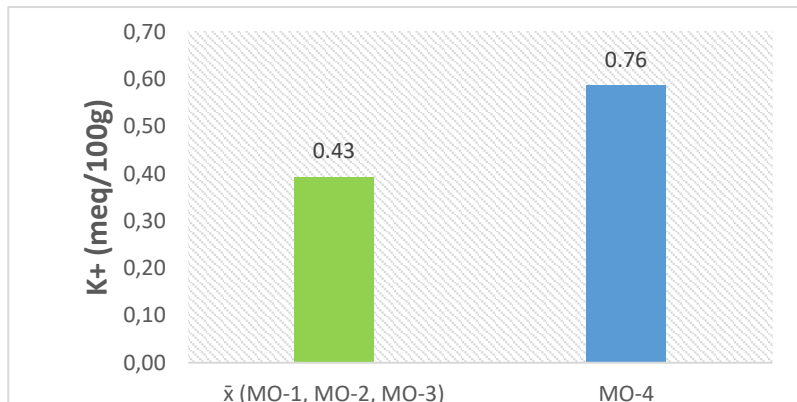
Los valores de potasio en suelos con plantaciones de pino, según la Tabla 28 y la Figura 25, muestran que en el horizonte A, la calicata testigo (MO-4) tiene una mayor concentración de potasio intercambiable (0.76 meq/100g) en comparación con las calicatas MO-1 (K:0.43

meq/100g), MO-2 (K:0.49 meq/100g) y MO-3 (K:0.39 meq/100g) en suelos con plantaciones. En el horizonte B, la calicata testigo (MO-4) presenta concentración de potasio intercambiable (k:0.42 meq/100g) muy similares en las calicatas leídas dentro de la plantación.

En forma general, los niveles de potasio cambiables son bajos, tanto dentro de la plantación, así como en el testigo.

Figura 26

Valores promedios de K en el horizonte A.



Los valores promedios de potasio, de acuerdo a lo presentado en la Figura 26, indican que las concentraciones promedias de las MO-1, MO-2 y MO-3 en suelos con plantaciones presenta menor concentración de potasio con (K:0.43 meq/100g)respecto a la concertación de potasio, en el testigo (K:0.76 meq/100g)

e. Sodio (Na⁺)

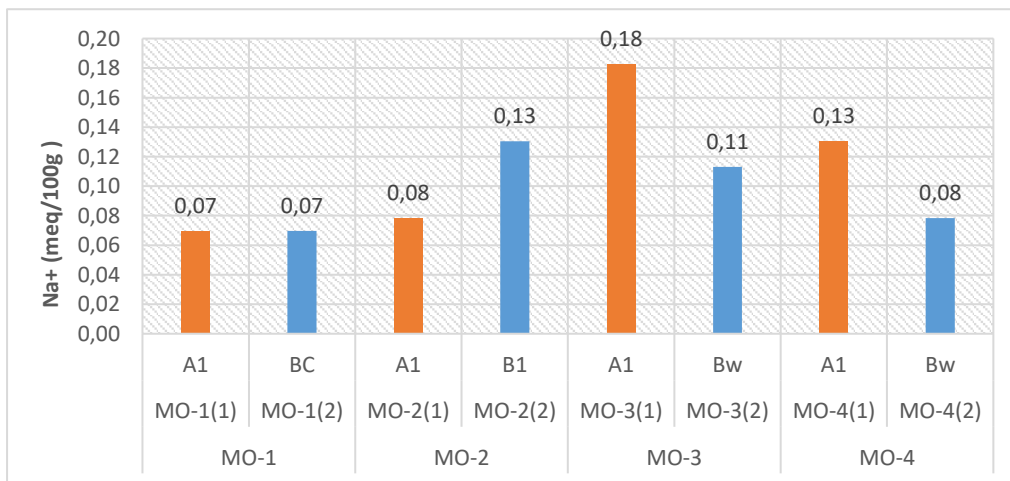
Tabla 29

Sodio.

Muestra	Horizonte	Na ⁺ (meq/100g)
MO-1 (1)	A1	0.07
MO-1 (2)	BC	0.07
MO-2 (1)	A1	0.08
MO-2 (2)	B1	0.13
MO-3 (1)	A1	0.18
MO-3 (2)	Bw	0.11
MO-4 (1)	A1	0.13
MO-4 (2)	Bw	0.08

Figura 27

Valores de sodio (Na⁺) presentes en cada horizonte.



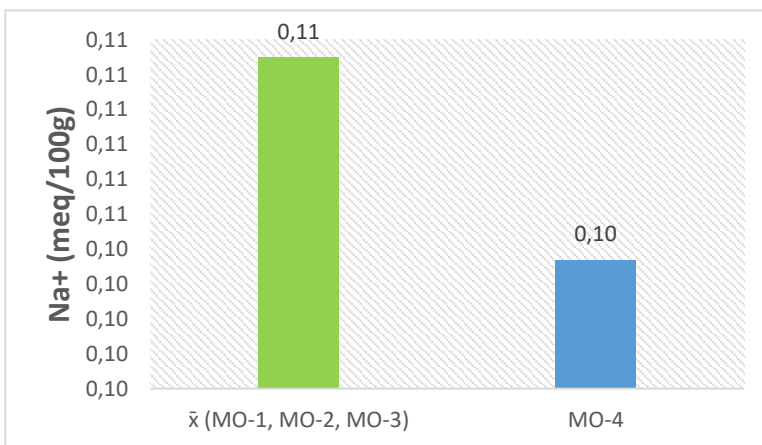
Los valores de sodio (Na⁺) presentes en los suelos con plantación, según la Tabla 29 y la Figura 27, muestran que en el horizonte A, la concentración de sodio intercambiable varía entre 0,07 y 0,18 meq/100g, con un promedio en el horizonte A de 0,11 meq/100g,

cuyo valor es muy parecido , en el horizonte A de la parcela testigo (Na:0.13.meq/100g) los valores de sodio intercambiable son muy cercanos tanto en las parcelas dentro de la plantación, así como en la testigo.

Esto se debe a las concentraciones similares de sodio en las parcelas con plantación y la parcela testigo se deben a la baja movilidad del sodio, la limitada absorción por parte de las plantas y la homogeneidad en las condiciones del suelo en ambas áreas.

Figura 28

Valores promedios de Na +.



Los valores de sodio, de acuerdo a la Figura 28, indican que los niveles de sodio intercambiable en el horizonte A, tanto dentro de la plantación, así como en la parcela testigo son muy similares en ambos casos y en forma general presentan niveles bajos de sodio intercambiable.

f. Aluminio + Hidrógeno (Al³⁺ + H⁺)

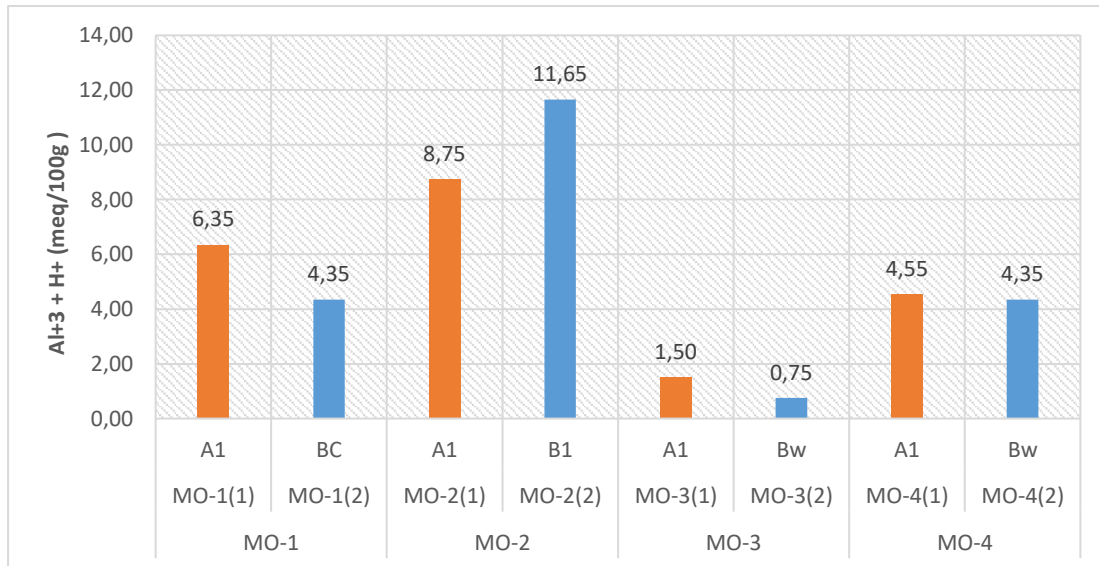
Tabla 30

Aluminio + hidrógeno.

Muestra	Horizonte	Al ³⁺ + H ⁺ (meq/100g)
MO-1 (1)	A1	6.35
MO-1 (2)	BC	4.35
MO-2 (1)	A1	8.75
MO-2 (2)	B1	11.65
MO-3 (1)	A1	1.50
MO-3 (2)	Bw	0.75
MO-4 (1)	A1	4.55
MO-4 (2)	Bw	4.35

Figura 29

Valores de aluminio más hidrógeno presentes en cada horizonte del área de estudio.



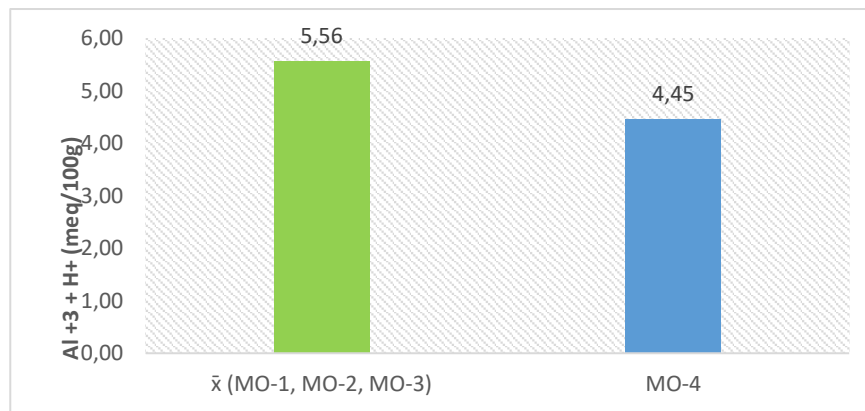
Los valores de Al³⁺+H⁺ mostrados en la Tabla 30 y la Figura 29 indican que en el horizonte A, la calicata MO-2 presenta la mayor concentración de (8.75 meq/100g), en comparación con la calicata del suelo natural (MO-4) que tiene una menor concentración de

aluminio más hidrógeno de (Al+H:4.55meq/100g). en la calicata MO-4 también presenta una concentración de menor aluminio más hidrógeno que la calicata MO-1, pero mucho mayor que la calicata MO-3(Al+H: 1.50meq/100g). en el horizonte B, la parcela testigo tiene un valor de 4.35meq/100g de aluminio, que es menor que el contenido de aluminio de a calicata MO-2 (Al+h: 11.65meq/100), igual valor al de calicata MO-1, pero mayor que el valor de aluminio de la calicata MO-3 (Al+H:0.75meq/100g).

La razón de las diferencias en los valores de $Al^{3+}+H^{+}$ entre las calicatas se deben principalmente a la acidez del suelo, la distribución heterogénea del aluminio y la influencia de la vegetación, especialmente en las áreas con plantaciones, donde las condiciones de pH y materia orgánica favorecen una mayor liberación de aluminio en el suelo

Figura 30

Valores promedios de $Al+3H^{+}$ entre ambas muestras.



Los valores de $Al^{3+}+H^{+}$ según la Figura 30 indican que el suelo natural (MO-4) presenta una menor concentración (4,45 meq/100g) en comparación con la concentración promedio de las MO-1, MO-2 y MO-3 en suelos con plantaciones, que tienen un valor mayor (5.56 meq/100g). debido a la influencia del bosque de pino cuyas acículas y de más restos vegetales, ha contribuido a la acidificación del suelo.

en forma general los niveles de aluminio más hidrógeno son altos tanto en las parcelas dentro de la plantación, así como en la testigo, causando problemas de toxicidad para la mayoría de especies, pero se observa en promedio una mayor concentración de aluminio más hidrógeno en las parcelas dentro del bosque en relación al testigo pobremente el porcentaje de saturación de bases ya que algunas especies, como la mayoría de las Coníferas aportan poco calcio al suelo.

4.2.1.11. Saturación de bases (%)

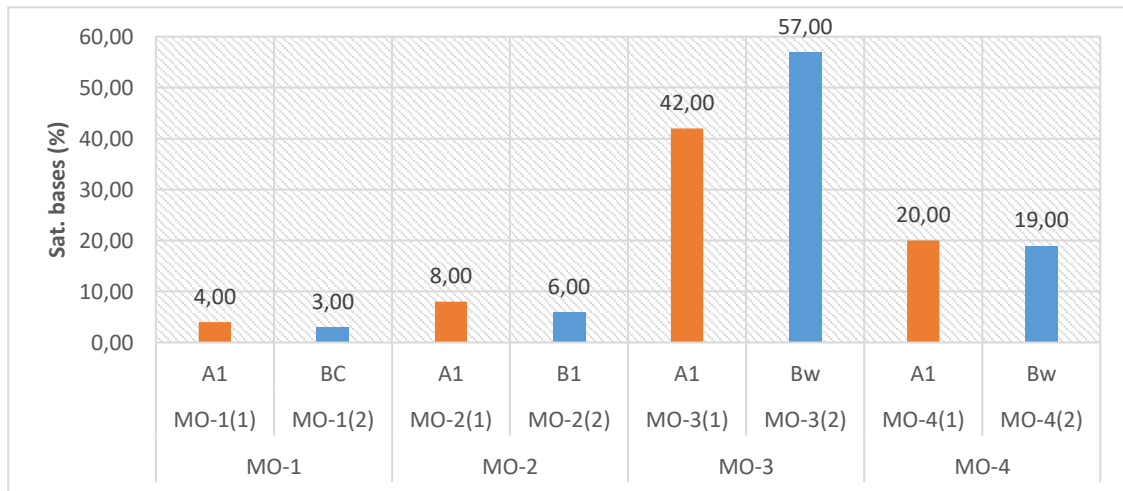
Tabla 31

Porcentaje de saturación de bases (%).

Muestra	Horizonte	Sat. de Bases%
MO-1 (1)	A1	4
MO-1 (2)	BC	3
MO-2 (1)	A1	8
MO-2 (2)	B1	6
MO-3 (1)	A1	42
MO-3 (2)	Bw	57
MO-4 (1)	A1	20
MO-4 (2)	Bw	19

Figura 31

Porcentaje de Saturación de bases de cada horizonte.

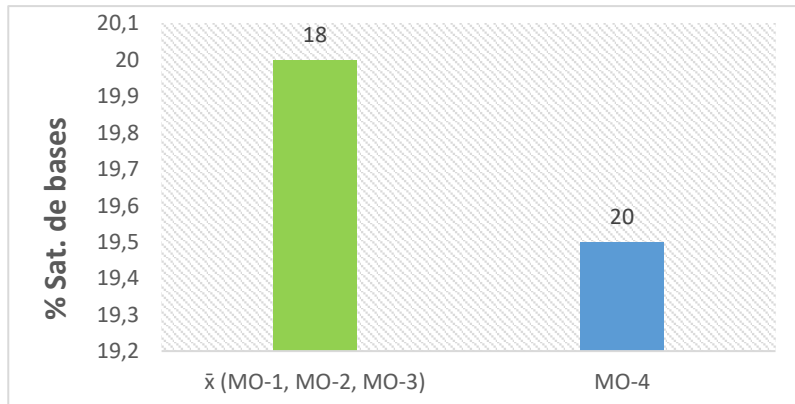


El porcentaje de saturación de bases en los suelos con plantaciones de pino, según la Tabla 31 y la Figura 31, muestra que en el horizonte A varía entre 4% y 42%, con un promedio de 18.3%. En contraste, en el horizonte A de la parcela testigo (MO-4), el porcentaje de saturación de bases es del 20%, mayor que en las calicatas MO-1 y MO-2, pero menor que en la parcela MO-3. En el horizonte B, se observa un comportamiento similar: el porcentaje de saturación de bases en la parcela testigo (MO-4) es mayor que en los suelos de las calicatas MO-1 y MO-2, pero menor que en la calicata MO-3 (SB:57%).

En tal razón: el porcentaje de saturación de bases entre los suelos con plantaciones y la parcela testigo se deben a la absorción de nutrientes por las plantas, las condiciones de acidez del suelo, la influencia de la materia orgánica y la heterogeneidad en la distribución de nutrientes.

Figura 32

Valores promedios de PSB entre ambas muestras.



Los valores promedios obtenidos para el porcentaje de saturación de bases (PSB) mostrados indican que el suelo natural (MO-4) tiene un valor menor (20%) en comparación con el promedio de las calicatas MO-1, MO-2 y MO-3 en suelos con plantaciones (18%). Estos valores están relacionados con el pH y la textura del suelo. Esto se debe a que el incremento del

porcentaje de saturación de bases aumenta los valores de pH, ya que existe una relación directamente proporcional entre estos factores. Además, la mayor presencia de aluminio intercambiable contribuye a la acidificación del suelo.

V. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- ❖ En cuanto a las características físicas del suelo, las clases texturales en el horizonte "A", varían de franco a franco arenoso tanto dentro de la plantación como en el testigo. Los porcentajes de limo y arcilla en este horizonte son ligeramente menores en los suelos dentro de la plantación, mientras que el porcentaje de arena es mayor en dichos suelos en comparación con el testigo.

La estructura, color, profundidad efectiva, drenaje y permeabilidad son similares en ambas áreas. Ambos tipos de suelo presentan estructuras en bloques subangulares finos y medios, con un grado de desarrollo moderado, de color negro y moderadamente profundos, buen drenaje y permeabilidad moderada. No se observan efectos significativos inducidos en estas características debido al proceso lento de cambio. Para evaluar posibles efectos más detalladamente, se requiere un estudio más prolongado.

- ❖ En términos de las características químicas del suelo, el pH es ligeramente más bajo en las plantaciones de pino, variando entre extremadamente ácido y muy fuertemente ácido (4.41-4.88), en comparación con el testigo (4.87). Esto sugiere un leve efecto de las plantaciones de *Pinus radiata* sobre el pH del suelo.

Los niveles de materia orgánica son altos en ambos suelos (10.0-17.10%), siendo ligeramente mayores dentro de la plantación (17.10%) frente al testigo (14.76%), lo que indica un incremento moderado asociado a las plantaciones. La concentración de aluminio más hidrógeno (Al + H) es más alta en las parcelas con plantaciones (1.50-

8.75 meq/100g) en comparación con el testigo (4.55 meq/100g), aunque en ambos casos los niveles son tóxicos para los cultivos.

La conductividad eléctrica, el nitrógeno, el fósforo disponible, el potasio disponible y la capacidad de intercambio catiónico son similares en ambas áreas. Los suelos no son salinos (CE: 0.09-0.33 dS/m) y presentan niveles altos de nitrógeno (0.48-0.75%), fósforo (8.6-209.9 ppm), potasio (106-289 ppm) y capacidad de intercambio catiónico (28 -48 meq/100g). Los cationes intercambiables, como calcio (1,86-10,80 meq/100 g), magnesio (0,28-0,93 meq/100 g), potasio (0,39-0,76 meq/100 g) y sodio (0,07-0,13 meq/100 g), son bajos tanto dentro de la plantación como en el testigo.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, M. (1993). Sustratos características y propiedades, Instituto de Estudios Almerienses 45-60 pp.
- Arriola, J, *et al*, 2012. Estado de salud actual Del suelo en la ladera norte del Cerro Gordo del Parque Estatal Flor del Bosque, Amozoc, Puebla, México. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 27 (1): 17-23.
- Almorox, J. López, F. Rafaelli, S. 2010. La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación. Ediciones de la Universidad de Murcia.
- Barahona, J. 2012. Influencia de las Plantaciones de Eucalyptus globulus Labill y Pinus radiata D. Don en las Propiedades Del Suelo, Chamiseria – Junin. P.
- Barreira, E. 1978. *Fundamentos de edafología para la agricultura*. Editorial hemisferio Sur S.A., 150 pp.
- Birdsey, D. 1993. *Nutrición Forestal y Prácticas de Manejo*. México: Graw Hill.
- Blatt, R. 2000. Cellular signaling and volume control in stomatal movements in plants. *annu. rev. cell develops. biol.* 16: 221–241.
- Bustan, A. *et al*. 2013. Interactions between fruit load and macroelement concentrations in fertigated olive (*Olea europaea* L.) trees under arid saline conditions. *Scientia Horticulturae* 152: 44–55.
- Calla, J. 2017. Determinación de los impactos negativos de la forestación de Eucaliptus globulus Labill sobre las propiedades del suelo en la comunidad de Kocan – JULIACA. Puno. Peru.
- Castillo, C. 2005. Selección y Calibración de Indicadores Locales y Técnico para Evaluar la Degradación de Los Suelos Laderas, en La Microcuenca Cuscamá El Tuma – La Dalia Matagalpa, 2005. Nicaragua.
- Cepeda, J. 2012. *Química de suelos*. 1ra. Edición. Editorial Trillas, S.A., México. 155 pp
- Cochrane, T. And Cochrane, A. 2009. The vital role of potassium in the osmotic mechanism of stomata aperture modulation and its link with potassium deficiency, plant signal. *behav.* 4: 240–243.

- Cortina, J & Vallejo, V. 1993. Efecto de las plantaciones de *Pinus radiata* sobre la fertilidad del suelo. Departament de Biologia Vegetal. Universitat de Barcelona. España. 6 pp.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). 2011. Plantaciones forestales. Chile.
- Dionisio. 2012. Efecto de las plantaciones de *Pinus* sobre las propiedades del suelo, Cullpa Alta, Huancayo – Junín.
- Dexter, A. 1997. Physical properties of tilled soils. *Soil Till*, 4(3), 41- 63.
- Donoso, C. 2001. Ecología forestal, el bosque y su medio ambiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Tercera edición. Chile.
- Del Riego M. 2010. Efecto sobre las propiedades del suelo de las reforestaciones realizadas en el distrito de Coixtlahuaca, Oaxaca – México.
- Duran, E. 2017. Profundidad Efectiva Del Suelo.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). 2009. Decreto Supremo N° 017-2009-AG Reglamento de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso Mayor. Lima, Perú.
- Espinoza, L. *et al.* 2013. Como interpretar los resultados de los análisis de suelos. Agricultura y recursos naturales. 4 pp.
- Epstein, E. And Bloom, J., 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives, second ed. sinauer association, sunderland, Ma.
- Echeverr , L. *et al.*, 2014. Caracterización física, química y mineralógica de suelos con vocación forestal protectora, Región Andina Central Colombiana. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 67 (2): 7335-7343.
- Estupiñan, L. 2003. Impacto causado en el suelo por las plantaciones de pino en el páramo de Gachaneca. Ecuador.
- Facts, G. 2015. Green facts on health and the enviroment.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Plantaciones forestales de pino. Roma.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2021. Suelos. Roma.
- García, M. (2015). *Clima y biogeografía de zonas templadas*. Editorial Geociencias.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. Guía para la descripción de suelos. Roma.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2021. Permeabilidad del Suelo. Roma.
- Fernández, A. y Sarmiento A. 2006. El Pino radiata - Manual de gestión forestal sostenible. Colette & modo. España.
- Flores, E. 2009. Efecto de las plantaciones de eucalipto (*eucalyptus globulus*) sobre los suelos de comunidades asentadas en la red ferroviaria cochabamba- Cliza.
- Food & Health. 2013 “Agricultural expansion and deforestation: modelling the impact of population, market forces and property rights”, *Journal of Development Economics*, Vol. 58, 185-218 pg.
- Foth, H. 1997. Fundamentos de la ciencia del suelo. Compañía editorial Continental S. A. Séptima reimpresión. México.
- Fox, D., Tilman, D., Hobbie, S. 2009. *Linkages between plant functional composition, fine root processes and potential soil N mineralization rates* 48- 56pp.
- García, A. 2009. Degradación de la fertilidad integral del suelo. En: seminario nacional año de los suelos en Colombia. El suelo importante recurso para la continuidad de nuestras generaciones sociedad colombiana de la ciencia del suelo. 29 pág.
- García, L. 2017. Metodologías de Campo para Determinar Profundidad, Densidad Aparente, Materia Orgánica, Infiltración del Agua, Textura y pH en el Suelo. Nicaragua.
- GORE (Gobierno Regional de Cajamarca). 2011, Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial en Cajamarca. Perú.
- INFOJARDIN 2005. Pino radiata [En línea], disponible en: <https://fichas.infojardin.com/arboles/pinus-radiata-pino-de-california-monterrey-insigne.htm>

- Jaramillo, D, 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad nacional de Colombia, facultad de ciencias. 614 pág.
- Jaramillo, J. 2007. Ciencias del suelo (notas de clase). Universidad nacional De Colombia. Palmira. 184 pág.
- León-Gamboa, A, *et al*, 2010. Efecto de plantaciones de pino en la artropofauna del suelo de un bosque Altoandino. Revista de biología tropical, Bogota.
- Lozada, J. *et al* 2011. Cambios Inducidos en algunas Características de los Suelos, por las Plantaciones de Pino en el Estado Portuguesa, Venezuela.
- Lundgreen, B. 1980. Plantation forestry in tropical countries physical and biological potentials and risk. Swedish University Agricultura Sciences. Rural Deveploment Studies.
- Mayta, M. 2019. Evaluación del efecto de la plantación forestal de Pino (*Pinus radiata*) sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en la comunidad Huerta Huaraya. Puno.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2014. Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina. Lima.
- MINAM (Ministerio del ambiente). 2014. Guía para el Muestreo de Suelos / Ministerio del Ambiente. Dirección General de Calidad Ambiental - Lima.
- Munive, R. 2008. Análisis de suelos – agua – plantas. Manual de prácticas. Departamento de Suelos e Ingeniería Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional del Centro del Perú. 4ta edición. Huancayo, Perú.
- Oliva, T, *et al.*, 2016. *Efecto de las plantaciones de Pinus radiata sobre las características físicas y químicas de los suelos en áreas altoandinas de la región Amazonas.* (Tesis de postgrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.
- Ortega, L. 2009. Drenaje en Suelos Agrícolas. Chile.
- Pallardy, G. 2008. Mineral nutrition. In: pallardy, s.g. (ed.), physiology of woody plants., 3rd ed. elsevier, amsterdam, the netherlands, pp. 255–285.
- Pettigrew, T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiol. plant.* 133: 670–681.

- Porta, C. *et al*, 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi Prensa. 3° ed. Madrid, España.
- Richert, J. *et al*. 2009. Reference bulk density and critical degree of compactness for no till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Till. Res*, 1(102), 242 – 254.
- Rucks. L, García. F, Kaplán. A, Ponce de León. J, Hill. M. 2004. Propiedades Físicas del Suelo. Montevideo-Uruguay.
- Sánchez, F. 2013. "Influencia de Sustratos Activos para El Crecimiento de Pino (*Pinus Radiata* Don.) producidos bajo Condiciones del Vivero Forestal en La Comunidad de Cuticsa - Santo Tomas de Pata -Angaraes - Huancavelica". Perú.
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre). 2016. Guía rápida para el levantamiento de suelos en campo.
- SENARA (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento). 2021. Drenaje. Costa Rica.
- Schlatter, J. y Otero, L. 1995. Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químicas - nutritivas del suelo mineral superficial. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. Bosque 16 (1) 29: 46.
- Sierra, A., Vázquez, J. y Rodríguez, D. 1994. La Auto ecología de *Pinus radiata* en la Cuenca de México. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Smith, J & Doran, J. (1996). Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analyses. In J.w. Doran and A.J Jones (ed). *Methods for assessing soil quality*. Publ. 49. 169-185 pp.
- Smith, J. (2020). *Ingeniería de suelos: fundamentos y aplicaciones* Editorial
- Smith, J. (2020). *Ecology of Forest*. Forest Publishing House.
- Toledo, C. 2019. Caracterización Física y Química de Los Suelos del Callejon de Huaylas Forestados por AGRORURAL Con *Pinus Radiata* – 2015. Huaraz – Perú.

- Vanegas, E. A. y Méndez, B. A. 2016. Aplicación del índice de calidad de suelos en plantaciones forestales de palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) y Matiliguate (*Tabebuia rosea* Bertol) en Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 3 (1): 47-54.
- VARGAS; C. 2012. *Caracterización físico-química de suelos en plantaciones de pinus radiata en acosa, parroquia lasso, cantón latacunga, provincia de cotopaxi-* (tesis postgrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, Riobamba.
- Zavaleta, G.1992. Edafología. El suelo en relación con la producción. Primera edición. CONCYTEC. Lima, Perú.
- Zegarra, R. (2011). Las especies madereras del departamento de Tacna. Su impacto ecológico. *Revista Ciencia y Desarrollo* 2011; 13: 36-42. 7 pp.
- Picard, N. (1988). *Reforestación en el Perú: Situación y perspectivas*. Instituto Nacional de Investigación Forestal y Agropecuaria (INFOR).
- González, J. P. (2020). Adaptación de *Pinus radiata* D. Don a suelos deteriorados. *Revista de Botánica Aplicada*, 15(3), 45-59. Ediciones Botánicas.
- Smith, J. (2023). *Pinus patula*. Encyclopedia of Trees. https://www.example.com/pinus_patula
- illel, D. (2008). "Soil in the Environment: Crucible of Terrestrial Life." Academic Press
- Espinal, J., Pérez, L., Gómez, M., & Rodríguez, P. (1977). *Título del libro*. Editorial.
- Smith, J., Johnson, L., y Martinez, R. (2019). *Impacto de las actividades humanas en la salud del suelo forestal: una revisión de los efectos inducidos* .<https://doi.org/10.123/j.v45i3.2019>

V. ANEXOS

ANEXO A

Tabla 32

Perfil MO-1.

Ubicación	Llullapuquio
FAO	Cambisol húmico
Clasificación técnica	Clase VII, de capacidad de uso potencial
Localidad	CAT Llullapuquio
Vegetación o cultivo	Bosque de <i>pinus radiata</i>
Material madre	Rocas volcánicas insitu
Fisiografía	Ladera
Permeabilidad	Moderada
Distribución de raíces	Hasta 70 cm
Relieve	Ondulado
Drenaje	Bueno
Elevación	3790 msnm
Escurrimiento superficial	Moderadamente lento
Pedregosidad superficial	3%
Pendiente	Moderadamente empinada (24%)
Napa freática	No existe en la sección de control
Erosión	Moderada
Humedad	Perfil seco
Coordenadas	762236m Este 9213951m Norte
Microfotografía	Ondulada suave
Pendiente	Moderada empinada (24%)
Profundidad efectiva	Moderadamente / profunda
Pedregosidad superficial	Ligeramente pedregosos
Fragmentos rocosos	gravisas y pedregosas en el perfil
Salinidad	Libre a muy ligeramente efectuadas por exceso de sales y sodio

Riesgo de anegamiento	Sin riesgo
Uso actual	plantación
Perfil	A/BC/C
Fertilidad	Baja

Nota. Elaboración propia.

Tabla 33

Horizonte	Profundidad cm	color		Clase textural	Modificador Textural O moteado	Película de arcilla	estructura	consistencia			pH	CO ₂	Limite
		Seco	Húmedo					S	H	M			
A1	0-40/ 45	10YR 2/2	10YR 2/1				Bsfm2	ld	fr	la	-	-	go
BC	40/45-66cm	: Transicional entre B y C con piedras, gravas y gravillas de naturaleza volcánica (+- 50%), con raíces finas y medias y escasa actividad biológica											
C	66-110cm a más, Horizonte constituido por material volcánico con gravas, gravillas y piedras de naturaleza volcánica.												

Nota. Elaboración propia.

A1: Horizonte con escaso desarrollo de raíces finas y medias, buena actividad biológica con galerías crotovinas escaso fragmento grueso (+- 7%)

Colores:

- 10Y R2/1 = negro
- 7.5YR 2/0= negro
- 10YR 2/2 = pardo muy oscuro
- 10YR3/2= pardo grisáceo muy oscuro
- 10YR3/4 = pardo amarillento oscuro.

Tabla 34*Perfil MO-2.*

Ubicación	Llullapuquio
FAO	Cambisol húmico
Clasificación técnica	Clase VII, de capacidad de uso potencial
localidad	CAT Llullapuquio
Vegetación o cultivo	Bosque de <i>pinus radiata</i> más pasto natural
Material madre	Roca volcánica saprolítica areniscas ferruginosa
Fisiografía	Ladera suave
Permeabilidad	Moderada
Distribución de raíces	Hasta 50cm
Relieve	Ondulado
Drenaje	Bueno
Salinidad o alcalinidad	No salino
Elevación	3678 msnm
Escurrimiento superficial	Moderado lento
Pedregosidad superficial	7%
Pendiente	24%
Napa freática	No se encontró
Erosión	Moderada

Coordenadas	761689m Norte 9214494m Este
Microfotografía	Ondulada suave
Material	Rocas volcánicas zaprolíticas
Drenaje	Bueno
Pendiente	Moderadamente empinada 24%
Profundidad efectiva	Moderada profundas (55cm)
Pedregosidad superficial	Ligeramente pedregosos 7%
Fragmento rocoso	gravisas y pedregoso en el perfil
Salinidad	Libre a ligera afectadas por el exceso de sodio
Riesgo de anegamiento	Sin riesgo
Uso actual	plantación
Perfil	A/Bw/C
Fertilidad	Baja

Nota. Elaboración propia.

Tabla 35

Horizonte	Profundidad Cm	color		Clase textural	Modificador Textural O moteado	Película de arcilla	Estructura	consistencia			pH	CO2	Limite
		Seco	Húmedo					S	H	M			
A1	0-23 cm	10YR 3/2	10YR 2/1				Bsfm2	d	fm	a			d s
B1	23-36/cm	10YR ¾	10YR 2/2				Bsfm3	d	fm	a			ci
C1	36/53-70/72 cm												
Horizonte constituido por piedras, gravas y gravillas de areniscas y materiales volcánicos (+-70%) más suelos, sin raíces, no se observa actividad biológica.													
C2	70/72-110 cm												Horizonte constituido por materiales volcánicos, en proceso de descomposición avanzada sin raíces, sin actividad biológica ni fragmentos rocosos

Nota. Elaboración propia.

A1: Escaso desarrollo de raíces finas y escasas medias , buena actividad biológica con galerías escrotovinas y nidos, escasas gramillas de material volcánico +- 2%.

BW: Escaso desarrollo de raíces finas, buena actividad biológica y gravillas de naturaleza volcánica en +- 5%.

Tabla 36

Perfil MO-3.

Ubicación	Llullapuquio
FAO	Cambisol húmico
Clasificación técnica	Clase VII de cap. de uso potencial
Localidad	CAT Llullapuquio
Vegetación o cultivo	Bosque pino radiata
Material madre	Rocas volcánicas insitu
Fisiografía	Ladera
Permeabilidad	Moderada
Distribución de raíces	Hasta 60 cm
Relieve	Ondulado
Drenaje	Bueno
Salinidad o alcalinidad	No salinos
Elevación	3732 m
Escurrimiento superficial	Moderado lento
Pedregosidad superficial	2%
Pendiente	Moderadamente empinada (24%)
Napa freática	No se encuentro
Erosión	Moderada
Humedad	Perfil seco
Coordenadas	762583m Este 9213218m Norte
Microfotografía	Ondulada Suave
Material	Rocas volcánicas insitu

Drenaje	Bueno
Pendiente	Moderadamente empinada (24%)
Profundidad efectiva	Moderadamente profunda 65cm
Pedregosidad superficial	Ligeramente pedregosa 2 %
Fragmento rocoso	Ligeramente gravosas y pedregosa
Salinidad	Libre a muy ligeramente afectada por exceso de sales y sodio
Riesgo de anegamiento	Sin riesgo
Uso actual	plantación
Perfil	A/B/C
Fertilidad	baja

Nota. Elaboración propia.

Tabla 37

Horizonte	Profundidad cm	color		Clase textural	Modificador Textural O moteado	Película de arcilla	estructura	consistencia			pH	CO2	Limite
		Seco	Húmedo					S	H	M			
A1	0-40	10YR2/1	7.5YR2/0				Bsfm2	ld	fm	La			d 1
Bw	40- 58cm	10YR3/2	10YR2/2				Bsfm	d	fm	a			g 1
C	58-95cm												

Horizonte constituido por material volcánico, en proceso de edafización avanzada de color 2.5 YR6/4 (pardo rojizo claro), sin raíces no se observa actividad biológica.

Nota. Elaboración propia.

A1: desarrolla moderada de raíces finas, medias y gruesas (del pino) escasa actividad biológica.

(Galerías), escasas gravillas de naturaleza volcánica.

Bw: asacas raíces finas y gruesas, escasa actividad biológica, escasa gravillas de naturaleza volcánica.

Tabla 38*Perfil MO-4 (calicata testigo).*

Ubicación	Llullapuquio
FAO	Cambisol húmico
Clasificación técnica	Clase VII de capacidad de uso potencial
Localidad	CAT Llullapuquio
Vegetación o cultivo	Pasto natural calamagrostis ichu fertuca
Material madre	Rocas volcánicas más caliza y areniscas
Fisiografía	Ladera suave
Permeabilidad	Moderada
Distribución de raíces	Hasta 65 cm
Relieve	Ondulado
Elevación	3715msnm
Escurrimiento superficial	Moderado rápido
Pedregosidad superficial	10%
Pendiente	30%
Napa freática	No se encontró
Erosión	Moderada
Humedad	Perfil totalmente seco
Coordenadas	762596m Este 9213022m Norte

Microfotografía	Ondulada suave
Material	Rocas volcánicas
Drenaje	Bueno
Salinidad o alcalinidad	No salinos
Pendiente	Empinada (30%)
Profundidad efectiva	Moderadamente profunda (70cm)
Pedregosidad superficial	Ligeramente pedregosos
Fragmento rocoso	Ligeramente, gravosos y pedregosos en el perfil
Salinidad	Libre a muy ligero, afectados por exceso de sales y sodio
Riesgo de anegamiento	Sin riesgo
Uso actual	Pasto natural
Perfil	A/B/C
Fertilidad	Baja

Nota. Elaboración propia.

Tabla 39

Nota. Elaboración propia.

Horizonte	Profundidad cm	color		Clase textura	Modificador Textural O moteado	Película de arcilla	estructura	consistencia			CO 2	Limit e
		Seco	Húmedo					S	H	M		
A1	0-34	10YR2/ 2	10YR2/ 1				B1fm2	ld	fr	la		d 1
BW	34-68	10YR3/ 2	10YR2/ 2				B1fm2	ld	fr	la		g 1
C	68-100 cm											

Horizonte constituido por material volcánico en proceso de edafización avanzada de color 2.5 y5/6 (pardo olivo claro) en seco, sin raíces y muy escasa actividad biológica.

A1: desarrollo moderado de raíces finas escasas gravillas de naturaleza volcánica, con buena actividad biológica(galerías y crotovinas)

Bw: escasas raíces finas, buena actividad biológica, gravas y gravillas de naturaleza volcánica en +- 10

Tabla 40

Análisis de suelos: Caracterización.

Solicitante	: MARISOL ORRILLO VÁSQUEZ	Provincia	:
Departamento	: CAJAMARCA	Predio	:
Distrito	:	Fecha	: 02/11/2020
Referencia	: H.R. 72892-093C-20	Bolt.:	4268

Número de Muestra		C.E.		Análisis Mecánico							Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves	pH (1:1)	(1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textural		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
7059	MO-3(1), Horizonte A1	4.88	0.09	0.00	10.07	209.9	118	36	43	21	Fr.	28.48	10.80	0.60	0.39	0.18	1.50	11.98	42	
7060	MO-3(2), Horizonte BW	5.25	0.02	0.00	5.52	184.1	58	20	41	39	Fr.Ar.L.	19.84	10.20	0.68	0.29	0.11	0.75	11.29	57	
7061	MO-4(1), Horizonte A1	4.87	0.03	0.00	14.76	110.5	289	36	47	17	Fr.	34.56	4.95	0.93	0.76	0.13	4.55	6.77	20	
7062	MO-4(2), Horizonte BW	5.13	0.02	0.00	8.90	107.6	140	50	31	19	Fr.	28.80	4.48	0.58	0.42	0.08	4.35	5.56	19	

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		
Lab.	Claves	N %
7059	MO-3(1), Horizonte A1	0.43
7060	MO-3(2), Horizonte BW	0.22
7061	MO-4(1), Horizonte A1	0.60
7062	MO-4(2), Horizonte BW	0.38

*Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio*

Nota. Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de La Universidad Nacional Agraria La Molina.

Tabla 41*Análisis de suelos: Caracterización.*

Solicitante	MARISOL ORRILLO VÁSQUEZ											Provincia								
Departamento	CAJAMARCA											:								
Distrito												Predio								
Referencia	H.R. 72892-093C-20											Fecha : 02/11/2020								
												Bolt.: 4268								
Número de Muestra		C.E.		Análisis Mecánico						Clase	CIC	Cationes Cambiables						Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves	pH (1:1)	(1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Arena %	Limo %	Arcilla %		Textural	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
7055	MO-1(1), Horizonte A	4.41	0.03	0.00	17.10	8.6	106	58	33	9	Fr.A.	46.40	1.26	0.28	0.43	0.07	6.35	8.39	2.04	4
7056	MO-1(2), Horizonte BC	4.45	0.03	0.00	12.27	12.2	58	64	29	7	Fr.A.	41.60	0.64	0.20	0.29	0.07	4.35	5.55	1.20	3
7057	MO-2(1), Horizonte A1	4.41	0.06	0.00	10.00	12.8	151	46	39	15	Fr.	34.40	1.53	0.58	0.49	0.08	8.75	11.43	2.68	8
7058	MO-2(2), Horizonte B1	4.45	0.04	0.00	7.10	12.2	236	56	27	17	Fr.A.	31.36	1.03	0.30	0.46	0.13	11.65	13.57	1.92	6

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		
Lab.	Claves	N %
7055	MO-1(1), Horizonte A	0.75
7056	MO-1(2), Horizonte BC	0.57
7057	MO-2(1), Horizonte A1	0.48
7058	MO-2(2), Horizonte B1	0.32

*Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio*

Nota. Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de La Universidad Nacional Agraria La Molina.

ESCALAS PARA INTERPRETACIÓN DE DATOS

Textura del *suelo*¹

TEXTURA		
Grupos texturales		Clase textural
Símbolo	Grupos	
G	Gruesa	Arena Arena franca
MG	Moderadamente gruesa	Franco arenoso
M	Media	Franco Franco limoso Limoso
MF	Moderadamente fina	Franco arcilloso Franco arcilloso limoso Franco arcilloso arenoso
F	Fina	Arcilloso

Porcentaje de saturación de *bases*²

Nivel	Suma de cationes	Acetato de amonio
Bajo	Menor de 35	Menor de 50
Alto	Mayor de 35	Mayor de 50

-
1. Reglamento de Clasificación de Tierras por Uso Mayor D.S. Nº 005-2002-MIDAGRI
 2. departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Profundidad Efectiva¹

Término descriptivo	Rango (cm.)
Muy superficial	< de 25
Superficial	25 – 50
Moderadamente profundo	50 - 100
Profundo	100 – 150
Muy profundo	> de 150

pendiente ¹

Símbolo	Rango de Pendiente (%)	Término descriptivo
A	00-04	Plana a casi a nivel
B	05-08	Ligeramente inclinada
C	09-15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada
D	16-25	Moderadamente empinada
E	26-50	Empinada
F	51-75	Muy empinada
G	>75	Extremadamente empinada

1. Reglamento de Clasificación de Tierras por Uso Mayor D.S. Nº 005-2002-MIDAGRI

Reacción del *suelo*¹

Término descriptivo	Rango (pH)
Ultra ácida	< de 3,5
Extremadamente ácida	3,6 – 4,4
Muy fuertemente ácida	4,5 – 5,0
Fuertemente ácida	5,1 – 5,5
Moderadamente ácida	5,6 – 6,0
Ligeramente ácida	6,1 – 6,5
Neutra	6,6 – 7,3
Ligeramente alcalina	7,4 – 7,8
Moderadamente alcalina	7,9 – 8,4
Fuertemente alcalina	8,4 – 9,0
Muy fuertemente alcalina	> 9,0

Materia orgánica ¹

Nivel	Contenido (%)
Bajo	< de 2
Medio	2 - 4
Alto	> de 4

Nitrógeno *disponible*²

Nivel	Contenido (%)
Bajo	< de 0,10
Medio	0,10 – 0,20
Alto	> de 0,20

1. Reglamento de Clasificación de Tierras por Uso Mayor D.S. Nº 005-2002-MIDAGRI

2. Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Fósforo *disponible*¹

Nivel	Contenido (ppm)
Bajo	menor de 7
Medio	7 – 14
Alto	mayor de 14

Potasio *disponible*¹

Nivel	Contenido (ppm)
Bajo	< 100
Medio	100 – 240
Alto	> 240

Carbonato de *calcio*²

Nivel	Contenido (%)
Bajo	< de 1,0
Medio	1,0 – 5,0
Alto	5,0 – 15,0

Capacidad de Intercambio *Cationico*²

Nivel	Contenido (%)
Muy Bajo	< de 6
Bajo	6 - 12
Medio	12 - 14
Alto	> de 14

1. Reglamento de Clasificación de Tierras por Uso Mayor D.S. Nº 005-2002-MIDAGRI

2. Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Equivalencia de *drenaje* ¹


Símbolo	Clase
A	Excesivo
B	Algo excesivo
C	Bueno
D	Moderado
E	Imperfecto
F	Pobre
G	Muy pobre

Salinidad ¹

Símbolo	Clase	Conductividad eléctrica (dS/m)
0	No salino	Menor de 2
1	Muy ligeramente salino	2 – 4
2	Ligeramente salino	4 – 8
3	Moderadamente salino	8 – 16
4	Fuertemente salino	Mayor de 16

1. Reglamento de Clasificación de Tierras por Uso Mayor D.S. Nº 005-2002-MIDAGRI

ANEXO C. PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1 <i>Zona de estudio.</i>		Fotografía 2 <i>Medidas para el inicio del trabajo.</i>	
			
Subgrupo:	Ubicación: Llullapuquio		

Fotografía 3 <i>Inicio de trabajo de las calicatas.</i>		Fotografía 4 <i>Medida de las calicatas.</i>	
			
Subgrupo:	Ubicación: Llullapuquio		

Fotografía 5 Muestra número 01.



Fotografía 6 Medida del estudio de la primera calicata.



Subgrupo:

Ubicación:
Llullapuquio

Coordenadas UTM:762236m Este
9213915m Norte

Fotografía 7 Muestra número 02.





Fotografía 8 Medidas del estudio de la segunda calicata.





Subgrupo:

Ubicación:
Llullapuquio

Coordenadas UTM:761689m Este
9214494m Norte

Fotografía 9 <i>Muestra número 03.</i>		Fotografía 10 <i>Medidas del estudio de la tercera calicata.</i>
		
Subgrupo:	Ubicación: Llullapuquio	Coordenadas UTM: 762583m Este 9213218m Norte

Fotografía 11 <i>Muestra de la calicata testigo.</i>		Fotografía 12 <i>Medidas de la calicata testigo.</i>
		
Subgrupo:	Ubicación: Llullapuquio	Coordenadas UTM: 762596m Este 9213022m norte