

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Agronomía



TESIS

**“EFECTO DEL *Pinus radiata* EN LA FERTILIDAD QUÍMICA
DEL SUELO, EN EL DISTRITO DE SAN SILVESTRE DE
COCHAN - SAN MIGUEL – CAJAMARCA, 2024”**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por el Bachiller:

MAYCOLL HARRY MENDOZA SOLIS

Asesor:

Dr. EDIN ALVA PLASENCIA

CAJAMARCA – PERÚ


-2026-

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. **Investigador:** Maycoll Harry Mendoza Solis
2. **DNI:** 42175098
Escuela Profesional/Unidad UNC: Agronomía
3. **Asesor:**
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
4. **Facultad/Unidad UNC:** Ciencias Agrarias
5. **Grado académico o título profesional:**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
6. **Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

Título de Trabajo de Investigación: "EFECTO DEL *Pinus radiata* EN LA FERTILIDAD QUÍMICA DEL SUELO, EN EL DISTRITO DE SAN SILVESTRE DE COCHAN - SAN MIGUEL – CAJAMARCA, 2024"
7. **Fecha de evaluación:** 27/05/2026
8. **Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
9. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 16%
10. **Código Documento:** oid: 3117:59507417
11. **Resultado de la Evaluación de Similitud:** 16%
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 28/05/2026

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 <hr/> Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia DNI: 26620894



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 trece días del mes de marzo del año dos mil veintiséis, 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° 236-2026-FCA-UNC, de fecha 09 de marzo 2026, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: "EFECTO DEL *Pinus radiata* EN LA FERTILIDAD QUÍMICA DEL SUELO, EN EL DISTRITO DE SAN SILVESTRE DE COCHAN - SAN MIGUEL - CAJAMARCA, 2024", realizada por el Bachiller MAYCOLL HARRY MENDOZA SOLIS para optar el Título Profesional de INGENIERO AGRÓNOMO.

A las diez horas y cinco 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 dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de INGENIERO AGRÓNOMO.

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

Dr. Isidro Rimarachín Cabrera
PRESIDENTE

Ing. José Lizandro Silva Mego
SECRETARIO

Ing. Oscar Rogelio Sáenz Narro
VOCAL

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis de manera incondicional a mis padres, por su apoyo, constante, esfuerzo y sacrificio a lo largo de mi formación académica siendo siempre el pilar fundamental que me impulsó a culminar esta etapa de mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar cada paso de este camino.

A mis padres y familia, tener paciencia y apoyo incondicional, especialmente en los momentos más difíciles de este proceso.

A mi asesor de tesis, por brindarme su tiempo, compartir sus conocimientos, y su acompañamiento constante, para la elaboración de este trabajo.

A mis amigos, por sus respaldo moral e incondicional en el desarrollo de la investigación.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar los efectos del *Pinus radiata* D. Don. en la fertilidad química del suelo, en el distrito de San Silvestre de Cochan – San Miguel, Cajamarca. Como metodología se realizó cuatro calicatas alineadas perpendicularmente al tronco, midiendo siempre la distancia desde la base del tronco hasta el centro de cada calicata en sentido horizontal. La calicata 1 se ubicó a 1,5 m, la calicata 2 a 3,0 m y la calicata 3 a 4,5 m, todas dentro de la proyección de la copa. La calicata 4 se instaló a 6,0 m, lo que la situó fuera del área de influencia directa de la copa, por lo que se consideró como tratamiento testigo. En cada calicata se recolectaron muestras de suelo a cuatro profundidades: A (0–35 cm), B (35–70 cm), C (70–105 cm) y D (105–140 cm), obteniéndose un total de 16 muestras. Como resultados se obtuvo que los análisis de suelo mostraron diferencias estadísticamente significativas en la disponibilidad de potasio según la profundidad, evidenciando que este nutriente varía entre los distintos estratos del suelo, mientras que el fósforo no presentó variaciones significativas asociadas a la profundidad ni a la ubicación de las calicatas. El pH se mantuvo estable en todas las profundidades y ubicaciones evaluadas, en tanto que la conductividad eléctrica fue mayor en los estratos superficiales y disminuyó progresivamente en los horizontes más profundos, sin influencia de la cercanía a las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. Asimismo, el contenido de materia orgánica, la acidez intercambiable y el aluminio intercambiable no mostraron diferencias significativas, lo que evidencia una distribución homogénea de estas propiedades químicas en el área de estudio.

Palabras clave: *Pinus radiata* D. Don y química del suelo

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the effects of Pinus Radiata D. Don soil chemical fertility in the San Silvestre de Cochan district of San Miguel, Cajamarca, in 2024. The methodology involved excavating four soil pits aligned perpendicular to the trunk, always measuring the horizontal distance from the base of the trunk to the center of each pit. Pit 1 was located at 1.5 m, pit 2 at 3.0 m, and pit 3 at 4.5 m, all within the canopy's projection. Pit 4 was installed at 6.0 m, placing it outside the direct influence of the canopy, and was therefore considered a control treatment. Soil samples were collected from each pit at four depths: A (0–35 cm), B (35–70 cm), C (70–105 cm), and D (105–140 cm), yielding a total of 16 samples. The results showed that soil analysis revealed statistically significant differences in potassium availability with depth, indicating that this nutrient varies among the different soil layers. Phosphorus, on the other hand, did not show significant variations associated with depth or the location of the soil pits. pH remained stable at all depths and locations evaluated, while electrical conductivity was higher in the surface layers and decreased progressively in the deeper horizons, without any influence from proximity to Pinus radiata de D. Don plantations. Similarly, organic matter content, exchangeable acidity, and exchangeable aluminum did not show significant differences, indicating a homogeneous distribution of these chemical properties in the study area.

Keywords: Pinus Radiata D. Don and soil chemistry

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Formulación del problema	4
1.4. Justificación del problema	4
1.5. Hipótesis	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.2. Bases teóricas	10
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Ubicación.....	19
3.2. Materiales	20
3.3. Metodología	20
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
5.1. Conclusiones.....	53
5.2. Recomendaciones	55
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas de ubicación de calicatas.....	21
Tabla 2	Potasio disponible en las muestras de suelo	23
Tabla 3	ANVA para potasio disponible	23
Tabla 4	Fósforo disponible en las muestras de suelo	31
Tabla 5	Análisis estadístico del fósforo disponible.....	31
Tabla 6	pH del suelo.....	36
Tabla 7	Análisis estadístico del pH de las muestras de suelo.....	36
Tabla 8	Análisis estadístico de la conductividad eléctrica	40
Tabla 9	Contenido de materia orgánica (%) en el suelo	45
Tabla 10	Análisis estadístico de la materia orgánica	45
Tabla 11	Acides intercambiable de las muestras de suelo	49
Tabla 12	Aluminio intercambiable de las muestras de suelo.....	51
Tabla 13	Análisis estadístico del aluminio intercambiable	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del área de estudio	19
Figura 2 Potasio disponible a la profundidad de 0 cm - 35 cm, según calicata.....	25
Figura 3 Potasio disponible a la profundidad de 35 cm – 70 cm según calicata	26
Figura 4 Potasio disponible a la profundidad de 70 cm - 105 cm según calicata	28
Figura 5 Potasio disponible a la profundidad de 105 cm - 140 cm, según calicata	29
Figura 6 Fósforo disponible a la profundidad 0 cm – 35 cm según calicata.....	32
Figura 7 Fósforo disponible a la profundidad 35 cm – 70 cm según calicata.....	33
Figura 8 Fósforo disponible a la profundidad 70 cm – 105 cm según calicata.....	34
Figura 9 Fósforo disponible a profundidad de 105 cm – 140 cm según calicata.....	35
Figura 10 pH a la profundidad de 0 cm – 35 cm, según calicata	37
Figura 11 pH a la profundidad de 35 cm – 70 cm, según calicata	38
Figura 12 pH a la profundidad de 70 cm – 105 cm, según calicata	39
Figura 13 pH a la profundidad de 105 cm – 140 cm, según calicata	39
Figura 14 Conductividad eléctrica a la profundidad de 0 cm – 35 cm según calicata	43
Figura 15 Conductividad eléctrica a la profundidad de 35 cm – 70 cm, según calicata	43
Figura 16 Conductividad eléctrica la profundidad de, de 70 cm – 105 cm según calicata	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Informe de ensayo 1	60
Anexo 2 Informe de ensayo 2	62
Anexo 3 Comprobante del servicio de análisis de fertilidad de suelos.....	65
Anexo 4 Calicata 1	66
Anexo 5 Calicata 2	66
Anexo 6 Calicata 3.....	67
Anexo 7 Calicata 4.....	67
Anexo 8 Las 4 calicatas realizadas para el estudio	68

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El manejo sostenible de los recursos forestales representa un eje central dentro de la ingeniería agronómica, particularmente en especies de rápido crecimiento como el *Pinus Radiata D. Don*. Esta especie es reconocida mundialmente por su capacidad de adaptación a distintos tipos de suelos y condiciones climáticas, así como por su rápido desarrollo vegetativo, lo que la convierte en una opción estratégica para la producción maderera y la obtención de pulpa y papel. No obstante, más allá de su valor económico, el establecimiento de plantaciones de *Pinus Radiata D. Don* implica una serie de consideraciones ecológicas y edáficas que deben ser evaluadas rigurosamente. Entre estas, la influencia sobre la fertilidad química del suelo es crucial, ya que determina la disponibilidad de nutrientes esenciales, la dinámica de la materia orgánica y la capacidad del suelo para sustentar cultivos o reforestaciones futuras.

A nivel global, la expansión de plantaciones de especies exóticas ha generado inquietudes por sus efectos sobre la calidad y sostenibilidad de los suelos. El rápido crecimiento de árboles como el *Pinus Radiata D. Don* conlleva una extracción acelerada de nutrientes, que en ocasiones supera la capacidad de reposición natural del suelo, provocando desequilibrios en elementos esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes. La acumulación de hojarasca y materia orgánica en la capa superficial del suelo, característica de estas plantaciones, modifica la química edáfica y puede alterar la disponibilidad de nutrientes para otras especies. Además, la aplicación intensiva de fertilizantes, destinada a potenciar la productividad, puede generar incrementos desproporcionados de ciertos elementos, afectando procesos bioquímicos fundamentales y la actividad microbiológica, lo que a largo plazo puede comprometer la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua y nutrientes.

En América Latina, el cultivo de *Pinus Radiata D. Don* se ha extendido de manera significativa en países como Argentina, Chile y Brasil, impulsado por su rápido desarrollo y la alta calidad de la madera que produce. Sin embargo, las experiencias en la región muestran que prácticas de manejo inadecuadas, como la falta de rotación o la fertilización no balanceada, pueden inducir una disminución progresiva de la fertilidad del suelo. Los suelos con bajo contenido de materia orgánica y limitado potencial de retención de nutrientes son particularmente vulnerables a la extracción excesiva de nitrógeno y fósforo, elementos esenciales para la fotosíntesis, el desarrollo radicular y la síntesis de biomasa. En este sentido, la implementación de sistemas de manejo basados en el balance nutricional y la optimización de fertilización se vuelve indispensable para garantizar que las plantaciones alcancen su rendimiento esperado sin comprometer la sostenibilidad ambiental.

En el contexto peruano, y específicamente en la región de Cajamarca, el *Pinus Radiata D. Don* ha sido promovido por su rápida adaptabilidad y por su potencial para reforestar áreas degradadas o marginales, contribuyendo así al desarrollo forestal regional. No obstante, la información científica respecto a los efectos de esta especie sobre la fertilidad química del suelo es aún limitada. Estudios preliminares sugieren que la plantación de *Pinus Radiata D. Don* puede alterar la dinámica de nutrientes en suelos con baja retención hídrica, reduciendo la disponibilidad de elementos como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, que son esenciales para la nutrición de otras especies vegetales. Estas alteraciones no solo impactan la productividad forestal, sino que también pueden afectar la diversidad biológica del suelo, modificando la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica, procesos fundamentales para la regeneración natural y la sostenibilidad del ecosistema.

En el distrito de San Silvestre de Cochán, dentro de la región de Cajamarca, las condiciones topográficas, climáticas y edáficas son favorables para el cultivo de *Pinus*

Radiata D. Don, lo que ha convertido a esta zona en un punto estratégico para la producción forestal. Sin embargo, la ausencia de estudios detallados sobre la influencia de esta especie en la fertilidad química del suelo resalta la necesidad de generar conocimiento específico que permita un manejo sostenible. La evaluación de parámetros como la concentración de macronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, el pH, la materia orgánica y la actividad biológica del suelo permitirá comprender de manera integral los efectos del *Pinus Radiata D. Don*. Este conocimiento es fundamental para establecer prácticas de fertilización y manejo de suelos que optimicen la productividad forestal, protejan la calidad del suelo y promuevan la sostenibilidad de las plantaciones a largo plazo en San Silvestre de Cochán.

1.1. Planteamiento del problema

El problema de investigación surge debido a la necesidad de estudiar el impacto de la planta de *Pinus Radiata D. Don*, en la fertilidad química del suelo en el distrito de San Silvestre de Cochán - San Miguel, Cajamarca. A pesar de que existen estudios previos sobre el efecto de diferentes especies forestales en la calidad del suelo, la investigación específica sobre el *Pinus Radiata D. Don*, en esta región presenta lagunas importantes que requieren ser abordadas.

Se sabe que la presencia de plantaciones de *Pinus Radiata D. Don*, puede tener consecuencias en la fertilidad del suelo, por lo cual mediante la investigación planteada se busca comprender en profundidad la naturaleza y magnitud de estos efectos, en nuestra zona de estudio.

Planteando el problema de investigación de la siguiente manera: ¿Cuáles son los efectos del *Pinus Radiata D. Don*, en la fertilidad química del suelo en el distrito de San Silvestre de Cochán?, esta interrogante constituye el punto de inicio de la investigación y guiará el proceso de recopilación de datos, análisis y obtención de resultados.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto del *Pinus Radiata D. Don* en la fertilidad química del suelo, en el distrito de San Silvestre de Cochán – San Miguel, Cajamarca, en el año 2024.

1.2.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto del *Pinus Radiata D. Don* en la disponibilidad de macronutrientes del suelo (potasio y fósforo) en las muestras de suelo.

Evaluar las propiedades químicas del suelo como pH, conductividad eléctrica y materia orgánica bajo la influencia del *Pinus Radiata D. Don*

Determinar los factores limitantes de la fertilidad del suelo (acidez intercambiable y aluminio intercambiable). bajo la influencia del *Pinus Radiata D. Don*.

1.3. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del *Pinus Radiata D. Don* en la fertilidad química del suelo, en el distrito de San Silvestre de Cochán?

1.4. Justificación del problema

La presencia de una especie forestal introducida en un entorno, genera efectos positivos y/o negativos al medio; por lo que en esta investigación buscamos determinar cuáles son estos cambios respecto a la fertilidad química del suelo en presencia del *Pinus Radiata D. Don* y sin la presencia de este, esto permitirá conocer si los efectos del *Pinus Radiata D. Don* son significativos o no, además de poder determinar con que otro tipo de cultivos es compatible la presencia del *Pinus radiata* ya que las poblaciones rurales dependen en gran medida de la tierra para su subsistencia, ya sea a través de la agricultura, la ganadería u otras actividades relacionadas. Si el cultivo de *Pinus Radiata D. Don* conduce a la degradación del suelo, esto podría tener consecuencias para la seguridad

alimentaria, el empleo y el bienestar general de las comunidades locales. Por lo cual se busca encontrar un equilibrio entre la explotación de recursos naturales y la conservación del medio ambiente. Además de contribuir a identificar prácticas de manejo que puedan mitigar los impactos negativos del cultivo de *Pinus Radiata D. Don* en la fertilidad química del suelo.

1.5. Hipótesis

Hipótesis Nula: No existe diferencia significativa en la fertilidad química del suelo entre áreas con plantaciones de *Pinus Radiata D. Don* y áreas de referencia sin plantaciones, en el distrito de San Silvestre de Cochan - San Miguel, Cajamarca.

Hipótesis Alternativa (H1): Existe una diferencia significativa en la fertilidad química del suelo entre áreas con plantaciones de *Pinus Radiata D. Don* y áreas de referencia sin plantaciones, en el distrito de San Silvestre de Cochan - San Miguel, Cajamarca.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

A nivel internacional se identificaron los siguientes antecedentes:

Yáñez et al., (2023) en su tesis denominado “Efecto en las propiedades fisicoquímicas de un Regosol con cambios de uso de suelo”, menciona que el estudio se realizó en un suelo Regosol en Galeana, Nuevo León, en el cual se evaluaron las propiedades físicas (textura, densidad aparente y resistencia mecánica a la penetración) y químicas (pH, conductividad eléctrica y materia orgánica) en dos profundidades (0-5 y 5-30 cm) en un bosque de pino, en un área donde se reforesto, uso agrícola y pastizal. De acuerdo a los hallazgos obtenidos no se encontraron cambios significativos en la mayoría de las propiedades evaluadas entre usos de suelo y profundidad. En el pH no se observó cambios entre los usos del suelo, pero si se observó que en las profundidades se incrementó y presentó diferencias con una media de 7.75 (0-5 cm) y 7.81 (5-30 cm); tampoco hubo problemas de salinidad (0.17 dS m⁻¹). El contenido de materia orgánica (MO) registró un crecimiento de recuperación en el orden de pastizal>bosque de pino>reforestación>agrícola. La textura se clasificó como franca, con diferencias en el contenido de arena para el factor profundidad y en el de limo en el estrato de 5-30 cm entre los diferentes usos. Se llegó a la conclusión que cambiar el uso de un terreno que para recuperar áreas ayuda en la mejora en la textura y estructura del suelo

Rodríguez et al., (2023) La investigación denominada “Efecto del manejo forestal en las propiedades fisicoquímicas del suelo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, describe como objetivo analizar las diferentes características físicas y químicas del suelo en parcelas donde están con manejo forestal en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, con el objetivo de que se adopten recomendaciones para el manejo forestal y la conservación del suelo. Se seleccionaron tres sitios de matarrasa en franja y tres

sitios adyacentes de vegetación alterna como control, y un lugar de recuperación natural donde se realizó agricultura en el pasado. Cada lugar fue subdividido en tres altitudes (superior, media y baja) se determinaron las propiedades físicas y químicas del suelo en cada una de ellas. Se le aplicaron análisis de varianza y multivariados (ACP- análisis de componentes principales, MDS- análisis de escalamiento multidimensional y mapa de calor) a cada una de ellas. Los hallazgos obtenidos se observó una variación importante del tratamiento de matarrasa sobre algunas propiedades físicas (densidad, compactación y porosidad) y químicas (carbono, pH, conductividad, nitrógeno y magnesio) comparando con vegetación alterna. El análisis multivariado de las propiedades fisicoquímicas agrupó y correlacionó con la altitud a los sitios de vegetación alterna y recuperación natural y los diferenció de los de matarrasa en franja. El trabajo realizado recomendó, además, un mejoramiento de la calidad del suelo en pocos años, dado el parecido entre los sitios de vegetación alterna y recuperación natural. Entre las indicaciones finales se sugirió no practicar tratamientos complementarios de escarificación del suelo, sino fomentar la retención del horizonte orgánico para incrementar las posibilidades de mantener las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Di Gerónimo et al., (2018) en su estudio “Cambios en propiedades químicas y bioquímicas del suelo asociados al reemplazo de pastizales naturales por *Pinus radiata* D. Don y Rotaciones agrícolas, planteó como objetivo evaluar los cambios en las propiedades edáficas afectadas por los siguientes procesos en el uso de la tierra: 1) Pastizal Natural (PN) a agricultura (AGR); 2) PN a forestación con pinos (MP); y 3) Franjas raleadas dentro de MP: pastizal secundario (PS). Se recogió muestras de suelo de lugares representativo, se analizaron propiedades químicas y bioquímicas. Todos los análisis mostraron una disminución del pH e incremento en la saturación con H⁺ del suelo. En los sitios MP y PS se produjo un incremento del carbono orgánico total del suelo (COT). El N potencialmente mineralizable por incubación

anaeróbica (Nan) de estos sitios fue muy inferior al de PN, probablemente por diferencias en la calidad de su materia orgánica. PS se redujo en la acidez del suelo, e incremento del Nan y del P- extractable. En AGR se halló acidificación, pero en menor grado, reducción del COT, Nan y P extractable. Se observó que al dejar de sembrar la vegetación introducida los suelos recuperan sus características iniciales

A nivel nacional se identificaron los siguientes antecedentes:

Llallico y Marcelo, (2019) en su estudio denominado “Efecto de las características físicoquímicas y biológicas del suelo en el crecimiento de *Pinus tecunumanii* en Satipo”, Se estudió el crecimiento y el suelo en cada estrato, posteriormente hacer una interrelación entre las características del crecimiento de las plantas y el suelo }correlacionando y describiendo las variables en estudio, en plantaciones y calicatas. Las conclusiones que se llegaron es que la parcela de *Pinus tecunumanii* presenta tres estratos de crecimiento diferenciados, donde se observó que el mayor crecimiento se da en el estrato alto, teniendo mayor contenido de materia orgánica, mayor infiltración y profundidad efectiva que del suelo de estratos de bajo crecimiento este fenómeno se da en el horizonte A. en los estudios de suelo de cada estrato presenta bajo contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio, por lo que, se considera suelos con baja fertilidad, aunque la cantidad de materia orgánica tiene un nivel medio. Además, no presentan problemas de acidez en el horizonte. Existe relación significativa entre el contenido de materia orgánica, la profundidad efectiva, la velocidad de infiltración, el contenido de lombrices y el crecimiento de las plantas, en general al incrementarse estas variables, se incrementa el crecimiento de *Pinus tecunumanii*.

Mayta (2019) En la investigación denominada “Evaluación del efecto de la plantación forestal de Pino (*Pinus radiata* D. Don.) sobre las propiedades

fisicoquímicas del suelo en la comunidad Huerta Huaraya – Puno, 2018”, Estudio los diferentes modificaciones en las propiedades fisicoquímicas del suelo como: la densidad aparente, pH, nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, se hizo la comparación de dos usos de tierra uno sobre las pasturas y otro sobre plantaciones de pino cada una de 1 ha, Tomando 5 muestras por área a una profundidad de 0-15 cm. Los análisis muestran cambios significativos sobre la densidad aparente, nitrógeno potasio, y materia orgánica. No así en cuanto al pH y fósforo. Por lo consecuente, se concluye que la plantación de pino un cambio negativo en las propiedades físico químicas del suelo, afectando la productividad de las pasturas. Por ello, es importante realizar prácticas ecológicas de forestación con el objetivo de minimizar los efectos negativos.

Arenas y Saucedo (2023) en su investigación denominada “Cambio de propiedades químicas del suelo en zona boscosa, sistemas agroforestal, agrícola y pastoril Calzada – Moyobamba”, tuvo por objetivo analizar el cambio de propiedades químicas del suelo en zona boscosa, sistemas agroforestal, agrícola y pastoril en la granja ganadera de Calzada, Moyobamba. El estudio fue cuantitativo, alcance descriptivo y diseño no experimental. Se extrajo cuatro muestras de suelo de zonas diferentes (bosque, agroforestal, agrícola y pastoril) con 2 profundidades (0-10 y 10-30 cm). Las variables en estudio fueron parámetros químicos y nutricionales del suelo. El análisis de la información se realizó con el software estadístico Infostat. De acuerdo a los resultados, el pH y la capacidad de intercambio catiónico no hubo modificación en el cambio de uso del suelo, el valor promedio fue 5,17 (moderadamente ácido) y 6,5 (baja capacidad de retención de cationes). El contenido promedio de nitrógeno y potasio fue de 0,05 % y 65 ppm respectivamente, el mayor contenido de fósforo estuvo en el suelo agrícola con 14,8 ppm. Con respecto a los micronutrientes, el estudio realizado permitió obtener los siguientes valores: calcio de 2 – 3 mEq/100 g suelo, magnesio de 0,36 – 0,47 mEq/100 g de suelo, sodio de 0,18

– 0,31 mEq/100 g suelo y aluminio con un promedio de 3 mEq/ 100 g de suelo. El contenido promedio de carbono orgánico en el suelo fue del 1,2 %. La conclusión fue que no hubo cambios significativos de suelo

A nivel local se identificaron los siguientes antecedentes:

Díaz (2023) En su estudio “Influencia de las plantaciones de pino (*Pinus patula* Schiede ex Schlttdl. y *cham.*) sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos del bosque montano de Chalamarca, Cajamarca, Perú” en el que el objetivo de estudio fue observar resultado de las plantaciones de *Pinus patula* en las propiedades físicas y químicas de los suelos del bosque montano de Chalamarca. Se eligieron plantaciones de *P. patula* de 6, 9 y 17 años, y como parcelas testigo el suelo de pajonal adyacentes a las plantaciones. Se colectaron 24 muestras de suelo a profundidades de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm en 3 parcelas de 5 x 8 m; cada muestra estuvo compuesta de 10 sub muestras. En suelo de pino de 0 a 10 cm, el porcentaje de limo, pH, suma de bases, porcentaje de saturación de bases, el P, K, Mg²⁺, Ca²⁺ y K⁺, fueron menores comparando con el suelo de pajonal. La humedad gravimétrica fue superior en plantaciones de 17 años; así como también la materia orgánica, suma de cationes, Al^{3++H+}, CIC. En la profundidad de 10 a 30 cm el N, K, CE y DA fueron superiores en suelos con plantaciones de pino de 9 y 17 años. Se concluye que el *P. patula* influye de forma negativa en la comparación con la mayoría de propiedades físicas y químicas de los suelos del bosque montano de Chalamarca.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Pinus Radiata D. Don

Pinus radiata D. Don es una de las especies forestales más comunes en el mundo templado, particularmente en España, Nueva Zelanda, Australia y Chile. Esto se debe a su rapidez de crecimiento, su alta calidad maderera y su habilidad para adaptarse a terrenos con baja fertilidad o ácidos (Ross et al., 2009). Esta

especie tiene un sistema radical profundo y una gran cantidad de hojarasca de acículas, lo que la transforma en un elemento fundamental del movimiento de nutrientes y carbono en los ecosistemas donde se desarrolla, alterando la introducción de materia orgánica en el suelo, por consecuencia la actividad microbiana relacionada (Barreiro et al., 2025). No obstante, la alta productividad de *P. radiata* supone una extracción significativa de nutrientes del suelo y una exportación considerable de biomasa en las cosechas. Esto puede poner en riesgo la sostenibilidad de la fertilidad si no se gestiona correctamente (Mead, 2013).

Las investigaciones acerca de cultivos de coníferas han indicado que transformar pastizales o bosques autóctonos en plantaciones puede modificar el pH, las reservas de carbono y la accesibilidad a cationes de cambio, lo cual podría tener un impacto en la estructura y funcionalidad del suelo (Berthrong et al., 2009). Así pues, *P. radiata* es a la vez una oportunidad para la producción de madera y un reto para preservar la calidad del suelo.

2.2.1.1. Manejo Forestal y su relación con el suelo

La gestión forestal de *Pinus radiata* D. Don engloba prácticas como el control de malezas, la fertilización, los raleos y la preparación del sitio, así como la administración de los desechos de cosecha. Todas estas tienen un impacto directo en las propiedades químicas y físicas del terreno (Mead, 2013). Por ejemplo, la fertilización con nitrógeno y fósforo en fases iniciales del ciclo puede aumentar de manera significativa el crecimiento volumétrico; sin embargo, también puede alterar cómo se distribuye el carbono entre la biomasa aérea y el suelo, lo que repercute en el balance de carbono y la respiración del sistema suelo-árbol (Bown y Watt, 2016). El mantenimiento de la materia orgánica del suelo y el reciclaje de nutrientes están íntimamente relacionados con cómo se *gestionan* los residuos de cosecha (acículas, ramas y corteza). Al mantener

residuos en lugar de quemarlos o extraerlos por completo, se favorece la conservación del carbono y de los cationes básicos, lo que reduce el riesgo de degradación química del suelo (Mendham et al., 2003, citado en Deng et al., 2018). Por otra parte, investigaciones sobre la calidad de suelos en plantaciones exóticas señalan que una gestión menos intensiva del suelo combinada con la elección de especies o procedencias adecuadas optimiza la relación entre el crecimiento arbóreo y la preservación de la fertilidad, comparado con sistemas que eliminan en exceso la cobertura orgánica (Ross et al., 2009; Barreiro et al., 2025).

2.2.1.2. Efectos potenciales del pino sobre el suelo

La hojarasca de *Pinus radiata* D. Don que tiene una relación C/N elevada y es rica en compuestos recalcitrantes, tiende a descomponerse lentamente y a promover la acidificación del suelo con el tiempo, en contraste con las cubiertas de praderas mejoradas o los bosques de frondosas (Berthrong et al., 2009). Esta acidificación está relacionada con la lixiviación de cationes básicos (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) y el incremento relativo de H^+ y Al^{3+} intercambiables. Esto puede restringir el desarrollo de especies vulnerables y disminuir la capacidad tampón del suelo a largo plazo (Berthrong et al., 2009). Al mismo tiempo, los suelos bajo plantaciones de pinos pueden tener una elevada cantidad de carbono orgánico y una intensa actividad microbiana. Sin embargo, estas comunidades son estructuralmente diferentes a las que se encuentran en los bosques nativos, lo cual tiene un impacto tanto en la mineralización de nutrientes como en la estabilidad de la materia orgánica (Barreiro et al., 2025). Se ha notado que en áreas húmedas y con sustrato ácido, las plantaciones de pino exhiben una mayor cantidad de formas lábiles de aluminio en comparación con otras coberturas forestales. Esto supone un aumento del peligro de toxicidad para las raíces finas

e incluso puede perjudicar la regeneración natural de especies asociadas (Álvarez et al., 2009, que Barreiro et al., 2025; Kinraide, 2003).

2.2.2. Fertilidad química del suelo

La fertilidad química de la tierra se relaciona con la presencia y el balance de nutrientes fundamentales para las plantas, la presencia de iones que podrían ser tóxicos y el estado del pH. Todo esto interactúa con la materia orgánica y el complejo de cambio. Desde el punto de vista funcional, un suelo que es químicamente fértil puede proveer nutrientes a una velocidad apropiada para que las plantas crezcan sin provocar desequilibrios o toxicidades (White y Brown, 2010). En ecosistemas de bosques, esta fertilidad está vinculada a la acumulación y descomposición de la hojarasca, al reciclaje interno de nutrientes y a la habilidad del suelo para mantener cationes y aniones importantes como los fosfatos y nitratos (Deng et al., 2018). El papel de la materia orgánica en la fertilidad química es fundamental, puesto que ayuda a aumentar la capacidad de intercambio catiónico, refina la estructura y funciona como un reservorio de nutrientes como el azufre, el fósforo y el nitrógeno. Gerke (2022) señala que las sustancias húmicas mejoran la solubilidad y disponibilidad de nutrientes tales como Cu, Fe y P; además, completan el Al monomérico en suelos ácidos y disminuyen su toxicidad. En situaciones de forestación, los meta-análisis a nivel mundial han evidenciado que las alteraciones en la utilización del suelo hacia plantaciones tienen el potencial de reducir considerablemente las concentraciones intercambiables de K, Mg y Ca y alterar el pH. Por lo tanto, se requieren tácticas de gestión que tengan en cuenta la conservación o reposición de estos elementos para preservar la productividad del sistema (Berthrong et al., 2009).

2.2.2.1. Macronutrientes

Los macronutrientes indispensables para las plantas son el fósforo (P), el nitrógeno (N), el potasio (K), el magnesio (Mg), el azufre (S) y el calcio (Ca). Estos son necesarios en volúmenes mayores y llevan a cabo roles metabólicos y estructurales esenciales. El desarrollo de raíces y la transferencia de energía son actividades en las que participa el P; el K, en la regulación osmótica y la activación de enzimas; el N, en la síntesis de proteínas y clorofila; y Ca, Mg y S, en el proceso fotosintético, la estructuración de membranas y la producción de aminoácidos (White y Brown, 2010). La falta de cualquiera de estos componentes resulta en una disminución del crecimiento y la productividad, sobre todo en sistemas que requieren mucho como las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. El nitrógeno (N) y el fósforo (P) tienden a ser los macronutrientes más limitantes en las plantaciones forestales, por la lenta recuperación natural de estos elementos y por la intensa extracción de biomasa a través de la cosecha. La fertilización temprana en *P. radiata* ha demostrado aumentar la respiración del tronco y el crecimiento del fuste sin que se altere de manera significativa el flujo de CO₂ del suelo, lo cual indica una mayor asignación de carbono a la biomasa aérea en presencia de un alto suministro de nutrientes (Bown y Watt, 2016). La biota del suelo y la materia orgánica también funcionan como un reservorio de macronutrientes, los cuales se van liberando poco a poco por medio de procesos de mineralización. Por tanto, para asegurar que el ciclo de nutrientes se mantenga en el largo plazo, es fundamental gestionar adecuadamente los residuos y la cobertura del suelo (Gerke, 2022).

2.2.2.2. pH, conductividad eléctrica y materia orgánica

Se considera que el pH del suelo es una "variable maestra" debido a que determina la movilidad, la especiación y la disponibilidad de una gran cantidad de elementos, además de la actividad de la biota edáfica (Neina, 2019). En terrenos con alta acidez, las formas solubles de Al y Mn podrían aumentar hasta niveles peligrosos. Por otro lado, en suelos alcalinos, la disponibilidad de micronutrientes como Zn, Fe y P tiende a decrecer. Para la mayor parte de las especies forestales y cultivos, un rango de pH moderado (alrededor de 5,5–7,0) suele ser beneficioso; sin embargo, muchos árboles coníferos, como el *Pinus radiata* D. Don, demuestran tolerancia a niveles más ácidos. Por otro lado, la conductividad eléctrica (CE) es un indicador de salinidad y muestra la concentración de sales que se pueden disolver en la solución del suelo; si los valores son muy altos, pueden provocar estrés osmótico y perjudicar el proceso de absorción de agua por las raíces (Alam et al., 2020). La materia orgánica del suelo (MOS) se relaciona de forma directa con el pH y la CE, pues participa en el complejo de intercambio catiónico, modera las variaciones en la acidez y conserva nutrientes y agua. Según Gerke (2022), la parte húmica de la MOS no solo incrementa la disponibilidad de nutrientes esenciales, sino que también tiene la capacidad de atrapar carbono y de formar compuestos con metales tóxicos, lo cual reduce su efecto en las raíces. Según Alam et al. (2020), investigaciones en diversos tipos de suelos han revelado que una mayor MOS tiende a vincularse con un pH moderado y CE relativamente bajas, circunstancias que benefician la estabilidad de agregados y el funcionamiento microbiano. Una táctica importante para preservar una fertilidad química balanceada en plantaciones forestales es conservar o aumentar la MOS (materia orgánica del suelo) mediante la disminución de las perturbaciones intensas y la retención de residuos.

2.2.2.3. Acidez y aluminio intercambiable

El aluminio de los óxidos y minerales arcillosos se disuelve como Al^{3+} en suelos ácidos, específicamente con un pH inferior a 5,5. Este aluminio se adsorbe en las áreas de intercambio del complejo coloidal y se cuantifica como aluminio intercambiable. Kamprath (1970) demostró que hay una relación cercana entre la reacción a la encalación en suelos fuertemente lixiviados y los niveles de Al intercambiable, sugiriendo emplear este último como criterio para establecer las demandas de cal. La alta concentración de Al^{3+} en el líquido del suelo puede obstaculizar la elongación radical, disminuir la absorción de Ca, Mg y P, y tener un impacto negativo significativo sobre el establecimiento de cultivos y especies forestales delicadas (Kinraide, 2003). Se ha notado que, en sistemas forestales con coníferas sobre suelos ácidos de manera natural, como los que se hallan en zonas húmedas de Europa y América del Sur, las plantaciones de pinos suelen tener un pH más bajo y niveles más altos de formas lábiles de Al. Esto ocurre sobre todo cuando la gestión intensa promueve la pérdida de cationes básicos y la exportación de biomasa (Berthrong et al., 2009; Barreiro et al., 2025). Sin embargo, el contenido orgánico del suelo tiene la capacidad de disminuir parcialmente estos efectos al completar el Al monomérico y disminuir su actividad tóxica. Esto pone de manifiesto lo relevante que es preservar la MOS a través de métodos sostenibles para el manejo forestal (Gerke, 2022).

2.3. Definición de Términos

- pH del Suelo: Es un indicador de acidez o alcalinidad, la cual está determinada por la concentración de iones de hidrógeno en la solución del suelo. Se expresa en una escala de 0 a 14, donde un pH menor a 7 refleja acidez, un pH de 7 indica neutral y un pH mayor a 7 se denomina alcalino. El pH del suelo influye en la disponibilidad de nutrientes para la absorción de nutrientes en las plantas, tales como: el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio, el magnesio y otros micronutrientes como

el hierro, el manganeso, el zinc, el cobre y el boro, y también en la actividad microbiana en el suelo (García, 2010)

-Materia Orgánica: Es la descomposición de residuos de plantas y animales en. Aporta nutrientes esenciales para las diferentes plantas, como lo son: el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio, el magnesio, el azufre y algunos micronutrientes como el hierro, manganeso, cobre, zinc, molibdeno y boro; mejorando la estructura del suelo, aumenta su capacidad de acumulación de agua y nutrientes, e incrementa la actividad biológica beneficiosa (González y Cáceres, 2013).

- Fósforo Disponible: El fósforo disponible en el suelo es el fósforo asimilable que las plantas pueden absorber y utilizar. El fósforo es un macronutriente primordial para el desarrollo de las plantas, involucrado en la fotosíntesis, la transferencia de energía y el desarrollo de flores y frutos (López, 2011).

- Potasio Disponible: El potasio disponible en el suelo potasio que se puede absorber por las plantas y utilizar. El potasio es un macronutriente esencial que su función es ayudar a regular el balance de agua de las plantas, la resistencia al estrés y la síntesis de proteínas (García, 2010).

- Acidez Intercambiable: Es la cantidad de iones de hidrógeno (H⁺) en el complejo de cambio del suelo. Una alta acidez intercambiable puede afectar significativamente la disponibilidad de ciertos nutrientes y la actividad microbiana en el suelo (González y Cáceres, 2013).

- Aluminio Intercambiable: El aluminio intercambiable es la forma de aluminio que está disponible para ser intercambiada por cationes en el complejo de cambio del suelo. Altas concentraciones de aluminio intercambiable pueden ser tóxicas para las plantas y limitar su crecimiento (López, 2011).

- Conductividad Eléctrica: Es una medida de su capacidad para conducir una corriente eléctrica. Refleja la concentración de sales disueltas en el suelo y puede

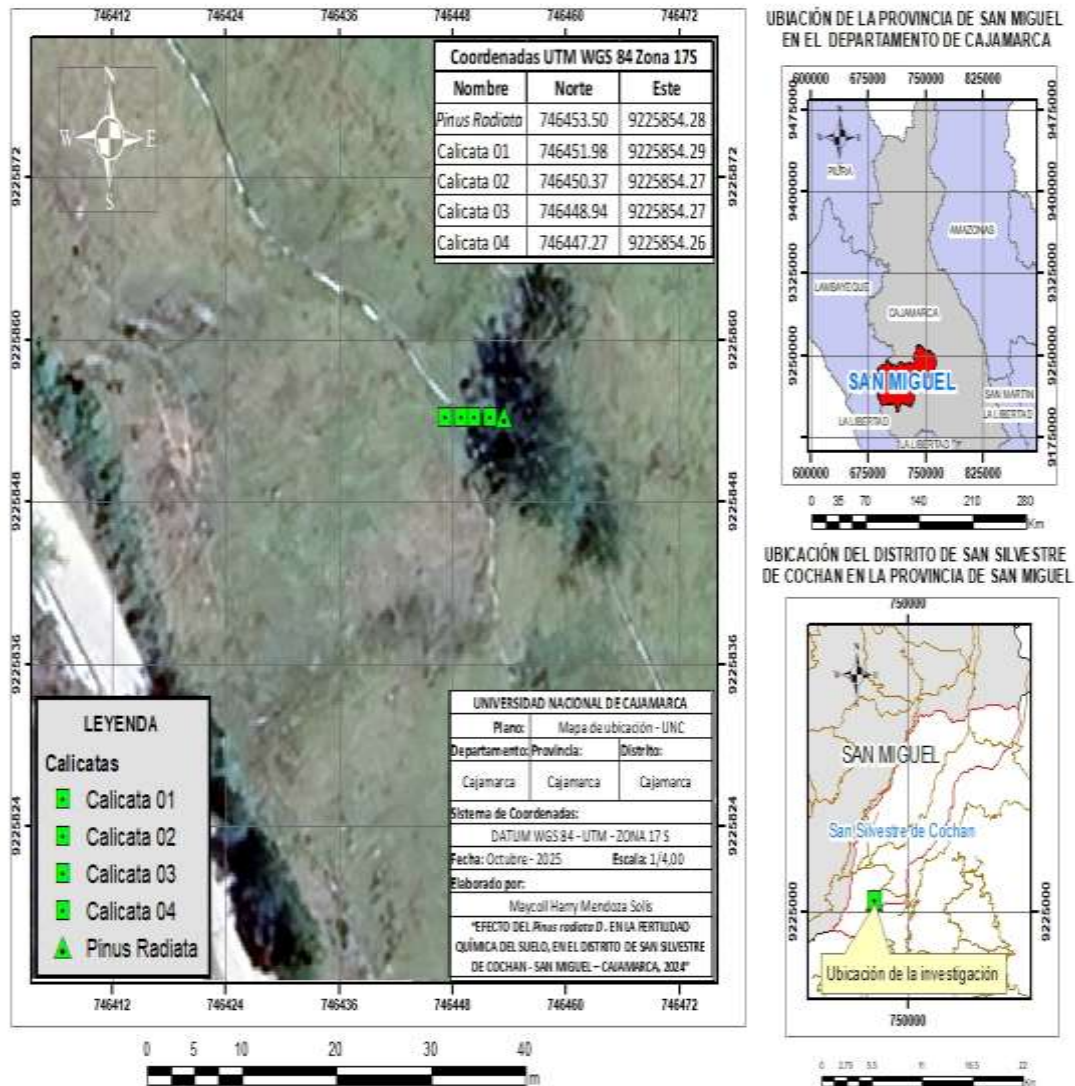
indicar la salinidad del suelo, lo que afecta la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas (González y Cáceres, 2013).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

Figura 1

Ubicación del área de estudio



3.2. Materiales

- Libreta de apuntes.
- Papel bond.
- Lapiceros.
- Bolsas de Muestreo.
- Recipientes para Muestras.
- Etiquetas.
- Herramientas de Muestreo.

3.2.1. Materiales biológicos

- Planta de *Pinus radiata D.*
- Materia orgánica.

3.2.2. Materiales de campo

- Barrena de Suelo.
- Pala y Pico.
- GPS.
- Cinta Métrica.
- Laptop.

3.3. Metodología

Muestreo de Suelo:

Las muestras de suelo se obtuvieron en un rodal de *Pinus radiata D.* de aproximadamente 2 años de edad, etapa en la que los árboles presentan una copa bien desarrollada y un radio de proyección cercano a 4,5 m. Se abrieron cuatro calicatas alineadas perpendicularmente al tronco, midiendo siempre la distancia desde la base del tallo hasta el centro de cada calicata en sentido horizontal. La calicata 1 se ubicó a 1,5 m, la calicata 2 a 3,0 m y la calicata 3 a 4,5 m, todas dentro

de la proyección de la copa. La calicata 4 se instaló a 6,0 m, lo que la situó fuera del área de influencia directa de la copa, por lo que se consideró como tratamiento testigo. Este diseño permitió evaluar los cambios en las propiedades del suelo en función de la distancia al árbol y de la influencia radicular y de la hojarasca depositada.

En cada calicata se recogió muestras de suelo a cuatro profundidades: A (0–35 cm), B (35–70 cm), C (70–105 cm) y D (105–140 cm), obteniéndose un total de 16 muestras. Las muestras se obtuvieron mediante raspado uniforme de las paredes de cada perfil, recolectando aproximadamente 1 kg de suelo por profundidad. Posteriormente, todas fueron rotuladas según distancia y nivel de muestreo y enviadas al laboratorio para el análisis químico correspondiente. Esta metodología permitió caracterizar la variación horizontal y vertical de las propiedades químicas del suelo bajo la influencia de un árbol de *Pinus radiata* D. Don en plena etapa de crecimiento activo.

Se registraron las coordenadas GPS de cada sitio de muestreo siendo las coordenadas las siguientes:

Tabla 1

Coordenadas de ubicación de calicatas

Coordenadas UTM WGS 84 Zona 17S		
Nombre	Norte	Este
<i>Pinus radiata</i> D..	746453.50	9225854.28
Calicata 01	746451.98	9225854.29
Calicata 02	746450.37	9225854.27
Calicata 03	746448.94	9225854.27
Calicata 04	746447.27	9225854.26

Nota. Las coordenadas indican que se ha georreferenciado con precisión un árbol de *Pinus radiata* D. y cuatro calicatas de estudio de suelo muy cercanas entre sí, dispuestas prácticamente sobre una misma línea este-oeste, a una distancia aproximada total de

unos 6 metros entre el tronco del árbol y la calicata más alejada. Esto permite relacionar de manera exacta la posición del árbol con las observaciones edáficas en campo.

Análisis de Propiedades del Suelo:

En el laboratorio se realizaron análisis de pH del suelo en suspensión suelo: agua 1:2,5 mediante potenciómetro; determinación de materia orgánica por el método de oxidación húmeda de Walkley y Black; disponibilidad de nutrientes (principalmente fósforo y potasio) mediante extracción con solución de Olsen y lectura colorimétrica y/o flameométrica; acidez intercambiable y aluminio intercambiable mediante extracción con KCl 1N y titulación; carbonatos totales por volumetría con HCl usando calcímetro tipo Bernard; y conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada mediante conductímetro, con el fin de caracterizar integralmente las propiedades químicas del suelo. Las muestras se analizaron en la INEA de la ciudad de Cajamarca, dado que cuentas con las certificaciones correspondientes.

Análisis Estadístico:

Se realizó el análisis estadístico correspondiente a las muestras de suelo y parámetros analizados, mediante estadística descriptiva, análisis de varianza, prueba de Turkey; realizado con el programa SPSS.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Disponibilidad de macronutrientes del suelo (potasio y fósforo)

Tabla 2

Potasio disponible en las muestras de suelo

Potasio disponible mg kg⁻¹						
Calicatas	Profundidades				TOTAL	PROMEDIO
	A	B	C	D		
C-1	137.2	82.4	28.8	14	262.40	65.60
C-2	39.6	10.8	15.6	6	72.00	18.00
C-3	58	33.4	5.6	7.6	104.60	26.15
C-4	137.2	87.2	14.8	6.40	245.60	61.40
TOTAL	372.00	213.80	64.80	34.00	684.60	171.15
PROMEDIO	93.00	53.45	16.20	8.50	171.15	42.79

Tabla 3

Análisis de la varianza del potasio disponible en el suelo

F.V	SC	GL	CM	F	P- valor
Profundidad	18070.05	3	6023.35	9.92	0.0033 **
Calicata	7032.25	3	2344.08	3.86	0.0501 ns
Error	5464.94	9	607.22		
Total	30567.24	15			

Nota: **= Altamente estadístico, NS= no significativo

Tabla 4

Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad

Profundidad	Medidas		
A (0 – 35)	93.00	A	
B (35 – 70)	53.45	A	B
C (70 – 105)	16.20		B
D (105 – 140)	8.50		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.5$)

Habiéndose obtenido un valor de 0.0033 de P-valor, siendo este menor que 0.05, se demuestra que hay una diferencia estadísticamente significativa en la cantidad de potasio intercambiable entre las profundidades de las muestras. Esto significa que la

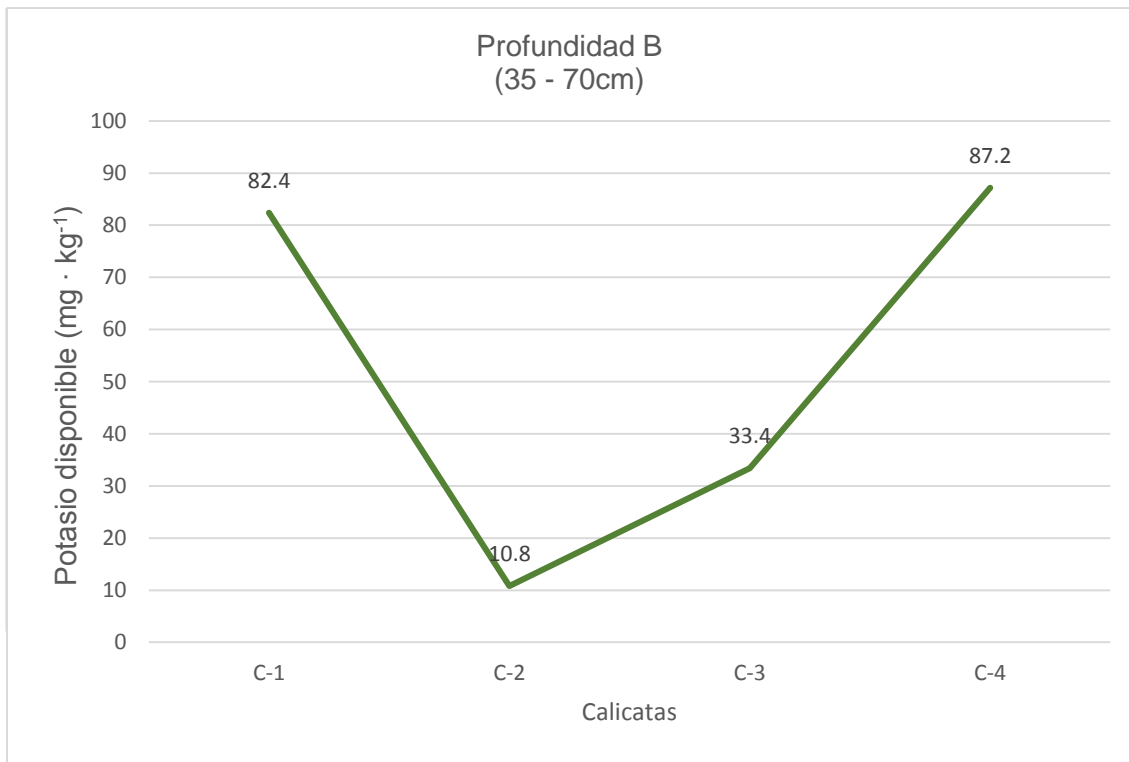
profundidad sí tiene un efecto real en la disponibilidad de potasio en el suelo. La prueba de Tukey lo confirma:

El contenido de potasio disponible a la profundidad de 0 a 35 cm y 35 a 70 cm, son estadísticamente superiores y semejante a las profundidades anteriores. Estas diferencias se deben a la mineralogía del suelo y al aporte de este elemento por parte de la materia orgánica y en este caso las acículas del pino. Estos valores coinciden con lo encontrado por Nuñez (2014) "El contenido de K intercambiable a medida que se profundiza seguirá una tendencia inversa, dada por la absorción de las plantas desde horizontes más profundos y en la superficies hay una devolución. Jobbágy y Jackson (2001) estudiaron la distribución vertical del K intercambiable hasta 100 cm de profundidad de 8.955 perfiles de suelo, se encontró que en los horizontes más superficiales fueron más consistentes. Asimismo, los autores señalaron que la estratificación del K era más notoria en suelos con menor cantidad del elemento evidenciando un ciclado de nutriente generado por efecto de la absorción vegetal desde capas más profundas, generando un transporte neto hacia la superficie.

El p-valor para las calicatas es 0.0501, este valor es ligeramente superior al umbral de 0.05, lo que indica que no hay una diferencia significativa estadísticamente en los niveles de potasio entre las calicatas. Sin embargo, al estar tan cerca del umbral, se podría considerar una tendencia a la significancia, lo que sugiere que podría haber una variabilidad real entre las calicatas, pero no lo suficiente para ser considerada estadísticamente significativa con la muestra actual.

Figura 2

Potasio disponible a la profundidad de 0 cm - 35 cm, según calicata



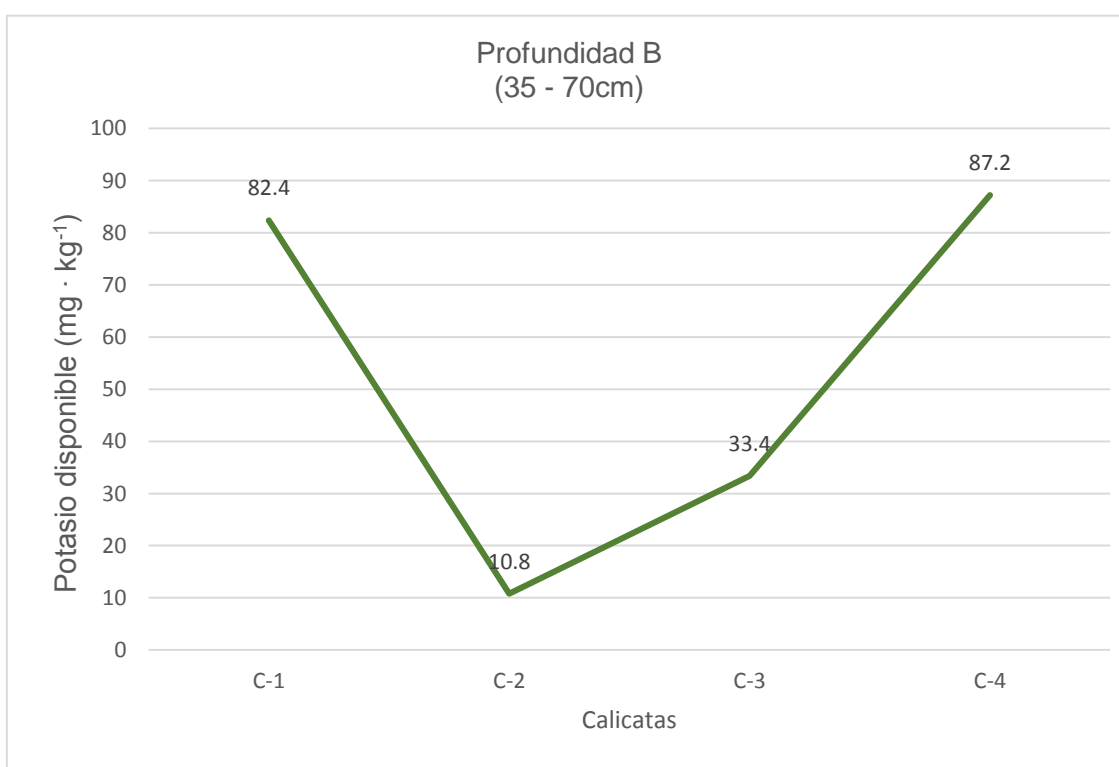
El análisis de la distribución de potasio a una profundidad entre los (0 – 35 cm) en relación con la distancia desde la base del pino revela una dinámica de absorción y acumulación diferenciada. A una distancia de **1.5 m**, se registró una concentración inicial de **137.2 mg · kg⁻¹**, valor que coincide simétricamente con el punto de control o **testigo** ubicado a los **6.0 m**, donde se halló la misma concentración (**137.2 mg · kg⁻¹**). Sin embargo, se observa una disminución crítica en los niveles de este nutriente en las zonas intermedias. A los 3.0 m de distancia, la concentración desciende drásticamente a **39.6 mg · kg⁻¹**, marcando el punto de mayor agotamiento en el perfil estudiado. Posteriormente, a los 4.5 m, se registra una ligera recuperación con un valor de 58 mg/kg.

Este comportamiento sugiere una zona de extracción intensiva entre los 3 y 4.5 metros, donde la actividad de las raíces laterales parece ser más demandante. Por el contrario, la estabilidad observada cerca del tronco (1.5 m) podría estar asociada a procesos de ciclaje de nutrientes mediante la deposición de hojarasca, que logra

mantener los niveles de potasio en rangos similares a los del suelo testigo. Estos hallazgos coinciden parcialmente con los reportados por Díaz (2023) en plantaciones de *Pinus patula* en Chalamarca, Cajamarca, donde se observó que los suelos bajo plantaciones de pino presentaban contenidos de potasio inferiores a los de suelos testigo, especialmente en los horizontes superficiales, reflejando la influencia de la absorción radicular y la acumulación de materia orgánica en la disponibilidad de nutrientes. La comparación evidencia que, aunque las especies y contextos locales varían, la dinámica de absorción de potasio cerca del tronco y su recuperación fuera de la zona radicular es un patrón común en plantaciones de *Pinus*, subrayando la importancia de considerar la distribución espacial de nutrientes para estrategias de fertilización y manejo sostenible del suelo (Díaz, 2023).

Figura 3

Potasio disponible a la profundidad de 35 cm – 70 cm según calicata

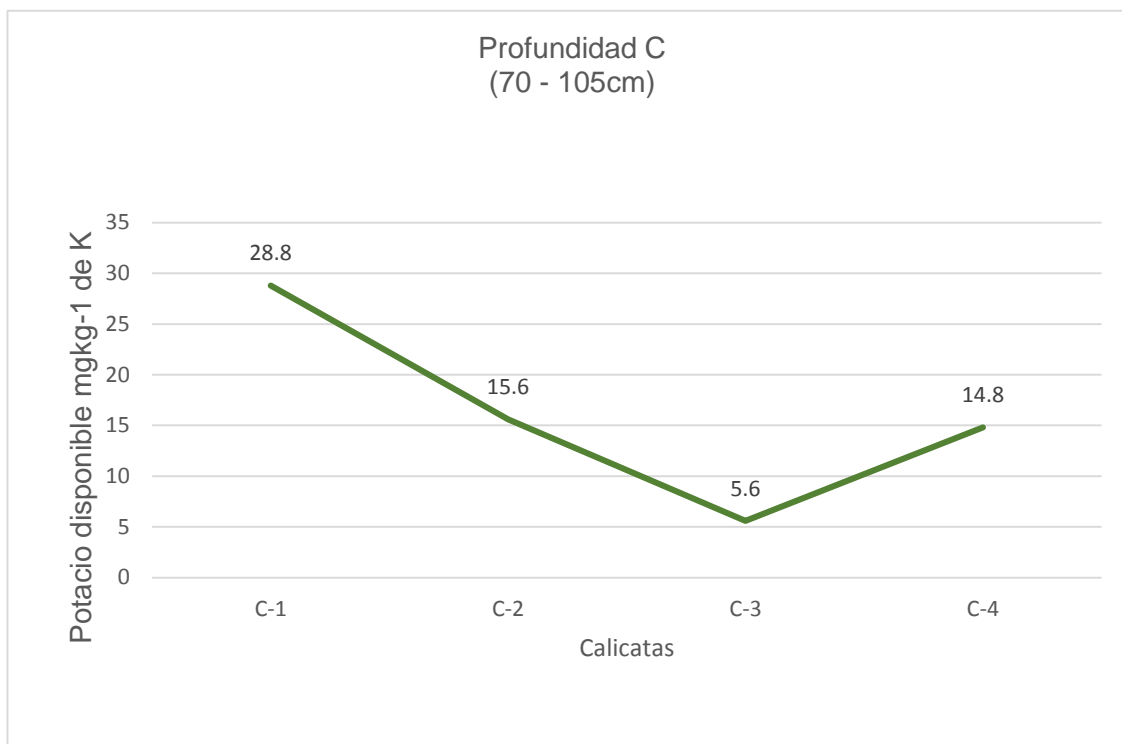


Los resultados observados en la figura 3 muestran que el análisis de la distribución de potasio (a una profundidad entre 35 a 70 cm) en relación con la distancia desde la base del pino revela una dinámica de consumo y reposición claramente

diferenciada. A una distancia de 1.5 m, se registró una concentración de $82.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, valor que se aproxima a la condición del punto de control o testigo ubicado a los 6.0 m, donde se halló una concentración basal de $87.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Este punto testigo representa la fertilidad natural del sitio, fuera del área de mayor interferencia del sistema radicular. Se observa una reducción significativa en los niveles del nutriente conforme aumenta la distancia radial desde el tronco, alcanzando su punto más crítico a los 3.0 m, donde la concentración desciende a $10.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Este marcado descenso indica una zona de alta demanda y extracción de potasio por parte de la planta. Posteriormente, a los 4.5 m, se evidencia una recuperación parcial de los niveles, registrando un valor de $33.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Este gradiente sugiere que la mayor actividad de absorción se concentra en el radio de los 3.0 metros. Asimismo, la relativa estabilidad de los valores cerca del tronco ($82.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) en comparación con el testigo ($87.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) podría atribuirse al reciclaje de nutrientes mediante la caída de materia orgánica (hojarasca) bajo el dosel, lo cual compensa parcialmente la extracción radicular en esa zona específica. Al comparar estos resultados con los obtenidos por Díaz (2023) en plantaciones de *Pinus patula* en Chalamarca, se observa un patrón consistente: los suelos bajo plantaciones de pino presentan menor contenido de potasio en las zonas de mayor concentración radicular en comparación con suelos testigo, reflejando la intensa absorción de nutrientes por la biomasa radicular. Esta similitud evidencia que la distribución espacial de potasio en plantaciones de *Pinus* tiende a concentrarse cerca del tronco, lo que es fundamental para considerar estrategias de fertilización dirigidas y manejo sostenible del suelo, asegurando la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento y la productividad de los árboles (Díaz, 2023).

Figura 4

Potasio disponible a la profundidad de 70 cm - 105 cm según calicata



En la figura 4, correspondiente al estrato profundo de 70 a 105 cm, se observa que, el análisis de la distribución de potasio respecto a la distancia del ejemplar revela un perfil de agotamiento progresivo hacia la zona exterior del área de influencia. A una distancia de **1.5 m**, se registró la concentración más alta con **28.8 mg · kg⁻¹**, duplicando el valor del punto de control o **testigo** ubicado a los **6.0 m**, el cual presenta una concentración basal de **14.8 mg · kg⁻¹**.

A diferencia de muestreos anteriores, se observa un marcado gradiente de descenso conforme aumenta la distancia radial. A los **3.0 m**, los niveles de potasio caen a **15.6 mg · kg⁻¹**, situándose en un rango similar al valor testigo. Sin embargo, el punto de mayor déficit se localiza a los **4.5 m**, donde la concentración alcanza un mínimo crítico de **5.6 mg · kg⁻¹**, lo que representa una reducción del 62% respecto al suelo testigo.

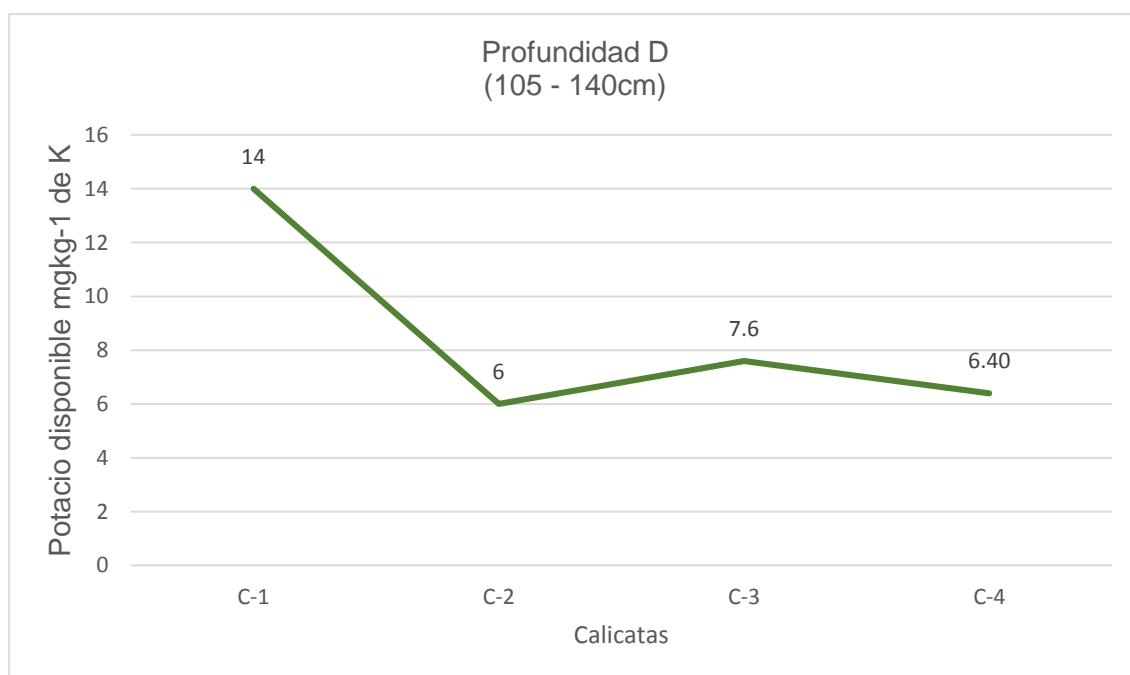
Este escenario sugiere que la zona de mayor presión de extracción radicular se ha desplazado hacia el radio de los 4.5 metros. Por otro lado, el valor significativamente

superior cerca del tronco (**28.8 mg · kg⁻¹**) podría indicar una acumulación puntual de nutrientes derivada del lixiviado de la copa o una mayor descomposición de biomasa en la base, superando incluso la fertilidad natural del suelo circundante fuera de la zona de influencia directa del árbol.

Al comparar estos hallazgos con los reportados por Mayta (2019) en plantaciones de *Pinus Radiata* D. Don en Huerta Huaraya – Puno, se aprecia un patrón similar: los suelos bajo la proyección del árbol presentan menor concentración de potasio, mientras que en distancias mayores los niveles tienden a recuperarse, evidenciando que la absorción radicular y la dinámica de nutrientes en profundidad son factores determinantes. Esta comparación confirma que la distribución espacial del potasio, tanto en superficie como en estratos profundos, sigue un patrón característico en plantaciones de *Pinus*, lo que subraya la importancia de considerar la proximidad al tronco y la profundidad del suelo al diseñar estrategias de fertilización y manejo sostenible (Mayta, 2019).

Figura 5

Potasio disponible a la profundidad de 105 cm - 140 cm, según calicata



Correspondiente al estrato profundo de 105 a 140 cm, se observa que el análisis de la distribución de potasio respecto a la distancia del pino revela un perfil de agotamiento no lineal hacia la zona exterior del área de influencia. A una distancia de 1.5 m se registró la concentración más alta con $14.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, lo que supera por más del doble el valor del punto de control o testigo ubicado a los 6.0 m, el cual presenta una concentración basal de $6.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

A diferencia de muestreos anteriores, se observa un marcado gradiente de descenso en la zona intermedia antes de estabilizarse en la periferia. El punto de mayor déficit se localiza a los 3.0 m, donde la concentración alcanza un mínimo crítico de $6.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, representando una reducción del 6.25% respecto al suelo testigo. Posteriormente, a los 4.5 m, los niveles de potasio muestran una ligera recuperación al situarse en $7.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Este escenario sugiere que la zona de mayor presión de extracción radicular se concentra activamente en torno al radio de los 3.0 metros. Por otro lado, el valor significativamente superior cerca del tronco ($14.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) podría indicar una acumulación puntual de nutrientes derivada del lixiviado de la copa o una mayor descomposición de biomasa en la base, superando la fertilidad natural del suelo circundante fuera de la zona de absorción intensa. Al respecto, quora (2025) menciona que: Muchos pinos jóvenes y algunas especies presentan una única raíz pivotante profunda, que ayuda a anclarse y acceder a la humedad a mayor profundidad; su importancia disminuye con la edad y en suelos compactos. Los pinos maduros desarrollan extensos sistemas de raíces laterales que se extienden horizontalmente mucho más allá de la línea de goteo de la copa; la profundidad de esas raíces laterales suele ser poco profunda (principalmente dentro de los 0,6–1,0 m superiores).(
<https://www.quora.com/How-deep-do-pine-tree-roots-go>)

Tabla 5*Fósforo disponible en las muestras de suelo*

Fósforo disponible mg/Kg						
Calicatas	Profundidades en metros				TOTAL	PROMEDIO
	A	B	C	D		
C-1	2.5	1.9	2.2	5.1	11.70	2.93
C-2	1.5	1.6	3.1	3.8	10.00	2.50
C-3	1.3	1.3	2.1	31.9	36.60	9.15
C-4	1.5	1.3	2.6	2.80	8.20	2.05
TOTAL	6.80	6.10	10.00	43.60	66.50	16.63
PROMEDIO	1.70	1.53	2.50	10.90	16.63	4.16

Tabla 6*Análisis de varianza de fósforo disponible***Análisis de la varianza de fósforo disponible en el suelo**

Variable	N	R	R	Aj	CV
PROMEDIO	16	0.45	0.09		171.61

Tabla 7**Análisis de varianza del fósforo disponible en el suelo**

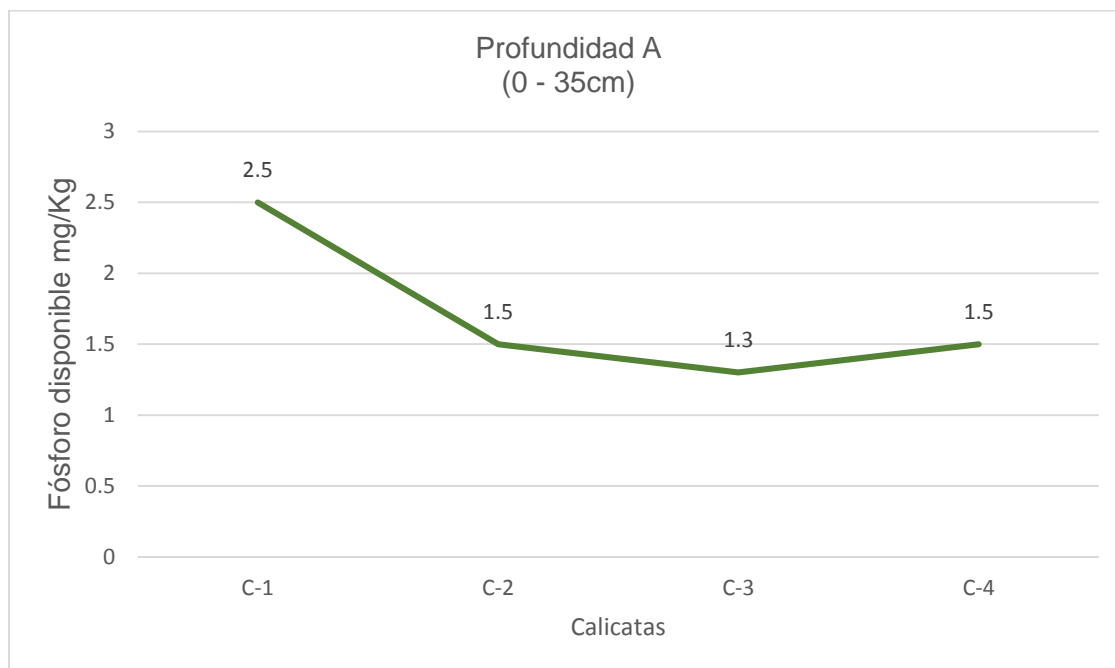
F.V	SC	GL	CM	F	P- valor
Profundidad	244.71	3	81.57	1.60	0.2560 ns
Calicata	134.53	3	44.84	0.88	0.4865 ns
Error	457.88	9	50.88		
Total	837.12	15			

Nota: ns = no significativo

Respecto a la profundidad el p-valor fue de 0.2560, siendo este valor mayor que 0.05, lo que demuestra que no hay una diferencia estadísticamente significativa en la disponibilidad de fósforo a diferentes profundidades. Respecto a las calicatas el p-valor es de 0.4865, igualmente mayor que 0.05, por lo que no hay una diferencia significativa en la disponibilidad de fósforo entre las calicatas (a diferentes distanciamientos de la planta).

Figura 6

Fósforo disponible a la profundidad 0 cm – 35 cm según calicata



Correspondiente a la profundidad de 0 a 35 cm, se observa que el análisis de la distribución de fósforo disponible respecto a la distancia del pino, revela un perfil de agotamiento progresivo hacia la zona exterior del área de influencia. A una distancia de 1.5 m se registró la concentración más alta con $2.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, lo que representa un incremento del 66.7% respecto al punto de control o testigo ubicado a los 6.0 m, el cual presenta una concentración basal de $1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

A diferencia de muestreos anteriores, se observa un marcado gradiente de descenso conforme aumenta la distancia radial, con una meseta intermedia a los 3.0 m donde los niveles ($1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) se sitúan en un rango idéntico al valor testigo. Sin embargo, el punto de mayor déficit se localiza a los 4.5 m, donde la concentración alcanza un mínimo crítico de $1.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, lo que representa una reducción del 13.3% respecto al suelo testigo.

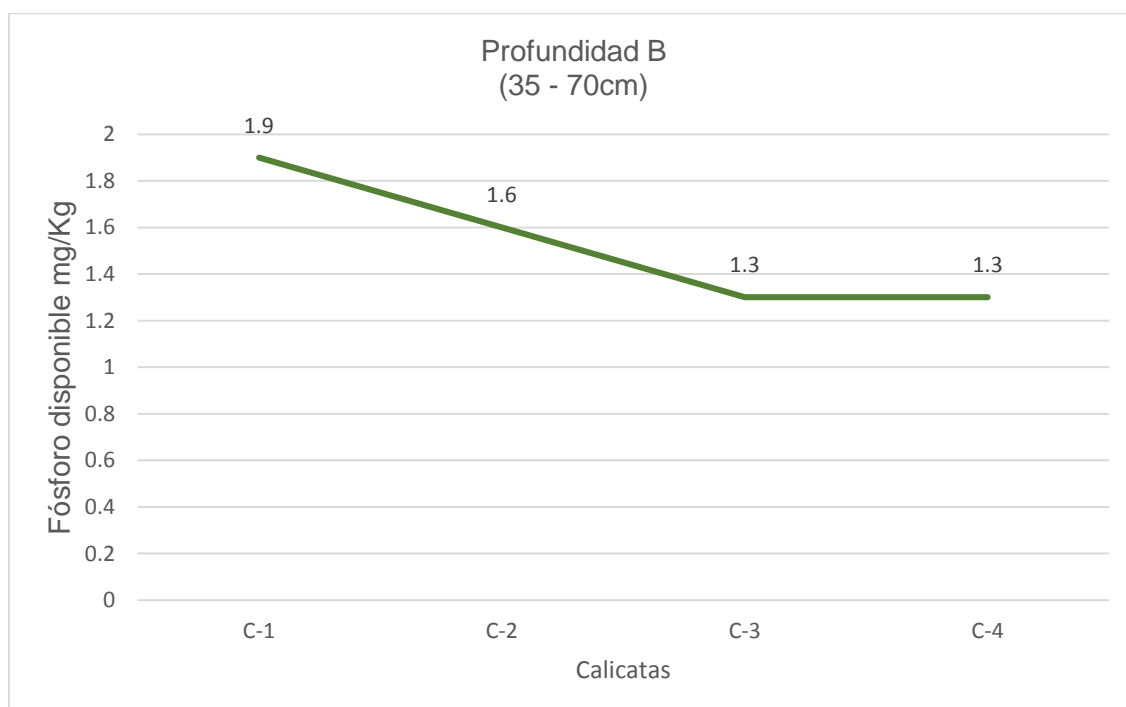
Este escenario sugiere que la zona de mayor presión de extracción radicular de fósforo se ha desplazado hacia el radio de los 4.5 metros. Por otro lado, el valor

significativamente superior cerca del tronco ($2.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) podría indicar una acumulación puntual de este nutriente derivada del lixiviado de la copa o una mayor descomposición de biomasa en la base, superando la fertilidad natural del suelo circundante fuera de la zona de influencia directa del árbol.

Al comparar estos hallazgos con los reportados por Elizondo (2015), se aprecia una coherencia en el comportamiento del fósforo en plantaciones de Pinus: aunque los valores entre distintas calicatas no muestran diferencias estadísticamente significativas, la diferencia numérica resalta la importancia de la cercanía de la raíz para la absorción de este nutriente. Este paralelo confirma que, en suelos forestales, la distribución espacial de fósforo está fuertemente influenciada por la biomasa radicular y la descomposición de materia orgánica superficial, lo que sugiere la necesidad de considerar esta dinámica en estrategias de fertilización y manejo de suelos para maximizar la disponibilidad de nutrientes esenciales en plantaciones de rápido crecimiento

Figura 7

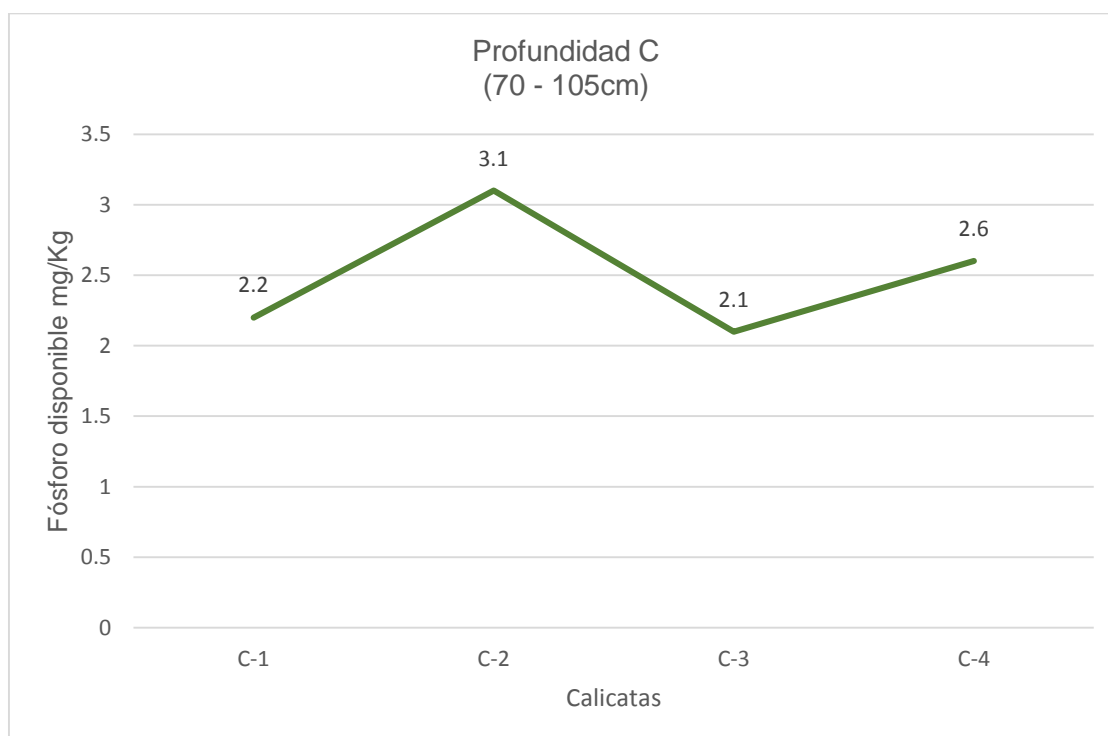
Fósforo disponible a la profundidad 35 cm – 70 cm según calicata



En la figura 7, se observa que la disponibilidad de fósforo va disminuyendo de acuerdo a la profundidad en todas las calicatas y siempre el contenido es mayor en las muestras más cercanas a la planta. En ecosistemas naturales, como los bosques, el P está sometido a un “ciclo de tensión”, esto indica que las cantidades de P existentes en el ecosistema, en la biomasa y en el suelo y los flujos anuales entre el suelo y la vegetación, están en relación con las ganancias o pérdidas netas del ecosistema (NEWMAN, 1995). Además, SOLOMON et al., 2002, señala que en ecosistemas naturales el P está ligado a un sistema cerrado, donde las pérdidas por lixiviación, exportación de la biomasa son mínimas, el ciclaje de este elemento se da a consecuencia de factores tal como la topografía, el clima, los materiales parentales, la biomasa y el tiempo (Valenzuela, 2010).

Figura 8

Fósforo disponible a la profundidad 70 cm – 105 cm según calicata

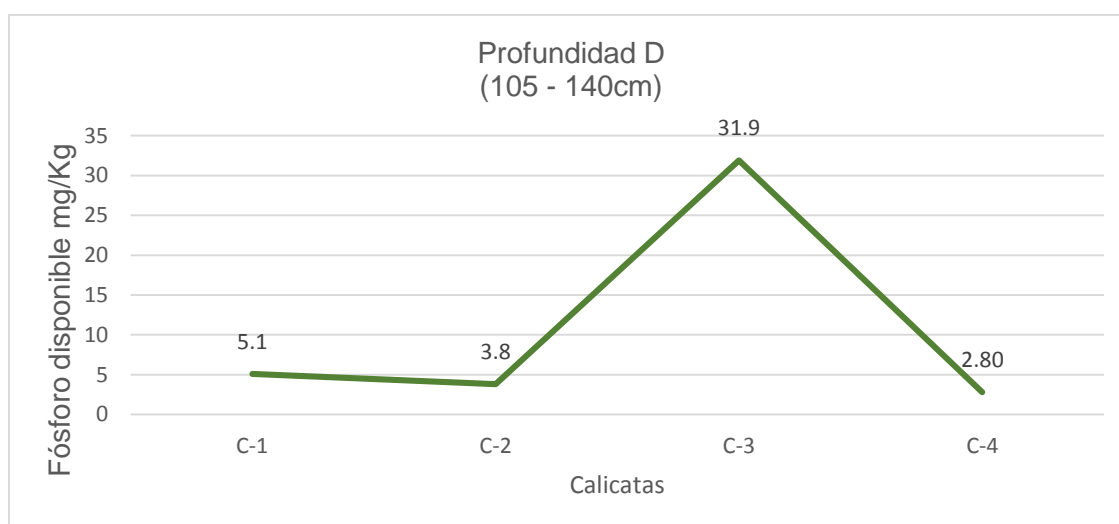


La figura 8, muestra que el fósforo disponible a la profundidad entre 70 a 105 cm en todas las calicatas (distanciamiento) ha aumentado en comparación a la figura 9.

Esto podría deberse a que a esa profundidad las raicillas ya no se desarrollan mayormente, por eso disminuye la absorción de este elemento y se incrementa su concentración. En cuanto a P disponible, Campitelli et al (2010), indicaron que el contenido de P disponible en el suelo es una variable dinámica, que está influenciada por las diferentes propiedades del suelo, la planta y las condiciones ambientales; llegando a la conclusión que los cambios en las propiedades del suelo se relacionan con la concentración de P en solución, García et al. (2009), Es P es absorbido desde la fracción soluble del suelo, la que a su vez es reabastecida por una fracción lábil de naturaleza orgánica e inorgánica. Esta fracción de P lábil está en equilibrio con fracciones moderadamente lábiles y de muy baja labilidad. Dada la baja concentración de P soluble, el abastecimiento de P desde la fracción lábil es de mucha importancia para garantizar un adecuado suministro de P a las plantas (Syers et al. 2008).

Figura 9

Fósforo disponible a profundidad de 105 cm – 140 cm según calicata



La figura 9, muestra que el fosforo disponible a la profundidad entre 105 a 140 cm en todas las calicatas (distanciamiento) ha aumentado en comparación a la menor profundidad y en todas las calicatas mostradas en la figura 9. Significa que, a mayor profundidad, mayor es la cantidad de P en estos suelos.

Propiedades químicas del suelo: pH, conductividad eléctrica y materia orgánica

Tabla 8

pH del suelo

pH						
Calicatas	Profundidades				TOTAL	PROMEDIO
	A	B	C	D		
C-1	6.2	5.9	6	6.1	24.20	6.05
C-2	6	6	5.9	6.1	24.00	6.00
C-3	6	6.1	6.1	6.2	24.40	6.10
C-4	6.1	6.1	6.6	5.5	24.30	6.08
TOTAL	24.30	24.10	24.60	23.90	96.90	24.23
PROMEDIO	6.08	6.03	6.15	5.98	24.23	6.06

Tabla 9

Análisis de varianza del pH de las muestras de suelo

Análisis de varianza del pH de las muestras de suelo

Variable	N	R	R	Aj	CV
PROMEDIO	16	0.12	0.00		4.37

Tabla 10

Análisis de varianza del pH de las muestras de suelo (SC tipo II)

Análisis de varianza del pH en el suelo (SC tipo III)

F.V	SC	GL	CM	F	P- valor
Modelo	0.09	6	0.01	0.21	0.9640
Profundidad	0.07	3	0.02	0.32	0.8122
Calicata	0.02	3	0.01	0.10	0.9556
Error	0.63	9	0.07		
Total	0.72	15			

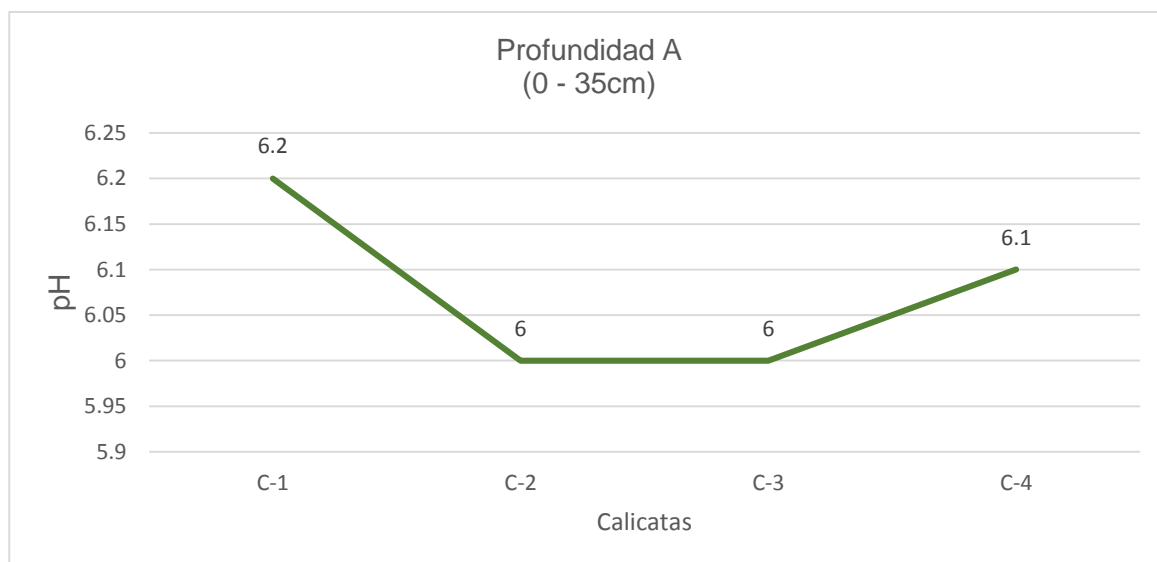
El p-valor obtenido en las muestras de suelo según profundidad fue de 0.8122, dado que este valor es mayor que 0.05, no hay una diferencia estadísticamente significativa en el pH entre las distintas profundidades.

El p-valor obtenido respecto a las calicatas fue de 0.9556, como este valor es mayor que 0.05, no hay una diferencia estadísticamente significativa en el pH entre las calicatas.

Las plantaciones de pino son, después del eucalipto, el género con mayor plantación a nivel mundial y en América. Siendo una especie de crecimiento rápido, se adapta a diferentes condiciones de suelos, aunque prefiere los suelos sueltos, aireados de diferentes texturas siendo tolerante hasta suelos arcillosos, adaptándose a suelos profundos que son planos y a suelos con pendiente inferiores al 30% y con pH entre 5,0 y 6,5, localizados a menos de 500 msnm, temperaturas entre 24° C y 30° C, precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anuales y cuatro meses secos. Para el pino se recomienda pH: de neutro a moderadamente ácido, de 4.9 a 5.4; Materia orgánica: varía de 0.61 a 4.8 %, Fertilidad: suelos pobres.

Figura 10

pH a la profundidad de 0 cm – 35 cm, según calicata



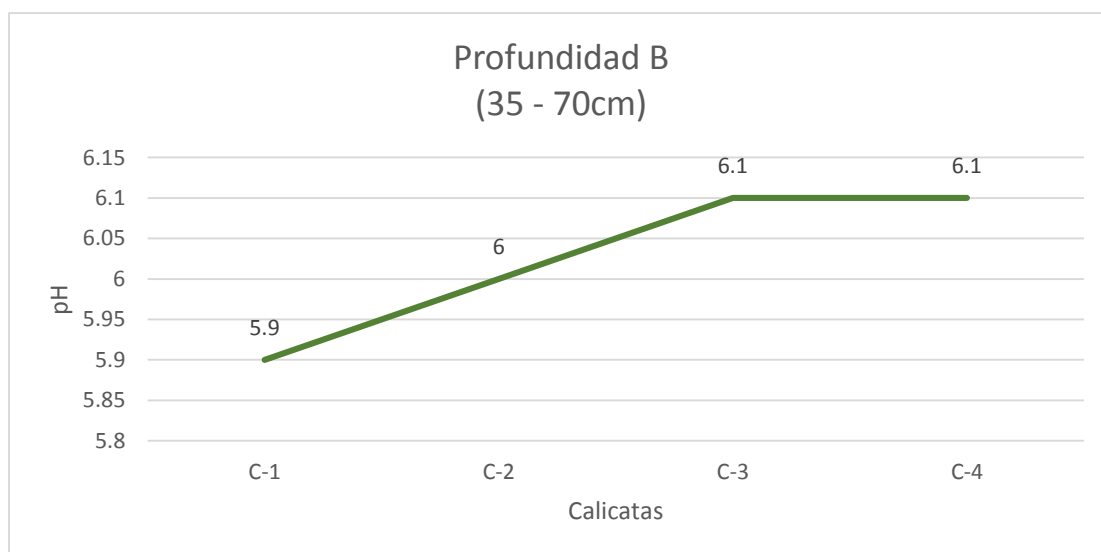
En todas las profundidades y calicatas (distanciamientos) se observa similar padrón de pH; es decir, que, a la altura de la presencia del mayor número de raíces, el valor disminuye, dado seguramente a la presencia de los exudados radiculares y la presencia de MO, hacen que muy poco disminuya este valor, aunque hay estudios que

las acículas del pino, no acidifican al suelo. Al respecto se realizó un estudio a la reacción del suelo y propiedades afines en veinticuatro parcelas distribuidas en dirección aproximada oeste-este, doce bajo estepa subarborescente-graminosa y doce bajo *Pinus ponderosa* Dougl. –primera plantación, 14 a 19 años–, en condiciones de sitio equivalentes y cuyo material parental fue ceniza volcánica holocénica bajo régimen hídrico xérico. Donde se analizaron muestras compuestas para cada centímetro en los primeros cinco centímetros del suelo mineral. La acidez de la solución del suelo y la de intercambio aumentaron en los cinco primeros centímetros bajo *P. ponderosa*.

Dando como resultado la acidificación que se dio debió al bajo poder tampón de los suelos que están en el régimen xérico y no significó y en la clase de acidez del suelo, manteniéndose como ligeramente ácidos. Dado que bajo *P. ponderosa* no cambiaron la clase de acidez, donde las bases intercambiables y la retención de fósforo, llegando a la conclusión que la acidificación de la primera capa de suelo no muestra variaciones relevantes en las propiedades del suelo para la germinación y crecimiento tanto de las especies autóctonas como de futuras forestaciones (Broquen et al 2005).

Figura 11

pH a la profundidad de 35 cm – 70 cm, según calicata



El pH es ligeramente ácido, el cual facilita la absorción de nutrientes

Figura 12

pH a la profundidad de 70 cm – 105 cm, según calicata

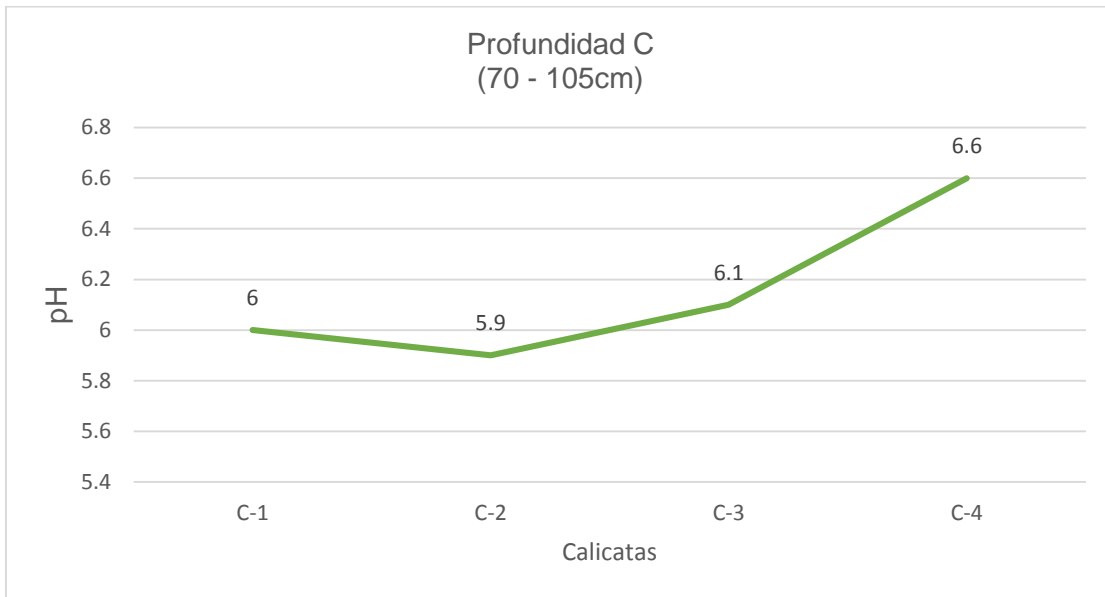
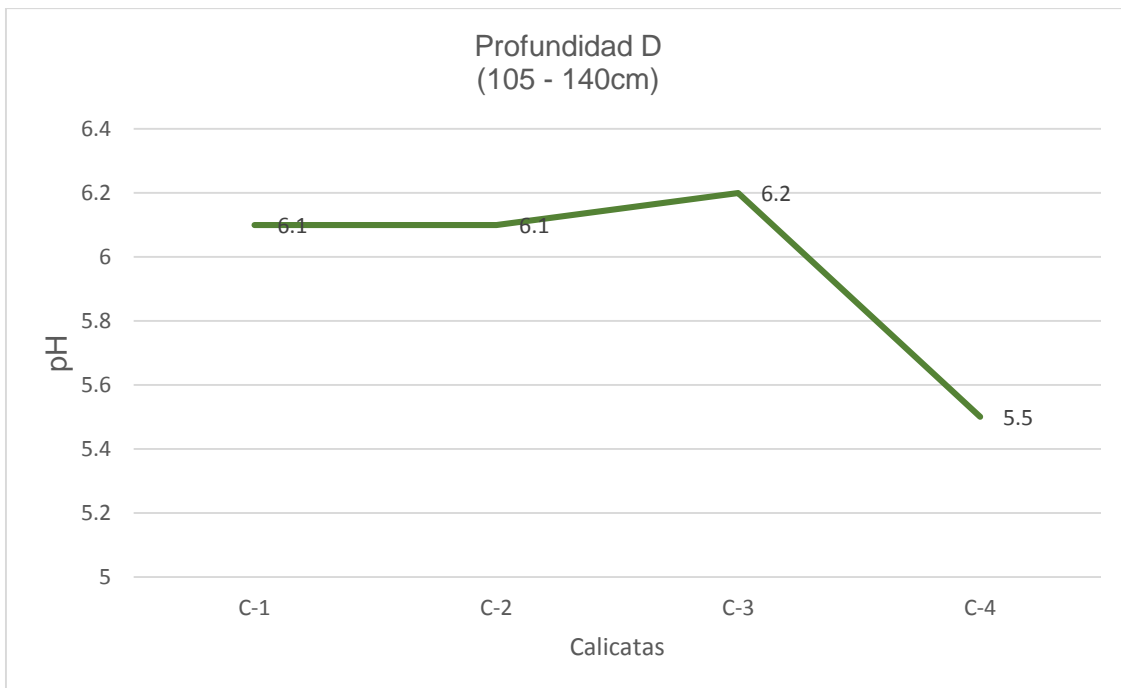


Figura 13

pH a la profundidad de 105 cm – 140 cm, según calicata



Los resultados obtenidos en este estudio muestran que el pH del suelo se mantuvo en un rango ligeramente ácido (5,5 – 6,6) sin diferencias significativas entre profundidades ni entre calicatas, con un promedio general de 6,05. Esto concuerda con Arenas y Saucedo (2023), quienes en su investigación encontraron que el pH no presentó variaciones relevantes pese al cambio de uso del suelo, manteniéndose en un valor promedio de 5,17, también en condiciones moderadamente ácidas. La similitud entre ambos estudios evidencia que el pH es una propiedad estable del suelo, poco sensible a cambios en la profundidad y a ciertas condiciones de uso en el corto plazo.

Tabla 11

Conductividad Eléctrica

Conductividad eléctrica						
calicatas	profundidades				TOTAL	PROMEDIO
	1	2	3	4		
C-1	2	1.1	<1.0	<1.0	3.10	0.78
C-2	1.5	1.2	1.2	<1.0	3.90	0.98
C-3	1.4	1.5	<1.0	<1.0	2.90	0.73
C-4	2	1.5	<1.0	<1.0	3.50	0.88
TOTAL	6.90	5.30	1.20	0.00	13.40	3.35
PROMEDIO	1.73	1.33	0.30	0.00	3.35	0.84

Tabla 12

Análisis de varianza de la conductividad eléctrica

Análisis de varianza de la conductividad eléctrica de las muestras de suelo

Variable	N	R	R	Aj	CV
PROMEDIO	16	0.80	0.66		18.17

Tabla 13*Análisis la varianza del pH en el suelo (SC tipo III)*

Análisis de varianza del pH en el suelo (SC tipo III)					
F.V	SC	GL	CM	F	P- valor
Modelo	1.76	6	0.29	5.87	0.0096
Profundidad	1.71	3	0.57	11.46	0.0020
Calicata	0.05	3	0.02	0.35	0.7935
Error	0.45	9	0.05		
Total	2.21	15			

El análisis de varianza (ANOVA tipo III) del pH del suelo evidencia que la profundidad es el factor que determina diferencias significativas en la acidez o alcalinidad del terreno, mientras que la variación entre calicatas no resulta relevante. El modelo global es significativo ($F = 5.87$, $p = 0.0096$), indicando que al menos uno de los factores evaluados tiene efecto sobre el pH, y específicamente, la profundidad presenta un efecto altamente significativo ($F = 11.46$, $p = 0.0020$), mostrando que los distintos estratos del suelo poseen valores de pH diferenciados. En contraste, la calicata no influye de manera significativa ($F = 0.35$, $p = 0.7935$), lo que sugiere que la ubicación horizontal dentro del área de estudio no afecta la acidez del suelo. La variabilidad residual es relativamente baja en comparación con la variación explicada por la profundidad, reforzando su papel como factor determinante. Estos resultados indican que cualquier estrategia de fertilización o manejo del suelo debe considerar el perfil vertical para optimizar la disponibilidad de nutrientes y mantener la fertilidad química de manera eficiente.

Tabla 14*Test: Tukey***Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.49394****Error: 0.0501 gl: 9**

Profundidad	Medidas	N	E.E.		
1	1.73	4	0.11	A	
2	1.33	4	0.11	A	B
3	0.98	4	0.11		B
4	0.90	4	0.11		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.5$)

El análisis de Tukey con un nivel de significancia del 5 % confirma que existen diferencias significativas en la conductividad eléctrica del suelo entre las distintas profundidades ($p = 0.0020$). La prueba muestra que las capas superficiales (profundidades 1 y 2, con medias de 1.73 y 1.33 respectivamente) presentan los valores más altos de conductividad, mientras que las capas más profundas (profundidades 3 y 4, con medias de 0.98 y 0.90) presentan valores significativamente menores. Esto indica que la conductividad eléctrica disminuye a medida que se profundiza en el suelo, reflejando una mayor concentración de iones en la zona superficial, probablemente asociada a la materia orgánica y al aporte de nutrientes desde la descomposición de la biomasa. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre las calicatas ($p = 0.7935$), lo que sugiere que la ubicación horizontal dentro del área de estudio no afecta la conductividad del suelo. En conjunto, estos resultados indican que la profundidad es el factor determinante en la variación de conductividad eléctrica, mientras que la ubicación espacial (calicata) no tiene efecto, lo que es relevante para el manejo y fertilización del suelo en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don.

Figura 14

Conductividad eléctrica a la profundidad de 0 cm – 35 cm según calicata

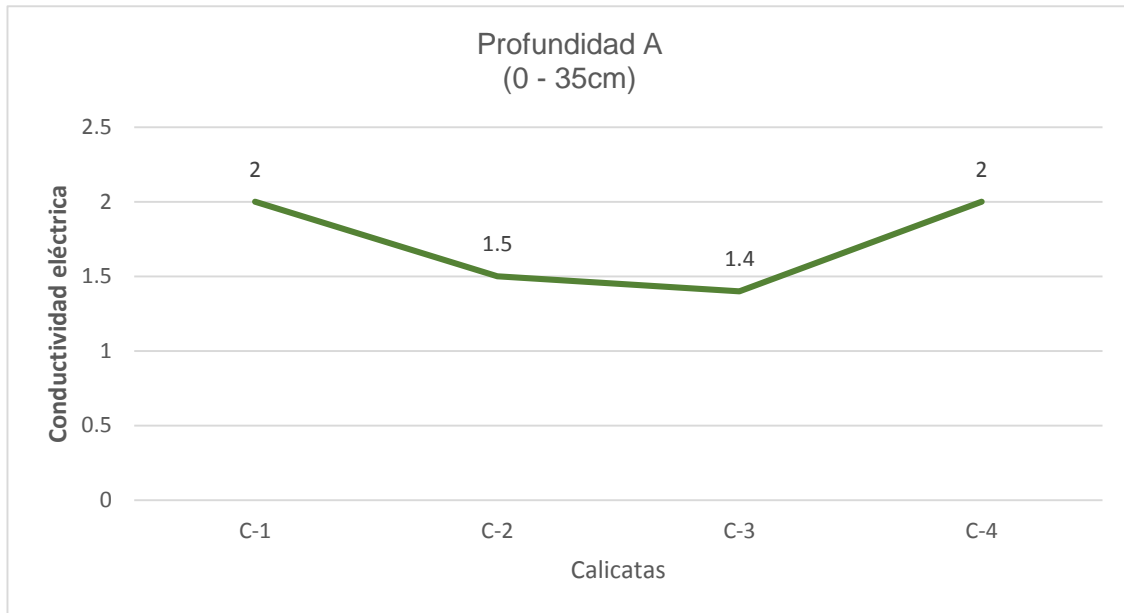


Figura 15

Conductividad eléctrica a la profundidad de 35 cm – 70 cm, según calicata

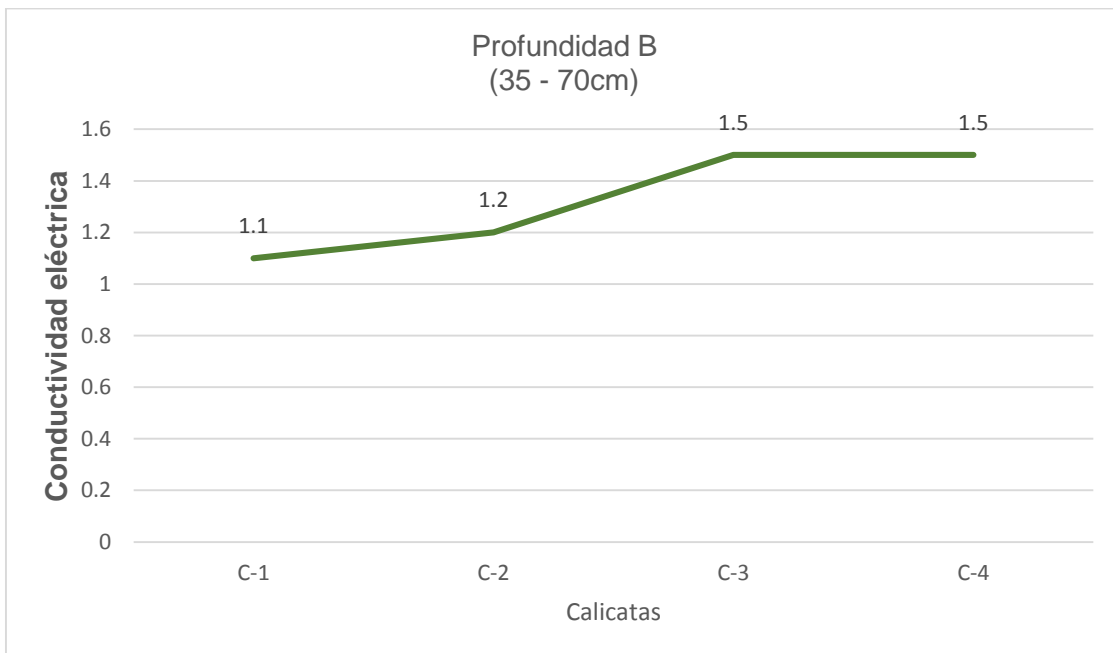
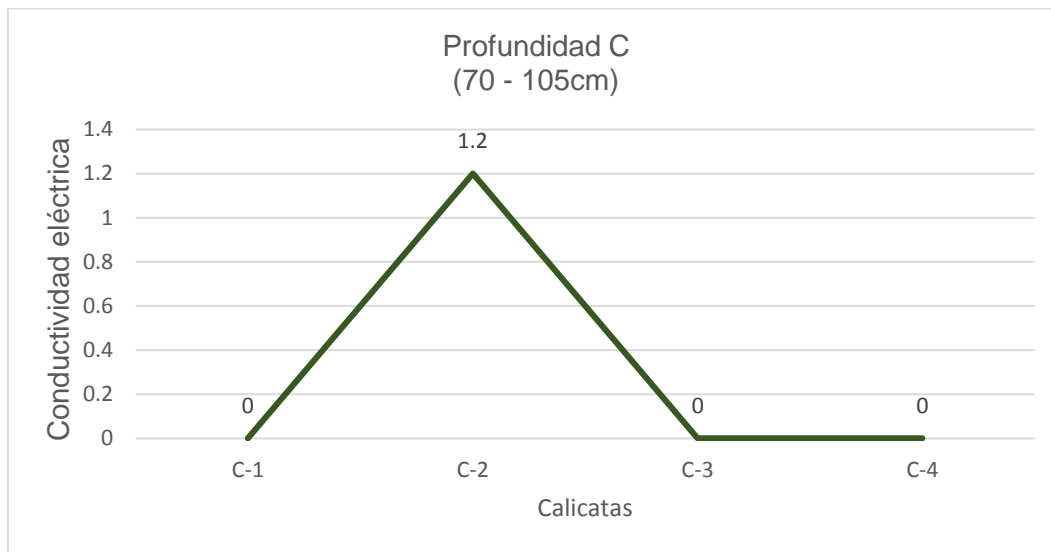


Figura 16

Conductividad eléctrica la profundidad de, de 70 cm – 105 cm según calicata



Los resultados de la conductividad eléctrica en las calicatas evaluadas muestran valores bajos, con promedios que oscilan entre 0.73 y 0.98 mS/m, evidenciando una ausencia de salinidad en los suelos estudiados. La mayor conductividad se presentó en las capas superficiales (profundidades A y B), disminuyendo a medida que aumenta la profundidad, lo que concuerda con la mayor presencia de sales solubles en horizontes cercanos a la superficie. Estos hallazgos contrastan con el estudio de Rodríguez et al. (2023) ya que en su investigación determinó que la conductividad eléctrica sí presentó diferencias significativas asociadas al tratamiento de matarrasa, indicando un efecto del manejo forestal sobre la acumulación de sales y nutrientes.

Tabla 15*Contenido de materia orgánica (%) en el suelo*

Materia orgánica %						
Calicatas	Profundidades				TOTAL	PROMEDIO
	A	B	C	D		
C-1	<0.1	<0.1	0.5	2.2	2.70	0.68
C-2	2.2	2.9	0.5	0.2	5.80	1.45
C-3	1.9	2.1	1	0.4	5.40	1.35
C-4	2.1	2.2	1.5	1.00	6.80	1.70
TOTAL	6.20	7.20	3.50	3.80	20.70	5.18
PROMEDIO	1.55	1.80	0.88	0.95	5.18	1.29

Tabla 16*Análisis de varianza de la materia orgánica de las muestras de suelo***Análisis de varianza de la materia orgánica de las muestras de suelo**

Variable	N	R	R	Aj	CV
PROMEDIO	1	0.36	0.00		73.99

Tabla 17*Análisis de la varianza de la materia orgánica en las muestras de suelo (SC tipo III)***Análisis de varianza de la materia orgánica en las muestras de suelo (SC tipo III)**

F.V	SC	GL	CM	F	P- valor
Modelo	4.96	6	0.78	0.84	0.5705
Profundidad	2.09	3	0.70	0.75	0.5516
Calicata	2.60	3	0.87	0.93	0.4652
Error	8.39	9	0.93		
Total	13.08	15			

El análisis de varianza tipo III realizado sobre los niveles de materia orgánica en las muestras de suelo indica que ni la profundidad ($p = 0.5516$) ni la calicata o distancia desde la planta ($p = 0.4652$) presentan diferencias estadísticamente significativas, lo que sugiere que la variabilidad observada en la MO entre los distintos estratos y posiciones horizontales no es relevante desde el punto de vista estadístico. No obstante,

se observa que el nivel de materia orgánica tiende a ser menor justo debajo de la planta, probablemente debido a que la hojarasca aún no se ha descompuesto y se ha acumulado en la superficie. Como es habitual en suelos forestales, los horizontes superficiales presentan mayores concentraciones de materia orgánica gracias a la caída de hojas y otros residuos vegetales, mientras que a mayor profundidad la MO disminuye rápidamente debido a la limitada mortalidad radicular estacional y la menor incorporación de residuos. Este patrón contrasta con los suelos de pastizales nativos, donde la descomposición de raíces finas contribuye a mantener niveles más uniformes de MO en estratos profundos, y con suelos de pastizal arado, donde la labranza homogeneiza el contenido de los primeros centímetros, reduciendo la variabilidad vertical de la materia orgánica (University of Nebraska–Lincoln, 2026).

Figura 17

Materia orgánica la profundidad de 0 – 35 cm, según calicata

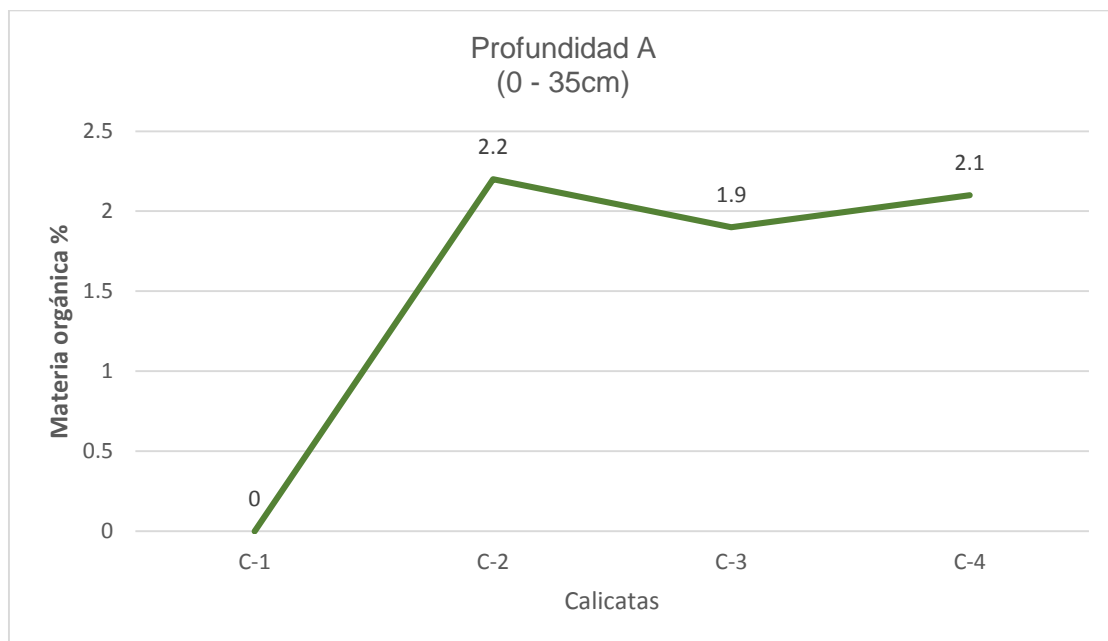


Figura 18

Materia orgánica en las mismas profundidades de las 4 calicatas, de 35 cm – 70 cm

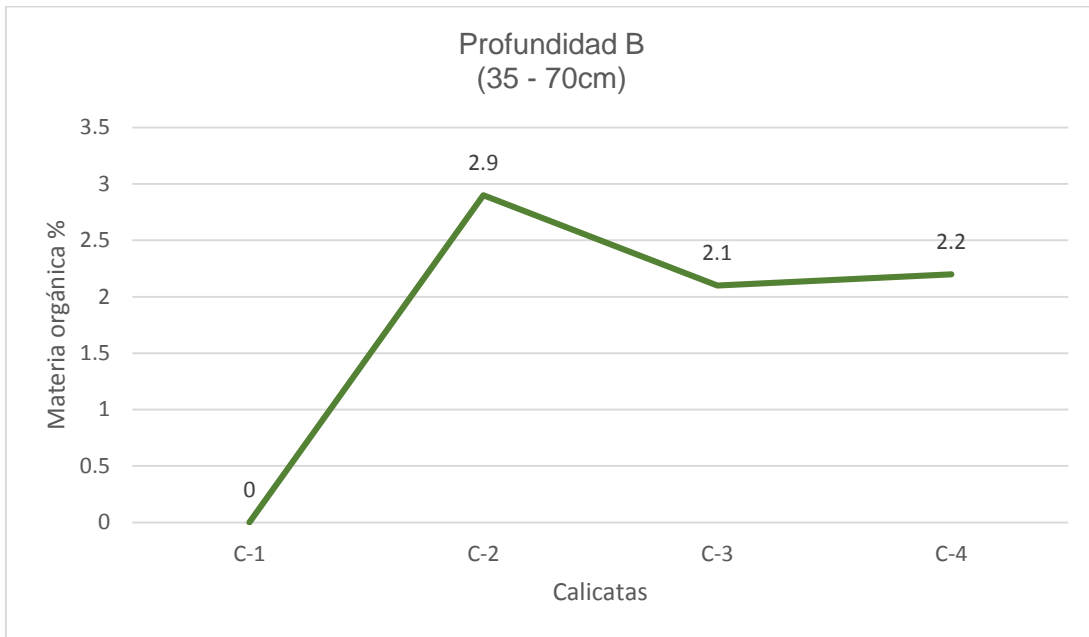


Figura 19

Materia orgánica a la profundidades de 70 cm – 105 cm según calicata

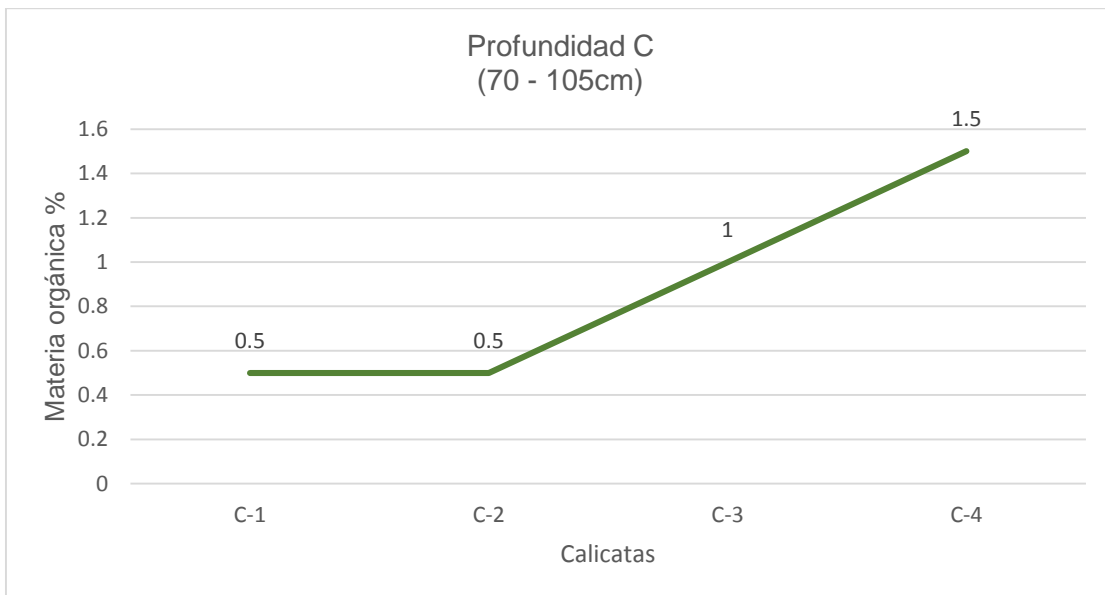
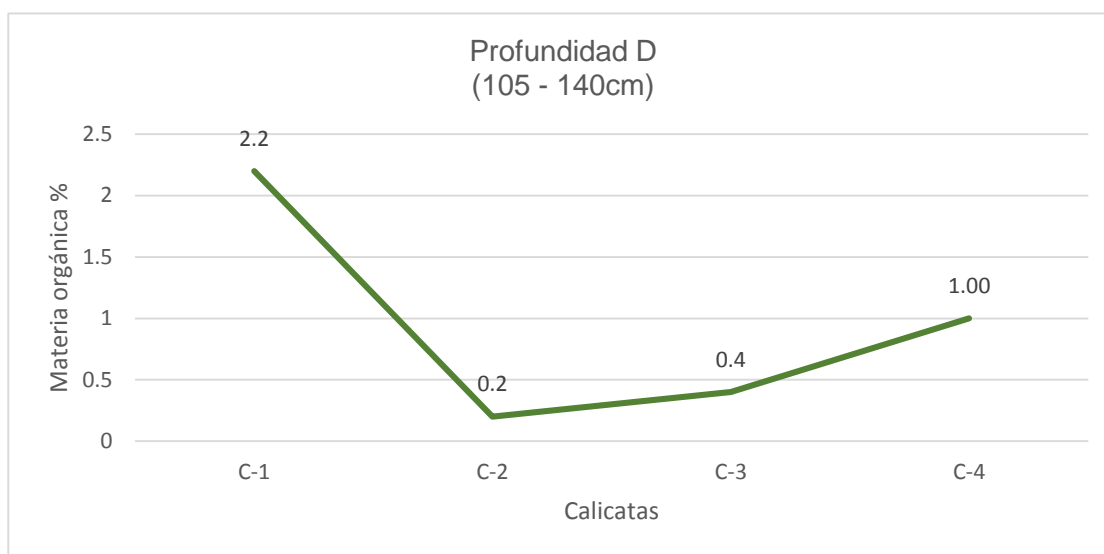


Figura 20

Materia orgánica a la profundidad de 105 cm – 140 cm según calicata



La materia orgánica en las calicatas evaluadas mostró valores promedio bajos, con predominio en las capas superficiales (calicatas C-2, C-3 y C-4), mientras que en profundidades mayores la concentración tendió a disminuir. Estos resultados sugieren que la presencia de la materia orgánica está estrechamente vinculada a los aportes superficiales y a la mineralización en función de la profundidad del suelo. Esto concuerda parcialmente con el estudio de Díaz (2023), en el cual las plantaciones de *Pinus patula* presentaron una disminución de varios nutrientes respecto a suelos de pajonal, aunque la materia orgánica tendió a ser mayor en plantaciones más antiguas. En contraste, en los suelos analizados en San Silvestre de Cochan los valores de materia orgánica no muestran un incremento significativo asociado a la presencia de *Pinus Radiata D. Don*, sino una distribución heterogénea entre calicatas y profundidades.

Factores limitantes de la fertilidad del suelo (acidez intercambiable y aluminio intercambiable)

Tabla 18

Acidez intercambiable de las muestras de suelo

Acidez intercambiable cmol(+)/Kg						
Calicatas	Profundidades				TOTAL	PROMEDIO
	A	B	C	D		
C-1	<0.5	<0.5	1	0.8	1.80	0.45
C-2	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.00	0.00
C-3	<0.5	<0.5	<0.5	0	0.00	0.00
C-4	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.00	0.00
TOTAL	0.00	0.00	1.00	0.80	1.80	0.45
PROMEDIO	0.00	0.00	0.25	0.20	0.45	0.11

Tabla 19

Análisis de varianza de la acidez intercambiable de las muestras de suelo

Análisis de varianza de la acidez intercambiable de las muestras de suelo

Variable	N	R	R	Aj	CV
PROMEDIO	16	0.51	0.18	43.27	

Tabla 20

Análisis de varianza de acidez intercambiable en las muestras de suelo (SC tipo III)

Análisis de varianza de acidez intercambiable en las muestras de suelo (SC tipo III)

F.V	SC	GL	CM	F	P- valor
Modelo	0.34	6	0.06	1.56	0.2637
Profundidad	0.07	3	0.02	0.63	0.6150
Calicata	0.27	3	0.09	2.49	0.1266
Error	0.32	9	0.04		
Total	0.66	15			

El p-valor para el efecto del tratamiento (según profundidades) fue de 0.6150, dado que este p-valor es mayor que 0.05 significa que las diferencias en la acidez intercambiable entre las profundidades no son significativas. La variación observada en

los datos es probablemente aleatoria y no un efecto real de la profundidad. El p-valor obtenido de las calicatas fue de 0.1266, dado que este valor es mayor que 0.05, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa en los niveles de acidez intercambiable entre las calicatas.

Figura 21

Acidez intercambiable a la profundidad, de 70 cm – 105 cm según calicata

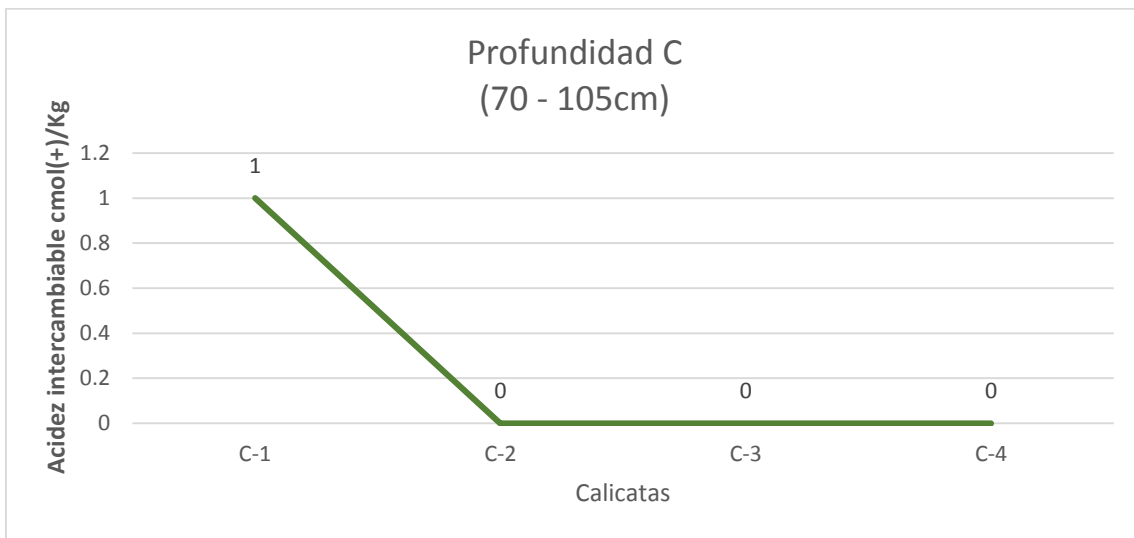
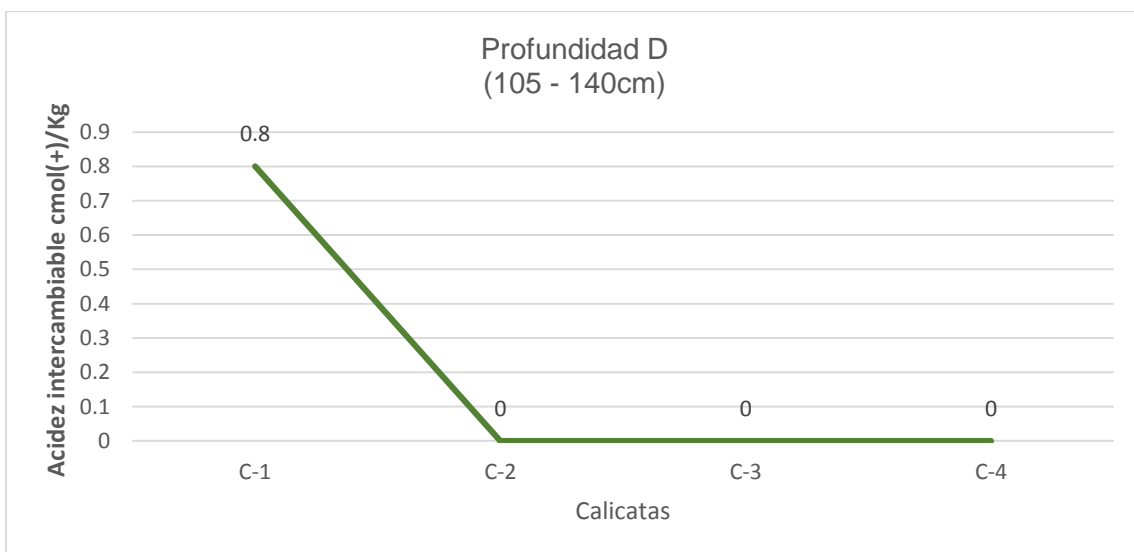


Figura 22

Acidez intercambiable a la profundidad, de 105 cm – 140 cm, según calicata



Los resultados de la acidez intercambiable muestran valores muy bajos en la mayoría de las calicatas, con registros por debajo del límite de detección (<0.5 cmol(+)/kg), lo que indica una escasa presencia de iones de hidrógeno y aluminio en el complejo de cambio. La única excepción fue la calicata C-1, que alcanzó valores de 1.0 y 0.8 cmol(+)/kg en las profundidades C y D, respectivamente, acumulando un total de 1.80 cmol(+)/kg y un promedio de 0.45, aunque todavía dentro de rangos bajos. Las calicatas C-2, C-3 y C-4 no presentaron acidez detectable, lo cual refleja condiciones químicas estables y favorables para el desarrollo de cultivos sensibles a la acidez. En promedio, el conjunto alcanzó un valor de 0.11 cmol(+)/kg, confirmando que la acidez intercambiable no constituye un factor limitante en el área de estudio.

Tabla 21

Aluminio intercambiable de las muestras de suelo

Aluminio Intercambiable cmol(+)/Kg						
Calicatas	Profundidades				TOTAL	PROMEDIO
	A	B	C	D		
C-1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.00	0.00
C-2	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.00	0.00
C-3	<0.5	<0.5	<0.5	0	0.00	0.00
C-4	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.00	0.00
TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 22

Análisis de varianza del aluminio intercambiable de las muestras de suelo

Análisis de varianza del aluminio intercambiable de las muestras de suelo

Variable	N	R	R	Aj	CV
PROMEDIO	16	0.40	0.00	26.67	

Tabla 23

Análisis estadístico del aluminio intercambiable en la muestra de suelo (SC tipo III)

Análisis de la varianza del aluminio intercambiable en las muestras de suelo (SC tipo III)

F.V	SC	GL	CM	F	P- valor
Modelo	0.09	6	0.02	1.00	0.4799
Profundidad	0.05	3	0.02	1.00	0.4363
Calicata	0.05	3	0.02	1.00	0.4363
Error	0.14	9	0.02		
Total	0.23	15			

El p-valor para las profundidades fue de 0.4363, e este valor es mayor que 0.05, las diferencias identificadas a diferentes profundidades no son estadísticamente significativas. El p-valor para las calicatas fue de 0.4363, dado que este valor es mayor que 0.05, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa en los niveles de aluminio intercambiable entre las diferentes calicatas. Esto indica que el suelo era relativamente homogéneo.

En suelos con pH mayor a 5.5, el aluminio se encuentra en gran parte en su forma no intercambiable, siendo favorable para su desarrollo radicular y la absorción de nutrientes.

La evaluación del aluminio intercambiable en los suelos analizados mostró valores inferiores a 0,5 cmol(+)/Kg en todas las calicatas y profundidades, lo que refleja una ausencia práctica de este elemento en forma disponible para el suelo. Este resultado contrasta con lo reportado por Arenas & Saucedo (2023), quienes encontraron un promedio de 3 mEq/100 g de suelo de aluminio en diferentes sistemas de uso del suelo en Calzada – Moyobamba, lo que indica una mayor presencia de este elemento en contextos de cambio de cobertura y uso intensivo. La diferencia podría atribuirse a las condiciones edafoclimáticas propias de cada zona, así como al tipo de vegetación predominante, que influye directamente en la dinámica de acidez y en la liberación de aluminio del complejo de cambio.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En cuanto al objetivo general, se llegó a la conclusión que el establecimiento de *Pinus radiata* D. Don en el distrito de San Silvestre de Cochan no generó alteraciones significativas en las propiedades químicas generales del suelo, evidenciando que la especie se desarrolla en un rango de pH ligeramente ácido (5,5 – 6,6) y condiciones químicas estables. La homogeneidad del pH y la baja presencia de aluminio intercambiable muestran que los suelos presentan características químicas favorables para el crecimiento de esta especie, sin que se identifiquen factores limitantes significativos que comprometan la fertilidad del suelo en el corto plazo.

En cuanto al objetivo específico 1, se llegó a la conclusión que el potasio disponible presentó una disminución marcada con la distancia desde el tronco, con valores más altos en las zonas superficiales cercanas a la raíz y una recuperación parcial a distancias mayores, evidenciando un patrón de absorción radicular y reciclaje por la materia orgánica. Las diferencias entre profundidades fueron estadísticamente significativas, mientras que la variación entre calicatas fue mínima. Por su parte, el fósforo mostró un patrón similar de mayor disponibilidad cerca de las raíces, pero sin diferencias significativas entre profundidades ni entre calicatas, lo que indica que su distribución está más ligada a la biomasa radicular y la descomposición de la hojarasca que a la posición espacial o estratificación del suelo.

En cuanto al objetivo específico 2, se concluye que el pH se mantuvo ligeramente ácido en todas las profundidades y calicatas, sin diferencias significativas. La conductividad eléctrica fue mayor en los estratos superficiales y disminuyó con la profundidad, reflejando la concentración de iones en la zona cercana a la materia orgánica y residuos vegetales. La materia orgánica presentó valores mayores en los horizontes superficiales y disminuyó con la profundidad, evidenciando que la principal

fuerza de MO es la caída de acículas y hojas del *Pinus radiata*, mientras que la incorporación por raíces muertas es limitada en estratos profundos.

En cuanto al objetivo específico 3, se concluye que, los valores de acidez intercambiable y aluminio intercambiable fueron bajos en todas las calicatas y profundidades ($<0.5 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$), indicando que estos factores no constituyen limitantes para la fertilidad química del suelo en el área de estudio. Esto permite un adecuado desarrollo radicular y disponibilidad de nutrientes, y sugiere que el suelo es químicamente estable y favorable para la plantación de *Pinus Radita* D. Don.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda implementar un programa de manejo de nutrientes centrado en la distribución espacial de potasio y fósforo en el suelo, priorizando las zonas cercanas a la raíz donde la absorción es más intensa. Este programa debe incluir aplicaciones estratégicas de fertilizantes y enmiendas orgánicas que permitan mantener la disponibilidad de macronutrientes en los estratos superficiales y profundos, optimizando la fertilidad química del suelo y favoreciendo el crecimiento saludable del *Pinus radiata*.

Asimismo, se aconseja conservar la materia orgánica proveniente de la hojarasca y residuos vegetales en la superficie del suelo, evitando su remoción excesiva. Esta práctica contribuirá a la recuperación y mantenimiento de nutrientes, a la actividad biológica del suelo y a la estabilidad química, asegurando condiciones óptimas para la absorción de nutrientes y la sostenibilidad de la plantación a largo plazo.

Se recomienda hacer más estudios relacionados con la fertilidad de una planta de pino

Se recomienda hacer una investigación detallada tomando como referencia este estudio realizado

CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alam, S. I., Hammoda, H., Khan, F., Al-Enazi, R., y Goktepe, I. (2020). Conductividad eléctrica, pH, materia orgánica y textura de suelos seleccionados alrededor del campus de la Universidad de Qatar. <https://doi.org/10.3329/ralf.v7i3.51359>
- Aparicio, A., Goya, J. M., y Larocca, P. (2005). Impacto de la fertilización en suelos forestales (pp. 15-24). Editorial Argentina.
- Arenas, Lady, y Saucedo, G. (2023). *Cambio de propiedades químicas del suelo en zona boscosa, sistemas agroforestal, agrícola y pastoril Calzada – Moyobamba* [De grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. <https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.01.02>
- Attiwill, P. M., y Adams, M. A. (1993). Ciclo de nutrientes en los bosques. 124(4), 561–582. (Cit. en Deng et al., 2018).
- Barreiro, A. B. A., et al. (2025). Efecto de diferentes plantaciones de árboles sobre las propiedades químicas y la actividad microbiana en suelos forestales de Galicia., 15, 14988. <https://doi.org/10.3389/sjss.2025.14988>
- Berthrong, S. T., Jobbágy, E. G., y Jackson, R. B. (2009). Un metaanálisis global de los cationes intercambiables del suelo, el pH, el carbono y el nitrógeno asociados a la forestación 19(8), 2228–2241. <https://doi.org/10.1890/08-1730.1>
- Bown, H. E., y Watt, M. S. (2016). Respuestas del flujo de CO₂ del tallo y del suelo en plantaciones de *Pinus radiata* D. frente a la temperatura, la estación, la edad, el momento del día (día/noche) y la fertilización. 37(1), 63–74. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202016000100009>
- Di Gerónimo, P., Videla, C., Fernández, M., Zamuner, E., y Laclau, P. (2018). Cambios en propiedades químicas y bioquímicas del suelo asociados al reemplazo de pastizales naturales por *Pinus radiata* D. d. don y rotaciones agrícolas. Chilean

journal of agricultural & animal sciences, 34(2), 89–101.
<https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000302>

Díaz, F. (2023). Influencia de las plantaciones de pino (*Pinus patula* Schiede ex Schltdl. y cham.) sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos del bosque montano de Chalamarca, Cajamarca, Perú. [De grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
https://repositorio.unach.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14142/385/D%C3%A1z%20Rafael_F.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Elizondo, L. (2015). Impacto de las plantaciones de *Pinus radiata* en la fertilidad del suelo en América Latina. *Revista Latinoamericana de Ciencias Forestales*, 21(2), 45–60. <https://doi.org/10.1016/j.rlcforest.2015.03.002>

García, M. (2010). *Principios de edafología: El suelo y su fertilidad* (2ª ed.). Madrid: Mundi-Prensa.

Gerke, J. (2022). El papel central de la materia orgánica del suelo en la fertilidad y el almacenamiento de carbono. 6(2), 33.
<https://doi.org/10.3390/soilsystems6020033>

Giddens, K. M., Parfitt, R. L., y Percival, H. J. (1997). Comparación de algunas propiedades del suelo bajo *Pinus radiata* D. y pasturas mejoradas. 40(3), 409–416. <https://doi.org/10.1080/00288233.1997.9513262>

González, J. R., Martínez, J. L., y Pérez, D. (2018). Efecto de las plantaciones de especies forestales sobre la fertilidad del suelo: Un estudio de caso en Argentina. *Forest Research*, 8(4), 112-119. <https://doi.org/10.1023/forest.8.4>

González, R., & Cáceres, M. (2013). La importancia de la materia orgánica en la fertilidad del suelo. *Revista Forestal Española*, 93, 67-78.

- Kamprath, E. J. (1970). El aluminio intercambiable como criterio para la enalación de suelos minerales lixiviados 34(2), 252–254. <https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400020022x>
- Kinraide, T. B. (2003). Factores de toxicidad en suelos forestales ácidos: intentos por evaluar de manera separada los efectos tóxicos del exceso de Al^{3+} y H^+ , y de la deficiencia de Ca^{2+} y Mg^{2+} sobre la elongación de las raíces. 54(2), 323–333. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2003.00538.x>
- Llallico, F., y Marcelo, C. (2019). Efecto de las características físicoquímicas y biológicas del suelo en el crecimiento de *Pinus tecunumanii* en Satipo. *Prospectiva Universitaria*, 16, 1–10. <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prctiva/article/view/1025/1262>
- López, J. (2011). Factores que influyen en la fertilidad química del suelo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 20(2), 123-130.
- López, M., Ruiz, A., y Fernández, G. (2020). La influencia de las especies forestales exóticas sobre la calidad del suelo en Cajamarca. *Journal of Environmental Science*, 35(3), 45-56. <https://doi.org/10.1002/env.35>
- Mayta, P. (2019). Evaluación del efecto de la plantación forestal de Pino (*Pinus radiata* D..) sobre las propiedades físicoquímicas del suelo en la comunidad Huerta Huaraya – Puno, 2018 [De grado]. Universidad Peruana Unión.
- Mead, D. J. (2013). Manejo sostenible de plantaciones de *Pinus radiata* D.. (Documento Forestal de la FAO N.º 170). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Neina, D. (2019). El papel del pH del suelo en la nutrición vegetal y la remediación del suelo. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>

- Rodríguez, V., Zaragosa, K., Clark, R., y Ramírez, R. (2023). Efecto del manejo forestal en las propiedades fisicoquímicas del suelo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 29(1). <https://doi.org/10.21829/MYB.2023.2912476>
- Ross, C. W., Watt, M. S., Parfitt, R. L., Simcock, R., Dando, J., Coker, G., Clinton, P. W., y Davis, M. R. (2009). Relaciones de la calidad del suelo con el crecimiento de los árboles en bosques exóticos de Nueva Zelanda. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.03.001>
- Schlatter, J. (1987). la fertilidad del suelo y el desarrollo de *Pinus radiata* D. d. don. 8(1), 13–19. <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v8n1/art03.pdf>
- White, P. J., y Brown, P. H. (2010). Nutrición vegetal para el desarrollo sostenible y la salud global. 105(7), 1073–1080. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq085>
- Yáñez, M., Silva, I., y Garza, F. (2023). Efecto en las propiedades fisicoquímicas de un Regosol con cambios de uso de suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(79), 58–79. <https://doi.org/10.29298/RMCF.V14I79.1359>

ANEXOS

Anexo 1

Informe de ensayo 1



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO LABSAF BAÑOS DEL INCA N° 091375-25NA / SU / BI

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: MAYCOL HARRY MENDOZA SOLIS
Propietario / Productor	: MAYCOL HARRY MENDOZA SOLIS
Dirección del cliente	: JR. LOS FRESNOS N° 568 - CAJAMARCA
Solicitado por	: CLIENTE
Muestreado por	: CLIENTE
Referencia del muestreo	: RESERVADO POR EL CLIENTE
Procedencia de muestra(s) (**)	: SAN SILVESTRE DE COCHAN - SAN MIGUEL - CAJAMARCA
Fecha(s) de muestreo (***)	: 2025-07-31
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2025-08-04
Lugar de ensayo	: LABSAF BAÑOS DEL INCA
Fecha(s) de análisis	: Del 2025-08-08 al 2025-09-03
Cotización del servicio	: 261-25-BI
Fecha de emisión	: 2025-09-04

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SU2530-BI-25	SU2537-BI-25	SU2538-BI-25	SU2539-BI-25	SU2540-BI-25	SU2541-BI-25		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo (**)	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31		
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	11:30	11:30	11:30	11:30	11:30	11:30		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (**)	C1-A	C1-B	C1-C	C1-D	C2-A	C-B		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Potasio Disponible	mg/kg	0,05	137,2	82,4	28,8	14,0	39,6	10,8

ITEM	7	8	9	10	11	12		
Código de Laboratorio	SU2542-BI-25	SU2543-BI-25	SU2544-BI-25	SU2545-BI-25	SU2546-BI-25	SU2547-BI-25		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo (**)	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31		
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	11:30	11:30	11:30	11:30	11:30	11:30		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (**)	C3-C	C3-D	C3-A	C3-B	C3-C	C3-D		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Potasio Disponible	mg/kg	0,05	15,6	6,0	58,0	33,4	5,8	7,8

ITEM	13	14	15	16		
Código de Laboratorio	SU2548-BI-25	SU2549-BI-25	SU2550-BI-25	SU2551-BI-25		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo (**)	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31		
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	11:30	11:30	11:30	11:30		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (**)	C4-A	C4-B	C4-C	C4-D		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
Potasio Disponible	mg/kg	0,05	137,2	87,2	14,8	8,4



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Follajes
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017

Baños del Inca
Dirección: Jr. Winacocha s/n Baños del Inca
Email: labsafbañosdelinca@inia.gob.pe

F-48 / Ver.08
www.inia.gob.pe



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO LABSAF BAÑOS DEL INCA N° 091375-25NA / SU / BI

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Potasio Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.12, AS-12 // EPA 6010 D. Revision 5. 2018). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance) 2023 Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Marieta Cervantes Peralta - Responsable del LABSAF - BAÑOS DEL INCA



Firmado digitalmente por:
CABRERA HOYOS Hector
Antonio FAU 20131365904 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 08/09/2025 09:11:11-0500

Firma

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Página 2 de 2

Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliáres
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017

Baños del Inca
Dirección: Jr. Wiracocha s/n Baños del Inca
Email: labsafbanosdelinca@inia.gob.pe

F-46 / Ver.06
www.inia.gob.pe

Anexo 2

Informe de ensayo 2



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO LABSAF BAÑOS DEL INCA N° 091375-25 / SU / BI



I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : MAYCOL HARRY MENDOZA SOLIS
 Propietario / Productor : MAYCOL HARRY MENDOZA SOLIS
 Dirección del cliente : JR. LOS FRESNOS N° 588 - CAJAMARCA
 Solicitado por : CLIENTE
 Muestreado por : CLIENTE
 Referencia del muestreo : RESERVADO POR EL CLIENTE
 Procedencia de muestra(s) (***) : SAN SILVESTRE DE COCHAN - SAN MIGUEL - CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo (****) : 2025-07-31
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2025-08-04
 Lugar de ensayo : LABSAF BAÑOS DEL INCA
 Fecha(s) de análisis : Del 2025-08-20 al 2025-09-03
 Cotización del servicio : 261-25-BI
 Fecha de emisión : 2025-09-04

II. RESULTADO DE ANALISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SU2538-BI-25	SU2537-BI-25	SU2538-BI-25	SU2539-BI-25	SU2540-BI-25	SU2541-BI-25		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo (***)	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31		
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	11:30	11:30	11:30	11:30	11:30	11:30		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	C1-A	C1-B	C1-C	C1-D	C2-A	C-B		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	0,10	6,2	5,9	5,6	5,8	6,0	6,0
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,00	2,0	1,1	< 1,0	< 1,0	1,5	1,2
Acidez Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,50	< 0,5	< 0,5	1,0	0,8	< 0,5	< 0,5
Aluminio Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,50	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Materia Orgánica	%	0,10	0,8	< 0,1	0,5	< 0,1	2,2	2,9
Fósforo Disponible	mg/kg	0,50	2,5	1,9	2,2	5,1	1,5	1,6
Textura								
Arena	%	-	43	41	55	69	47	53
Arcilla	%	-	33	35	25	13	27	27
Limo	%	-	24	24	20	18	26	20
Clase Textural	-	-	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco Arcillo Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arcillo Arenoso	Franco Arcillo Arenoso



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliarens
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017

LABSAF Baños del Inca
Dirección: Jr. Wiracocha s/n Los Baños del Inca-Cajamarca
Email: labsafbañosdelinca@inia.gob.pe

F-46 / Ver.05
www.inia.gob.pe

INFORME DE ENSAYO
LABSAF BAÑOS DEL INCA
N° 091375-25 / SU / BI



III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA Method 9045 D Rev. 4 2004 Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994 / Cor 1:1996 1994 Soil quality -- Determination of the specific electrical conductivity
Acidez y Aluminio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), ítem 7.3.25, AS-33 2002 Determinación de Acidez y Aluminio Intercambiable (AS-33 método de Clausen de Potasio).
Materia Orgánica	NOM-021-RECNAT-2000, 3da Sección, 2002, ítem 7.1.7 AS-07 2002 Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black)
Fosforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), ítem 7.1.10, AS-11 2002 Determinación de Fosforo extraíble en suelos neutros y ácidos (AS 11 Método de Bray y Kurtz)
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), ítem 7.1.5, AS-09 2002 Determinación de la textura del suelo (AS-09 Método de Bouyoucos).

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron.
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(***) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente informe de ensayo ha sido autorizado por: Marieta Cervantes Peralta - Responsable del LABSAF - BAÑOS DEL INCA



Firmado digitalmente por:
CABRERA HOYOS Hector
Antonio FAJ 20131305904 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 08/09/2025 09:10:02-0500

Firma

FIN DE INFORME DE ENSAYO

INFORME DE ENSAYO
LABSAF BAÑOS DEL INCA
N° 091375-25 / SU / BI



ITEM	7	8	9	10	11	12		
Código de Laboratorio	SU2542-BI-25	SU2543-BI-25	SU2544-BI-25	SU2545-BI-25	SU2546-BI-25	SU2547-BI-25		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo (**)	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31		
Hora de Inicio de Muestreo (h) (**)	11:30	11:30	11:30	11:30	11:30	11:30		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (**)	C2-C	C2-D	C3-A	C3-B	C3-C	C3-D		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	0,10	6,1	6,1	6,0	5,9	6,1	6,8
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,00	1,2	< 1,0	1,4	1,5	< 1,0	< 1,0
Acidez Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,50	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-
Aluminio Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,50	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-
Materia Orgánica	%	0,10	0,5	0,2	1,9	2,1	1,0	0,4
Fósforo Disponible	mg/kg	0,50	3,1	3,8	1,3	1,3	2,1	31,8
Textura								
Arena	%	-	61	67	49	51	53	61
Arcilla	%	-	23	17	23	25	35	27
Limo	%	-	15	16	28	24	12	11
Clase Textural	-	-	Franco Arcillo Arenoso	Franco Arenoso	Franco	Franco Arcillo Arenoso	Arcillo Arenoso	Franco Arcillo Arenoso

ITEM	13	14	15	16	
Código de Laboratorio	SU2548-BI-25	SU2549-BI-25	SU2550-BI-25	SU2551-BI-25	
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	
Fecha de Muestreo (**)	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	2025-07-31	
Hora de Inicio de Muestreo (h) (**)	11:30	11:30	11:30	11:30	
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (**)	C4-A	C4-B	C4-C	C4-D	
Ensayo	Unidad	LC	Resultados		
pH	unid. pH	0,10	6,1	6,2	5,5
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,00	2,0	1,5	<1
Acidez Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,50	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Aluminio Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,50	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Materia Orgánica	%	0,10	2,1	2,2	1,5
Fósforo Disponible	mg/kg	0,50	1,5	1,3	2,6
Textura					
Arena	%	-	48	61	43
Arcilla	%	-	25	19	35
Limo	%	-	26	20	22
Clase Textural	-	-	Franco Arcillo Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arcillo

Anexo 3

Comprobante del servicio de análisis de fertilidad de suelos



Datos del documento
Tipo de documento: BOLETA DE VENTA ELECTRONICA
Serie y correlativo: BV16-351
Fecha: 04-08-2025
Hora: 11:26:17

Datos del emisor				Adquiriente / Usuario			
RUC: 20131361994 Nombre: INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA Dirección: URB. FERREYROS JR. WIRACOCHA, Mz 1426 Lote 1A-3, LOS BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA Sucursal: EEA Baños del Inca Telefono:				Identificación: DNI - DOCUMENTO DE NACIONAL DE IDENTIDAD Número de identificación: 42175096 Nombre: MENDOZA BOLIS MAYCOLL HARRY Dirección: JR. LOS FRESNOS N° 568, CAJAMARCA, CAJAMARCA DEPARTAMENTO CAJAMARCA, PERU			

Cantidad	Unidad	Código	Código SUNAT	Descripción	Valor unitario	Precio unitario	Importe
16.000	Servicio	0941000300 63	0	Servicio de análisis de fertilidad de suelo	S/ 33.8983050847	S/ 40.00	S/ 642.37

Información adicional
POR SERVICIO DE ANALISIS FERTILIDAD EN SUELOS REF. NOTA DE VENTA N° 001027 EMITIDO EN LA EEA, BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA

Monto en letra: **SEISCIENTOS CUARENTA Y 00/100 SOLES**

Total impuestos
Total IGV 18%: S/ 97.63

Totales del documento
Total Gravadas: S/ 542.37
Importe total de la venta: S/ 640.00



Representación impresa de una BOLETA DE VENTA ELECTRONICA
 Puede descargar su comprobante desde el sitio:
<https://factura.lhefactoryhka.com.pe/consultadocumentos>



Anexo 4

Calicata 1



Anexo 5

Calicata 2



Anexo 6

Calicata 3



Anexo 7

Calicata 4



Anexo 8

Las 4 calicatas realizadas para el estudio

