

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



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.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

Franklin Díaz Rafael

ASESOR:

Dr. Carlos Abanto Rodríguez

COASESOR:

Dr. Alejandro Seminario Cunya

CHOTA-PERÚ

ENERO, 2023

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 001-2023/EPIFA - FCA/UNACH

Siendo las 12:05 pm horas, del día 04 de enero del 2023, en video conferencia del aplicativo Meet Google, los miembros del Jurado de Tesis titulada: “Influencia de las plantaciones de pino (*Pinus patula*) sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos del bosque montano de Chalamarca, Cajamarca, Perú”, integrado por:

1. Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza Presidente
2. Ing. MSc. Pacífico Muñoz Chávarry Secretario
3. Ing. Miriam Marleni Rosales Cuentas Vocal


Sustentada por **Franklin Díaz Rafael**, con la finalidad de obtener **Título** como **Ingeniero Forestal y Ambiental**.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda **Aprobar** la tesis, calificándola con la nota de: **16 (Dieciséis)**, se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el título de Ingeniero Forestal y Ambiental.

Firmado en: Chota, 04 de enero del 2023


.....
Presidente


.....
Secretario


.....
Vocal



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA EPIFA



Constancia de Originalidad

El que suscribe, Director de la Unidad de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis Titulado **“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”**; desarrollado por el **Bach. Franklin Díaz Rafael**; presenta una SIMILITUD IGUAL O MENOR al 25% por lo que cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 120-2022-UNACH.

Chota, 15 de enero de 2023.

Atentamente;


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

M.Sc. Pubert Geomar Elera Gonzales
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA EPIFA

CO-023-EPIFA-FCA

Dedicatoria

A mis padres, Aníbal Díaz Díaz y Celina Rafael Gálvez, por darme la vida, apoyo incondicional y paciencia para lograr las metas trazadas.

A mis hermanos, Nancy, Jamber y Lesly por estar siempre a mi lado en las diferentes etapas de vida, a ellos por ser la inspiración de seguir esforzándome para conseguir lo anhelado, a mis sobrinos por ser la razón de seguir dando pasos importantes en mi vida.

Agradecimientos

A Dios, por la vida, la salud y las fuerzas para seguir adelante cumpliendo las metas trazadas, por hacerme coincidir con personas maravillosas que ayudaron hacer realidad este estudio.

A mis asesores, el Dr. Carlos Abanto Rodríguez y Dr. Alejandro Seminario Cunya por haberme guiado para que esta investigación se desarrolle de la mejor manera, mi agradecimiento también al Ing. Hipólito Murga Orrillo por orientarme en el inicio de la investigación.

A mis amigos y compañeros de aula Nancy Estela Tirado y Gilmer Fustamante Ilatoma, al Dr. José A. Carlos Ramos, a mi primo Abner Carranza Rafael por ayudarme en los trabajos de campo que ha requerido este estudio. Agradecer también al señor Leonides Tirado Irigoín por permitirnos realizar esta investigación en las plantaciones de pino y pajonales que son de su propiedad.

Índice de contenidos

Resumen.....	10
Abstract	11
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Planteamiento del problema	13
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Justificación	15
1.4. Objetivos.....	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Bases teórico-científicas.....	21
2.3. Marco conceptual	27
2.4. Hipótesis	30
2.5. Operacionalización de variables.....	31
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	32
3.1. Ubicación.....	32
3.2. Tipo y nivel de investigación	35
3.3. Diseño de investigación	35
3.4. Métodos de investigación.....	36

3.5 Población, muestra y muestreo	38
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	39
3.8. Aspectos éticos.....	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Descripción de resultados	40
4.2. Contrastación de Hipótesis.....	48
4.3. Discusión de resultados.....	49
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
5.1. Conclusiones	58
5.2. Recomendaciones.....	60
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....	77

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	31
Tabla 2 <i>Ubicación del área de estudio</i>	41
Tabla 3 <i>Distancia Euclidiana de componentes de grupos formados de 0-10 cm de profundidad</i>	43
Tabla 4 <i>Distancia Euclidiana de componentes de grupos formados de 10-30 cm de profundidad</i>	47
Tabla 5 <i>Resultados de análisis de color y clase textural de suelo de 0 - 10 cm y de 10-30 cm de profundidad</i>	48

Índice de figuras

Figura 1 <i>Mapa de ubicación del área de investigación.</i>	33
Figura 2 <i>Flujograma del proyecto de investigación.</i>	¡Error! Marcador no definido.6
Figura 3 <i>Correlación de Pearson para las características físicas y químicas de los suelos de 0-10 cm de profundidad.</i>	41
Figura 4 <i>Componentes principales de variables para la profundidad de 0-10 cm.</i>	42
Figura 5 <i>Agrupamiento jerárquico de clúster para variables de 0-10 cm de profundidad.</i>	444
Figura 6 <i>Matriz de correlación de resultados de laboratorio de 10-30 cm de profundidad del suelo.</i>	455
Figura 7 <i>Componentes principales de variables para la profundidad de 10-30 cm.</i>	466
Figura 8 <i>Agrupamiento jerárquico de clúster para variables de 10-30 cm de profundidad.</i>	477
Figura 9 <i>Medición de parcelas en suelos con plantación de P. patula y georreferenciación.</i>	77
Figura 10 <i>Extracción de sub muestras a dos profundidades.</i>	77
Figura 11 <i>Homogenización de las sub muestras para formar la muestra compuesta.</i>	78
Figura 12 <i>Pesado de la muestra para envío a laboratorio.</i>	78
Figura 13 <i>Resultados de análisis de suelos con plantaciones de pino de 17 y 9 años de edad.</i> ..	799
Figura 14 <i>Resultados de análisis de suelos con plantaciones de pino de 6 años de edad y pajonal.</i>	80
Figura 15 <i>Resultados de análisis especial en suelo.</i>	81
Figura 16 <i>Resultados promedio de muestras de 0-10 cm de profundidad.</i>	822
Figura 17 <i>Resultados promedio de muestras de 10-30 cm de profundidad.</i>	822

Resumen

En Cajamarca tiene mayor realce las actividades de forestación y reforestación con especies introducidas de los géneros *Pinus* y *Eucalyptus*, sin embargo, poco se ha estudiado su impacto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de las plantaciones de *Pinus patula* sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos en el bosque montano de Chalamarca. Se eligieron plantaciones de *P. patula* de 6, 9 y 17 años, y como área de referencia o 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, Mg^{2+} , Ca^{2+} y K^+ , fueron inferiores respecto a suelos de pajonal. La humedad gravimétrica fue mayor 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 mayores en suelos con plantaciones de pino de 9 y 17 años. Se concluye que el *P. patula* influye de manera negativa en la mayoría de propiedades físicas y químicas de los suelos del bosque montano de Chalamarca. Se recomienda realizar más estudios sobre el tema, además realizar actividades de conservación de suelos.

Palabras clave: pajonal, materia orgánica, pH, nutrientes en el suelo, acidez cambiante, componentes principales.

Abstract

In Cajamarca, afforestation and reforestation activities with introduced species of the *Pinus* and *Eucalyptus* genera are more prominent; however, little has been studied about their impact on the physical and chemical properties of the soil. The objective of this work was to determine the effect of *Pinus patula* plantations on the physical and chemical properties of soils in the montane forest of Chalamarca. Plantations of *P. patula* of 6, 9 and 17 years were chosen, and the grassland soil adjacent to the plantations was chosen as the reference or control area. Twenty-four soil samples were collected at depths from 0 to 10 cm and from 10 to 30 cm in 3 plots of 5 x 8 m; each sample was composed of 10 subsamples. In pine soil from 0 to 10 cm, the percentage of silt, pH, sum of bases, percentage of base saturation, P, K, Mg²⁺, Ca²⁺ and K⁺, were lower compared to grassland soils. Gravimetric humidity was higher in plantations of 17 years; as well as organic matter, sum of cations, Al³⁺+H⁺, CIC. At depths from 10 to 30 cm, N, K, CE, and DA were higher in soils with 9- and 17-year-old pine plantations. It is concluded that *P. patula* has a negative influence on most of the physical and chemical properties of the Chalamarca montane forest soils. It is recommended to carry out more studies on the subject, also carry out soil conservation activities.

Keywords: grassland, organic matter, pH, soil nutrients, changeable acidity, main components.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

El *Pinus patula* Schiede ex schltl. y cham.es la especie más usada por instituciones públicas y privadas para realizar actividades de forestación y reforestación en la región Cajamarca. Se cosecha entre los 20 y 25 años para madera, además, las ramas podadas son aprovechadas para leña (Oliva et al., 2016).

La madera de *P. patula* se emplea para la elaboración de muebles, puertas, ventanas, techos, ebanistería, pisos, papel, parihuelas, paneles además en construcción y carpintería en general (Chicaiza, 2022). En el Perú, al 2017 fueron forestadas y reforestadas un total 1 069 768,27 hectáreas con especies nativas y exóticas. Cajamarca es la segunda región con más áreas reforestadas en suelos con predominancia de pajonales (124 615,25 ha), tan solo por detrás de Cusco; las especies del género *Pinus* han sido las más usadas para esta actividad (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2017).

Los pajonales que se encuentran en los bosques montanos son ecosistemas vulnerables de baja productividad, de descomposición y crecimiento lento por encontrarse sobre los 3200 m s.n.m. (Hofstede et al., 2002), están relacionados con temperaturas frías y condiciones muy húmedas, donde una de las principales especies que encontramos es la *Stipa* sp. los suelos tienen gran capacidad de retención de agua y en su mayoría son de pH ácido (Quinteros et al., 2013). Además estos suelos son de origen volcánico con presencia de aluminio y carbono orgánico, de color negro con alta porosidad, suaves de propiedades físicas benévolas (Espinosa, 2008).

La plantaciones de pino a lo largo de su desarrollo generan alteraciones en las propiedades físicas y químicas del suelo, como la densidad aparente, contenido de humedad, pH, concentración de fósforo y potasio (Barahona, 2012). Esta especie afecta considerablemente la

concentración de nutrientes en el suelo, donde se destaca la disminución de calcio, magnesio y nitrógeno, generando acidez en los suelos (Schlatter y Otero, 1995).

Con el fin de obtener información científica sobre la influencia de las plantaciones de pino en la propiedades físicas y químicas en los suelos del bosque montano de Chalamarca, se plantearon como objetivos determinar los efectos de las plantaciones de pino (*P. patula*) de 6, 9 y 17 años sobre el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), pH, materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), cationes cambiabiles, color, densidad aparente, la textura y humedad en los suelos del bosque montano. Y como hipótesis se estableció, que las plantaciones de *P. patula* de 6, 9 y 17 años alteran la concentración de macronutrientes, el color, la densidad aparente, la textura, el pH, la materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, cationes cambiabiles y la conductividad eléctrica en los suelos del bosque montano de Chalamarca.

1.1. Planteamiento del problema

El género *Pinus*, presenta hojas delgadas, frutos en forma de conos, corteza áspera con aberturas alargadas y ramas que emergen del fuste (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014). Tiene importancia maderera por su rápido crecimiento en comparación con otras especies forestales y se desarrollan con normalidad en bosques montanos hasta los 3 500 m s.n.m.

En Sudamérica los estudios son escasos sobre los efectos ambientales de las plantaciones con especies del género *Pinus* sobre los suelos en los bosques montanos, las investigaciones se han inclinado básicamente a los beneficios económicos de las plantaciones.

Al respecto, Pauchard et al. (2014) señalan que las plantaciones con pinos, fuera de su hábitat natural, pueden afectar los procesos naturales que se dan en el suelo y la superficie, y así como también modificar la biodiversidad. Por otra parte, la producción masiva de semillas se

convierte en un problema dado que colonizan nuevas áreas afectando a la vegetación nativa con lo cual producen cambios en los ecosistemas naturales.

En ese sentido, Guariguata et al. (2017), estiman que las comunidades campesinas poseen mayor área destinada para la forestación y reforestación en el Perú, siendo en primer lugar la región andina seguida de la Amazonía. Las especies más utilizadas para el establecimiento de las plantaciones forestales son el eucalipto (*Eucalyptus sp.*) y pino (*Pinus sp.*).

En relación a los efectos de las plantaciones de pino sobre los suelos, Barahona (2012) refiere que las estas a lo largo del tiempo alteran la densidad aparente, el contenido de humedad, el pH, las concentraciones de fósforo (P) y potasio (K).

En el mismo sentido, Fernández et al. (2019), mencionan que en pajonales las plantaciones de pino han afectado de manera considerable la densidad aparente del suelo con lo cual ha disminuido principalmente la capacidad de retención de agua, concluyendo por tanto que estas especies no son apropiadas para este tipo de ecosistemas.

Por otra parte, la escasez de trabajos científicos que reporten los efectos de las plantaciones forestales con pino sobre las características físicas y químicas de los suelos en ecosistemas frágiles como el bosque montano de Chalamarca, genera incertidumbre en la comunidad de Bella Andina y alrededores donde se realizan actividades de reforestación con esta especie.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son los efectos de las plantaciones de pino (*Pinus patula*) sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos del bosque montano de Chalamarca, Cajamarca, Perú?

1.3. Justificación

Entre las actividades productivas que se vienen realizando en los bosques montanos, entre otras destaca la forestación con especies introducidas como *P. patula*. Estas actividades vienen siendo impulsadas por los gobiernos locales, regionales, así como ONG con fines ambientales, sociales y económicos. Entre ellos se destacan la captura de carbono, generación de empleo y captación de mayores ingresos económicos por medio del aprovechamiento maderable.

De acuerdo a los reportes de Sánchez (2019), en Cajamarca se encuentran la mayor cantidad de áreas plantadas con pino, estas plantaciones están establecidas en mayor proporción en la Granja Porcón de la Cooperativa Atahualpa – Jerusalén, donde a la fecha cuenta con 11000 ha aproximadamente. En los últimos años en los bosques montanos de Chalamarca las actividades de reforestación con *P. patula* se han intensificado considerablemente. Sin embargo, a lo largo de los años los estudios son escasos sobre los efectos que generan en los suelos en cuanto a sus propiedades físicas y químicas. Por lo expuesto, es necesario determinar los efectos de las plantaciones de *P. patula* sobre la calidad de los suelos de los bosques montanos con la finalidad de disponer de información para la implementación de prácticas de manejo silvicultural que permitan el desarrollo de la actividad forestal de manera sostenible, conservar el recurso suelo indispensable para el desarrollo de la vida en la superficie de los continentes.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Determinar el efecto de las plantaciones de *Pinus patula* sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos en el bosque montano de Chalamarca, Chota-Cajamarca, Perú.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- ✓ Evaluar el efecto de las plantaciones de *Pinus patula* de 6, 9 y 17 años sobre el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), potasio cambiante (K^+), calcio cambiante (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y sodio cambiante (Na^+) en los suelos del bosque montano de Chalamarca, Chota-Cajamarca, Perú.
- ✓ Evaluar el efecto de las plantaciones de *Pinus patula* de 6, 9 y 17 años sobre el pH, materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), acidez potencial o cambiante ($Al^{3+}+H^+$), suma de cationes (SC), suma de bases (SB) y porcentaje de saturación de bases (STB) en los suelos del bosque montano de Chalamarca, Chota-Cajamarca, Perú.
- ✓ Evaluar el efecto de las plantaciones de *Pinus patula* de 6, 9 y 17 años sobre el color, densidad aparente (DA), la textura y humedad gravimétrica (HG) en los suelos del bosque montano de Chalamarca, Chota-Cajamarca, Perú.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Quichimbo et al. (2015) evaluaron los efectos del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos del páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. Este estudio fue realizado con el objetivo de determinar el comportamiento de los suelos frente a las actividades antrópicas para la adopción de nuevas políticas en torno a la gestión adecuada de ecosistemas de páramo. El estudio se realizó en un área aproximada de 13,92 km², utilizando muestreo no probabilístico a través de transectos: dos longitudinales y 3 transversales.

Se tomaron muestras de suelo alteradas e inalteradas; para las alteradas se tomó áreas de 10 m por 10 m y para las muestras inalteradas se tomaron en anillos de Kopecky de 100 m² por cada horizonte 2 anillos. Fueron 8 tipos de uso de suelo los evaluados, entre ellos bosque de pino, pajonal y bosque montano alto, analizando propiedades físicas y químicas de los suelos por horizontes. Los resultados mostraron que las propiedades físicas de los suelos en los horizontes superficiales se ven afectados por la actividad antrópica, mientras que las propiedades químicas se ven alteradas con notoriedad en horizontes subsuperficiales.

Arres et al. (2012), evaluaron las modificaciones físicas y químicas del suelo al establecer una plantación de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* DK Bailey, en México. El estudio fue realizado con el objetivo de conocer los cambios que se dan en las propiedades del suelo a 18 años que se han instalado las plantaciones de *Pinus cembroides*. El estudio se realizó en una zona agrícola y bosque es de pino encino, *Pinus oaxacana* y *Pinus teocote*, en el área de plantaciones de pino se tomaron 9 muestras con una profundidad de 60 cm, tomando de 100 g a 200 g de suelo para luego homogenizar y obtener 1 kg para analizar, en el suelo agrícola se tomaron 3 muestras. Los resultados del trabajo muestran un aumento leve de materia orgánica, el pH baja sus valores

de manera marcada; por su parte el Na, K, marchites permanente, agua aprovechable y capacidad de campo elevan sus valores.

Dionisio (2012), evaluó el efecto de las plantaciones de *Pinus* sobre las propiedades del suelo, Cullpa Alta, Huancayo – Junín. El objetivo fue identificar el efecto de las plantaciones de *Pinus* sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en función a la vegetación propia de la zona. El estudio se realizó con un diseño de investigación no experimental de corte transversal descriptiva y comparativa, en un área de 300 m² con tres sitios de muestreo dos en plantaciones de pino y uno en vegetación nativa, haciendo un total de nueve muestras obteniendo un kg de muestras por cada sitio de muestreo. Los resultados del estudio muestran que las plantaciones de pino tuvieron efecto en las propiedades físicas del suelo, como la disminución de la porosidad y un aumento en la densidad conllevando a la compactación, los efectos en las propiedades químicas se ven reflejados en la reducción de los valores de pH y materia orgánica, poca capacidad de intercambio catiónico.

Ruiz (2014), evaluó el impacto de la forestación con *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. y cham. sobre la diversidad vegetal y los suelos en el páramo de Mucubají, parque nacional sierra nevada. El objetivo fue determinar el impacto de las plantaciones de pino en las propiedades del suelo de páramo. El muestreo se realizó en 4 parcelas (plantación, borde interno, borde externo y suelos no forestados) obteniendo 6 réplicas por cada parcela (5 m x 5 m), con un total de 24 unidades de muestra con profundidad de 0-10 cm utilizando el método de cuadrado puntual para evaluar pH, materia orgánica y la diversidad de especies presentes; en las plantaciones de pino el muestreo se realizó a 12 m como mínimo al borde del bosque, para muestreo de borde interno se tomó en cuenta la proyección vertical de la última rama y luego se midió 2,5 m hacia el interior del bosque este punto indicaba el centro de la parcela de estudio, el muestreo para borde externo

tuvo como referencia la proyección vertical de la última rama de pino cuyo punto fue tomado como centro de la parcela de estudio y para el muestreo de áreas no forestadas se tomó en cuenta parcelas de páramo sin indicios de acción antrópica. El estudio arrojó los siguientes resultados: el pH y materia orgánica tienen una disminución significativa en la superficie del suelo (0-5 cm) con respecto a las plantaciones y páramo no forestado, la abundancia de especies también se ve afectado bajo las plantaciones de pino.

Palma et al. (2015), evaluaron los cambios en las propiedades del suelo en plantaciones de eucalipto de tabasco, México. Este estudio fue realizado con el objetivo de analizar los efectos en las propiedades físicas y químicas del suelo por influencia de las plantaciones de eucalipto. Para realizar el trabajo se identificaron seis sitios de estudio; cuatro plantaciones de eucalipto con distintas edades, un pastizal natural y un espacio de vegetación secundaria (acahual), en cada área de estudio se realizaron 4 parcelas de 50 x 30 m de las cuales se tomaron muestras compuestas de 1,5 Kg a partir de 10 submuestras de 0 – 10 cm y de 10 – 30 cm de profundidad obtenidas en zig – zag. Los resultados obtenidos demuestran que las plantaciones de eucalipto, pastizal acahual mantienen la materia orgánica del suelo, por su parte el N, P, K, Ca y Mg se ven comprometidas en los suelos bajo las plantaciones de eucalipto.

Rodríguez et al. (2018), evaluaron los suelos y plantaciones de *Pinus nigra* subesp. *salzmannii* en La Rioja (España). Este estudio fue realizado con el objetivo de realizar una primera aproximación a los suelos de las plantaciones de pino y a la influencia de las condiciones edáficas y climáticas sobre el desarrollo de esta especie y las especies propias de la zona. Se evaluaron 18 parcelas de 200 m², aparentemente que no han sido afectadas por actividades antrópicas o incendios, 4 sobre sedimentos en glaciares, 8 parcelas sobre conglomerados y calizas, y 6 parcelas sobre lutitas silíceas y areniscas. De las parcelas 3 se prepararon por ahoyado, 8 por fajas y 7 en

terrazas. Se llevó a cabo un inventario visual de las especies vegetales que se encuentran en el lugar. Los resultados muestran diferencias en los suelos en plantaciones de *P. nigra* comparado a los suelos con vegetación nativa, los valores de carbono orgánico en las plantaciones de pino con respecto las especies nativas bajan a menos de 3%, el valor de pH disminuye en lo mínimo, por otra parte queda demostrado que los horizontes minerales del suelo acumulan una cantidad de mayor importancia de carbono orgánico en este tipo de ecosistemas con una aproximación al 60% del total acumulado en las plantaciones de pino.

Fernández et al. (2019), evaluaron la cuantificación de la captura de carbono y análisis de las propiedades del suelo en coberturas naturales y una plantación de pino en el páramo de Rabanal, Colombia. Se evaluó comportamiento de las propiedades físicas y químicas del suelo, al interior de este tipo de ecosistemas y, así de esta forma, conocer la dinámica del páramo de mejor manera, con la finalidad de dar pautas para la gestión adecuada de estos ecosistemas estratégicos, en el páramo de Rabanal. Se realizó un muestreo sistemático en malla rígida de 48 puntos a profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm (350 m entre puntos) en un área de 500 ha que contiene plantaciones de pino y vegetación propia de páramo. Los resultados presentan una disminución de la capacidad hídrica de los suelos en el área estudiada cuyo factor es la elevación del valor de la densidad aparente en los suelos que se encuentran debajo de las plantaciones de pinos; el pH, la densidad aparente y la humedad gravimétrica presentaron cambios significativos entre las plantaciones de pino y la vegetación nativa, en cambio el porcentaje de carbono y la materia orgánica no presentan cambios significativos.

Mayta (2019), evaluó el efecto de la plantación forestal de Pino (*Pinus radiata* D. Don) sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en la comunidad Huerta Huaraya – Puno. Este estudio se realizó con el objetivo de determinar las modificaciones en las propiedades físicas y

químicas del suelo: materia orgánica, pH, densidad aparente, nitrógeno, fósforo y potasio. Las muestras se tomaron de 2 parcelas (5 muestras por área) de 1 hectárea cada una con plantaciones de pino y pasturas respectivamente a profundidad de 0-15 cm. Los resultados dan a conocer que las plantaciones de pino ejercen alteración significativa en las propiedades físicas y químicas del suelo como: densidad aparente, materia orgánica, nitrógeno y potasio; mientras que en fósforo y pH los valores son similares en suelos con plantaciones de pino y pasturas.

2.2. Bases teórico-científicas

2.2.1. Bosque montano

Los bosques montanos tropicales presentan una gran riqueza de flora y fauna que se encuentran amenazados por el crecimiento de actividades antrópicas (Myers et al., 2000). Ecológicamente cumplen un rol muy importante en la recarga hídrica de acuíferos y conservación de biodiversidad; los bosques montanos son ecosistemas frágiles a la erosión por su topografía con pendientes considerables y debido a la precipitación pluvial que es constante a lo largo de todo el año (Bussmann, 2005).

El bosque pluvial montano tropical en la región Cajamarca se encuentra entre los 2900 y 3900 m s.n.m., con un promedio de precipitación pluvial que varía de 2000 a 2500 milímetros, temperatura entre 12 °C y 6 °C, clima super húmedo templado frío y vegetación relativamente baja (Vásquez, 2011). Los bosques montanos de Chota se caracterizan por presentar grandes extensiones de pajonales que retienen grandes cantidades de agua (Galán de Mera et al., 2015).

2.2.2. Pino (*Pinus patula*)

Los pinos son árboles con alto contenido de resina pertenecientes a la familia de las Pinaceae de tronco recto con ramificación lateral de forma piramidal o cónica, pueden llegar alcanzar una altura de 20 m a 30 m según las condiciones ambientales del lugar donde se

desarrollan (Tapia y Pacheco, 2015). Sus hojas aciculares están dispuestas en las ramas agrupadas en fascículos sobre braquiblastos y frutos en forma de conos; el género *Pinus* presenta un aproximado de 90 especies que se extienden por todo el mundo principalmente en climas fríos y húmedos, su importancia está en el potencial maderable, y celulosa para la elaboración de insumos (López y Mateo, 2005).

La madera del pino, considerada como liviana, se usa en carpintería, para la elaboración de muebles, puertas, ventanas, etc. también como material de construcción o acabados como techos, vigas, pisos, paneles, postes, encofrados, etc. (Bacón y Diaz, 2016).

2.2.3. Suelo

Se denomina suelo a la capa superficial de la corteza terrestre, medio en el cual se desarrollan las plantas y diversos ecosistemas; tiene la capacidad de aportar nutrientes a los vegetales, aireación de raíces y almacenar agua para luego abastecer a las plantas, el suelo presenta capas llamados horizontes cada uno con diferentes propiedades que los demás (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2015).

2.2.4. Textura del suelo

La textura del suelo es la proporción de componentes inorgánicos de tamaños diferentes como arena, limo y arcilla, estos componentes influyen en la fertilidad, retención de agua, drenaje, contenido de materia orgánica entre otras propiedades (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019). Se consideran arena, limo y arcilla a partículas menores a 2 mm de diámetro existentes en los horizontes del suelo (Gisbert et al., 2014).

2.2.5. Densidad aparente

Los valores de la densidad aparente dependen de factores como la textura, estructura y contenido de materia orgánica, los suelos bien estructurados con textura fina y altas concentraciones de materia orgánica presentan valores bajos de densidad aparente (Rubio, 2010). Al bajar el valor de la densidad aparente se incrementa la compactación afectando la capacidad del suelo de retener agua y humedad (Salamanca y Sedeghian, 2005). Los suelos de los bosques montanos presentan gran cantidad de materia orgánica con capacidad de retener agua (Bach et al., 2003). Al disminuir la densidad de los suelos se reduce la infiltración el agua generando escorrentía superficial dando paso a la degradación del suelo por erosión hídrica (Américo & Hossne, 2008).

2.2.6. pH

El pH es la medida de la concentración de iones de hidrógeno, valores que están entre 0 y 14, el valor de pH 7 se dice que es neutro, menores a 7 son ácidos y mayores a 7 son básicos o alcalinos, los valores alejados de 7 son peligrosos (Campos, 2011). El pH en el suelo depende de la composición de las rocas, además intervienen las concentraciones de materia orgánica que tiene efecto acidificante (Ochoa et al., 2004).

2.2.7. Materia Orgánica (MO)

La materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo, así mismo los residuos de las plantas constituyen el material principal originario de la materia orgánica del suelo (Tuesta, 2015). El contenido de la MO indica la calidad del suelo, determina la cantidad y actividad biológica, de la fauna en el suelo, la cual influye en las propiedades físicas y químicas del suelo, aumentando la infiltración, resistencia contra erosión, aumenta la disponibilidad de agua además mejora la dinámica y disponibilidad de nutrientes para los vegetales (Andriulo y Irizar, 2017).

2.2.8. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico es un indicador de la porción de cargas negativas que se encuentran en los componentes orgánicos y superficies de los minerales en el suelo como arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas que muestra la cantidad de cationes que puede retener las superficies (Pérez et al., 2017).

2.2.9. Conductividad eléctrica (CE)

Es la capacidad del suelo para conducir una corriente eléctrica, la CE está influenciada por las propiedades físicas y químicas del suelo, la CE aumentará si el suelo presenta mayor contenido de humedad, mayor contenido de sales minerales, también aumentará la CE si la textura del suelo es más fina, esto se debe a que las partículas más finas tienen mayor capacidad de retener agua (Vázquez et al., 2013).

2.2.10. Nitrógeno (N)

El N es uno de los macronutrientes más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Wilson et al., 2017). En el suelo, la fuente más importante de N es la MO que contiene más del 90% del total de N; para ser aprovechado por las plantas tiene que darse una serie de reacciones y actividades de los microorganismos para la descomposición de la MO, de este modo el N se libera en forma de amonio y nitratos para que disponible para las plantas (Galantini et al., 2018). Es uno de los nutrientes más valiosos en la planta, que se encuentra contenido en tejidos vegetales de 2-4 % de materia seca; el resto 80-85 % corresponde a las proteínas y 10 % a los ácidos nucleicos (Berríos, 2015).

2.2.11. Fósforo (P)

El P es un macronutriente que participa en los procesos bioquímicos de la planta a nivel celular; es un factor que acelera el desarrollo de raíces y plántulas, interviene en la resistencia a

bajas temperaturas, así como también incrementa la eficiencia del uso de agua y la resistencia a agentes patógenos (Wilson et al., 2017). La disponibilidad de este nutriente de factores que intervienen en los procesos biogeoquímicos que se desarrollan en el suelo, la capacidad del suelo para proveer P es muy variable aun cuando el P total exceda las concentraciones que necesitan las plantas estas pueden sufrir ineficiencia (Suñer et al., 2018).

2.2.12. Potasio (K)

El K en el suelo es generado a partir de la desintegración y descomposición de las rocas que contienen dicho elemento, también se origina de la descomposición de restos animales y vegetales que se concentran en el suelo en altas concentraciones, pero solo un pequeño % está disponible para los vegetales (Tuesta, 2015). En los bosques montanos por la descomposición masiva de vegetales podemos decir que presenta concentración alta de K que puede cambiar en suelos con plantaciones de pino por la degradación lenta de las acículas.

2.2.13. Azufre (S)

Macronutriente indispensable para diversas reacciones que se dan en las células vivientes de las plantas, además es el componente básico de las proteínas; la inhibición de la síntesis proteica que regula la fotosíntesis y fijación de nitrógeno se debe a la deficiencia de azufre en el suelo, el S que puede estar disponible para las plantas se encuentra en la MO, gases de S de la atmósfera y minerales del suelo (Sanzano, 2019).

2.2.14. Calcio (Ca)

El calcio genera estabilidad de las membranas y pared celular, debido a que interactúa con el ácido péptico que se encuentra entre la lámina media y la pared celular; gracias a los grupos fosfato y carboxilo el calcio cumple una función estabilizadora e las membranas, este

elemento influye en el crecimiento radical de las plantas, por lo tanto, la falta o disminución de calcio en el suelo detiene el crecimiento de las raíces (Díaz et al., 2007).

2.2.15. Magnesio

El magnesio en el suelo es muy dinámico y está influenciado por varios factores como la temperatura, el clima, el pH del suelo y por presencia de diferentes cationes (Ross, 2004). La cantidad de potasio en el suelo puede afectar la absorción de magnesio en una planta, la deficiencia de este nutriente en el suelo se puede dar por altas concentraciones de potasio (Pinilla et al., 2011).

2.2.16. Efecto de las plantaciones de pino en el suelo

Las plantaciones de pino alteran negativamente las características del suelo, reduce de manera considerada el pH; debido a la acidez en los suelos bajo plantaciones de pino existe una baja disponibilidad de nutrientes, mientras mayor sea la pendiente en las plantaciones de pino existirá una mayor reducción de calidad de suelo; estas especies exóticas también generan una gran pérdida de especies endémicas (Mancheno, 2011). Las características físicas del suelo como la densidad aparente que aumenta significativamente y la porosidad disminuye, se ven afectadas por las plantaciones de pino (Dionisio, 2012).

Las plantaciones de pino en los bosques montanos pueden influir de manera negativa o positiva en la textura del suelo, con el estudio se pretende responder incógnitas sobre su impacto y así dotar de información a la población para tomar medidas de conservación de estos ecosistemas.

2.2.17. Análisis de componentes principales

Técnica multivariada usada para explicar el cambio de un grupo de variables originales por medio de un grupo menor de variables no correlacionadas denominadas componentes principales; el análisis de componentes principales modifica los datos multidimensionales en unas pocas

variables que expresan una gran parte de las fluctuaciones de las variables originales y sus relaciones entre sí (Zamora et al., 2021).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Disponibilidad de nutrientes

Los nutrientes se hacen disponibles en gran parte debido a los procesos biológicos en el suelo, depende de varios factores complejos y mutuamente dependientes, del retorno de cadáveres y materia vegetal muerta al suelo, de la eficiencia que las plantas presenten en la conservación de los nutrientes en sus tejidos; y de las condiciones climáticas (Gallardo et al., 2009).

2.3.2. Densidad aparente

Definida como el peso seco de una unidad de volumen de suelo, la densidad aparente con más frecuencia en los suelos con especies forestales es del orden de $0,9 \text{ g/cm}^3$; y las más bajas se encuentran en climas fríos con formación de suelos turbosos debido a la aglomeración de materia orgánica (Dionisio, 2012).

2.3.3. Influencia

Factor evaluado para determinar el efecto causado por las plantaciones forestales en las propiedades de los suelos (Rengifo, 2014).

2.3.4. Fósforo

Es el elemento que está presente en la mayoría de procesos metabólicos de un vegetal, las plantas tienen un contenido de fósforo que varía entre el 0,1% y el 1,2%, estando al menos el 80% incorporado a compuestos orgánicos, la absorción del fósforo es activa metabólicamente (Berríos, 2015).

2.3.5. *Materia orgánica*

Está formada por todos los materiales orgánicos muertos, de origen animal o vegetal, junto con los productos orgánicos producidos en su transformación (FAO, 2000). Componente fundamental en los procesos edáficos, propicia la formación de agregados, mejora la calidad de los suelos incrementando los flujos de agua, aire y calor; esta es muy importante ya que aumenta la capacidad de intercambio de cationes en el suelo disminuyendo la pérdida de elementos nutritivos por lixiviación (Medina et al., 2017). La materia orgánica del suelo es el principal indicador de su actividad biológica y calidad (Rengifo, 2014).

2.3.6. *Nutrientes*

Fundamentales para el crecimiento de las plantas. El contenido de nutrientes del suelo depende del material y el proceso de formación del suelo, contenido original del suelo, del abastecimiento y naturaleza de los fertilizantes, de la intensidad de la lixiviación y la erosión, de la absorción de los nutrientes por parte de las plantas y de la CIC del suelo (FAO, 2000).

2.3.7. *Plantaciones forestales*

Son forestales instalados en un proceso de forestación o reforestación. Estas pueden ser especies introducidas o propias de la zona que cumplen con los requisitos de una superficie mínima de 0.5 ha; una cubierta de copa de al menos el 10% de la cubierta de la tierra, y una altura total de los árboles adultos por encima de los 5 m (FAO, 2002).

2.3.8. *pH*

El potencial de hidrógeno (pH) indica el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo indicando si un suelo es ácido o alcalino; es un indicador principal de disponibilidad de nutrientes para la vegetación, influye en la movilidad, disponibilidad, solubilidad y de otros constituyentes y contaminantes presentes en el suelos; en el rango de pH de 5,5 a menos se

encuentran los suelos muy ácidos presentando aluminio y manganeso en altas cantidades y tóxicos; los suelos muy alcalinos con pH de 8,5 a más tienden a dispersarse; el pH ideal para la actividad de microorganismos en el suelo es de 6,5 (FAO, 2019)

2.3.9. Pino (*Pinus sp.*)

Pertenecen a la familia Pináceas, en su mayoría las especies son originarias de las zonas templadas y, mediterráneas de Europa, Asia y Norteamérica, son árboles resinosos, de tronco derecho, corteza rugosa, escamosa y rojiza; la diferencia entre las especies es por el número de agujas agrupadas, tamaño de cono y semillas, aspecto, etc. (Mancheno, 2011).

2.3.10. Potasio

Esencial para que las plantas se desenvuelvan y completen su ciclo biológico, participa directa o indirectamente de innumerables procesos bioquímicos como metabolismo de carbohidratos, fotosíntesis y respiración, su carencia refleja baja tasa de crecimiento (Berríos, 2015).

2.3.11. Propiedades físicas

Las propiedades físicas del suelo representan las condiciones del suelo para el desarrollo de raíces, drenaje del recurso hídrico y concentraciones de aire (Rengifo, 2014).

2.3.12. Propiedades Químicas

Concentración y disponibilidad de electos esenciales para el desarrollo de las plantas entre ellos encontramos el fósforo, nitrógeno, potasio, materia orgánica, pH, etc. (Gómez et al., 2006).

2.3.13. Suelo

Escenario de un balance entre el reciclaje de residuos orgánicos de las plantas y la descomposición por los organismos del suelo (Dionisio, 2012). Es un ecosistema vivo donde interactúan microorganismos como también la macrofauna en diferentes procesos metabólicos, es

la base para otros ecosistemas considerado como recurso no renovable con respecto a la vida humana ya que tienen que pasar miles de años para su formación (Olías y Laura, 2009).

2.3.14. Textura

La textura es la proporción de arena, limo y arcilla presentes en un suelo; la arena tiene baja retención de agua, bastante aireación, drenaje alto, retención mínima de nutrientes; los limos presentan mayor acción química e hídrica que las arenas, son los más recomendables para actividades agrícolas; las arcillas son partículas que tienen más acción física, química e hídrica en el suelo, presentan drenaje muy lento, retienen mayor cantidad de nutrientes, agua y materia orgánica, son los menos expuestos a la erosión hídrica (Delgado, 2017).

Esta característica es muy importante ya que determina la capacidad de absorción y de almacenamiento del agua, la facilidad de cultivarlo, la cantidad de aire (vital para el crecimiento radicular) e influenciará la fertilidad (Rengifo, 2014).

2.4. Hipótesis

Las plantaciones de 6, 9 y 17 años de *Pinus patula* alteran las propiedades físicas y químicas en los suelos del bosque montano de Chalamarca, Chota-Cajamarca, Perú.

2.5. Operacionalización de variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

	Variables	Definición	Dimensión	Indicadores
Variable independiente	Plantaciones de <i>P. patula</i>	Áreas forestadas o reforestadas con <i>P. patula</i> localizadas en el distrito de Chalamarca, provincia de Chota.	Edad de la plantación	6 años 9 años 17 años
	Pajonal	Lugar donde predomina especies herbáceas de la familia poaceae principalmente.	Pajonal permanente	Suelo sin actividad antrópica
Variable dependiente	Propiedades químicas	Son las características de un suelo definida por la presencia de ciertos elementos químicos y sus reacciones.	Elementos presentes en el suelo y relación entre sí.	Nitrógeno (N) Fósforo (P) Potasio (K) Potasio cambiante (K ⁺) Calcio cambiante (Ca ²⁺) Magnesio cambiante (Mg ²⁺) pH Acidez potencial (Al ³⁺ +H ⁺) Sodio cambiante (Na ⁺) Materia orgánica (MO) Capacidad de intercambio catiónico (CIC) Conductividad eléctrica (CE) Color
	Propiedades físicas	Son las características y condiciones del suelo como textura, concentración de aire, color, etc.	-	Densidad aparente (DA) Textura Humedad gravimétrica (HG)

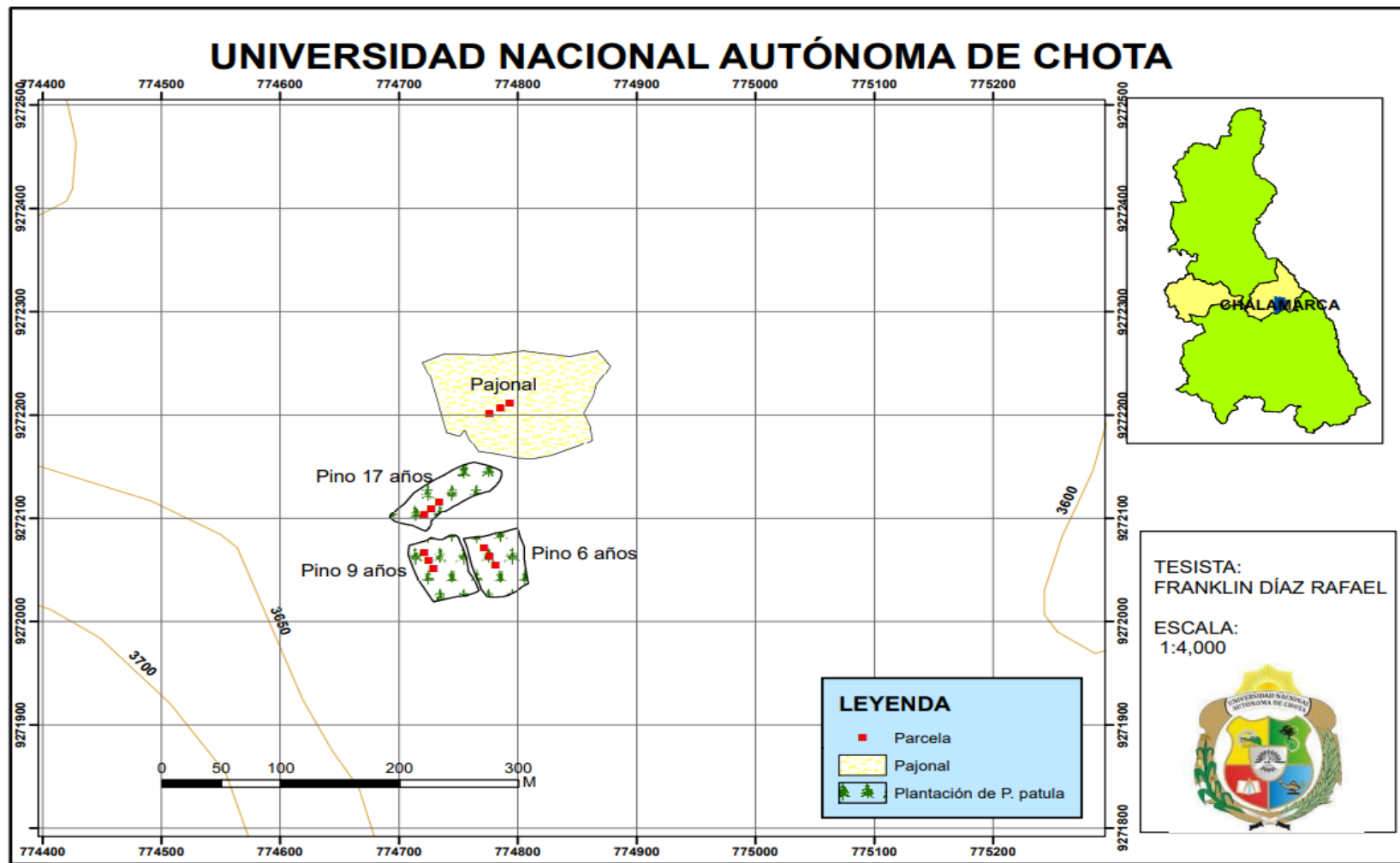
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

El estudio se realizó en plantaciones de *P. patula* de 6, 9 y 17 años en un área de pajonal ubicada en el centro poblado de Bella Andina perteneciente al distrito de Chalamarca, provincia de Chota, Región Cajamarca, a una altitud promedio de 3650 m s.n.m. (Figura 1). Chalamarca es uno de los 19 distritos de la provincia de Chota región Cajamarca ubicado a 2400 m s.n.m. punto más cercano al área estudiada presenta una temperatura media de 21°C y precipitación pluvial anual promedio de 958 mm (SENAMHI, 2020). Las coordenadas UTM del área de estudio se presentan en la Tabla 2.

Figura 1

Mapa de ubicación del área de investigación.



Nota. La figura muestra la ubicación del área de investigación y la disposición de cada una de las parcelas en las plantaciones de *P. patula* y pajonal.

Tabla 2*Ubicación del área de estudio*

Área de estudio	Coordenadas (UTM)		Altitud
	Este	Norte	(m s.n.m)
<i>P. patula</i> de 6 años	774769	9272046	3658
<i>P. patula</i> de 9 años	774727	9272049	3651
<i>P. patula</i> de 17 años	774724	9272111	3653
Pajonal	774784	9272214	3641

Nota. Datos obtenidos usando GPS. Zona: 17M, WGS: 84S

- Accesibilidad

El acceso a la comunidad de Bella Andina es por carretera afirmada a dos horas de la ciudad de Chota. Se toma la ruta en dirección a centro poblado de Rojaspampa, luego la ruta a Bella Andina, la carretera no llega hasta el lugar de estudio y se tiene que caminar 25 minutos aproximadamente.

- Relieve

El relieve de la comunidad de Bella Andina está conformado por planicies y montañas donde se encuentran pequeñas lagunas y numerosas nacientes de agua. El lugar de estudio se ubica en planicie con poca pendiente (entre 2-5%).

- Principales actividades

Las principales actividades económicas que realizan los comuneros de Bella Andina, es la agricultura, donde cultivan papa, oca, olluco, etc. Así mismo, se dedican a la crianza de cuyes, ganado vacuno, ovino y en los últimos años va tomando fuerza la actividad forestal con plantaciones de pino.

3.2. Tipo y nivel de investigación

Según el control de las variables es de tipo no experimental, porque no se puede manipular deliberadamente las variables; es decir se trata de una investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes, es de tipo Expost- facto, porque se basa en eventos ya ocurridos, según el periodo de estudio es de tipo Transversal porque se da en momento donde sucedió el evento y según su enfoque es de tipo cualitativo. La investigación es de nivel descriptivo, porque busca especificar las propiedades o características de los suelos con plantaciones de pino del bosque montano de Chalamarca.

3.3. Diseño de investigación

La evaluación se realizó en plantaciones de pino de 3 edades (6, 9, 17 años) y de pajonal sin indicios de acción antrópica (testigo), para la cual se desarrolló un método de muestreo no probabilístico. En cada plantación y en el área de pajonal se establecieron 3 parcelas y/o repeticiones de 5 m x 8 m (40 m² cada una), en cada parcela, se tomó dos muestras compuestas de suelo de 1 kg a dos profundidades de 0-10 cm y 10-30 cm, haciendo un total de 24 muestras que se formaron a partir de la mezcla de 10 submuestras por parcela para cada profundidad diferente, tomadas en los lados más largos de las parcelas (cinco por lado) a 1,5 m de distancia una de la otra en zig-zag, que consiste en formar líneas cruzadas sin tomar en cuenta la distancia al tronco de los árboles, para eliminar el efecto de borde en las plantaciones forestales se dejó un espacio de 10 m del perímetro hacia el bosque (Palma et al., 2015).

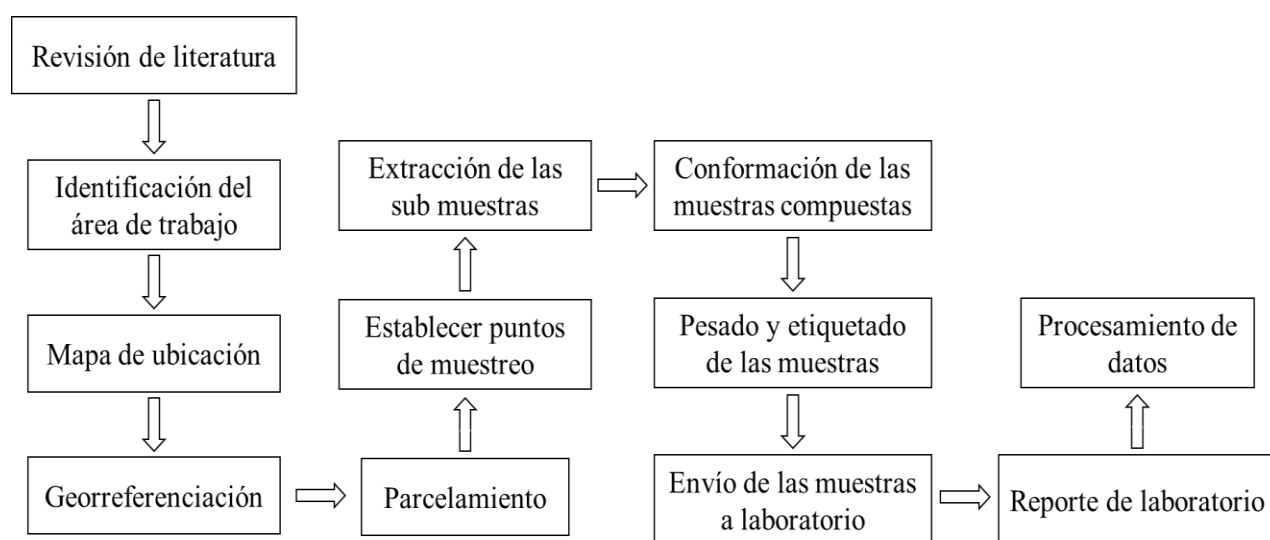
3.4. Métodos de investigación

3.4.1. Flujograma del proyecto de la investigación

En la figura 2 se muestran los pasos que se han seguido para hacer realidad el trabajo de investigación.

Figura 2

Flujograma del proyecto de investigación.



Nota. En la figura se muestran las actividades realizadas en la investigación.

3.4.2. Equipos y materiales

En la investigación se utilizó los siguientes equipos y materiales

- GPS
- Pico
- Palana
- Bolsas ziploc
- Wincha de 50 m
- Marcador

- Cuaderno de campo
- Lapicero
- Balanza digital
- Regla graduada
- Etiquetas
- Cámara fotográfica

3.4.3. Trabajo de campo

a. Establecimiento de parcelas

Se establecieron 12 parcelas de 5 x 8 metros siendo un total de 40 m², tres en plantaciones de pino de seis años, tres en plantaciones de pino de nueve años, 3 en plantaciones de pino de 17 años y tres en suelos testigo o pajonales. En las plantaciones de pino para eliminar el efecto de borde se dejó un espacio de 10 m del perímetro del bosque. En cada parcela se tomaron las coordenadas UTM.

b. Puntos de muestreo

En cada parcela se fijaron 10 puntos de muestreo distribuidos en zig-zag por los lados más largos de la parcela a 1,5 m uno del otro.

c. Muestreo

De cada punto de muestreo utilizando pico, palana y regla graduada se tomó 10 submuestras de los primeros 10 cm de profundidad y 10 submuestras de 10 a 30 cm de profundidad, siguiendo el “Protocolo Técnico para el Muestreo de Suelos en Pasturas” (INIA, 2014)

d. Homogenización y cuarteo de submuestras

En una manta se homogenizó las 10 submuestras de cada profundidad para posteriormente por el método de cuarteo tomar muestras de 1 kg en bolsas ziploc.

e. Etiquetado de muestras y envío a laboratorio

Con el fin de tener bien identificadas cada una de las muestras se etiquetó con los datos necesarios y luego fueron enviados al laboratorio de agua, suelos, medio ambiente y fertirriego de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

3.5 Población, muestra y muestreo

3.5.1. Población

La población está conformada por las plantaciones de *P. patula* de diferentes edades (6, 9 y 17 años) y pajonales ubicados en la propiedad del señor Leonides Tirado Irigoín ubicadas a una altitud promedio de 3650 m s.n.m. cuya extensión total es de 15 ha. Donde existen aproximadamente 2 ha de plantas de pino.

3.5.2. Muestra

La muestra se conformó de 12 parcelas, nueve de pino de diferentes edades (6, 9 y 17 años) y tres de pajonal, todas ubicadas en el centro poblado de Bella Andina distrito de Chalamarca, provincia de Chota, región Cajamarca. El área total de la muestra fue de 480 m², equivalente al 0,32% del total de la población.

3.5.3. Muestreo

Una vez identificadas las plantaciones de pino de 6, 9 y 17 años, así como también el pajonal; se establecieron tres parcelas de 40 m² (5 x 8m) en cada plantación de pino y dentro del pajonal, así como también se georreferenció todas las parcelas establecidas (12 parcelas) (Figura 9).

En cada parcela se tomó dos muestras compuestas a dos profundidades de 0-10 cm y de 10-30 cm a partir de 10 sub muestras dispuestas en zig zag en cada parcela siguiendo los pasos

establecidos en el “Protocolo Técnico para el Muestreo de Suelos en Pasturas” (INIA, 2014) (Figura 10). Luego se procedió a pesar y etiquetar las muestras para enviarlas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina (Figura 12).

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo en 12 parcelas de 40 m², tres parcelas para cada área de estudio seleccionadas al azar. Las muestras fueron tomadas de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm de profundidad.

Se tomaron muestras de suelo de 1 kg formadas a partir de 10 submuestras para la evaluación de propiedades físicas y químicas.

Los análisis de suelo se desarrollaron en el Laboratorio de agua, suelos, medio ambiente y fertirriego de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La tabulación de los datos se realizó con el programa Microsoft Excel (2013). Para determinar la asociación entre variables se utilizó la correlación de Pearson a 5% de probabilidad, debido a que en este estudio se trabajó con variables continuas con distribución normal. Seguidamente, se realizó análisis multivariado de componentes principales (ACP) y de Conglomerados con base en el método de agrupamiento jerárquico utilizando la distancia Euclidiana, cuya finalidad es visualizar la disimilaridad de las características físicas y químicas de los suelos en cada una de las edades de las plantaciones de pino y del área de pajonal. Ambos análisis fueron realizados con el software Infostat.

3.8. Aspectos éticos

La presente investigación se realizó respetando la propiedad privada (se solicitó permiso al propietario del área evaluada). Este estudio contribuye al conocimiento científico de la población de forma seria respetando la información obtenida por diferentes autores.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados

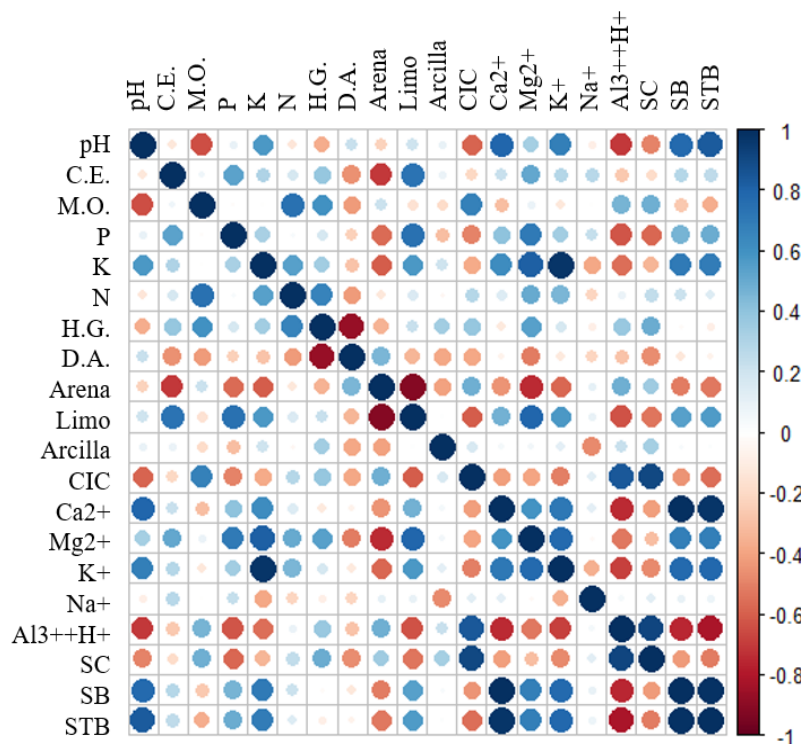
Todas las figuras y tablas que se presentan a continuación están elaboradas en base a los resultados de análisis de suelos obtenidos del laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

4.1.1. Correlación de Pearson de las variables físicas y química de 0 cm a 10 cm de profundidad en suelos con plantaciones de pino de diferentes edades y en pajonal

En la Figura 3, se presenta la correlación de Pearson de las variables analizadas de las muestras de 0 cm a 10 cm de profundidad. Donde la correlación entre variables se expresa por el color de los círculos en la intersección de las variables que van desde una alta correlación positiva (color azul o 1), hasta una alta correlación negativa (color rojo o -1). El tamaño de los círculos expresa la intensidad de la correlación entre variables ya sea positiva o negativa

Figura 3

Correlación de Pearson para las características físicas y químicas de los suelos de 0-10 cm de profundidad.



Nota. La figura muestra la correlación entre las variables estudiadas ya sea positiva (color azul), negativa (color rojo) o neutra (color blanco).

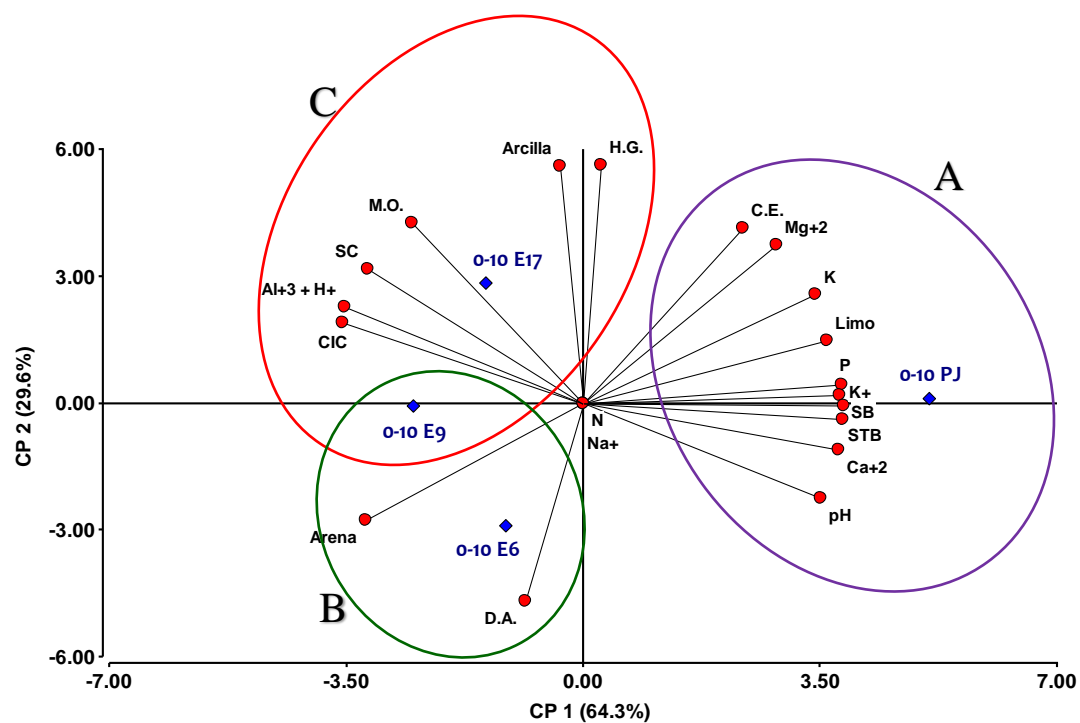
4.1.2. Análisis de componentes principales para la profundidad de 0-10 cm

La Figura 4 muestra el biplot con los dos primeros componentes principales que explican la mayor variabilidad de las 20 características físicas y químicas en los suelos de 0 cm a 10 cm de profundidad correspondientes a tres edades de plantaciones de pino y del tratamiento control (pajonal). De otro lado, en el biplot se observa que, las diferentes características físicas y químicas están representadas por vectores, los cuales forman ángulos entre sí, y de acuerdo al tipo, ya sea, agudo, recto y obtuso, las características tendrán alta correlación positiva, nula y negativa,

respectivamente (Díaz et al., 2013). Además, podemos observar agrupamiento de las variables según su correlación positiva entre las mismas y las parcelas de estudio (A, B y C).

Figura 4

Componentes principales de variables para la profundidad de 0-10 cm.



4.1.3. Análisis de agrupamiento jerárquico de clúster para las variables de 0-10 cm

profundidad de suelo

En el dendograma de clasificación basado en la distancia Euclidiana por el método de agrupamiento Average linkage, resultante de 20 características entre propiedades físicas y químicas de tres plantaciones de *P. patula* de 6, 9 y 17 años de edad y un testigo (pajonal) en la profundidad de 0,0 cm a 10, 0 cm, fue observado la formación de 3 grupos disimilares asumiendo como valor de corte 3,81 (50%), (Figura 5).

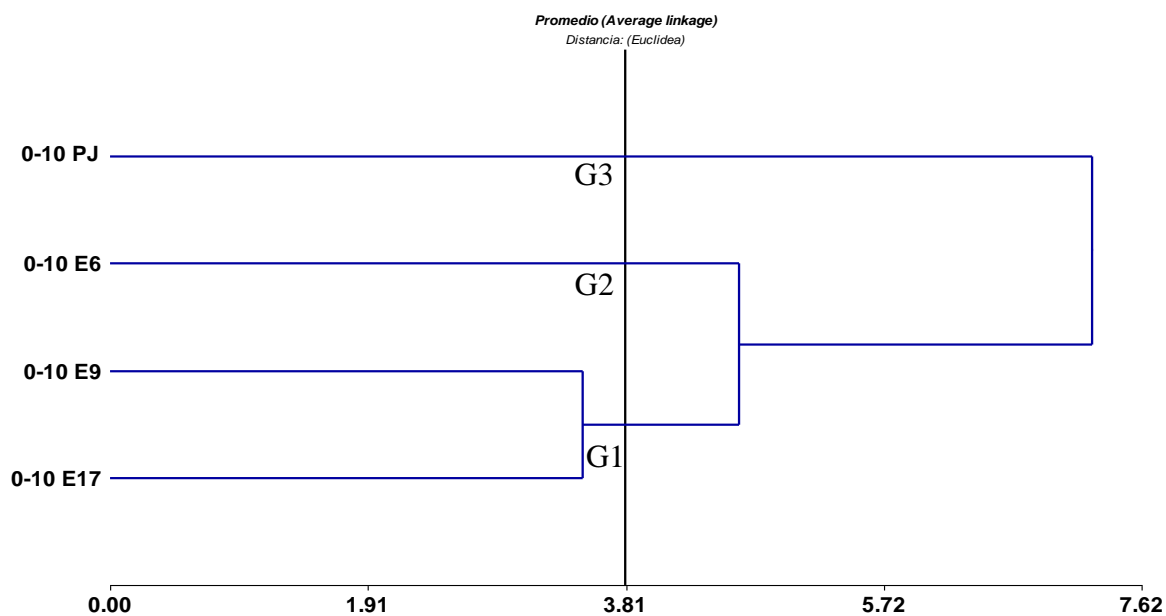
Tabla 3

Distancia Euclidiana de componentes de grupos formados de 0-10 cm de profundidad

	0-10 E17	0-10 E6	0-10 E9	0-10 PJ
0-10 E17	0,00	-	-	-
0-10 E6	5,74	0,00	-	-
0-10 E9	3,49	3,55	0,00	-
0-10 PJ	7,13	6,98	7,66	0,00

Figura 5

Agrupamiento jerárquico de clúster para variables de 0-10 cm de profundidad.



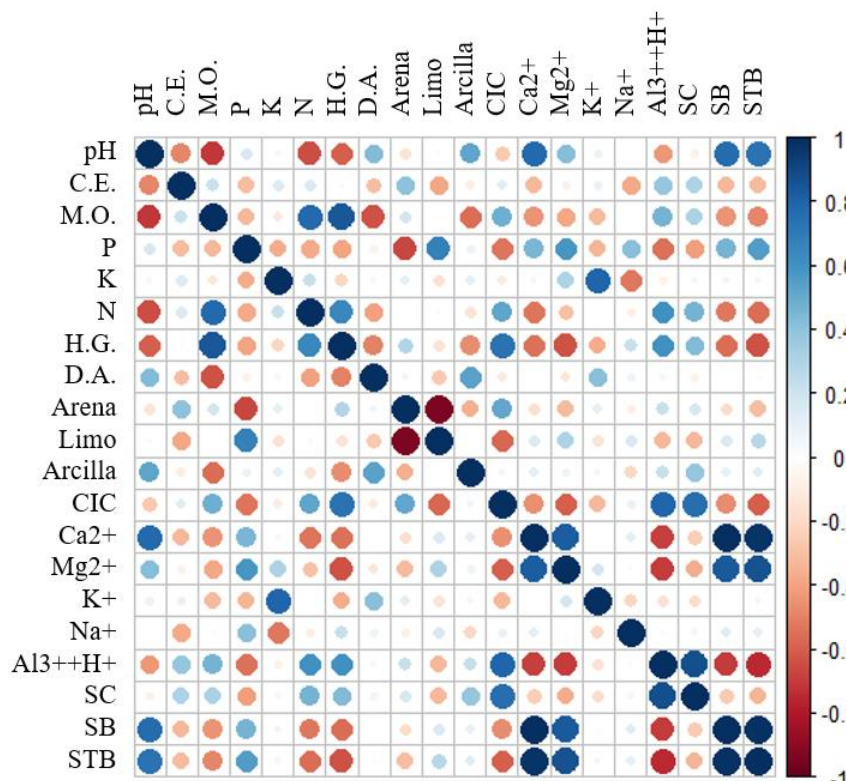
Nota. Dendrograma de clasificación en base en función a las propiedades físicas y químicas de los suelos de 0 cm a 10 cm superficiales de plantaciones de *P. patula* de tres edades y en pajonal.

4.1.4. Correlación de Pearson de las variables físicas y química de 10 cm a 30 cm de profundidad en suelos con plantaciones de pino de diferentes edades y en pajonal.

En la Figura 6, se muestra la correlación de Pearson de las variables físicas y químicas, según resultados de las muestras de 10 cm a 30 cm de profundidad.

Figura 6

Matriz de correlación de resultados de laboratorio de 10-30 cm de profundidad del suelo.



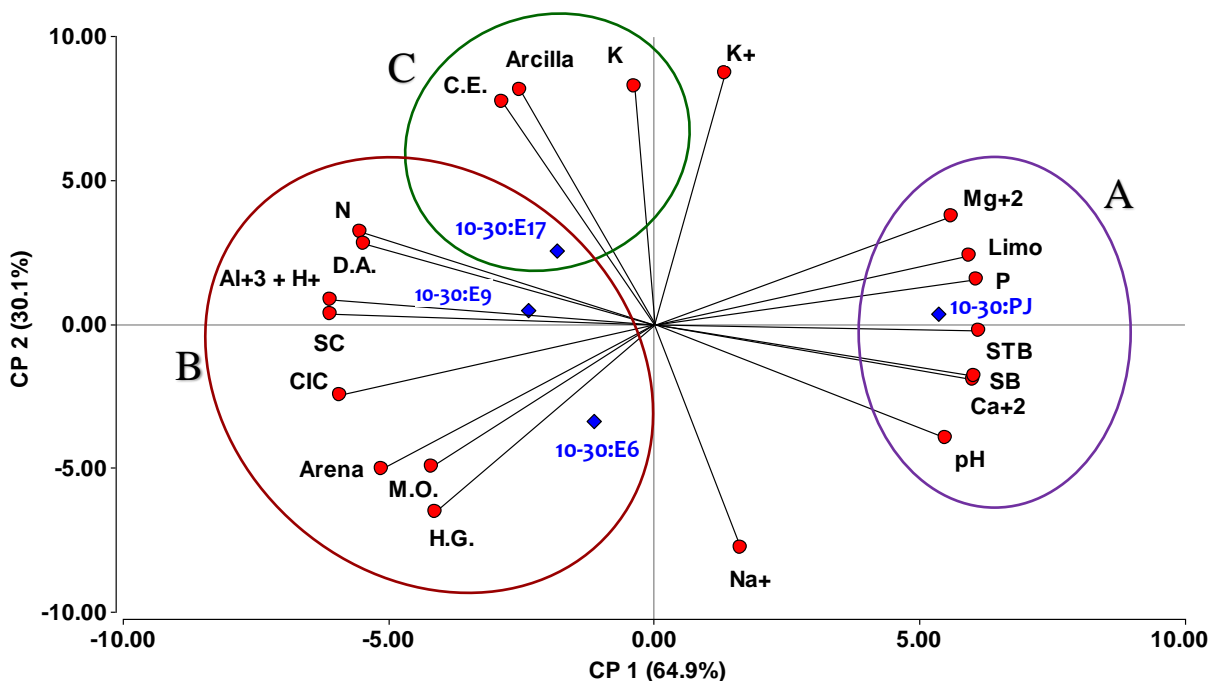
Nota. Elaborado en base al Reporte del Laboratorio de agua, suelos, medio ambiente y fertirriego de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

4.1.5. Análisis de componentes principales para la profundidad del suelo de 10 cm a 30 cm en tres edades de plantaciones de pino y de pajonal.

En la figura 7, se muestra el Biplot con los dos componentes principales que explican la mayor variabilidad de los datos obtenidos de las características físicas y químicas en los suelos de 10 cm a 30 cm de profundidad en tres edades de plantaciones de pino y de pajonal.

Figura 7

Componentes principales de variables para la profundidad de 10-30 cm.



Nota. La figura nos muestra la correlación de las variables entre sí, además la asociación a las plantaciones de pino de tres edades y pajonal.

4.1.6. Análisis de agrupamiento para las variables de 10 a 30 cm profundidad del suelo

En el agrupamiento de clúster, basado en la distancia Euclidiana por el método de agrupamiento Average linkage, estimado de 20 propiedades físicas y químicas de tres plantaciones de *P. patula* de 6, 9 y 17 años de edad y un testigo (pajonal) en la profundidad de 10,0 cm a 30,0 cm, se observa la formación de 3 grupos disimilares tomando un vínculo medio de 4,01(50%) como punto de corte en el dendograma (Figura 8).

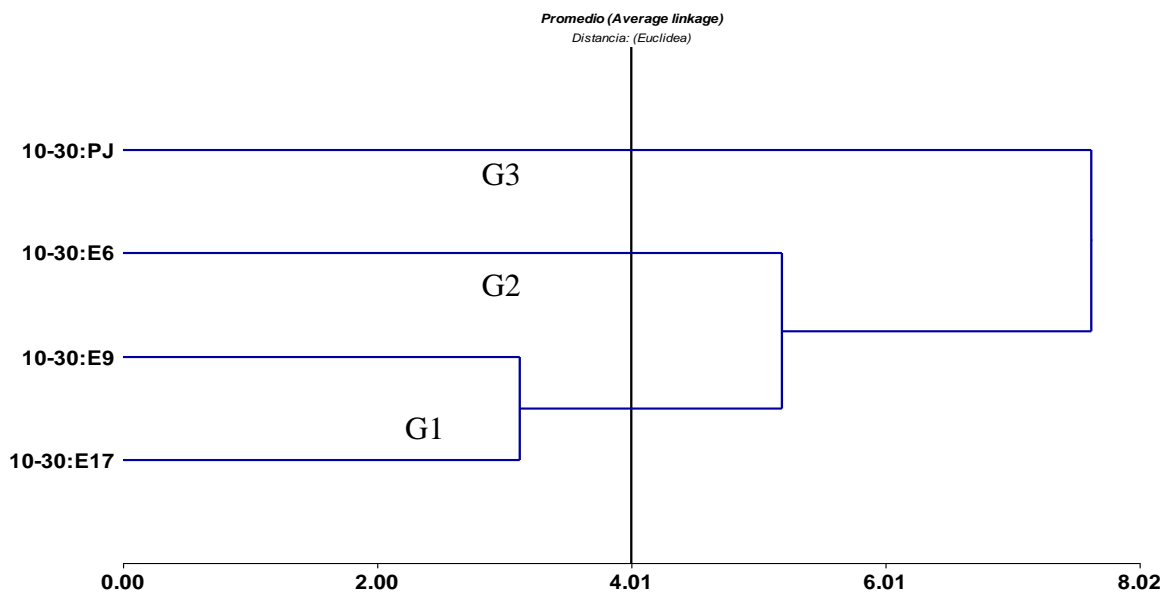
Tabla 4

Distancia Euclidiana de componentes de grupos formados de 10-30 cm de profundidad

	10-30 E17	10-30 E6	10-30 E9	10-30 PJ
10-30 E17	0,00	-	-	-
10-30 E6	5,95	0,00	-	-
10-30 E9	3,13	4,44	0,00	-
10-30 PJ	7,59	7,52	7,81	0,00

Figura 8

Agrupamiento jerárquico de clúster para variables de 10-30 cm de profundidad.



Nota. Dendrograma de clasificación en base en función a las propiedades físicas y químicas de los suelos de 10-30 cm de profundidad en plantaciones de *P. patula* de tres edades y pajonal.

4.1.7. Resultados del análisis de color y clase textural del suelo de 0 - 10 cm y de 10-30 cm de profundidad

En la Tabla 5 se presenta los valores promedios del análisis de color de las muestras de suelo. Los valores están estipulados en la tabla Munsell; además se muestran los resultados obtenidos de clase textural.

Tabla 5

Resultados de análisis de color y clase textural de suelo de 0 - 10 cm y de 10-30 cm de profundidad

	Color		Clase textural	
	0-10 cm	10-30 cm	0-10 cm	10-30 cm
Pajonal	10YR 2/1 (Negro)	10YR 5/1 (Negro a Grisáceo)	Fr.A.	Fr.L.
Plantación de <i>P. patula</i> 6 años	10YR 2/1 (Negro)	10YR 5/1 (Negro a Grisáceo)	Fr.A.	Fr.A.
Plantación de <i>P. patula</i> 9 años	10YR 2/1 (Negro)	10YR 5/1 (Negro a Grisáceo)	Fr.A.	Fr.A.
Plantación de <i>P. patula</i> 17 años	10YR 2/1 (Negro)	10YR 5/1 (Negro a Grisáceo)	Fr.A.	Fr.

Nota. Elaborado en base al Reporte del Laboratorio de agua, suelos, medio ambiente y fertirriego de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

4.2. Contrastación de Hipótesis

Las plantaciones de *P. patula* de 6, 9 y 17 años de edad generan alteraciones o cambios positivos y negativos en las propiedades físicas y químicas de los suelos del bosque montano de Chalamarca. En cuanto la edad de las plantaciones es mayor, los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo son mayores o más notorios.

4.3. Discusión de resultados.

4.3.1. Comportamiento de las propiedades físicas y químicas del suelo en el área de estudio

Como se puede observar en la Figura 3, en los primeros 10 cm de profundidad del suelo existen altas correlaciones negativas significativas ($p < 0,05$), entre la MO y pH ($p = 0,0232$); entre la DA con la HG ($p = 0,0003$); de la misma manera el porcentaje de arena con CE ($p = 0,0106$); entre el limo y arena ($p = 0,0001$); el Mg^{2+} y el porcentaje de arena ($p = 0,0054$).

El $Al^{3+}+H^+$ presenta alta correlación negativa con el pH ($p = 0,0102$), P ($p = 0,0302$), Ca^{2+} ($p = 0,0056$), K^+ ($p = 0,0132$); la SB con el $Al^{3+}+H^+$ ($p = 0,0043$); el porcentaje de STB con el $Al^{3+}+H^+$ ($p = 0,0012$).

El ión Al^{3+} predomina en suelos con $pH \leq 4,7$ como los del bosque montano de Chalamarca; los iones de Al pueden absorberse por raíces y causar toxicidad en las plantas, así como también las altas concentraciones limitan la absorción de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y NH_4^+ , por otra parte, alteran la actividad microbológica responsable de descomponer a materia orgánica, fijar nitrógeno y otros sucesos primordiales (Osorio, 2012).

Por otro lado, presentaron correlación positiva significativa el porcentaje limo con P ($p = 0,0050$), y la CE ($p = 0,0067$); el CIC con la MO ($p = 0,0154$); el Ca^{2+} y pH ($p = 0,0019$); P y limo ($p = 0,0050$); el Mg^{2+} con el K ($p = 0,0013$); el K^+ y pH ($p = 0,0145$); el $Al^{3+}+H^+$ con la CIC ($p = 0,0005$); la SC con la CIC ($p = 0,0001$) y $Al^{3+}+H^+$ ($p = 0,0001$); SB con pH ($p = 0,0028$), el K ($p = 0,0103$), Ca^{2+} ($p = 0,0001$) y K^+ ($p = 0,0028$); por su parte el porcentaje de STB con el pH ($p = 0,0008$), K ($p = 0,0115$), y con el K^+ ($p = 0,026$).

En suelos con pino la MO aumenta su valor, en los primeros 10 cm del suelo aumenta de 12,5% a 14,1% nivel más alto encontrado en suelos con pino de 17 años, en los 20 cm siguientes se encontró mayor concentración de MO en suelos con pino de 9 años (9,9 %) por su parte el valor

de pH en la primera profundidad disminuye (0,2) respecto al pajonal indicando también la capacidad de producción del suelo, siendo el pH uno de los más relevantes debido a que interfiere en la movilidad e intercambio de iones, disipación y precipitación de minerales, actividad de microorganismos y disposición de nutrientes (Sainz, et al., 2011). Todos los suelos evaluados son extremadamente ácidos, los niveles más bajos se encontraron en las plantaciones de pino de 9 y 17 años de edad con un pH de 3,7.

Algo similar ocurre en suelos de 10 cm a 30 cm de profundidad como lo muestra la Figura 6, donde el pH tiene correlación positiva con la mayoría de cationes y negativa con $Al^{3+}+H^+$. La disponibilidad de nutrientes en los suelos del bosque montano de Chalamarca tanto en plantaciones de pino como pajonal depende mucho de la acidez del suelo (Acevedo et al., 2010)

4.3.2. Análisis de componentes principales en los primeros 10 cm de profundidad

En la Figura 4, se muestra que, los dos primeros componentes principales (ACP) explican la mayor variabilidad de los datos obtenidos en la profundidad de 0 a 10 cm en los bosques de pino de diferentes edades y pajonal. De esa manera, el componente principal uno (CP1) ubicado en el eje x contribuyó con el 64,3% de la variabilidad total y el componente principal dos (CP2) que correspondiente al eje y, explica el 29,6% de la varianza total. En este caso, la suma total de la variabilidad de los componentes principales fue 93,9%, lo cual representa un valor aceptable de la representación de la variabilidad por ser superior a 70%, según lo recomendado por Cliff (1998).

Así el componente principal 1-CP1 se correlacionó de manera positiva y negativa (fuerte y moderada) con pH, CE, MO, P, K, porcentaje de arena, porcentaje de limo, CIC, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , $Al^{+3} + H^+$, SC, SB y STB. Por otro lado, el CP2 con CE, MO, HG, DA y porcentaje de arcilla. Las variables como el N y el Na^+ que no aportaron ningún tipo de correlación a los componentes

principales 1 y 2; lo cual indica que estas variables no pueden ser utilizadas para clasificar y/o diferenciar a los suelos de las diferentes edades de pino, así como del pajonal.

En el biplot se observa la asociación de las características físicas y químicas con los diferentes puntos de muestreo de suelos, por tanto, tendrán mayor correlación las zonas de colecta y los vectores que estén en la misma dirección, y a medida que se vayan alejando, el grado de asociación disminuirá entre las características y el lugar de colecta de suelos.

Comportamiento de las propiedades físicas y químicas del suelo en los primeros 10 cm de profundidad.

En ese sentido, se observa alta asociación entre el contenido de arcilla, MO, acidez cambiante ($\text{Al}^{3+}+\text{H}^+$) y CIC en las plantas de pino de mayor edad (17 años) y nula asociación con las bases, esto se puede deber, a que, en este suelo fueron consumidas las bases (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} y Na^+) a lo largo de los años de la plantación o por el aumento de la $\text{Al}^{3+}+\text{H}^+$ que va desde 5,5 meq/100g (pajonal) hasta 11,4 meq/100g en suelos con pino de 17 años (Oliva, 2009).

Los suelos de las plantaciones forestales a medida que se desarrollan pueden llevar a la degradación del suelo, a través del agotamiento de las bases, debido a que las raíces absorben las bases y liberan H^+ para mantener el equilibrio iónico dentro de la célula (Rincón, 2012), en el testigo la suma de bases es superior (3,6 meq/100g) a suelos con pino, donde su máximo valor se presentó en plantación de 6 años (2 meq/100g).

Los suelos del bosque montano de Chalamarca presentan pH ácido entre 3,7 y 3,9 donde las plantaciones de pino se desarrollan sin inconvenientes, por su capacidad de adaptarse de la mejor manera a estos tipos de suelos (Isos, 2003).

El complejo de intercambio catiónico (CIC) posee mayor participación en la formación y acumulación de $\text{Al}^{3+}+\text{H}^+$; la CIC es influenciado también por el pH cuando el porcentaje de arcilla

es menor al 25% como en los suelos del bosque montano de Chalamarca (7,7% máximo), y el contenido de MO es mayor 14,1 % tal como lo sostiene Cruz, et al., (2020).

Por otro lado, en la plantación de pino de 17 años, se observa alta asociación entre el porcentaje de arcilla, MO y CIC, esto se debe, a que, la arcilla y la MO poseen en sus propiedades químicas mayor superficie específica la cual se define como la relación área-peso entre partículas (m^2/g) (Baver, 1956), indicando que, cuanto mayor es esta propiedad, mayor será la CIC y consecuentemente su ligación o asociación con los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , $Al^{3+}+H^+$).

También se observa que, las plantaciones de pino de 17 años influyeron positivamente en el incremento de la materia orgánica (de 12,5% a 14,1%) en el suelo, posiblemente es debido al alto ciclaje de nutrientes a lo largo de los años y la deposición permanente de las hojas que formaron el mulch (Bonilla et al., 2008), que sirven como base nutricional para el desarrollo de los árboles de pino (Trinidad y Velasco, 2016).

Se observa también, que, en los primeros 10 cm de suelo con pino de 17 años el contenido de arcilla en el suelo es mayor (7,7%) respecto a suelos de pajonal y suelos con pino de 6 y 9 años de edad, teniendo relación directamente proporcional con la humedad gravimétrica, por el hecho que las partículas de arcilla tienen mayor capacidad de retener agua (Gómez de Santos, 2019). El contenido de arcilla en un suelo aumenta según la profundidad; las arcillas presentan partículas muy finas, al ganar humedad son muy plásticas y pegajosas, además presentan un balance de carga negativa (Rucks et al., 2004).

En las plantaciones de pino de 6 y 9 años, se observa que, el suelo es más arenoso (58,3% y 59,7%), por tanto, van a poseer mayor densidad aparente 0,97 g/cc y 0,94 g/cc respectivamente debido a que, la arena presenta mayor área específica y masa en relación al volumen del suelo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria [EMBRAPA], 1997).

En las parcelas de plantaciones de pino de 6 y 9 años donde el suelo fue más arenoso, presentó baja CE, 0,4 y 0,3 dS/m respectivamente, esto es debido, a que, la arena posee baja capacidad de conducir corriente eléctrica (Mogollon et al., 2011), de otro lado, en estos suelos arenosos fue verificado bajas concentraciones de Ca^{2+} , K, Mg^{+2} y P, este comportamiento es debido que la arena posee baja superficie específica y por ello no es capaz de retener esos nutrientes en el suelo (Ruiz et al., 2016).

Se observa que el suelo de área de referencia el Mg^{2+} , K^+ y Ca^{2+} , presentaron alta asociación con la suma de bases y el porcentaje de saturación de bases. Estos resultados indican que el área de Pajonal presenta mayor fertilidad en comparación a las demás áreas de plantaciones debido a que las reservas de nutrientes pueden haberse consumido durante el desarrollo de árboles de pino, siendo más notorio en suelos con pino de 9 y 17 años (Borges et al., 2012).

4.3.3. Análisis de componentes principales en los siguientes 20 cm de profundidad

En la Figura 7, se muestra el análisis de componentes principales según los resultados obtenidos de muestras de 10 a 30 cm de profundidad, donde el componente principal uno (CP1) ubicado en el eje x aportó con el 64,9% y el componente principal dos (CP2) correspondiente al eje y contribuyó con el 30,1% de la varianza total. En ese sentido, la suma total de la variabilidad de los dos componentes principales fue de 95%, por tanto, es un valor adecuado de representación de la variabilidad por ser mayor a 70% según los criterios de Cliff, (1998).

Así el componente principal 1-CP1 se correlacionó de manera positiva y negativa (fuerte y moderada) con pH, MO, P, N, HG, DA, porcentaje de arena, porcentaje de limo, CIC, Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$, SC, SB y STB. Por otro lado, el CP2 con CE, MO, K, HG, porcentaje de arena, DA y porcentaje de arcilla, K^+ , Na^+ .

Así mismo, fue verificado que todas las variables en esta profundidad aportaron algún tipo de correlación a los componentes principales 1 y 2; lo cual indica que estas variables pueden ser utilizadas para clasificar y/o diferenciar a los suelos de las diferentes edades de pino, así como del pajonal.

Comportamiento de las propiedades físicas y químicas del suelo en los siguientes 20 cm de profundidad.

Al analizar la asociación entre variables dependientes se observa que, existe alta correlación positiva entre el Mg^{2+} , limo, P, porcentaje de STB, SB, Ca^{2+} y pH, dado que, sus vectores forman ángulos agudos, así mismo, se observa que estas variables tienen alta asociación con el suelo de pajonal porque los vectores están en esa dirección.

Al analizar el comportamiento de las variables mencionadas con otras variables en suelos con plantaciones de pino, se observa que, existe correlación negativa entre algunas de ellas como es el caso de pH con DA y N; SB con DA y N; Mg^{+2} y limo con CIC en los suelos de pino con 17, 9 y 6 años.

Este comportamiento puede ser debido a factores como el $Al^{+3} + H^{+}$ que aumenta de 6,2 meq/100g encontrado en el testigo, a 9,3 meq/100g, 9,7 meq/100g y 10,1 meq/100g valores que presentaron las plantaciones de pino de 6, 9 y 17 años de edad respectivamente (Corredoira, 2021). En el mismo sentido, Romero et al. (2009) indican que el pH moderadamente neutro facilita la actividad biológica de los microorganismos en el suelo los cuales también contribuyen con la disponibilidad de nutrientes en la vegetación a partir de procesos de solubilización, movilización y absorción, lo cual no podría darse en suelos extremadamente ácidos como los que presenta el bosque montano de Chalarmarca y que además de 10 a 30 cm de profundidad el valor de pH no varía de 3,8 en todas las áreas evaluadas.

Al analizar el porcentaje de arena, se observa que esta característica se encuentra asociada con la MO, HG, CIC, SC en los suelos de las plantaciones de pino de 6 y 9 años, y el porcentaje de arcilla con CE, K, y en menor medida con N y K^+ entre tanto están fuertemente asociadas con los suelos de la plantación de 17 años.

Las arcillas tienen mayor capacidad de ceder y adsorber iones, la concentración mayor de bases (2,8 meq/100g) está asociadas a suelos de pajonal y esto puede depender mucho de presencia de rocas en el suelo y tipo de vegetación (Rucks et al., 2004). Los suelos arenosos presentan mayor pérdida de nutrientes por lixiviación, este proceso puede darse en suelos con pino de 6 y 9 años con porcentaje mayor de arena 58,3% y 59,7% respectivamente, por su parte la CIC puede estar muy relacionada con el contenido de materia orgánica en el suelo, así como también con pH ácido que se da por una perenne pérdida de cationes alcalinos (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) y aumento de cationes metálicos (Al^{3+}) (Acevedo et al., 2010). Un suelo bajo en CIC representa pobreza de MO, así como también la CIC representa las cargas negativas presentes en la arcilla, MO y la cantidad de cationes que retienen (Chávez, 2015).

Al analizar la humedad gravimétrica se observa valores más bajos en suelos de pajonal (57%), que puede ser adecuada humedad para los microorganismos que se desarrollan en el suelo, además la cantidad de agua puede relacionarse con la aireación del suelo debido a que ocupa espacios porosos (Ramos y Zúñiga, 2008).

Agrupamiento jerárquico de clúster según resultados obtenidos en suelos de 0-10 cm de profundidad.

En la Figura 5, se observa Agrupamiento jerárquico de clúster para los resultados de 0 a 10 cm de profundidad, donde el grupo 1 (G1) está formado por las plantaciones de pino de 17 y 9 años, indicando que ambos suelos presentan similitud en las características físicas y químicas por

tener menor distancia Euclidiana de 3,49. De otro lado, el grupo 2 (G2) está formado de forma solitaria por la plantación de pino de 6 años, y el grupo 3 (G3) formado de manera aislada por los suelos del Pajonal, con ello queda demostrado que las propiedades físicas y químicas son diferentes entre los suelos de los grupos formados presentado una distancia Euclidiana de 6,98.

No obstante, se observa que el grupo G2 posee menor diferencia con el grupo G1 (E9 y E17 años) por poseer distancias de 3,55 y 5,74, respectivamente, sin embargo, cuando es comparado la distancia del G1 (Pajonal PJ) con el grupo G3 presenta mayor distancia Euclidiana de 7,66 y 7,13 con la plantación de 17 años y 9 años, respectivamente (Tabla 3).

Este comportamiento se puede deber a que las plantaciones de pino de 6 años están en ese proceso de transición por el mismo desarrollo y crecimiento de los árboles y con el transcurrir del tiempo todas las plantaciones pueden comportarse de manera similar en los suelos en función de sus características físicas y químicas (Ramírez et al., 2007).

En definitiva, las características físicas y químicas de los suelos de las plantaciones de pino de 9 y 17 años han variado en relación al suelo sin presencia de plantaciones forestales con pino (Pajonal). En ese sentido, Vilá et al. (2014) señalan que el análisis de agrupamiento jerárquico de clúster busca unir variables o elementos tratando de lograr máxima similitud en cada grupo y mayor disimilitud entre ellos.

Agrupamiento jerárquico de clúster según resultados obtenidos en suelos de 10-30 cm de profundidad.

En la Figura 8, se muestra el agrupamiento jerárquico de clúster para las variables según los resultados de muestras de suelo de 10 a 30 cm de profundidad, donde el grupo 1 (G1) con la mayor cantidad de variables similares lo conforman los suelos con plantaciones de *P. patula* de E17 y E9 presentando menor distancia Euclidiana entre sí de 3,13. Por su parte el grupo 2 (G2)

está conformado de manera solitaria por la plantación de pino de 6 años, y el grupo (G3) formado de manera aislada por suelos del pajonal, demostrando tener propiedades físicas y químicas diferentes al resto de suelos estudiados.

Se observa que la diferencia del grupo G2 es menor con el grupo G1 (E9 y E17) por tener distancias de 4,44 y 5,95, respectivamente, sucede lo contrario cuando se compara la distancia del grupo G1 (pajonal) con el grupo G3 donde se puede apreciar mayor distancia euclidiana de 7,59 y 7,81 con plantaciones de 17 años y 9 años, respectivamente (Tabla 4).

Color del suelo.

Como podemos observar Tabla 5, en los 10 cm superficiales en todas las áreas evaluadas se predominan suelos de color 10YR 2/1 (Negro) y de 10-30 cm de profundidad color 10YR 5/1 (Negro a Grisáceo). El color del suelo no influye directamente en el desarrollo de la vegetación, indirectamente puede provocar cambios en la temperatura y la humedad a través de la energía radiante del sol (Domínguez et al., 2011).

Los colores oscuros de los suelos del bosque montano de Chalarmarca están influenciados por altas cantidades de MO (12,5% en área natural) que se descompone lentamente dando sitio a compuestos referentemente estables que dan esta coloración (Cabezas y Guevara, 2020).

Clase textural.

Con respecto a la clase textural Tabla 5, en todos los sitios evaluados predominan los suelos de tipo franco, en los primeros 10 cm superficiales franco arenoso (Fr. A) y de 10-30 cm de profundidad franco limoso (Fr. L), Fr. A., y franco (Fr). Los suelos en la comunidad de Bella Andina son de tipo franco que tienen una proporción equilibrada de arena, limo y arcilla, no presentan excesos de arena ni arcilla, contienen alta concentración de MO, además permiten la infiltración del agua con facilidad (Jiménez et al., 2010). Los suelos Fr. A son muy susceptibles a

la pérdida de nutrientes por lixiviación (Ramos et al., 2019), esta pérdida puede ser mayor en suelos donde se presentan altos niveles de precipitación como los bosques montanos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

El N total y el Na⁺ no presentaron alteración en sus valores o los cambios fueron mínimos (no significativos), el N total en los primeros 10 cm de profundidad mantiene su valor (0,6%) con respecto al testigo en suelos con pino de diferentes edades en la segunda profundidad (10-30 cm) en plantaciones de 9 y 17 años aumenta de 0,4% a 0,5%.

El Na⁺ en los primeros 10 cm no presenta cambios en sus valores con respecto al pajonal, mientras que en los siguientes 20 cm de profundidad solo varia en suelos con plantaciones de 6 años elevando mínimamente su valor de 0,2 meq/100g a 0,3 meq/100g.

El P, K, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ presentaron cambios significativos, con respecto al pajonal en los 10 cm superficiales de suelos con plantaciones de pino, el P presenta mayor pérdida de valor (62,9%) en suelos con plantaciones de pino de 9 años, el K disminuye 37,8% en suelos con pino de 6 años, el K⁺ disminuye 50% en suelos con pino de todas las edades evaluadas, el Ca²⁺ presenta mayor disminución (62,5%) en suelos con pino de 9 y 17 años, y el Mg²⁺ pierde 50% en suelos con pino de 6 años.

Los cambios también son significativo en suelos de 10 a 30 cm de profundidad, el P presenta mayor reducción de su valor (71,7%) en suelos con pino de 9 años, el K disminuye 8,1% en suelos con pino de 6 años, y aumenta en suelos con pino de 9 y 17 años, presentando máximo aumento (3,5%) en suelos con pino de mayor edad, el Ca²⁺ disminuye 61,9% en suelos con pino de 17 años, Mg²⁺ pierde el 25% en suelos con pino de las tres edades evaluadas,

mientras tanto el K^+ en esta profundidad no presenta cambios significativos en sus valores con respecto al pajonal.

En los primeros 10 cm, la materia orgánica aumenta en suelos con pino de las 3 edades con respecto al pajonal 12,8% así como también la capacidad de intercambio catiónico 24%, acidez cambiante 107,3% y suma de cationes 46,2%, en todos los casos las concentraciones más altas se encontraron en suelos con pino de 17 años, seguidas por las de 9 y 6 años de edad.

En los siguientes 20 cm de profundidad, la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico aumentan sus valores (16,5% y 24,2%) respectivamente en suelos con pino de 9 años, la acidez cambiante y la suma de cationes presentaron mayor aumento en sus valores (62,9% y 27,8%) en suelos con pino de 17 años de edad.

La máxima disminución del pH (5,1%) se observó en los primeros 10 cm del suelo con plantaciones de pino de 9 y 17 años, mientras tanto de 10 a 30 cm de profundidad no se observaron cambios con respecto al pajonal, la suma de bases y porcentaje de saturación de bases en ambas profundidades presentaron mayor disminución (47,2% y 57%) respecto al pajonal en suelos con pino de 17 años; en la primera profundidad la conductividad eléctrica presentó mayor disminución (62,5%) respecto al pajonal en suelos con pino de 9 años, en la segunda profundidad evaluada presentó mayor aumento (107,5%) en suelos con pino de 17 años.

Las plantaciones de pino en las tres edades no tuvieron efecto en cuanto a la textura y color del suelo; la densidad aparente presentó cambios no significativos con respecto al pajonal que van desde 0,5% a 5% en ambas profundidades en todos los suelos con pino. Por su parte la humedad gravimétrica con respecto al testigo aumento (13%) en suelos con pino de 17 años en los primeros 10 cm de profundidad, mientras que en suelos con pino de 6 y 9 años disminuyó 22,4% y 1,9% respectivamente, en la segunda profundidad evaluada la humedad gravimétrica

aumentó en todos los suelos con pino alcanzando un aumento máximo (18%) en suelos con pino de 6 años.

La mayoría de cambios que se dan en los suelos con plantaciones de *P. patula*, respecto al pajonal son de carácter significativo. Con el paso del tiempo los suelos con pino en el bosque montano de Chalamarca presentan pérdida de nutrientes y son menos productivos.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a la comunidad científica seguir investigando los efectos de las plantaciones de pino por un tiempo más prolongado.

A los pobladores del área de estudio y aledañas a la misma realizar prácticas de fertilización orgánica y/o mineral para recuperar la fertilidad de los suelos con plantaciones de pino.

A la población de la comunidad de Bella Andina y autoridades competentes se recomienda gestionar proyectos de conservación de suelos del bosque montano del lugar.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, O., Valera, M., y Prieto, F. (2010). Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlan, Hidalgo, Mexico. *Revista universidad y ciencia*, 26(2), 137-150. <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n2/v26n2a2.pdf>
- Américo, J., y Hossne, G. (2008). La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión contracción del suelo. *Revista Terra latinoamericana*, 26(3), 195-202. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v26n3/v26n3a1.pdf>
- Andriulo, A., y Irizar, A. (2017). La materia orgánica como indicador base de calidad del suelo. En M. G. Wilson, *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina* 65-71. Buenos Aires, Argentina: EEA Paraná. https://inta.gob.ar/sites/default/files/manual_ics_final.pdf
- Arres, C., Márquez, J., y Ramírez, E. (2012). Algunas modificaciones físicas y químicas del suelo al establecer una plantación de *Pinus cembroides subsp. orizabensis* D.K. Bailey. *Revista Foresta Veracruzana*, 14(1), 29-34. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49724122005>
- Bach, K., Schawe, M., Beck, S., Gerold, G., Gradstein, S., y Moraes, M. (2003). Vegetación, suelos y clima en los diferentes pisos altitudinales de un bosque montano de Yungas, Bolivia: Primeros resultados. *Revista Ecología en Bolivia*, 38(1), 3-14. http://www.scielo.org.bo/pdf/reb/v38n1/a02_v38n1.pdf
- Bacón, C., y Diaz, W. (2016). *Determinación de los esfuerzos admisibles de la madera de pino radiata para el diseño de elementos estructurales para viviendas en Cajamarca*. Tesis de grado.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/16751/bacon_llc.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Barahona, J. (2012). *Influencia de las plantaciones de Eucalyptus globulus Labill Y Pinus radiata D. Don en las propiedades del suelo, Chamiseria - Junin*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/2610>

Baver, L. D. (1956). *Soil physics* (Vol. 48). Nueva York: Wiley.

<https://doi.org/10.2134/agronj1956.00021962004800040017x>

Berrios, J. (2015). *Fuentes y niveles de materia orgánica en condiciones de invernadero*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria la Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1631/TESIS%20JUAN%20PABLO%20BERRIOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bonilla, R., Roncallo, B., Jimeno, J., y García, T. (2008). Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* sp., en Codazzi, Cesar. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(2), 5-11.

<https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/113/422>

Borges, J., Barrios, M., Sandoval, E., Bastardo, Y., y Bastardo, O. (2012). Características físico-químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado Yaracuy. *Revista Bioagro*, 24(2), 121-126.

http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612012000200006&script=sci_arttext

Bussmann, R. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 203-216.

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/2394/2092>

- Cabezas, C., y Guevara, J. (2020). *Calidad del suelo mediante indicadores físicos, químicos y biológicos en suelos bajo páramo, pasto y cultivo, Parroquia Achupallas de Chimborazo*. Tesis de grado, Riobamba.
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7163/2/Trabajo%20de%20titulacion%20%20Carlos%20Cabezas%20y%20Juan%20Pablo%20Guevara.pdf>
- Campos, C. (2011). El pH en nuestra vida. *Revista de la Química de la Universidad Pablo de Olavide*, 1(1), 12-13.
https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero_Uno.pdf
- Chávez, A. (2015). *Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras*. Tesis de grado, Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4564/1/CPA-2015-021.pdf>
- Chicaiza, M. (2022). *Comparación de las propiedades físicas y mecánicas entre las especies arbóreas estudiadas: platuquero, pino caribe y pino patula*. Tesis de grado, Riobamba.
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8879/1/1.%20Tesis%20Final.pdf>
- Cliff, E. (1998). ¿Una talla sirve para todos? explorar la relación entre las actitudes hacia el crecimiento, el género y el tamaño de la empresa. *Revista de negocios de riego*, 13(6), 523-542. doi:[https://doi.org/10.1016/S0883-9026\(97\)00071-2](https://doi.org/10.1016/S0883-9026(97)00071-2).
- Corredoira, C. (2021). *Efecto de los incendios forestales en la respiración basal del suelo*. Tesis de grado, La Coruña. <http://hdl.handle.net/2183/29161>
- Cruz, W., Rodríguez, L., Salas, M., Hernández, V., Campos, R., Chávez, M., y Gordillo, A. (2020). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(3), 475-480. doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>

- Delgado, D. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Revista Lámpsakos*, 4(17), 77-82.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6124531>
- Díaz, A., Cayón, G., y Mira, J. (2007). Metabolismo del calcio y su relación con la “mancha de madurez” del fruto de banano. Una revisión. *Revista Agronomía colombiana*, 25(2), 280-287. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n2/v25n2a10.pdf>
- Díaz, A., González, B., Purificación, M., y Bordons, M. (2013). HJ-Biplot como herramienta de inspección de matrices de datos bibliométricos. *Revista española de documentación científica*, 36(1), 1-16. [https://digital.csic.es/bitstream/10261/75986/1/HJ-Biplot_Diaz-Faes%20et%20al.%20\(2013\).pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/75986/1/HJ-Biplot_Diaz-Faes%20et%20al.%20(2013).pdf)
- Dionisio, M. (2012). *Efecto de las plantaciones de Pinus sobre las propiedades del suelo, Cullpa Alta, Huancayo - Junín*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/2616>
- Di Rienzo, A., Casanoves, F., Balzarini, G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, W. (2008). InfoStat, versión 2008. *Grupo infostat, fca, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*, 115.
- Domínguez, J., Román, A., Prieto, F., y Acevedo, O. (2011). Evaluación de color en suelos del Cerro de Denganthza, municipio de Francisco I. Madero, Hidalgo. *Revista Acta universitaria*, 21(4), 92-100. <https://www.redalyc.org/pdf/416/41620852012.pdf>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA). (1997). *Manual de Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Embrapa e Centro Nacional de Pesquisa de Solos.
https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf

- Espinosa, J. (2008). Distribución, uso y manejo de los suelos de la región andina. In *XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito, Ecuador*. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Dr.-Jose-Espinosa.pdf>
- Fernández, C., Cely, G., y Serrano, P. (2019). Cuantificación de la captura de carbono y análisis de las propiedades del suelo en coberturas naturales y una plantación de pino en el páramo de Rabanal, Colombia. *Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 121-133. https://pdfs.semanticscholar.org/be52/885b0e0c0b2dd87add9bd19e4e991892f11a.pdf?_ga=2.114725508.223059146.1598157610-479270135.1598157610
- Galán de Mera, A., Sánchez, I., Montoya, J., Linares, E., Campos de la Cruz, J., y Vicente Orellana, J. (2015). La vegetación del norte del Perú: de los bosques a la jalca en Cajamarca. *Revista Acta Botánica Malacitana* (40), 157-190. https://dialnet.unirioja.es/buscar/documentos?query=Dismax.DOCUMENTAL_TODO=bosque+montano+superior+con+pajonales+per%C3%BA
- Galantini, J., Duval, M., Iglesias, J., y Martínez, J. (2018). Balance de nitrógeno en sistemas con diferente labranza. *Revista Aapresid*, 1(1), 39-45. https://drive.google.com/file/d/111vTENTxu-4zm0_KS0AU2qbVNbYdXauu/view
- Gallardo, A., Covelo, F., Morilla, L., y Delgado, M. (2009). Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Revista Ecosistemas*, 18(2), 12-13. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/60>
- Gernandt, D., y Pérez de la Rosa, J. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*(85), 126-133. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v85sene/v85senea15.pdf>

Gisbert, J., Ibáñez, S., y Moreno, H. (2014). *ResearchGate*.

https://www.researchgate.net/publication/50839531_La_textura_del_suelo

Gómez, M., Ordóñez, R., y González, E. (2006). Efecto del sistema de cultivo sobre las propiedades químicas del suelo en la finca “La Chimenea”, en Aranjuez. *Revista Agricultura de Conservación* (3), 32-37.

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AC/AC_2006_3.pdf

Gómez de Santos, C. (2019). *Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas*. Tesis doctoral, Madrid.

<https://eprints.ucm.es/id/eprint/55931/1/T41185.pdf>

Guariguata, M., Arce, J., Ammour, T., y Capella, J. (2017). *Las plantaciones forestales en el Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro*. Bogor: Centro para la Investigación Forestal Internacional.

https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=D_xPDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=forestaci%C3%B3n+con+pino+en+el+Per%C3%BA&ots=BiTUDECvsH&sig=CUd5euOCZkYXgGw_mQiF93QRoHo#v=onepage&q=forestaci%C3%B3n%20con%20pino%20en%20el%20Per%C3%BA&f=false

Hofstede, R., Coppus, R., Mena, P., Segarra, P., Wolf, J., y Sevink, J. (2002). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *Revista Ecotropicos*, 15(1), 3-18.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39381714/The_conservation_status_of_tussock_grass20151023-11189-4q6gpm-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653457722&Signature=e~pSSfXTgZxa2J0lNkcQa88XVTZv1TmkjEHnlsu2obicBDugTsZl438rwyfKXId7~SjBcQpbTyCPKzhl2dxbqZ6pMzwDdX

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2015). *Semana de la Ciencia y Tecnología*

Jornada de Puertas Abiertas. Tacuarembó.

<http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/EI%20Suelo%2020%20de%20mayo.pdf>

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2015). *Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas. Tacuarembó.*

<http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/EI%20Suelo%2020%20de%20mayo.pdf>

Isos, R. (2003). *Evaluación de la dinámica del suelo en plantaciones: efecto del Pinus caribea Acacia mangium sobre las propiedades de un suelo ácido.* Tesis de maestría, Panamá.

http://up-rid.up.ac.pa/3068/1/ramon_isos.pdf

Jiménez, Y., Martínez, C., y Mancera, N. (2010). Características físicas y químicas del suelo en diferentes sistemas de uso y manejo en el centro agropecuario Cotové, Santa Fe de Antioquia, Colombia. *Revista suelos ecuatoriales*, 40(2), 176-188.

[https://www.researchgate.net/profile/Nestor-Mancera-](https://www.researchgate.net/profile/Nestor-Mancera-Rodriguez/publication/296662433_Caracteristicas_Fisicas_y_Quimicas_del_Suelo_en_Diferentes_Sistemas_de_Uso_y_Manejo_en_el_Centro_Agropecuario_Cotove_Santa_Fe_de_Antioquia_Colombia/links/56d7514f08aebabdb)

[Rodriguez/publication/296662433_Caracteristicas_Fisicas_y_Quimicas_del_Suelo_en_Diferentes_Sistemas_de_Uso_y_Manejo_en_el_Centro_Agropecuario_Cotove_Santa_Fe_de_Antioquia_Colombia/links/56d7514f08aebabdb](https://www.researchgate.net/profile/Nestor-Mancera-Rodriguez/publication/296662433_Caracteristicas_Fisicas_y_Quimicas_del_Suelo_en_Diferentes_Sistemas_de_Uso_y_Manejo_en_el_Centro_Agropecuario_Cotove_Santa_Fe_de_Antioquia_Colombia/links/56d7514f08aebabdb)

López, G., y Mateo, J. (2005). *Catálogo de árboles y arbustos primera parte coniferales.*

Hidalgo. https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI_IntGenAmb/Juana_Fons/1.pdf

Mancheno, A. (2011). *Análisis de los impactos en la calidad del suelo causados por el Pino (Pinus patula) en la comparación con el suelo ocupado por Polylepis (Polylepis reticulata) en el Parque Nacional de Cajas.* Tesis de grado, Cuenca.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1086/15/UPS-CT002204.pdf>

- Mayta, P. (2019). *Evaluación del efecto de la plantación forestal de Pino (Pinus radiata) sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en la comunidad Huerta Huaraya – Puno*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión]. <https://1library.co/document/qvln3d1y-evaluacion-plantacion-forestal-radiata-propiedades-fisicoquimicas-comunidad-huaraya.html?tab=fulltext>
- Medina, J., Volke, V., Galvis, A., Cortés, J., y Santiago, M. (2017). Incremento de la materia orgánica del suelo y rendimiento de mango en Luvisoles, Campeche, México. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 499-508. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n2/43750618014.pdf>
- Mogollon, J., Tremont, O., y Rodriguez, N. (2011). Efecto del uso de un vermicompost sobre las propiedades biológicas y químicas de suelos degradados por sales. *Revista Venesuelos*, 9(1 y 2), 48-57. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31501316/Mogollon-Tremont-Rodriguez-2001-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1649648679&Signature=B8WC7puXeqZXuPISM6NQx3WvZR5N1SnM0oO0SBfl4DMTIizt6mVuUjM5TQlzMxHJ~nm~B-cCofH8RNQWq5xh6UzAyHVVHgtZNQIg4oZ1oXbEi38BX758p8C7tZkra>
- Murillo, M. F., Ordóñez, J., Nieto de Pascual, C., Ortega, L., Munguía, A., Galicia, A., y Velarde Meza, E. (2022). Contenido y captura de carbono en plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., en el ejido Rancho Nuevo Nanacamila, Zacatlán de las Manzanitas, Puebla, México. *Revista e-CUCBA*, 9(17), 222-228. doi:<https://doi.org/10.32870/ecucba.vi17.229>

- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., B. da Fonseca, G., y Jennifer, K. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Revista Nature* (403), 853-858.
<https://sci-hub.tw/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10706275/>
- Ochoa, G., Oballos, J., Jaimes, E., y Manrique, J. (2004). Relación entre el material parental y el pH de los suelos en los Andes venezolanos. *Revista Geográfica venezolana*, 45(2), 281-288. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24623/nota45-2-1.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Olías, M., y Laura, G. (2009). Los Suelos. En M. A. Santos, *Geología de Huelva* 50-51. Huelva.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6384170>
- Oliva, D. (2009). *Determinación de la acidez intercambiable (Al+3+H+) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua*. Tesis de grado, Zamorano.
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/386/1/T2804.pdf>
- Oliva, M., Collazos, R., y Esparraga, T. A. (2016). Efecto de las plantaciones de *Pinus patula* sobre las características fisicoquímicas de los suelos en áreas altoandinas de la región Amazonas. *Revista Indes*, 2(1), 28-36.
<http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDES/article/view/60/176>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2000). *Los principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre la productividad y el manejo*. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/FAO-2000.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2002). *Capítulo 3. Plantaciones forestales*. <http://www.fao.org/3/y1997s/y1997s09.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019).

Portal de suelos de la FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Osorio, N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Revista manejo integral del suelo y nutrición vegetal*, 1(4), 1-4.

<https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>

Palma, D., Salgado, S., Martínez, G., Zavala, J., y Lagunes, L. (2015). Cambios en las propiedades del suelo en plantaciones de Eucalipto de Tabasco, México. *Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5), 163-172.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/era/v2n5/v2n5a4.pdf>

Pauchard, A., Langdon, B., Jiménez, A., Cavieres, L., Peña, E., y Núñez, M. A. (28 de Mayo de 2014). Pináceas invasoras en el sur de Sudamérica: patrones mecanismos e impactos potenciales. En *Invasiones biológicas en Chile: Causas globales e impactos locales* (págs. 283-308). Santiago: Ediciones UC. Obtenido de ResearchGate:

https://www.researchgate.net/profile/Martin_Nunez/publication/262674936_Pinaceas_invasoras_en_el_sur_de_Sudamerica_patrones_mecanismos_e_impactos_potenciales/links/0deec53862cb45e098000000/Pinaceas-invasoras-en-el-sur-de-Sudamerica-patrones-mecanismos-e-i

Pérez, A., Galvis, A., Bugarín, R., Hernández, T., Vázquez, M., y Rodríguez, A. (2017).

Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU+n). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(1), 171-177.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n1/2007-0934-remexca-8-01-171.pdf>

- Pinilla, H., Herrera, L., Benavente, R., y Sanhueza, H. (2011). Efecto del magnesio en el rendimiento y contenido de gluten en trigo (*Triticum aestivum L.*) en un suelo andisol. *Revista IDESIA*, 29(2), 53-57. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v29n2/art07.pdf>
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., y Célleri, R. (2015). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur de Ecuador. *Revista Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 139,151. https://www.researchgate.net/profile/Pablo_Quichimbo2/publication/285632863_Efectos_sobre_las_propiedades_fisicas_y_quimicas_de_los_suelos_por_el_cambio_de_la_cobertura_vegetal_y_uso_del_suelo_Paramo_de_Quimsacocha_al_sur_del_Ecuador/links/59524781aca272a
- Quinteros, P., Piercosimo, T., y Rafaella, A. (2013). Comparación química de suelos en distintas coberturas vegetales del PNC mediante métodos de clúster análisis. En C. Vásquez, *Memorias del II Congreso Binacional de Investigación, Ciencia y Tecnología de las Universidades del Sur del Ecuador y Norte del Perú* (pp. 746-764). Quito: Editorial ABYA-YALA. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11169>
- Ramírez, J., Zapata, C., León, J., & González, M. (2007). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista Interciencia*, 32(5), 303-311. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000500005
- Ramos, C., Castro, A., León, N., Álvarez, J., y Huerta, E. (2019). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuete (*Arachis*

- hypogaea L.). *Revista Terra latinoamericana*, 37(1), 45-55.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v37n1/2395-8030-tl-37-01-45.pdf>
- Ramos, E., y Zúñiga, D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Revista Ecología aplicada*, 7(1,2), 123-130.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a15v7n1-2.pdf>
- Rengifo, G. (2014). *Influencia de los sistemas de uso actual en las propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos del caserío El Milagro, distrito José Crespo Castillo*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1074/TS_RRGJ_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rincón, Á. (2012). Acidificación de los suelos e intercambio iónico. En Á. Rincón, J. Baquero, y H. Flórez, *Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los llanos orientales de Colombia* (Vol. 1, págs. 9-23). Colombia: Produmedios. doi:10.21930/978-958-740-115-8
- Rodríguez, G., De Los Santos, H., González, V., Aldrete, A., Gómez, A., y Fierros, A. (2012). Modelos de biomasa aérea y foliar en una plantación de pino de rápido crecimiento en Oaxaca. *Revista Madera y bosques*, 18(1), 25-41.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v18n1/v18n1a3.pdf>
- Rodríguez, R., Alonso, H., y Olarieta, J. (2018). Suelos y plantaciones de *Pinus nigra ssp. salzmannii* en La Rioja (España). *Revista Ecosistemas*, 27(2), 126-135.
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1559>

- Romero, M., Santamaría, D., y Zafra, C. (2009). Bioingeniería y suelo: abundancia microbiológica, pH y conductividad eléctrica bajo tres estratos de erosión. *Revista Umbral científico*, 15, 67-74. <https://www.redalyc.org/pdf/304/30415144008.pdf>
- Ross, M. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *Revista Palmas*, 25(2), 98-104.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1071/1071>
- Rubio, A. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural Los Alcornocales*. Sevilla.
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>
- Ruiz, H., Sarli, G., Reynaud, C., Filgueira, R., & Silva de Souza 3, F. (2016). La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO*, 48(2), 95-105.
<http://www.scielo.org.ar/pdf/refca/v48n2/v48n2a08.pdf>
- Ruiz, J. (2014). *Impacto de la forestación con Pino (Pinus patula Schiede ex Schltl. & Cham.) sobre la diversidad vegetal y los suelos en el páramo de Mucubají, Parque Nacional Sierra Nevada*. Mérida.
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/39978/Ruiz%2C%20J.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., y Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Montevideo. <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Sainz, H., Echeverría, H., y Angelini, H. (2011). Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana Argentina. *Revista ciencia del suelo*,

29(1), 29-37.

https://www.researchgate.net/publication/284515578_Niveles_de_materia_organica_y_de_pH_en_suelos_agricolas_de_la_region_pampeana_y_extrapampeanas

Salamanca, A., y Sedeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Revista Cenicafé*, 56(4), 381-397.

<http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/163/1/arc056%2804%29381-397.pdf>

Sánchez, R. (2019). *Valoración económica de madera en pie de una plantación de Pinus patula Schiede ex Schltdl. & Cham. en la comunidad campesina de Cumbico - Cajamarca*. Tesis de grado, Cajamarca.

<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3301/%e2%80%9cVALORACI%c3%93N%20ECON%c3%93MICA%20DE%20MADERA%20EN%20PIE%20DE%20UN%20PLANTACI%c3%93N%20DE%20Pinus%20patula%20Schiede%20ex%20Schltdl.%20%26%20Ch.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sanzano, A. (2019). *El azufre del suelo*.

<https://www.edafologia.org/app/download/7956238276/El+azufre+del+suelo+2019.pdf?t=1563476239>

Schlatter, J., y Otero, L. (1995). Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químico nutritivas del suelo mineral superficial. *Revista Bosque*, 16(1), 29-46.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=6PmUYuuQBzQC&oi=fnd&pg=PA29&dq=efecto+de+las+plantaciones+de+pino+sobre+las+propiedades+del+suelo&ots=yXM18j_wu2&sig=DeQgSbFgVohpFPFEUCnrcjK98oA#v=onepage&q=efecto%20de%20las%20plantaciones%20de%20pino%20sobre%20

- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2017). *Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2017*. Lima.
<http://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/520/1/Anuario%20Forestal%20y%20Fauna%20Silvestre%202017.pdf>
- Suñer, L., Martínez, J. M., Duval, M., López, F., Landriscini, M., y Galantini, J. (2018). Dinámica de las formas de fósforo en el suelo y su relación con la productividad del cultivo. *Revista Aapresid Cerzos*, 7, 69. https://drive.google.com/file/d/111vTENTxu-4zm0_KS0AU2qbVNBvdXauu/view
- Tapia, F., y Pacheco, C. (2015). *Efecto de las plantaciones de Pino (Pinus patula) en las propiedades hidrofísicas de los horizontes ándicos de los suelos de páramo en dos zonas de la cuenca alta del río Paute*. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23241>
- Trinidad, A., y Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Revista Agroproductividad*, 9(8), 52-58. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/802/666>
- Tuesta, M. (2015). *Evaluación de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso en el distrito de Nuevo Progreso*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1091/TS_MKTS_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vásquez, C. (2011). *Zonas de Vida de Cajamarca*.
<https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/ZonasVidasZEESegunMapaNacional.pdf>

- Vázquez, J., Reposo, G., Guecaimburú, J., Rojo, V., Giacobone, C., y Martínez, M. (2013). Uso de la conductividad eléctrica del suelo para determinar la profundidad al horizonte petrocálcico. 1-8. <http://suelos.com.uy/pdf/60.pdf>
- Vilà, R., Rubio, M., Berlanga, V., & Torrado, M. (2014). Cómo aplicar un clúster jerárquico en SPSS. *Revista REIRE*, 7(1), 113-127.
<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/65577/1/628893.pdf>
- Wilson, F., Sujo, J., y Cordón, E. (2017). Suelos de la finca Snaky-Uraccan costa caribe norte de Nicaragua. *Revista Ciencia e Interculturalidad*, 21(2), 129-148.
<https://www.lamjol.info/index.php/RCI/article/view/5606/5318>
- Zamora, L., Sagaró del Campo, N., Valdes, L., Bergues, L., y Ramirez, E. (2021). Componentes principales en el agrupamiento de variables clínicas de la COVID-19 en Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 40(2), 1-12.
<http://scielo.sld.cu/pdf/ibi/v40n2/1561-3011-ibi-40-02-e945.pdf>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Figura 9

*Medición de parcelas en suelos con plantación de *P. patula* y georreferenciación.*



Figura 10

Extracción de sub muestras a dos profundidades.



Figura 11

Homogenización de las sub muestras para formar la muestra compuesta.

**Figura 12**

Pesado de la muestra para envío a laboratorio.



Figura 13

Resultados de análisis de suelos con plantaciones de pino de 17 y 9 años de edad.

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION																						
Solicitante		FRANKLIN DIAZ RAFAEL																				
Departamento		CAJAMARCA														Provincia				CHOTA		
Distrito		CHALAMARCA														Predio						
Referencia		H.R. 75297-120C-21										Bolt.: 4783				Fecha				09/11/2021		
Lab	Número de Muestra	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	Color
									Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺				
													meq/100g									
10160	M1 P1 0-10:E17		3.71	0.05	0.00	13.73	145.0	181	51	44	5	Fr.A.	48.00	1.18	0.60	0.23	0.25	10.30	12.56	2.26	5	10YR 2/1
10161	M2 P1 10-30:E17		3.79	0.03	0.00	8.35	120.8	91	47	42	11	Fr.	41.92	0.87	0.32	0.11	0.27	9.40	10.96	1.56	4	10YR 5/1
10162	M3 P2 0-10:E17		3.71	0.05	0.00	14.89	48.5	199	55	36	9	Fr.A.	55.20	0.81	0.42	0.24	0.21	12.20	13.87	1.67	3	10YR 2/1
10163	M4 P2 10-30:E17		3.79	0.04	0.00	9.32	20.7	122	47	44	9	Fr.	43.52	0.74	0.32	0.14	0.23	10.25	11.68	1.43	3	10YR 5/1
10164	M5 P3 0-10:E17		3.71	0.07	0.00	13.60	30.4	173	51	40	9	Fr.	48.96	0.76	0.43	0.23	0.23	11.75	13.40	1.65	3	10YR 2/1
10165	M6 P3 10-30:E17		3.75	0.18	0.00	8.42	17.5	116	63	28	9	Fr.A.	42.88	0.72	0.32	0.14	0.20	10.60	11.98	1.38	3	10YR 5/1
10166	M7 P1 0-10:E9		3.63	0.04	0.00	16.71	45.7	182	59	36	5	Fr.A.	52.80	0.87	0.43	0.25	0.20	11.50	13.25	1.75	3	10YR 2/1
10167	M8 P1 10-30:E9		3.67	0.09	0.00	12.04	38.3	114	53	40	7	Fr.A.	45.60	0.94	0.33	0.13	0.24	11.10	12.75	1.65	4	10YR 5/1
10168	M9 P2 0-10:E9		3.79	0.03	0.00	13.34	59.8	142	65	32	3	Fr.A.	48.64	0.93	0.38	0.18	0.26	10.80	12.56	1.76	4	10YR 2/1
10169	M10 P2 10-30:E9		3.75	0.06	0.00	9.58	47.7	111	65	28	7	Fr.A.	47.36	0.87	0.32	0.11	0.23	8.45	9.98	1.53	3	10YR 5/1
10170	M11 P3 0-10:E9		3.79	0.02	0.00	10.36	53.8	129	55	36	9	Fr.A.	44.00	0.90	0.32	0.15	0.20	9.75	11.32	1.57	4	10YR 2/1
10171	M12 P3 10-30:E9		3.95	0.02	0.00	8.03	22.8	107	49	38	13	Fr.	42.24	0.91	0.27	0.13	0.21	9.65	11.16	1.51	4	10YR 5/1

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso ; 10YR 2/1 = Negro ; 10YR 5/1 = Negro a Grisáceo

Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe del Laboratorio

Figura 14

Resultados de análisis de suelos con plantaciones de pino de 6 años de edad y pajonal.

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION																							
Solicitante		FRANKLIN DIAZ RAFAEL																					
Departamento		CAJAMARCA												Provincia						CHOTA			
Distrito		CHALAMARCA												Predio									
Referencia		H.R. 75297-120C-21										Bolt.: 4783				Fecha						09/11/2021	
Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	Color		
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺						
												meq/100g											
10172	M13 P1 0-10:E6	3.91	0.02	0.00	10.75	14.7	191	59	36	5	Fr.A.	43.52	1.32	0.30	0.30	0.21	7.95	10.08	2.13	5	10YR 2/1		
10173	M14 P1 10-30:E6	3.82	0.02	0.00	8.61	8.5	117	65	30	5	Fr.A.	42.08	1.10	0.30	0.17	0.28	8.00	9.85	1.85	4	10YR 5/1		
10174	M15 P2 0-10:E6	3.70	0.04	0.00	13.99	85.6	126	57	40	3	Fr.A.	47.20	1.08	0.33	0.14	0.26	8.65	10.47	1.82	4	10YR 2/1		
10175	M16 P2 10-30:E6	3.74	0.05	0.00	11.27	23.6	89	59	38	3	Fr.A.	43.68	0.92	0.27	0.09	0.23	8.85	10.36	1.51	3	10YR 5/1		
10176	M17 P3 0-10:E6	3.70	0.06	0.00	13.34	111.8	113	59	36	5	Fr.A.	50.08	1.42	0.30	0.13	0.25	9.20	11.31	2.11	4	10YR 2/1		
10177	M18 P3 10-30:E6	3.87	0.03	0.00	9.19	95.7	89	53	38	9	Fr.A.	48.80	1.59	0.30	0.09	0.31	10.90	13.20	2.30	5	10YR 5/1		
10178	M19 P1 0-10:PJ	4.03	0.07	0.00	11.78	126.9	263	47	46	7	Fr.	42.56	4.38	0.68	0.45	0.24	4.30	10.05	5.75	14	10YR 2/1		
10179	M20 P1 10-30:PJ	4.07	0.02	0.00	7.25	126.9	112	49	42	9	Fr.	35.20	4.16	0.45	0.13	0.24	4.35	9.33	4.98	14	10YR 2/1		
10180	M21 P2 0-10:PJ	3.83	0.05	0.00	13.60	161.1	241	51	44	5	Fr.A.	39.20	1.64	0.62	0.39	0.19	4.90	7.74	2.84	7	10YR 2/1		
10181	M22 P2 10-30:PJ	3.74	0.02	0.00	9.07	134.9	116	41	52	7	Fr.L.	37.60	1.12	0.35	0.13	0.23	6.95	8.77	1.82	5	10YR 2/1		
10182	M23 P3 0-10:PJ	3.70	0.11	0.00	12.17	141.0	187	47	48	5	Fr.A.	40.96	1.06	0.53	0.27	0.24	7.35	9.45	2.10	5	10YR 2/1		
10183	M24 P3 10-30:PJ	3.70	0.08	0.00	9.07	122.9	93	47	48	5	Fr.A.	36.00	0.91	0.33	0.12	0.28	7.20	8.84	1.64	5	10YR 2/1		

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso ; 10YR 2/1 = Negro ; 10YR 5/1 = Negro a Grisáceo

Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe del Laboratorio

Figura 16

Resultados promedio de muestras de 0-10 cm de profundidad.

Plantación	pH	C.E.	M.O.	P	K	N	H.G.	D.A.	Arena	Limo	Arcilla	CIC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺	SC	SB	STB
0-10 E17	3.7	0.1	14.1	74.6	184.3	0.6	78.2	0.9	52.3	40.0	7.7	50.7	0.9	0.5	0.2	0.2	11.4	13.3	1.9	3.7
0-10 E9	3.7	0.0	13.5	53.1	151.0	0.6	67.5	0.9	59.7	34.7	5.7	48.5	0.9	0.4	0.2	0.2	10.7	12.4	1.7	3.5
0-10 E6	3.8	0.0	12.7	70.7	143.3	0.6	53.4	1.0	58.3	37.3	4.3	46.9	1.3	0.3	0.2	0.2	8.6	10.6	2.0	4.3
0-10 PJ	3.9	0.1	12.5	143.0	230.3	0.6	68.8	0.9	48.3	46.0	5.7	40.9	2.4	0.6	0.4	0.2	5.5	9.1	3.6	8.6

Figura 17

Resultados promedio de muestras de 10-30 cm de profundidad.

Plantación	pH	C.E.	M.O.	P	K	N	H.G.	D.A.	Arena	Limo	Arcilla	CIC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺	SC	SB	STB
10-30 E17	3.8	0.1	8.7	53.0	109.7	0.5	59.4	1.0	52.3	38.0	9.7	42.8	0.8	0.3	0.1	0.2	10.1	11.5	1.5	3.4
10-30 E9	3.8	0.1	9.9	36.3	110.7	0.5	65.0	1.0	55.7	35.3	9.0	45.1	0.9	0.3	0.1	0.2	9.7	11.3	1.6	3.5
10-30 E6	3.8	0.0	9.7	42.6	98.3	0.4	67.8	1.0	59.0	35.3	5.7	44.9	1.2	0.3	0.1	0.3	9.3	11.1	1.9	4.2
10-30 PJ	3.8	0.0	8.5	128.2	107.0	0.4	57.0	1.0	45.7	47.3	7.0	36.3	2.1	0.4	0.1	0.2	6.2	9.0	2.8	7.9