

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Propiedades químicas del suelo con plantaciones de
quinual (*Polylepis racemosa R & P.*) y ciprés
(*Cupressus macrocarpa*), en Cullpa Alta,
Huancayo, 2017**

Silma Gaby Romaní Olivera

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Andrés Alberto Azabache Leytón

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a mi familia que siempre me ha apoyado a lo largo de mi vida y carrera profesional, a la Universidad Continental, por haberme formado profesionalmente, con amplias nociones, responsabilidades y con un espíritu lleno de valores que serán útiles para la sociedad.

A las personas que colaboraron directa o indirectamente en las diferentes fases del desarrollo del presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mis padres: Heysen Romaní Llacta, Gavina Olivera Chávez y a mi hermano Jaffet Romaní Olivera, por su apoyo y paciencia permanente durante mis estudios profesionales. Ser hoy una profesional y llegar a ser quien soy, es el fruto de un gran esfuerzo y apoyo emprendido.

ÍNDICE

ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación e importancia.....	3
1.3.1. Justificación tecnológica	3
1.3.2. Justificación social	3
1.3.3. Justificación académica.....	4
1.3.4. Importancia.....	4
1.4. Hipótesis y variables.....	5
1.4.1. Hipótesis de investigación	5
1.4.2. Hipótesis nula	5
1.4.3. Hipótesis específicas	5
1.4.4. Operacionalización de las variables.....	6

CAPÍTULO II.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Bases teóricas	13
2.2.1. Las propiedades químicas del suelo	13
2.2.1.1. pH	13
2.2.1.2. Contenido de nutrientes en el suelo	16
2.2.1.3. El contenido de materia orgánica del suelo	24
2.2.1.4. La relación Carbono/Nitrógeno.....	29
2.3. Definición de términos	29
CAPÍTULO III.....	31
3.1. Método, tipo y nivel de la investigación.....	31
3.1.1. Métodos de la investigación.....	31
3.1.2. Tipo de la investigación	32
3.1.3. Nivel de la investigación	32
3.2. Diseño de la investigación	32
3.3. Población y muestra	32
3.3.1. Población.....	32
3.3.2. Muestra	33
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	35
3.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	35
3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos	35
CAPÍTULO IV	36
4.1. Resultados de la investigación.....	36
4.1.1. pH del suelo	36
4.1.2. Contenido de materia orgánica del suelo (MO).....	39
4.1.3. El contenido de fósforo (P) disponible	43
4.1.4. El contenido de potasio (K) disponible	45
4.1.5. El contenido del nitrógeno (N) total en el suelo.....	49

4.1.6. Relación Carbono/Nitrógeno.....	52
4.2. Discusión de resultados.....	56
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Ubicación del área de estudio y puntos de muestreo.....	34
Figura 02. Promedios del pH del suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	38
Figura 03. Promedios del contenido de materia orgánica del suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	42
Figura 04. Promedios del contenido de fósforo disponible del suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	45
Figura 05. Promedios del contenido de potasio disponible en el suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	48
Figura 06. Promedios del contenido de nitrógeno total del suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	52
Figura 07. Promedios de la relación C/N del suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Operacionalización y descripción de las variables en estudio.....	6
Tabla 02. Clasificación de suelos según el valor de pH.....	14
Tabla 03. Georreferenciación de los puntos de muestreo de suelo en Cullpa Alta.....	33
Tabla 04. Número de muestras de suelo según su profundidad.....	33
Tabla 05. Métodos de análisis de suelo.....	35
Tabla 06. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk - pH del suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	36
Tabla 07. Prueba de Kruskal-Wallis - pH en el suelo de <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i> ..	38
Tabla 08. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk - contenido de M.O. con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	39
Tabla 09. Análisis de varianza del contenido de M.O. del suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	40
Tabla 10. Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de M.O. en el suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i> considerando la profundidad del suelo.....	41
Tabla 11. Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de M.O. en el suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i> para la interacción especie x profundidades....	42
Tabla 12. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk - contenido de fósforo disponible en el suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	43
Tabla 13. Prueba de Kruskal Wallis - fósforo disponible en el suelo de <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	44
Tabla 14. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk - contenido de potasio (K) disponible del suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	46
Tabla 15. Análisis de varianza del contenido de potasio disponible con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i> a tres profundidades.....	47
Tabla 16. Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de potasio disponible en el suelo - interacción de las especies por profundidad.....	48
Tabla 17. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de Nitrógeno total en el suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	49
Tabla 18. Análisis de varianza del contenido de nitrógeno total con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i> a tres profundidades.....	50
Tabla 19. Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de nitrógeno total en el suelo considerando profundidades.....	51

Tabla 20. Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de nitrógeno total en el suelo considerando su interacción.....	51
Tabla 21. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la relación C/N en el suelo con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i>	53
Tabla 22. Análisis de varianza de la relación C/N con <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i> a tres profundidades.....	54
Tabla 23. Prueba de comparación múltiple de Tukey para la relación C/N del suelo considerando su profundidad.....	54
Tabla 24. Prueba de comparación múltiple de Tukey para la relación C/N del suelo considerando la interacción especie x profundidad.....	55

RESUMEN

Durante los meses de febrero a julio del 2017, se desarrolló el presente trabajo de investigación con los objetivos de determinar las propiedades químicas del suelo, pH, contenido de materia orgánica, fósforo y potasio disponible, nitrógeno total y la relación carbono/nitrógeno, en Cullpa Alta, Huancayo. Mediante transectos se recorrió las plantaciones de Quinual (*Polylepis racemosa*) y Ciprés (*Cupressus macrocarpa*), obteniendo muestras de suelo a tres profundidades: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm.

En general los resultados indican que los suelos con especies forestales de *Polylepis racemosa* y *Cupressus macrocarpa* en el anexo de Cullpa Alta, presentan diferentes valores según las propiedades químicas: el pH que presentan ambas especies forestales es fuertemente ácido con un valor de ($\text{pH} < 5.5$), sin diferencias significativas en las tres profundidades de suelo para ambas especies forestales. La materia orgánica es alta en la profundidad de 0 - 20 cm (Materia Orgánica = 4.148 %) para ambas especies forestales y disminuye regularmente en las otras profundidades, sin diferencias significativas entre sí. El nitrógeno total tiene similar comportamiento a la materia orgánica. El fósforo disponible es mayor en los suelos con *Polylepis racemosa* respecto a *Cupressus macrocarpa*, en las tres profundidades de suelo. El potasio disponible es bajo los suelos con ambas especies forestales a las tres profundidades. La relación Carbono/Nitrógeno varió de 5.41 en la profundidad de 40 - 60 cm con *Cupressus macrocarpa* a 14.03 en la profundidad de 0 - 20 cm con la misma especie, sin diferencias significativas para las dos especies y tres profundidades.

Palabras clave: suelos forestales, pH, materia orgánica, potasio, fósforo, nitrógeno, relación C/N.

ABSTRACT

During the months of February to July 2017, this research work was carried out with the objectives of determining the chemical properties of the soil, pH, content of organic matter, available phosphorus and potassium, total nitrogen and the carbon/nitrogen ratio, in Cullpa Alta, Huancayo. Through transects the plantations of Quinual (*Polylepis racemosa*) and Cypress (*Cupressus macrocarpa*) were crossed, obtaining soil samples at three depths: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm and 40 - 60 cm, as well as in an agricultural soil, and of natural pastures (0 - 20 cm) for being its limit depth. The chemical properties of each sample were analyzed.

In general, the results indicate that the soils with forest species of *Polylepis racemosa* and *Cupressus macrocarpa* in the annex of Cullpa Alta, have different chemical characteristics: the pH is the have a strongly acidic pH ($\text{pH} < 5.5$), without significant differences in the three soil depths for both forest species. The organic matter is high in the depth of 0 - 20 cm (MO = 4.148 %) for both forest species and decreases regularly in the other depths, without significant differences between them. Total nitrogen has similar behavior to organic matter. The available phosphorus is higher in soils with *Polylepis racemosa* compared to *Cupressus macrocarpa*, in the three soil depths. The available potassium is under soils with both forest species at all three depths. The C/N ratio varied from 5.41 in the depth of 40 - 60 cm with *Cupressus macrocarpa* to 14.03 in the depth of 0 - 20 cm with the same species, without significant differences for the two species and three depths.

Keywords: forest soils, pH, organic matter, potassium, phosphorus, nitrogen, C/N ratio.

INTRODUCCIÓN

Los suelos con especies arbóreas, naturales o reforestadas tienen propiedades como resultado de los factores de formación, y son alteradas por la vegetación, uso y manejo del suelo, de tal manera que el hombre los va mejorando cuando hace un uso del suelo en función de sus propiedades, mejora su fertilidad o capacidad productiva. Sin embargo, el hombre puede deteriorar las propiedades del suelo por el sobreuso o mal uso del suelo, dando origen a la degradación del suelo.

Esta interacción entre el ambiente donde se desarrolla el suelo y la vegetación natural o implantada por el hombre, influye en la sostenibilidad del ecosistema, y especialmente en la sostenibilidad del suelo, por ser un componente del ecosistema considerado como recurso no renovable, que está en continua formación, debido a que sus componentes sólidos, líquidos y gaseosos, están íntimamente mezclados, y determinan su utilización para cultivos intensivos, pastos o bosques; entre estos tipos de vegetación, las propiedades del suelo son diferentes, donde el factor biológico de formación del suelo (vegetación principalmente), influye en las demás propiedades como las químicas, aumentan o disminuyen el contenido de nutrientes, variando el pH y el contenido de materia orgánica.

Por ejemplo, la acidificación del suelo es un proceso natural, la agricultura, la contaminación y otras actividades humanas aceleran el proceso. La acidez del suelo se presenta por la hidrólisis del CO₂ proveniente de la respiración de los microorganismos, la hidrólisis de cationes metálicos, los grupos ácidos y alcohólicos de la materia orgánica, los grupos OH⁻ de las láminas de los aluminosilicatos y los fertilizantes ¹. La mayoría de los suelos ácidos son muy evolucionados, pobres en nutrientes, especialmente calcio, magnesio, fósforo, etc. Su caracterización es importante ya que entre ellos ocurren variaciones en cuanto a texturas, grado de acidez, contenido de calcio, magnesio, aluminio del complejo de intercambio, las cuales imposibilitan generalizar prácticas agronómicas orientado a mejorar su potencialidad para uso forestal, agrícola o pecuario ².

En la zona de Cullpa Alta, se observan plantaciones forestales de quinal (*Polylepis racemosa*) y ciprés (*Cupressus macrocarpa*) que se alterna con suelos agrícolas y de pastos naturales, cuyos suelos tienen propiedades diferentes, influenciados por la vegetación predominante, y requieren una caracterización química para obtener información base para prácticas de mejora y sostenibilidad.

La investigación consta de cuatro capítulos, el Capítulo I corresponde al planteamiento del estudio, donde se presenta y formula el problema de investigación, para caracterizar las propiedades químicas de suelos con *P. racemosa* y *C. macrocarpa* y sus diferencias con suelos agrícolas y de pastos. Se plantean los objetivos, la justificación e importancia, las hipótesis y descripción de variables.

En el Capítulo II se presenta el marco teórico, con los antecedentes del problema de caracterización de propiedades de suelos con especies forestales, agrícolas y de pastos; y las bases teóricas de las propiedades químicas de los suelos.

El Capítulo III comprende la metodología del estudio, utilizó el método general de investigación hipotético-deductivo, aplicada y descriptivo.

El capítulo IV presenta los resultados y discusión, de las propiedades químicas del suelo analizadas en suelo forestal.

La autora.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Las propiedades del suelo son el resultado de la acción de factores de formación, como: el clima, relieve, vegetación y material parental a través del tiempo, sus indicadores varían en función de la intensidad de acción sobre los factores de formación, que han actuado a través de los procesos de formación, como son: acumulación, descomposición, mineralización, humificación, lixiviación, entre otros. La expresión de los procesos y factores de formación lo constituye el perfil de suelo ³.

En el valle del Mantaro, las formaciones vegetales son la expresión del tipo o calidad del suelo, además representan las modificaciones por la acción del hombre, procesos de erosión, uso y manejo del suelo manifestado por la intervención y la reforestación con especies introducidas como *C. macrocarpa* y especies nativas como *P. racemosa*. Constituyéndose en una buena medida para atenuar el efecto de erosión del suelo, favorecer la formación del suelo, asociarse con otras especies vegetales, como arbustos y plantas anuales, y crear microclimas que favorecen la mejora del ecosistema.

El anexo de Cullpa Alta posee extensas áreas naturales con una configuración rural, estas presentan evidencias de la aplicación de una

serie de prácticas con efectos nocivos sobre el suelo, como : la quema anual de pastos, incendios forestales aparentemente provocados, monocultivos que podrían agotar la fertilidad natural de los suelos, cultivos agrícolas en terrenos expuestos a la erosión, uso descontrolado de algunas riveras de los cursos de agua, construcción de trochas carrozables, entre otros ⁴. Con base a estas prácticas, se infiere que las propiedades químicas podrían ser modificadas con el manejo de especies forestales nativas o exóticas.

1.1.2. Formulación del problema

A) Problema general:

¿Existen diferencias en las propiedades químicas del suelo de plantaciones de *Polylepis racemosa* y *Cupressus macrocarpa* en Cullpa Alta, Huancayo, 2017?

B) Problemas específicos:

- ¿Cuáles son las concentraciones de pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N de los suelos con plantaciones de *Polylepis racemosa* en Cullpa Alta, Huancayo, 2017?
- ¿Cuáles son las concentraciones de pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N de los suelos con plantaciones de *Cupressus macrocarpa* en Cullpa Alta, Huancayo, 2017?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar si existen diferencias en las propiedades químicas del suelo de plantaciones de *Polylepis racemosa* y *Cupressus macrocarpa* en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir las propiedades químicas del suelo (pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N) de plantaciones de *Polylepis racemosa* en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.
- Describir las propiedades químicas del suelo (pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N) de plantaciones de *Cupressus macrocarpa* en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación tecnológica

Los resultados de la presente investigación servirán para comparar las propiedades químicas de un suelo con plantaciones de *P. racemosa* y *C. macrocarpa*, para proponer especies forestales que se deben propagar en nuestra zona y aprovechar el incremento de la fijación de carbono en el suelo, pues las especies arbóreas permiten su asociación con vegetación arbustiva y anual e incrementan la eficiencia de los proyectos de reforestación, especialmente con especies nativas o de fácil adaptación en la zona de estudio, generando la sostenibilidad del ecosistema natural.

1.3.2. Justificación social

La caracterización de las propiedades químicas de los suelos permitirá conocer mejor los suelos de uso forestal, agrícola o de pastizal en la comunidad de Cullpa Alta, para hacer las recomendaciones de mejora, por ejemplo, si tienen baja materia orgánica, recomendar su incremento, si tiene bajo contenido de nutrientes, de igual manera, además los anexos aledaños soportan un tipo de ganadería extensiva que también es una de las causas gravitantes en el deterioro progresivo de los suelos y, por ende, de la cuenca del río Shullcas.

Para la mejora del suelo en los agroecosistemas radica sobre todo en el grado en que los agricultores sean capaces de incluir en sus prácticas mecanismos de mantenimiento de una cobertura continua de plantas, la que junto a la composición del suelo, facilita la infiltración del agua de lluvia; favorecimiento de una capa de hojarasca en descomposición para proporcionar una fuente de energía constante a los macro y microorganismos; asociación de especies vegetales (emulando a los bosques naturales), cuyas raíces utilicen los diferentes horizontes del suelo, lo que permite una buena absorción de nutrientes e interacción con los microorganismos del suelo ⁴.

1.3.3. Justificación académica

Las propiedades químicas de los suelos, son comparativamente de fácil cambio que las propiedades físicas o biológicas, que son afectadas según el uso que se le da al suelo; en la sierra, los suelos con plantaciones forestales, incrementan las deposiciones de biomasa y su descomposición es afectada por el pH, y las condiciones ambientales, resultando variaciones en las propiedades químicas, como el contenido de nutrientes, y la relación carbono/nitrógeno; que influyen en el desarrollo del suelo, en comparación con los suelos de uso agrícola, o de pastos, que son más intensivos y oxidan más fácilmente la materia orgánica; estas variaciones de las propiedades químicas del suelo son de particular interés para tener recomendaciones de manejo y conservación del suelo, generando su continua mejora en el tiempo.

1.3.4. Importancia

La caracterización de propiedades químicas del suelo constituye información básica en el conocimiento, para su uso, manejo y sostenibilidad. De lo contrario, su sobreutilización o subutilización, genera alteraciones que afectan al recurso suelo, a las especies vegetales que prosperan y a las personas que dependen de la producción y beneficios de las plantas anuales o perennes, como se afirmó en la zona de intervención

del anexo de Cullpa Alta. El manejo y mejora de las propiedades químicas del suelo, orienta al técnico y a las personas relacionadas al uso del suelo, a ejecutar prácticas que no afecten o disminuyan sus niveles (contenido de nutrientes), pues cada zona geográfica tiene diferentes suelos y cada suelo, diferentes propiedades químicas, afectadas por factores naturales y antrópicos.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis de investigación

H_a: Las propiedades químicas del suelo de plantaciones de *Polylepis racemosa* son diferentes a los suelos de *Cupressus macrocarpa*, en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.

1.4.2. Hipótesis nula

H₀: Las propiedades químicas del suelo de plantaciones de *Polylepis racemosa* no son diferentes a los suelos de *Cupressus macrocarpa*, en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.

1.4.3. Hipótesis específicas

- H_a: Las concentraciones de las propiedades químicas del suelo: pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N presentan diferentes características en las plantaciones de *Polylepis racemosa* en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.
- H_a: Las concentraciones de las propiedades químicas del suelo: pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N presentan diferentes características en las plantaciones de *Cupressus macrocarpa* en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.

1.4.4. Operacionalización de las variables

Tabla 01. Operacionalización y descripción de las variables en estudio.

Variable y tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
X = Especie forestal (independiente)	<p>Especies forestales que prosperan en determinado suelo, según su aptitud.</p>	Especies forestales	Especies forestales	Árboles de <i>P. racemosa</i> y <i>C. macrocarpa</i> .
		Concentración de iones H ⁺ en la solución suelo, medido por el método del potenciómetro.	Acidez, neutralidad o alcalinidad.	pH
Y = Propiedades químicas del suelo (dependiente)	<p>Características propias de los suelos, referidos al pH, materia orgánica, P disponible, K disponible, nitrógeno total, relación carbono/nitrógeno⁵.</p>	Mezcla de residuos orgánicos en el suelo en diferentes estados de descomposición.	Bajo, medio alto.	Materia orgánica (%)
		Fósforo en solución y lábil.	Bajo, medio alto.	P disponible (ppm)
		Potasio en solución y lábil.	Bajo, medio alto.	K disponible (ppm)
		Nitrógeno orgánico e inorgánico.	Bajo, medio alto.	Nitrógeno total (%)
	Relación Carbono orgánico/Nitrógeno total.	Bajo, alto.	Relación C/N	

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En el trabajo de investigación titulado: "*Historical land use pattern affects the chemistry of forest soils in the Ethiopian highlands*", se condujo un estudio en el bosque de Menagesha (Etiopía) para determinar si la química de los suelos forestales podría estar relacionado a la historia del lugar. El cambio histórico del uso de la tierra fue reconstruido basado en los valores del ^{13}C . Los suelos fueron analizados para diferentes propiedades químicas y los resultados fueron comparados con las concentraciones de C y N. El carbono orgánico (%) fue elevado en los suelos minerales de posiciones altitudinales medias, lo cual corresponde a las condiciones alteradas desde la deforestación de hace más de 550 años. Hay una fuerte correlación entre la capacidad de intercambio total (CIC_t) y carbono orgánico y entre el calcio intercambiable y calcio total. El calcio intercambiable fue más del 70 % del calcio total en los suelos minerales profundos. La estimación de las cantidades totales de elementos minerales sugiere que el calcio y el S son acumulados en la superficie del suelo, mientras los otros elementos están disminuidos. El nitrógeno total y el nitrógeno inorgánico extractable con KCl estuvieron correlacionados positivamente en la hojarasca y suelos minerales superficiales; sus concentraciones fueron altas en altitudes medias. Los suelos de altitudes medias con varios cientos de años con cubierta de bosques no alterados tienden a tener altas concentraciones de materia orgánica, nitrógeno total y disponible y calcio intercambiable que los bosques de elevaciones altas y bajas, que han sido alterados más frecuentemente. Los suelos forestales sujetos a

alteraciones tienden a tener baja capacidad de intercambio catiónico y capacidad de retención de nutrientes. Este estudio indica que la variación en la química de suelos forestales junto con la gradiente altitudinal en el bosque de Menagesha está relacionada a los patrones históricos de cambios de uso de la tierra, y no a variaciones relacionadas litológicamente. Los datos también sugieren que la presencia de bosques en este caso de paisaje abierto conduce a la acumulación de cationes básicos en el suelo, especialmente calcio, debido a la deposición de la atmosfera ⁶.

En el trabajo de investigación: “*The phosphorus composition of contrasting soils in pastoral, native and forest management in Otago, New Zealand: Sequential extraction and ³¹P NMR*”, con el objetivo de examinar la influencia del uso de la tierra forestal, pasto y nativo (no alterado) sobre las formas de fósforo (P) en cinco suelos diferentes desde un Regosol hasta una Rendzina en Otago, Nueva Zelanda. Los factores climáticos que probablemente influyen la distribución del P en el suelo fueron anulados al seleccionar cuidadosamente los lugares. El P total disminuyó en suelos forestales (promedio = 674 mg/kg) junto con una disminución del carbono orgánico del suelo (31 %), comparado a suelos nativos (promedio = 784 mg/kg). Contrariamente, la relación de P inorgánico a orgánico incrementó (10 %) debido probablemente a la mineralización del P orgánico en suelos forestales, mientras que, en los suelos de pastos, la acumulación de P en formas inorgánicas fue debido a las entradas de P vía fertilizantes y el estiércol animal fue menor. La investigación de las formas de P orgánico en extractos de OH-EDTA de cada uso de la tierra por espectroscopia de resonancia magnética nuclear de P indica que los diester fueron mayores en el suelo nativo (4 - 12 % del P total en el espectro), y disminuyen como una proporción del P total en suelos con pastos y más en suelos forestales. Esto se reflejó en una disminución de la relación diester a monoester. Sin embargo, la relación fue generalmente mayor en suelos forestales que en suelos con pastura y atribuidos a la naturaleza lábil de los diester, mineralización de monoester en suelos forestales, y un incremento en monoester en suelos de pastos desde los fosfatos de inositol en residuos de plantas. Este efecto fue pronunciado en el Regosol debido a la textura arenosa y la acumulación preferencial de residuos de plantas en fracciones gruesas de tamaño de partícula. Debido a la disminución de las reservas de P en el suelo, los suelos forestados en el área deberían ser seguidos por pastura y bien manejados por adición de fertilizantes antes de la resiembra ⁷.

En el trabajo de investigación titulado: "*Conifer invasion of forest meadows transforms soil characteristics in the Pacific Northwest*", se tuvo como objetivo de determinar si la invasión de praderas altas por árboles en las Montañas de la Cascada Central de Oregon alteran las propiedades del suelo. En muchas áreas, las características químicas y biológicas de los suelos cambian cuando los árboles colonizan las praderas. Se midió las propiedades del suelo a lo largo de transectos de montañas de praderas a través de zonas de transición, donde los árboles estaban bien establecidos, dentro del bosque maduro. Las diferencias observadas en este estudio apoyan el punto de vista que el nitrógeno (N) es más disponible en suelos con pasturas que en suelos forestales y que las cantidades y el ciclo del N cambian marcadamente cuando los árboles invaden pasturas de montaña. La actividad de la β -glucosidasa en el suelo de la zona de transición fue cercano al del suelo forestal y mucho más bajo que en el suelo de pastos, sugiriendo cambios cualitativos en las poblaciones microbiales conforme los microorganismos se equilibran a cambios en la calidad de la hojarasca. Las altas correlaciones entre la profundidad hasta donde se encuentra la hojarasca y la mayor parte de variables en el suelo de praderas, que no fueron observadas en el suelo de la zona de transición o suelo forestal maduro, sugieren que la hojarasca puede controlar otros aspectos del ciclo biogeoquímico en pasturas. Con la excepción de la respiración microbiana medida en laboratorio, los valores observados en la zona del suelo de transición entre los suelos de pradera y los suelos forestales; en la mayoría de los casos, estuvieron más cercanos a los suelos forestales. Esto sugiere que las propiedades del suelo cambian rápidamente hacia aquellas encontradas en suelos forestales conforme los árboles invaden las praderas. Éstos cambios rápidos pueden alterar los suelos, de tal manera que es más probable que soporten árboles que pastos ⁸.

En el trabajo de investigación titulado: "*Carbon and Nitrogen in Danish Forest Soils- Contents and Distribution Determined by Soil Order*", se tuvo como objetivo examinar la magnitud y distribución de las cantidades de Carbono (C) y Nitrógeno (N) orgánicos en suelos forestales daneses. Se reunieron todos los datos disponibles; las características del perfil de suelo, variables físicas y químicas que están relacionadas al almacenamiento de C y N en los suelos, y luego analizar y discutir estos datos para establecer relaciones con los procesos de formación del suelo. Se examinaron 140 perfiles de suelos forestales de levantamientos pedológicos de suelos forestales daneses. Se calculó la cantidad de C y N total en

capas orgánicas y suelos minerales a una profundidad de 1 m. Los perfiles presentaron variaciones en textura (arena a franca), y orden de suelo (Taxonomía de suelos USDA: Spodosols, Alfisols, Entisols, and Inceptisols). El contenido promedio de C y N orgánico total fue 12.5 y 0.61 kg/m² respectivamente. Hay grandes diferencias entre C y N total en los órdenes de suelos. Los spodosols tuvieron el mayor contenido de C (14.6 kg/m²), y los Alfisols los más bajos (8.8 kg/m²), mientras que el contenido de N fue mayor en Alfisols (0.75 kg/m²) y menor en Spodosols (0.51 kg/m²). El principal contribuyente al alto contenido de C orgánico en Spodosols es el horizonte spodic conteniendo humus iluvial, y horizontes orgánicos de gran espesor. Las concentraciones de C y N disminuyeron con la profundidad del suelo. El contenido de arcilla del suelo estuvo negativamente correlacionado al contenido de C y positivamente correlacionado al contenido de N. Los órdenes de suelo y la designación de horizontes pueden ser útiles en predecir el contenido de C y N total de suelos forestales daneses, y puede también predecir el potencial para el secuestro de C tras la forestación de tierras de cultivo ⁹.

En el trabajo de investigación titulado: "*Soil properties and processes driving the leaching of nitrate in the forested catchments of the Eastern escarpment of South Africa*", tuvo como objetivo entender las diferencias en propiedades del suelo de pasturas y sitios forestales adyacentes con la intención de explicar la lixiviación de nitratos. Se enfatizó la medida de las propiedades químicas y biológicas del suelo. En esta investigación, las muestras de suelo tomadas de ecosistemas similares en ecosistemas de pastos y forestales adyacentes (50 m uno de otro) fueron ensayadas para un rango de propiedades para determinar diferencias, lo cual podría explicar las razones de la elevada lixiviación de nitratos desde los suelos forestales en estas áreas. Los suelos fueron colectados cada mes en la estación de verano y se analizó pH, nitrógeno total, fósforo total, carbono orgánico y tasa neta de mineralización de nitrógeno. De los suelos colectados con la profundidad del suelo (en intervalos de 10 cm), se preparó un extracto de pasta saturada y se analizó los principales aniones, cationes, conductividad eléctrica, pH y adsorción de nitrato. Tres tipos de rocas parentales fueron estudiadas, dolomita, dolomita y cuarcita mezclada y cuarcita. Se halló una reducción del pH en casi 0.51 unidades, con la mediana de pH de 4.30 y 4.07 para suelos de pastos y forestales, respectivamente. Hubo un alto nivel de materia orgánica en los suelos de origen dolomítico, seguidos por aquellos de origen mezclado dolomítico y cuarcítico y finalmente aquellos de origen cuarcítico. La tendencia general con respecto a los

cambios en el nitrógeno total, fósforo total y relación C:N ($P < 0.01$) sigue la tendencia mostrada por el carbono orgánico del suelo. Las tasas netas de mineralización del nitrógeno apuntan significativamente hacia una más rápida tasa de mineralización de nitrógeno y nitrificación en suelos forestales (promedio $0.9 \mu\text{g N/g suelo/día}$) que aquellos bajo los sitios de pastos adyacentes (promedio $0.3 \text{ g N/g suelo/día}$). Esto fue más resaltante en los suelos arcillosos, derivados de dolomita al inicio del periodo de estudio en setiembre 2000. La concentración de nitrato soluble en agua en los horizontes superiores en suelos de pastos fue más baja (menos de 0.1 mmol/L) comparado al de los suelos forestales (hasta 1.1 mmol/L). La clara tendencia de adsorción de nitrato fue proporcionada de la representación gráfica de los más bajos niveles de adición de nitrato (3.4 mmol/kg) en suelos de pastos. Los resultados de este estudio sugieren que la reforestación tiende a cambiar la capacidad de los suelos para retener nitratos ¹⁰.

En el artículo de investigación titulado: "*Características químicas de suelos forestales chilenos*", se tuvo como objetivos analizar las características químicas de suelos forestales chilenos, considerando los aspectos de fertilidad y los procesos de evolución. Se seleccionaron 42 perfiles de suelos forestales, con un total de 207 muestras, realizando los análisis de: pH, carbono orgánico, nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables, hierro y aluminio soluble, fósforo disponible, granulometría, ácidos húmicos y fúlvicos. Los resultados muestran que la materia orgánica se acumula en la superficie de los suelos y disminuye marcadamente con la profundidad. La evolución del humus aumenta a medida que se desciende en el perfil. El complejo de intercambio está fuertemente dominado por los coloides orgánicos y al aumentar la profundidad se incrementa la CIC del humus. Los cationes de intercambio se encuentran acumulados en los horizontes orgánicos y disminuyen bruscamente con la profundidad. Las formas de Aluminio y Hierro y la relación ácido fúlvico/ácido húmico indican fenómenos de podsolización en los suelos analizados en las regiones VII, VIII y XII. Además, sugieren cantidades importantes de componentes no-cristalinos en algunos horizontes de la región XII y cantidades menores en la región metropolitana. La fertilidad está concentrada en los horizontes orgánicos. En general los horizontes minerales son pobres en nutrientes, con excepción de los de la región metropolitana, que tiene una mejor fertilidad ¹¹.

En el artículo de investigación titulado: “*Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlán, Hidalgo, México*”, se tuvo como objetivos determinar las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los suelos ácidos y clasificar los suelos de acuerdo con los criterios del IUSS Working Group WRB. Los perfiles de suelo se localizaron entre las coordenadas 20°10` y 20°13` de latitud norte y 98°12` y 98°15` de longitud oeste, a una altura promedio de 2300 m. Esta zona se ubica dentro de la provincia geológica de la Faja volcánica transmexicana del Cenozoico y ambiente geotectónico de arco continental. El uso dominante del suelo es forestal, donde la vegetación que predomina es bosque de pino encino compuesto de *Quercus spp*, *Pinus teocote*, cultivo de maíz, y *Pinus patula*. Las propiedades químicas de los suelos indican un pH que varió de 6.7 a 4.9, ligeramente ácido a muy ácido, capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta (promedio 30 cmol/kg), materia orgánica mayor de 4% en los horizontes superiores. La fracción arcilla está caracterizada por caolinita, haloisita y óxidos de hierro (goetita). La secuencia de los óxidos lábiles en los horizontes Bt es: $Fe_2O_3 > Al_2O_3 > SiO_2$ lo que indica una etapa de intemperización avanzada de los minerales ².

En el trabajo de investigación titulado: “*Propiedades generales y bioquímicas de suelos forestales en áreas serpentinizadas de Galicia*”, se tuvo como objetivo analizar la variación de las propiedades químicas y físicas generales, el contenido total de metales y las propiedades relacionadas con la biomasa microbiana y su actividad metabólica y bioquímica en una serie de suelos naturales, desarrollados sobre serpentinitas, donde habitualmente se encuentran los endemismos más raros y amenazados de la región gallega. Además de las relaciones entre estas propiedades del suelo y la vegetación predominante, estos suelos se compararon con otros de la región gallega desarrollados sobre diferentes materiales geológicos y bajo vegetación clímax de robledal atlántico (*Quercus robur*). De las correlaciones entre los parámetros determinados se observó que la causa de una menor fertilidad de estos suelos, en cuanto a materia orgánica, nutrimentos y una baja actividad microbiana y bioquímica, se debe al poco desarrollo de la vegetación y al potencial efecto tóxico que presentan los metales sobre la actividad biológica en el medio. Variaciones en el equilibrio natural pueden modificar el hábitat de la vegetación e incrementar el peligro de extinción de algunas especies, sobre todo los endemismos vegetales que crecen sobre estos suelos ¹².

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Las propiedades químicas del suelo

2.2.1.1. pH

La forma más usual de diagnosticar las condiciones de acidez o basicidad de un horizonte de suelo, sedimento o estériles de mina se basa, por su rapidez y facilidad, en la medida del pH en una suspensión suelo-agua (1:2.5). La acidez y la basicidad del suelo afectan a sus diversas propiedades, a su comportamiento y al crecimiento de las plantas ¹³.

- Propiedades físicas afectadas del suelo son sus estructuras, la porosidad y aireación, su conductividad hidráulica y el régimen de humedad, temperatura y así mismo la dispersión-floculación de los coloides (iluviación).
- Las propiedades químicas afectadas: son a causa de la meteorización química, por la movilidad de elementos tóxicos (aluminio, manganeso y metales pesados), biodisponibilidad, disponibilidad de nutrientes (calcio, magnesio, molibdeno, fósforo), descomposición de la materia orgánica, adsorción de aniones (fosfatos, sulfatos, cloruros), procesos de hidromorfismo y también neoformación de minerales de arcilla).
- Las propiedades biológicas son afectadas por las relaciones bacterias-hongos, la población bacteriana, nodulación en leguminosas, humificación y la fijación de nitrógeno.
- También hay afección por la movilidad y absorción de nutrientes.

En los suelos se distingue la acidez actual y la acidez total o potencial. La primera, se expresa por la concentración de iones H^+ actualmente disociados en la solución suelo y se expresa por el pH. La segunda corresponde a los iones H^+ de cambio

adsorbidos (o al Al^{+3} que libera iones H^+) que se disocian progresivamente en la solución suelo. La solución total se mide por volumetría y corresponde a la cantidad de cationes metálicos necesarios para saturar el complejo adsorbente, es decir, reemplazar la totalidad de los iones H^+ (o Al^{+3}) de cambio. Por lo tanto, mientras más bajo sea el pH (menor de 6) más desaturado será el complejo adsorbente ¹⁴.

La acidificación progresiva que se presenta de manera especial en los suelos de áreas tropicales húmedas, particularmente cuando se practica una agricultura intensiva, se debe al reemplazo paulatino de las bases cambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio) por iones hidrógeno y aluminio. Este reemplazo resulta de la percolación del agua, de la extracción de los cationes cambiables y del uso de abonos de carácter ácido ¹⁵.

El pH influye mucho en la asimilación de elementos nutritivos por las plantas. En términos generales, los valores de pH comprendidos entre 6 y 7 son los más adecuados para la asimilación. Cada cultivo vegeta mejor en un determinado intervalo de valores de pH, aunque hay una cierta capacidad de adaptación. En la siguiente tabla se presenta la clasificación de suelos según el valor de pH ¹⁶.

Tabla 02. *Clasificación de suelos según el valor de pH.*

pH	Evaluación	Efectos
< 4.5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido	Posible efecto de toxicidad.
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido	Deficiente asimilación de algunos elementos
5.6 - 6.0	Mediadamente ácido	Adecuado para la mayoría de los cultivos
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido	El más adecuado para la asimilación de nutrientes

6.6 - 7.3	Neutro	Efectos tóxicos mínimos
7.4 - 7.8	Medianamente básico	Existe carbonato de calcio
7.9 - 8.4	Básico	Deficiente asimilación de algunos elementos
8.5 - 9.0	Ligeramente alcalino	Problemas de clorosis
9.1 - 10.0	Alcalino	Presencia de carbonato sódico
> 10.0	Fuertemente alcalino	Poca asimilación de algunos elementos.

Fuente: Porta et. al. ¹³.

El pH del suelo puede variar dramáticamente sobre pequeñas distancias (milímetros o menos). Por ejemplo, las raíces de las plantas pueden elevar o bajar el pH del suelo en su vecindad inmediata, haciendo al pH de la rizosfera del suelo algo diferente del volumen de suelo adyacente a unos pocos mm. De tal manera, que la raíz puede experimentar un ambiente químico muy diferente del indicado por la medida del laboratorio realizado en el volumen de la muestra de suelo. Tal variabilidad en escala de mm puede acontecer en parte por la gran diversidad de especies microbiales presentes en los suelos normales. Las concentraciones de fertilizantes o las cenizas de los fuegos forestales pueden causar variación del pH dentro del espacio de unos pocos centímetros a unos pocos metros. Otros factores, tales como la erosión y drenaje pueden causar la variación del pH sobre grandes distancias (cientos de metros), frecuentemente variando sobre 2 o más unidades de pH dentro de unas pocas hectáreas. Diferentes horizontes, o aún partes de horizontes, dentro del mismo suelo pueden exhibir sustanciales diferencias en pH. En muchos casos, el pH de los horizontes superiores es más bajo que de los horizontes profundos, pero existen muchos patrones de variabilidad.

Los procesos de acidificación usualmente proceden en un inicio cerca de la superficie del suelo y disminuyen su intensidad con la profundidad del perfil. Ejemplos incluyen la acidez de la lluvia, la oxidación del nitrógeno aplicado como fertilizante en la superficie del suelo, y la descomposición de residuos de plantas en la superficie del suelo. Reforzando esta tendencia vertical del pH, muchos procesos alcalinizantes naturales tales como la meteorización de minerales son típicamente más activos en los horizontes inferiores donde los materiales meteorizables provenientes del material parental están aún presentes. Una acumulación de sales cerca de la superficie del suelo durante periodos secos versus la lixiviación de estas sales durante periodos húmedos frecuentemente produce variaciones estacionales en el pH del suelo. Otras causas de la variación estacional del pH incluyen periodos de intensa descomposición orgánica con el inicio de temperaturas cálidas o las primeras lluvias. La mayor parte de los procesos de acidificación del suelo son algo lentos y deben superar el poder tampón del suelo, de tal manera que el pH del suelo generalmente cambia lentamente sobre un periodo de años o décadas ⁵.

2.2.1.2. Contenido de nutrientes en el suelo

Quizás los procesos interactivos más importantes que involucran a los cuatro componentes del suelo es la provisión de elementos nutrientes esenciales para las plantas. Las plantas absorben nutrientes esenciales, junto con el agua, directamente de uno de estos componentes: la solución suelo. Sin embargo, la cantidad de nutrientes esenciales en la solución suelo en cualquier momento es suficiente para suministrar las necesidades de la vegetación en crecimiento solo para unas pocas horas o días. Consecuentemente, los niveles de nutrientes de la solución suelo deben ser constantemente reaprovisionados de los componentes orgánicos o inorgánicos del suelo y de los fertilizantes o abonos agregados a los suelos agrícolas. Por una serie de procesos

químicos y bioquímicos, los nutrientes son liberados de estas formas sólidas para reaprovisionar la solución suelo. Los iones nutrientes también son liberados a la solución suelo conforme los microorganismos del suelo descomponen los tejidos orgánicos.

La mayoría de los suelos contiene grandes cantidades de nutrientes de plantas con relación a las necesidades anuales de la vegetación en crecimiento. Sin embargo, el volumen de la mayoría de los elementos nutrientes está retenido en la red estructural de minerales primarios y secundarios y la materia orgánica. Solo una pequeña fracción del contenido de nutrientes de un suelo está presente en formas fácilmente disponibles para las plantas ⁵.

Nitrógeno:

El contenido de nitrógeno total en el suelo varía de 0.02 a 0.5 % en suelos minerales, incrementándose con el contenido de materia orgánica del suelo. En los suelos orgánicos, el contenido de N total puede ser mayor de 2.5 %. El contenido de nitrógeno total disminuye con la profundidad del suelo. El nitrógeno total del suelo se presenta en forma orgánica o inorgánica, donde casi el 95% del nitrógeno total en suelos superficial es nitrógeno orgánico ¹⁶.

El nitrógeno orgánico del suelo forma parte de la materia orgánica procedente de los restos vegetales y animales. Este nitrógeno, que representa una gran parte del nitrógeno contenido en el suelo, no puede ser aprovechado por las plantas mientras no se transforme en nitrógeno inorgánico, acción que llevan a cabo los microorganismos del suelo. Las formas más importantes del nitrógeno inorgánico son: el ion amonio y el ion nitrato. El ion amonio puede ser adsorbido por el complejo de cambio, mientras que el ion nitrato permanece en la solución suelo. Las plantas toman la mayor parte del nitrógeno bajo la forma de ion nitrato y en menor cantidad bajo la forma de ion amonio. El balance del

nitrógeno en el suelo bajo formas asimilables es el resultado de un continuo movimiento, en donde se producen entradas y salidas del nitrógeno en el suelo. Las entradas o ganancias se producen por los procesos de fijación de nitrógeno atmosférico y la mineralización de la materia orgánica ¹⁷.

En contraste con lo anterior las salidas o pérdidas se originan por los procesos de inmovilización por los seres vivos, retención en el interior del entramado de algunas arcillas, además de la denitrificación, volatilización y lavado.

En hábitats nativos, incluyendo bosques vírgenes o praderas, las ganancias y pérdidas en el ciclo se equilibran en el tiempo. Poco nitrógeno sale del sistema hacia los lagos o ríos. Esta es una de las razones por lo que las municipalidades tienen alrededor de sus reservorios árboles. En comparación, las tierras agrícolas pierden grandes cantidades de nitrógeno.

Los cultivos en crecimiento (inclusive pastos) cambian grandemente el balance del nitrógeno en el suelo, de manera que incrementan la pérdida debido a los siguientes procesos ¹⁸.

- El nitrógeno es removido por la cosecha, o eliminación a través de los cortes del pasto.
- El nitrógeno frecuentemente es aplicado en exceso de las necesidades de las plantas; este exceso no será absorbido por las plantas y es de libre movimiento.
- El suelo cultivado está más propenso a la erosión, de tal manera que el nitrógeno y otros nutrientes son llevados en el agua de escorrentía.
- El riego incrementa la percolación de agua a través del perfil de suelo, incrementando la pérdida de nitrato por lixiviación. Al mismo tiempo el suelo húmedo puede incrementar las pérdidas por desnitrificación.
- El encalado puede incrementar la pérdida de amonio por volatilización.

Muy poco nitrógeno está disponible para la planta está presente en el suelo en su estado natural. La mayor parte del nitrógeno está contenida en la materia orgánica del suelo, de tal manera que la cantidad de nitrógeno en el suelo depende de la concentración de materia orgánica en el suelo. Las rocas y minerales de los cuales los suelos se han formado no contienen nitrógeno. Casi todo el nitrógeno presente en el suelo se origina de la atmosfera terrestre. Casi el 80 % del aire que nosotros respiramos es nitrógeno gaseoso (N_2), este es el nitrógeno en la atmosfera, pero este es solo de valor nutritivo para las leguminosas y algunos árboles, que son capaces de usarlo a través de bacterias en los nódulos radiculares, así como los organismos de vida libre en el suelo, que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico y lo hacen disponible para la planta ¹⁹.

Fósforo:

El fósforo (P) total en la superficie de los suelos varía de 0.005 a 0.15 %, y disminuye con el incremento de la intensidad de la meteorización. De tal manera que, el P total en el suelo es mucho más bajo en suelos de regiones tropicales y húmedas comparados a suelos de regiones semiáridas a áridas. Desafortunadamente, la cantidad de P total en el suelo tiene poca o ninguna relación con la disponibilidad para las plantas. Aunque los suelos de regiones semiáridas son frecuentemente altos en P total, muchos son bajos en P disponible para las plantas. Por el contrario, los suelos con P en exceso para las necesidades de las plantas, que es común en suelos donde el estiércol es aplicado continuamente, puede incrementar el potencial para el transporte de P a las aguas freáticas ¹⁶.

En el suelo hay fósforo orgánico e inorgánico. El fósforo orgánico está contenido en la materia orgánica procedente de los restos vegetales y animales. El fósforo inorgánico está contenido en ciertos minerales del suelo, que al descomponerse proporcionan el fósforo asimilable para las plantas. En el suelo hay suficiente

cantidad de fósforo para satisfacer las necesidades de los cultivos durante años, in necesidad de hacer aportaciones. Pero únicamente puede ser asimilado por las plantas el fósforo soluble contenido en la solución del suelo, y este representa una parte pequeña del total. La solubilidad del fósforo depende de la presencia de otros iones (calcio, hierro, aluminio) y del pH del suelo. El pH comprendido entre 6 y 7.5 favorece la solubilidad del fósforo. Con pH inferior a 6 o superior a 7.5 se forman con facilidad compuestos insolubles ¹⁷.

El fósforo del suelo es proporcionado por la meteorización de minerales como apatitas, que son minerales de fosfato de calcio. Conforme se altera la apatita, libera aniones que pueden ser usados por las plantas. Estos aniones son ortofosfatos primarios (H_2PO_4^-) y secundarios (HPO_4^{2-}). Muchos suelos contienen grandes cantidades de fosfato, pero mayormente no está disponible para las plantas. Los fosfatos en formas insolubles que no está libres para el crecimiento de las plantas se dicen están "fijados". Las reacciones que fijan fosfato dependen del pH del suelo. En suelos fuertemente ácidos (pH 3.5 - 4.5) forma fosfatos de hierro insoluble. Entre pH 4.0 y 6.5, el fósforo reacciona con aluminio. Los fosfatos de calcio son importantes entre 7.0 y 9.0. La máxima disponibilidad se encuentra a pH 6.5 en suelos minerales, pero de 6.0 a 7.0 es satisfactorio para la mayoría de las plantas. Entre el 25 % y 90 % del todo el fósforo del suelo reside en la materia orgánica, un importante almacén de fósforo ¹⁸.

El fósforo elemental es muy reactivo químicamente, no está presente en el estado puro en la naturaleza. Se encuentra solo químicamente con otros elementos. El fósforo en el suelo proviene mayormente de la meteorización de la apatita, un mineral que contiene fósforo y calcio (Ca), así como otros elementos tales como flúor (F) y cloro (Cl). Cuando las apatitas se desintegran y liberan fósforo al suelo, se forman varios compuestos, incluyendo los dos iones ortofosfato absorbidos por las plantas. Estos iones ortofosfato están presentes en pequeñas cantidades en la

solución suelo. El fósforo soluble en el suelo, al margen de la fuente, formará compuestos con calcio (Ca), hierro (Fe), aluminio (Al) y manganeso (Mn), y se enlazarán con superficies reactivas de ciertos minerales de arcilla como caolinita, óxidos de hierro y aluminio en suelos volcánicos rojos y alófana, imogolita y complejos humus-Al en suelos derivados de cenizas volcánicas. Estas reacciones reducen la disponibilidad de fósforo para las plantas debido a que es revertido a formas fijadas. Sin embargo, compuestos como el fosfato dicálcico son relativamente disponibles para las plantas ¹⁹.

El problema del fósforo en la fertilidad del suelo tiene tres aspectos. Primero, el contenido de fósforo total de los suelos es relativamente bajo, variando de 200 a 2000 kg P en los 15 cm superiores de 1 ha de suelo. Segundo, los compuestos de fósforo comúnmente hallados en los suelos no son mayormente disponibles para la absorción de la planta, frecuentemente debido a que son altamente insolubles. Tercero, cuando las fuentes solubles de fósforo, tales como de los fertilizantes y estiércoles, son agregados a los suelos, se fijan (cambian a formas no disponibles) y en el tiempo forman compuestos altamente insolubles. Las reacciones de fijación en los suelos pueden dejar solo una pequeña fracción (10 a 15 %) del fósforo aplicado en los fertilizantes y estiércoles para ser absorbidos por las plantas durante el año de aplicación. Consecuentemente, los agricultores en países desarrollados pueden hacer el esfuerzo de aplicar dos a cuatro veces el fósforo removido en la cosecha. Repetir esas aplicaciones por muchos años, saturarían la capacidad de fijación de fósforo del suelo y aumentarían el nivel de fósforo disponible en el suelo. Tales aplicaciones por largo tiempo mejorarían la disponibilidad de P del suelo ⁵.

La nutrición de fósforo de especies forestales es diferente de los cultivos agrícolas anuales y muchos perennes. Los ecosistemas forestales, debido parcialmente al gran tiempo de rotación y el nivel extensivo de manejo, tienen un ciclo cerrado de nutrientes

que es impuesto en los primeros estados de desarrollo. La longitud de rotación puede ser tan corta como 7 a 10 años para Eucalipto en los trópicos, hasta tan largo como un siglo o más en bosques templados manejados extensivamente y boreales. La importancia de un ciclo cerrado de nutrientes no tiene un corolario en ecosistemas agrícolas anuales. La retranslocación (reabsorción) de nutrientes desde las hojas senescentes es un proceso significativo en la nutrición de fósforo en plantaciones forestales a largo plazo. El desarrollo y la descomposición del piso forestal son importantes determinantes del suministro de P a largo plazo. También, la profundidad del suelo y la habilidad para explorar más volumen de suelo en el tiempo ayuda a definir el P disponible en un suelo forestal ²⁰.

Potasio:

El contenido de potasio total en el suelo tiene rangos entre 0.05 y 3 % y es más bajo en suelos de textura gruesa formados de arenisca o cuarzo y altos en suelos de textura fina formados de materiales parentales altos en potasio. Aunque el contenido total de potasio en el suelo excede a la absorción de la planta durante una estación de crecimiento, solo una pequeña fracción está disponible para la planta. Los suelos altamente meteorizados son altamente lixiviados y generalmente tienen un bajo contenido de potasio. En suelos tropicales, el contenido total de potasio es generalmente bajo, debido a la mayor meteorización por las altas temperaturas y precipitación pluvial; de tal manera que la deficiencia de potasio se presenta después de unos pocos años de cultivo en suelos vírgenes tropicales. Contrariamente, los suelos moderadamente meteorizados generalmente tienen un alto contenido de potasio debido a las condiciones de baja precipitación pluvial ¹⁶.

Las formas de potasio en el suelo son cuatro: (i) potasio en las estructuras cristalinas de minerales primarios, (ii) potasio en posiciones no intercambiables en minerales secundarios, (iii)

potasio en forma intercambiable sobre la superficie de los coloides del suelo, e (iv) iones de potasio soluble en el agua. La cantidad total de potasio en un suelo y la distribución de potasio entre las cuatro principales formas es mayormente una función de la clase de mineral de arcilla presente en un suelo. Generalmente, los suelos dominados por arcillas 2:1 contienen gran cantidad de potasio; aquellos dominados por caolinita contiene meno cantidad. En términos de disponibilidad para la absorción de la planta, la siguiente interpretación se aplica para las diferentes formas de potasio ⁵:

- Potasio en la estructura de minerales primarios: no disponible.
- Potasio no intercambiable en minerales secundarios: lentamente disponible.
- Potasio intercambiable sobre los coloides del suelo: fácilmente disponible.
- Potasio soluble en agua: fácilmente disponible.

En el suelo hay potasio inorgánico y el K que se libera de la descomposición de restos vegetales y animales. El potasio inorgánico está contenido en ciertos minerales, que al descomponerse proporcionan potasio asimilable para las plantas. En la mayoría de los suelos existe suficiente cantidad de potasio, sobre todo en los suelos arcillosos; pero para que pueda ser asimilado por las plantas tiene que estar solubilizado en el agua del suelo. Las plantas lo absorben bajo la forma de ion potasio (K^+). Desde el punto de vista de su aprovechamiento por las plantas, el potasio del suelo puede clasificarse de la forma siguiente: potasio no asimilable, potasio asimilable con rapidez y potasio asimilable lentamente ¹⁷.

La mayor parte de análisis de rutina de suelos miden cantidades de potasio intercambiable más potasio soluble. En suelos con pocos minerales de arcilla que tienen habilidad para fijar iones potasio, estos análisis son una muy buena indicación del potasio disponible para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, en

suelos con gran cantidad de minerales de arcilla multicapa (2:1), estos análisis no pueden dar una buena predicción de la disponibilidad de potasio para las plantas, o el destino del potasio aplicado. Frecuentemente, las adiciones de fertilizantes potásicos no están acompañadas por un incremento en el potasio medido en análisis de rutina de suelos ya que el potasio puede haberse movido hacia la cantidad fijada y por lo tanto no se mide. En estos tipos de suelo puede ser útil también utilizar un análisis de suelo que mida la magnitud de la cantidad de potasio fijado y su tasa de liberación. La medida del potasio total, que extrae todo el potasio del suelo, incluyendo las cantidades no disponibles, es de poca utilidad para predecir las necesidades de potasio de un suelo ¹⁹.

La meteorización libera potasio hacia la solución suelo desde diferentes minerales comunes como feldespatos y micas. Estos iones pueden ser fácilmente absorbidos por las raíces de las plantas. Poco potasio forma parte de la materia orgánica del suelo, y la mayor parte está almacenado en el suelo por adsorción y fijación. Los iones potasio tienen una carga positiva y son adsorbidos en los coloides del suelo. En la mayoría de los suelos minerales, una poca cantidad de potasio está disuelto en la solución suelo en un área de suelo en determinado momento. Contrariamente, existe mayor cantidad de potasio intercambiable ocupando los sitios de intercambio. El potasio también puede ser fijado en ciertas arcillas 2:1, atrapado entre las capas 2:1. Este potasio puede ser liberado lentamente si la concentración de potasio en la solución suelo disminuye. Las capas de arcilla montmorillonita son tan abiertas que los iones potasio pueden entrar y salir fácilmente, dejando disponible al potasio ¹⁸.

2.2.1.3. El contenido de materia orgánica del suelo

La porción orgánica de un suelo es una mezcla compleja de sustancias, y hay muchos términos usados para describirla y también a sus componentes. Se usa el término general de materia

orgánica para abarcar todos los componentes orgánicos de un suelo: (i) la biomasa viva (tejidos de plantas y animales y microorganismos); (ii) raíces muertas y otros residuos reconocibles de plantas o litter; y (iii) una mezcla coloidal y mayormente amorfa de sustancias orgánicas complejas no identificables como tejidos. Solo la tercera categoría de material orgánico es apropiadamente denominado humus del suelo. Ya que el elemento carbono juega un rol prominente en la estructura química de todas las sustancias orgánicas, no es sorprendente que el término carbono orgánico del suelo se use frecuentemente para referirse al carbono componente de la materia orgánica del suelo. El término es particularmente apropiado para las discusiones cuantitativas de la materia orgánica del suelo, debido a que la mayoría de los métodos de determinar materia orgánica del suelo actualmente miden el carbono en el material y luego usan un factor de conversión para estimar la materia orgánica. Ya que la materia orgánica del suelo comúnmente contiene casi la mitad del carbono en peso (50 % de carbono), es usualmente apropiado estimar la materia orgánica del suelo como dos veces el carbono orgánico. Sin embargo, el contenido de carbono de la materia orgánica del suelo varía en los suelos ⁵.

Cinco principales factores afectan directamente la cantidad de materia orgánica en el suelo: vegetación, clima, textura del suelo, drenaje, y labranza. En suelos de tierras altas bien drenados, las praderas generan la mayor cantidad de materia orgánica del suelo debido al sistema radicular extensamente fibroso de las gramíneas que generan gran cantidad de material orgánico subterráneo. En pastos nativos, la mayor parte del crecimiento e en el suelo, donde el ciclo natural de las raíces enriquece la materia orgánica del suelo. Contrariamente, los bosques generan materia orgánica como hojarasca en la superficie del suelo. Esta hojarasca se descompone y forma una delgada capa orgánica, el horizonte O, en la superficie. Los insectos, los gusanos, y otros animales mezclan el material en unos pocos cm superiores del suelo, formando un horizonte A rico en humus, superficial. Las

agujas de coníferas son especialmente recalcitrantes, de tal manera que los bosques de coníferas tienen aún menos materia orgánica que otros bosques y no pueden tener un horizonte A. Las plantas de una pradera mueren cada año, mientras los árboles no. Esto significa que la mayor parte de las plantas de una pradera retornan al suelo cada año. El crecimiento diferente de gramíneas y árboles causa las siguientes diferencias en praderas y bosques y sus suelos ¹⁸:

- Hay casi dos veces más materia orgánica en suelos de pastos comparado a un suelo similar de bosque.
- La materia orgánica se extiende en profundidad en el suelo de la pradera, debido a que las raíces de las gramíneas se descomponen profundamente en el suelo, mientras que la materia orgánica en suelos forestales proviene principalmente de la descomposición de la hojarasca superficial.
- La mayor parte de la materia orgánica en la pradera está en el suelo. En los bosques, la mayor parte de la materia orgánica reside en los árboles en pie.

Mientras que el clima y la vegetación natural afectan la materia orgánica del suelo sobre amplias áreas geográficas, la textura y el drenaje del suelo son frecuentemente responsables para las marcadas diferencias en la materia orgánica del suelo dentro de un paisaje local. En condiciones aeróbicas, los suelos con alto contenido de arcilla y limo son generalmente ricos en materia orgánica que aquellos suelos de textura arenosa. Los suelos de textura fina acumulan más materia orgánica por varias razones: (i) ellos producen más biomasa vegetal, (ii) ellos pierden menos materia orgánica debido a que están menos aireados, y (iii) la mayor parte de la materia orgánica está protegida de la descomposición al estar enlazada en complejos arcilla-humus o secuestrado dentro de los agregados del suelo. Una cantidad dada y tipo de arcilla puede esperarse que tenga una capacidad finita para estabilizar materia orgánica en complejos órgano-

minerales. Una vez que esta capacidad está saturada, posteriores adiciones de materia orgánica es probable que agreguen poco a la acumulación de humus, en la medida que ellos estarían más accesibles a la descomposición microbial. En suelos pobremente drenados, el suministro de alta humedad promueve la producción de materia seca de plantas y la relativa aireación pobre inhibe la descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto, generalmente, los suelos pobremente drenados acumulan altos niveles de materia orgánica y nitrógeno que suelos similares, pero mejor aireados ⁵.

El contenido de materia orgánica del suelo oscila entre 1 - 2 % en condiciones de secano y el 2 - 4 % en condiciones de regadío. Sin embargo, no es el contenido lo que más interesa, sino la velocidad con la que a materia orgánica se descompone. Un buen suelo agrícola es aquel en donde los procesos de mineralización y humidificación se desarrollan en equilibrio y con relativa rapidez, lo que exige aportaciones continuas de restos orgánicos. Cuando la velocidad de transformación es lenta, la materia orgánica sin transformar se acumula en el suelo. La velocidad y equilibrio de los procesos de transformación de la materia orgánica dependen de la actividad de los microorganismos encargados de estas transformaciones que a su vez viene condicionada por diversos factores ¹⁷.

Los diferentes factores que afectan la transformación son la naturaleza de los residuos orgánicos, la temperatura, la humedad, la aireación del suelo, el contenido de nitrógeno y también la acidez del suelo.

El contenido de materia orgánica en un epipedon varía de menos de 1 % en suelos de regiones áridas (Aridisols), a más de 10 % en suelos de pradera (por ejemplo, en Mollisols) y más de 30 % en todos los horizontes de suelos orgánicos (Histosols). Los factores que influyen en el contenido de materia orgánica son los siguientes ¹³:

- Clima: condiciona el tipo de especies vegetales, la producción de biomasa y el grado de actividad microbiana. En zonas áridas y semiáridas; poca vegetación, por consiguiente, poca materia orgánica. En zonas frías la materia orgánica tiende a acumularse. En zonas tropicales húmedas: muchos aportes, pero también mineralización muy rápida.
- Vegetación: determina la cantidad de necromasa aportada anualmente y su calidad (composición y presencia de compuestos inhibidores). Los residuos de planta aportados al suelo varían según el ecosistema de que se trate Así, en los bosques tropicales húmedos es del orden de unos 12 - 15 Mg de materia seca/ha/año; en bosques de zona templada unos 4 - 6 Mg/ha/año con resinosas y de 3 Mg/ha/año con frondosas, en praderas de zona templada unos 3 Mg/ha/año y en zonas desérticas menos de 0.5 Mg/ha/año ^{21, 22}.
- Organismos del suelo: intervienen en la alteración de la materia orgánica y en su mezcla con la materia mineral (bioturbación).
- Drenaje: la materia orgánica se descompone mal y tiende a acumularse en suelos mal aireados en los que falta oxígeno; en aquellos que están permanentemente saturados con agua se puede formar un suelo orgánico.
- Composición mineralógica de las arcillas: es importante por la distinta afinidad de adsorción o complicación de las moléculas orgánicas, lo que puede suponer un efecto protector frente a la acción de los microorganismos.
- Laboreo: la puesta en cultivo con roza, tumba y quema (agricultura itinerante) o el paso de pradera a cultivo implican una pérdida de materia orgánica, ya sea por menores aportes de materia orgánica al suelo, por pérdida por erosión o por una mayor entrada de oxígeno al labrar. La disminución del laboreo, por lo general, incrementa el almacenamiento (secuestro) del carbono y el consiguiente contenido de materia orgánica del suelo ¹³.

2.2.1.4. La relación Carbono/Nitrógeno

La relación C/N en la materia orgánica de los horizontes arables de suelo (cultivados) de la superficie (Ap) varía comúnmente de 8:1 a 15:1, siendo la media cerca de 12:1. La relación es generalmente baja para el subsuelo que para las capas superficiales en un perfil de suelo. En una región climática dada, se presenta poca aireación en la relación C/N para suelos manejados similarmente. Por ejemplo, en suelos ricos en calcio de pasturas semiáridas, la relación C/N es relativamente estrecha. En horizontes A ácidos y más severamente lixiviados en regiones húmedas, la relación C/N es relativamente amplio; las relaciones C/N tan altas como 30:1 no son comunes. Los horizontes O forestales comúnmente tienen relaciones C/N de 30 a 40. Cuando tales suelos son sometidos al cultivo y al encalado para incrementar su pH y contenido de calcio, se favorece la descomposición y la relación C/N tiende a bajar a casi 12:1 ⁵.

Las relaciones Carbono/Nitrógeno (C/N) constituyen criterios muy importantes para la caracterización de la materia orgánica de los suelos. Los valores C/N de los suelos agrícolas varían normalmente, entre 9 y 14, en general son bajos en suelos de zonas áridas (con menor cantidad de lluvia) que en los de zonas húmedas (más lluvia), considerando valores de temperatura similares. En condiciones de igual cantidad de precipitación pluvial, los indicadores C/N son más altos en áreas frías que en las calientes. Asimismo, se ha encontrado que la relación C/N es más baja en los suelos neutros o ligeramente alcalinos ¹⁵.

2.3. Definición de términos

- Contenido y concentración de nutrientes: la concentración de nutrientes es usualmente expresada en gramos por kilogramo (g/kg) o miligramos por kilogramo (mg/kg) de peso fresco o seco, el contenido es usualmente expresado como peso por unidad de área (kg/ha) ²³.

- Ecosistema: es un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional ²⁶.
- Nutrientes: elementos o compuestos esenciales como materias primas para el crecimiento y desarrollo de un organismo ²³.
- pH: la reacción de un horizonte de un suelo hace referencia al grado de acidez o basicidad de dicho horizonte, generalmente se expresa por medio del pH ¹³.
- Piso forestal: toda materia orgánica generada por la vegetación forestal, incluyendo litter y humus incorporado, sobre la superficie del suelo mineral ²³.
- Química del suelo: la rama de la ciencia del suelo que trata del estudio de las características químicas del suelo, con una tendencia hacia sus aplicaciones en: (i) edafología, la ciencia de la nutrición y crecimiento de la planta, y (ii) pedología, la ciencia de la formación o génesis del suelo ²⁴.
- Restauración de ecosistemas: recuperación de ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos (existen varios métodos). El objetivo de la restauración ecológica es la conservación y reposición del capital natural, así como la restitución de los servicios ecosistémicos para su disfrute y aprovechamiento por parte de la sociedad.
- Suelo: (i) material mineral u orgánico no consolidado sobre la superficie inmediata de la tierra que sirve como medio natural para el crecimiento de plantas terrestres, (ii) El mineral no consolidado o materia orgánica sobre la superficie de la tierra que ha estado sujeto a los efectos de factores ambientales y genéticos de: clima (incluyendo efectos del agua y la temperatura), y macro y microorganismos, condicionados por el relieve, actuando sobre el material parental sobre un periodo de tiempo. Un suelo difiere de los materiales del cual se deriva en muchas propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas ²³.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

A) Método general o teórico de la investigación:

Hipotético - deductivo, porque se evaluaron las variables del problema general, mediante el análisis de datos extraídos y el procesamiento estadístico que permitirá explicar los resultados de la investigación ²⁸.

B) Método específico de la investigación:

Se utilizó el método de análisis: las muestras de suelo obtenidas en campo de *P. racemosa* y *C. macrocarpa*, fueron analizadas en sus propiedades químicas: pH, contenido de nutrientes (N, P y K), materia orgánica y relación C/N. Los métodos de análisis fueron para cada tipo de determinación. Una vez reportados los análisis se interpretaron los datos para determinar sus niveles encontrados.

Las muestras de suelos fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de suelos, aguas y plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

3.1.2. Tipo de la investigación

La investigación es aplicada, de naturaleza eminentemente práctica para aplicar las bases teóricas de las propiedades químicas del suelo, con diferentes tipos de vegetación ²⁸.

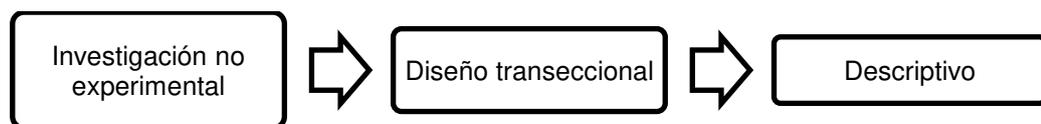
La presente investigación es un estudio de tipo cuantitativo, pues se centra en aspectos observables y de cuantificación, como son las propiedades químicas del suelo.

3.1.3. Nivel de la investigación

La presente investigación es de nivel descriptivo, porque el interés está en describir las propiedades químicas de los suelos con las especies de (*P. racemosa* y *C. macrocarpa*) cuantificando su variación ²⁸.

3.2. Diseño de la investigación

La determinación de las propiedades químicas de las muestras de suelo de plantaciones de *P. racemosa* y *C. macrocarpa* en Cullpa Alta, responde al siguiente modelo de diseño no experimental, transaccional o transversal, en un entorno paramétrico ²⁸:



3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población estuvo constituida por los suelos de las plantaciones de *P. racemosa* y *C. macrocarpa*. La zona en estudio abarca un área total aproximada de 6,500 m², en la comunidad campesina de Cullpa Alta.

3.3.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por puntos de muestreo ubicados en un transecto (80 m x 10 m) en la plantación de *P. racemosa* delimitadas mediante una técnica no paramétrica; de la misma forma se realizó el muestreo de *C. macrocarpa*. Además, se realizaron calicatas de 60 cm de profundidad en un área de 1 m² y se obtuvo una muestra de suelo cada 20 cm de profundidad. En algunos casos solo se llegó a la profundidad de 40 cm, debido a la presencia de material parental consolidado.

Tabla 03. Georreferenciación de los puntos de muestreo de suelo en Cullpa Alta.

Nº Punto	Zona	Este	Norte	Altitud (msnm)
1	<i>Polylepis racemosa</i>	480385	8672533	3538
		480340	8672589	3544
		480328	8672599	3545
2	<i>Cupressus macrocarpa</i>	480976	8672640	3622
		480989	8672640	3624
		480992	8672649	3625

Fuente: elaboración propia.

Tabla 04. Número de muestras de suelo según su profundidad.

Tipo de vegetación	Profundidad (cm)	Nº muestras
<i>Polylepis racemosa</i>	0 - 20	3
	20 - 40	3
	40 - 60	2
<i>Cupressus macrocarpa</i>	0 - 20	3
	20 - 40	3
	40 - 60	2
Total	-	16

Fuente: elaboración propia.

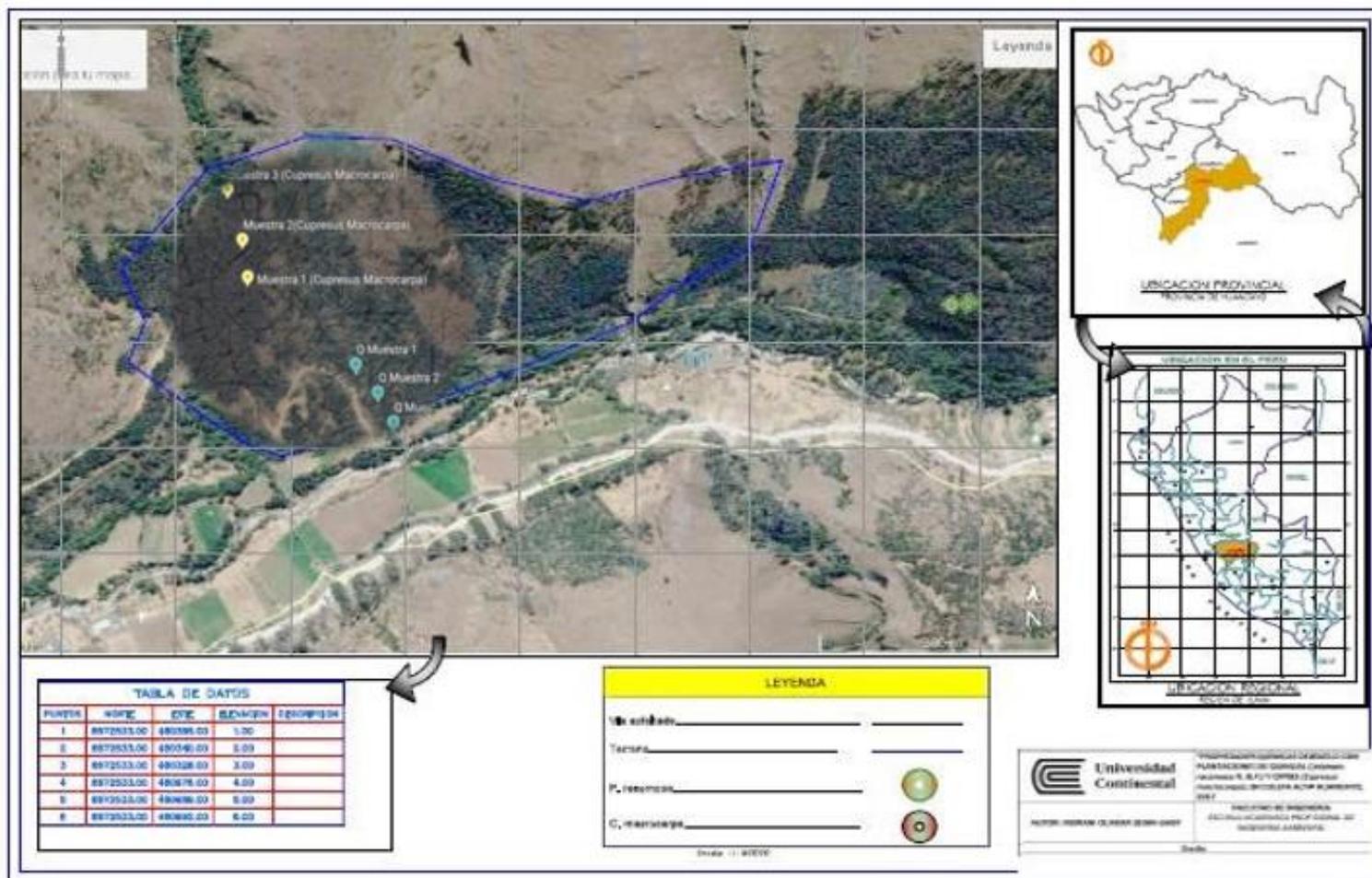


Figura 01. Ubicación del área de estudio y puntos de muestreo.

Fuente: elaboración propia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

Las muestras de suelos fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de suelos, aguas y plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Tabla 05. *Métodos de análisis de suelo.*

Parámetro	Método	Unidad de expresión
pH	Potenciómetro	Unidad pH
Carbono orgánico	Walkley-Black	%
P disponible	Olsen modificado	ppm
K disponible	Espectrofometría	ppm
Nitrógeno total	Micro kjdehal	%

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Los datos, fueron sistematizados, utilizando medidas descriptivas de tendencia central (promedio), calificados e interpretados para caracterizar las propiedades químicas en el suelo del bosque con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

La información cuantitativa de las propiedades químicas del suelo, serán correlacionados con el tipo de plantaciones: *P. racemosa* y *C. macrocarpa*, para lo cual se planteó el siguiente juego de hipótesis:

H₀: $p = 0$: no presentan diferencias

H_a: $p \neq 0$: presentan diferencias.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1. pH del suelo

El pH promedio del suelo, en las tres profundidades, con *P. racemosa* fue de 4.92 y del suelo con *C. macrocarpa* fue de 4.43; ambos calificados como pH ácido. Prueba de Shapiro-Wilks para la normalidad de datos - Suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

H₀: la distribución de los datos es normal.

H_a: la distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 06. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk - pH del suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Especie	Profundidad (cm)	Repetición	pH	Media	W	p - valor
<i>Polylepis racemosa</i>	0-20	I	7.59	5.29	0.80	0.1058
		II	4.25			
		III	4.03			

		I	7.64			
	20-40	II	4.41	5.45	0.78	0.0600
		III	4.29			
		I	7.63			
	40-60	II	0.00	4.01	0.99	0.8278
		III	4.41			
		I	4.99			
	0-20	II	4.88	4.91	0.86	0.2714
		III	4.86			
		I	4.94			
<i>Cupressus macrocarpa</i>	20-40	II	5.10	4.94	0.98	>0.9999
		III	5.78			
		I	5.12			
	40-60	II	5.20	3.44	0.76	0.0251
		III	0.00			

Fuente: elaboración propia empleando SPSS.

Decisión:

Los tratamientos son de tipo cuantitativo, lo que se averigua es si son de distribución normal por tratamientos individuales.

De acuerdo con la tabla 06 el tratamiento tres del *C. macrocarpa* que tiene un p valor < 0.05 se rechaza el H_0 , por lo tanto, los datos analizados no se distribuyen normalmente y se procedió a realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

- Prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis:

Prueba de hipótesis:

H_0 : el pH es igual en los tratamientos.

H_a : al menos un tratamiento es diferente a los demás.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Dado que los tratamientos son muestras independientes y son tres grupos de cada una de las especies se emplea la prueba de Kruskal-Wallis.

Tabla 07. Prueba de Kruskal-Wallis - pH en el suelo de *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Profundidad (cm)	Especies forestales	
	<i>Polylepis racemosa</i>	<i>Cupressus macrocarpa</i>
0 - 20	5.29 a	4.91 a
20 - 40	5.45 a	4.94 a
40 - 60	4.01 a	3.44 a
Estadísticos:		
Chi Cuadrada (H)	0.96	0.62
Grados de Libertad	2	2
p-valor	0.6592	0.7750

Fuente: elaboración propia.

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Decisión:

La prueba de Kruskal-Wallis indica que el p - valor del pH del *P. racemosa* y del *C. macrocarpa* son mayores que la significancia ($\alpha = 0.05$), entonces se acepta la H_0 , es decir el pH es igual en todas las tres profundidades.

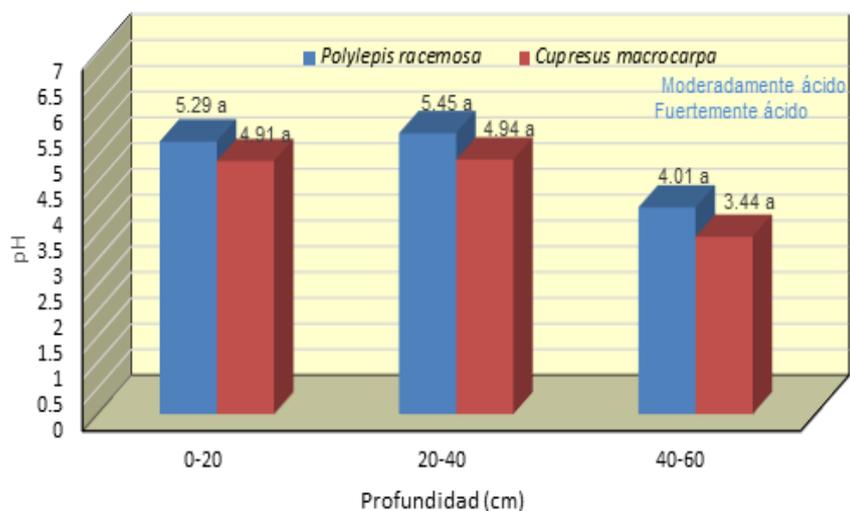


Figura 02. Promedios del pH del suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Fuente: elaboración propia.

*Los valores representan el promedio ($n = 3$).

4.1.2. Contenido de materia orgánica del suelo (MO)

El contenido de materia orgánica promedio en el suelo con *P. racemosa* fue de 2,61 %; y para *C. macrocarpa* fue de 2,60 %, calificado como contenido medio, indicando la deficiencia de materia orgánica en estos suelos.

H₀: la distribución de los datos es normal.

H_a: la distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 08. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk - contenido de M.O. con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Especie	Profundidad (cm)	Repetición	MOS (%)	Media	W	p - valor
<i>Polylepis racemosa</i>	0-20	I	4.22	3.20	0.81	0.1414
		II	2.63			
		III	2.76			
	20-40	I	4.31	2.98	0.96	0.6047
		II	1.93			
		III	2.69			
	40-60	I	3.68	1.66	0.97	0.6826
		II	0.00			
		III	1.31			
<i>Cupressus macrocarpa</i>	0-20	I	5.02	5.09	1.00	0.8899
		II	4.05			
		III	6.21			
	20-40	I	1.23	2.23	0.90	0.3794
		II	0.15			
		III	5.30			
	40-60	I	0.78	0.46	0.91	0.4213
		II	0.60			
		III	0.00			

Fuente: elaboración propia empleando SPSS.

Decisión:

Los tratamientos son de tipo cuantitativo, lo que se averigua es si son de distribución normal por tratamientos individuales.

De acuerdo con la tabla 08 los tratamientos tienen un p valor > 0.05, se acepta la H_0 , por lo tanto, los datos analizados se distribuyen normalmente y se procedió a realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores.

- Prueba de hipótesis:

*Factor especie forestal:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

*Para el factor profundidad:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H_a : al menos uno de los promedios es diferente.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 09. Análisis de varianza del contenido de M.O. del suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculada	p - valor
Repeticiones	2	9.886	4.943	2.600	0.1233
Especies	1	0.002	0.002	0.001	0.9747
Profundidad	2	28.583	14.291	7.517	0.0102
Especies x Profundidad	2	8.372	4.186	2.202	0.1613
Error experimental	10	19.013	1.901		
Total	17	65.855			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

El p - valor para especies (p - valor = 0.9747) es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), entonces se acepta H_0 y se rechaza H_a ; la materia orgánica en ambas especies es igual estadísticamente.

El p - valor para profundidad (p - valor = 0.0102) es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), entonces se rechaza H_0 y se acepta H_a ; la materia orgánica es diferente estadísticamente con la profundidad. Con la finalidad de verificar cuál de los tratamientos es diferentes (mayor o menor) entre sí, se realizó una comparación múltiple entre tratamientos con la prueba de Tukey.

Prueba de Tukey para profundidades:

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H_a : al menos uno de los promedios es diferente.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 10. *Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de M.O. en el suelo con P. racemosa y C. macrocarpa considerando la profundidad del suelo.*

#	Profundidad (cm)	Materia Orgánica (%)	Significación
1	0 - 20	4,148	a
2	20 - 40	2,602	a b
3	40 - 60	1,062	b

Fuente: elaboración propia.

*Medias propias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Decisión:

Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a ; sobresale la profundidad de 0 - 20 cm, sin diferencias significativas con la profundidad de 20 - 40 cm.

Prueba de Tukey para la interacción especie/profundidades:

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$

H_a : al menos uno de los promedios es diferente.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 11. Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de M.O. en el suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa* para la interacción especie x profundidades.

#	Especie x Profundidad (cm)	Materia Orgánica (%)	Significación
1	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 0 - 20	5.093	a
2	<i>Polylepis racemosa</i> x 0 - 20	3.203	a b
3	<i>Polylepis racemosa</i> x 20 - 40	2.977	a b
4	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 20 - 40	2.227	a b
5	<i>Polylepis racemosa</i> x 40 - 60	1.663	a b
6	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 40 - 60	0.460	b

Fuente: elaboración propia.

*Medias propias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Decisión:

Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a ; sobresale la interacción *Cupressus macrocarpa* en una profundidad de 0 - 20 cm.

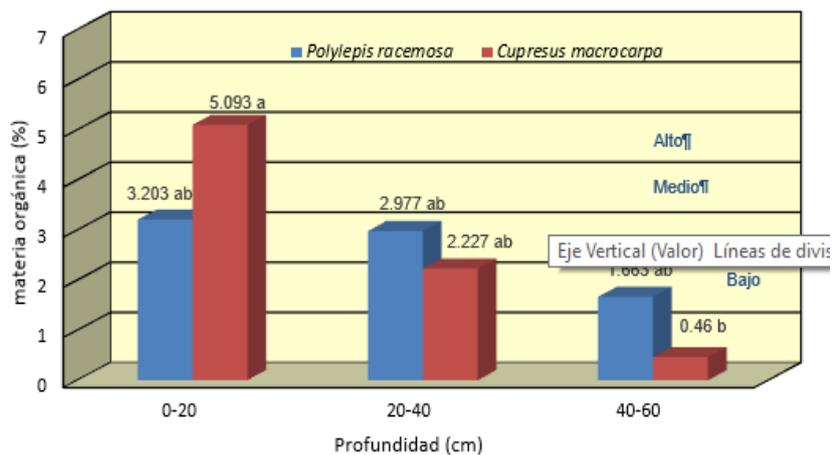


Figura 03. Promedios del contenido de materia orgánica del suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Fuente: elaboración propia.

4.1.3. El contenido de fósforo (P) disponible

Inicialmente, se contrasta para el fósforo (P) la distribución normal, o no, de los datos hallados.

H₀: la distribución de los datos es normal.

H_a: la distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 12. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk - contenido de fósforo disponible en el suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Especie	Profundidad (cm)	Repetición	P (ppm)	Media	W	p - valor
<i>Polylepis racemosa</i>	0 - 20	I	13.40	14.40	0.93	0.4782
		II	18.00			
		III	11.80			
	20 - 40	I	7.40	9.50	0.80	0.1163
		II	7.80			
		III	13.30			
	40 - 60	I	6.30	5.43	0.98	0.7124
		II	0.00			
		III	10.00			
<i>Cupressus macrocarpa</i>	0 - 20	I	3.00	3.57	0.75	<0.0001
		II	3.00			
		III	4.70			
	20 - 40	I	3.80	3.40	0.80	0.1234
		II	3.90			
		III	2.50			
	40 - 60	I	2.90	2.30	0.94	0.5138
		II	4.00			
		III	0.00			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Los tratamientos son de tipo cuantitativo, lo que se averigua es si son de distribución normal por tratamientos individuales.

De acuerdo con la tabla 15 el tratamiento de *C. macrocarpa* a la profundidad de 0 - 20 cm tiene un p valor < 0.05 y se rechaza la H_0 , por lo tanto, los datos analizados no se distribuyen normalmente y se procedió a realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

- Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis:

Prueba de hipótesis

H_0 : el contenido de fósforo es igual en las profundidades de estudio.

H_a : el contenido de fósforo no es igual en las profundidades de estudio.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Dado que los tratamientos son muestras independientes y son tres grupos de cada una de las especies se emplea la prueba de Kruskal-Wallis.

Tabla 13. Prueba de Kruskal Wallis - fósforo disponible en el suelo de *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Profundidad (cm)	Especies forestales	
	<i>Polylepis racemosa</i>	<i>Cupressus macrocarpa</i>
0 - 20	14.40 a	3.57 a
20 - 40	9.50 ab	3.40 a
40 - 60	5.43 b	2.30 a
Estadísticos:		
Chi Cuadrada (H)	5.07	0.80
Grados de Libertad	2	2
p - valor	0.0857	0.7143

Fuente: elaboración propia.

*Medias propias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Decisión:

La prueba de Kruskal-Wallis indica que el p - valor del contenido de fósforo disponible del *P. racemosa* y del *C. macrocarpa* son mayores que la significancia ($\alpha = 0.05$), entonces se acepta la H_0 , es decir el contenido de fósforo (P) es igual en las tres profundidades para cada especie forestal; pero se observa diferencias significativas en las tres profundidades de *Polylepis racemosa*.

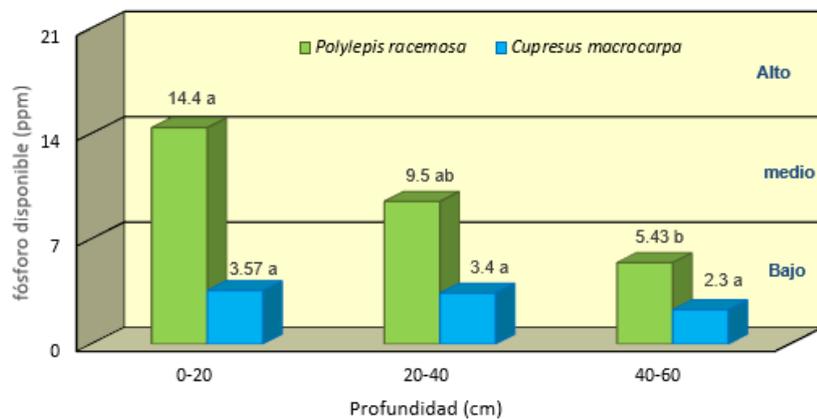


Figura 04. Promedios del contenido de fósforo disponible del suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Fuente: elaboración propia.

4.1.4. El contenido de potasio (K) disponible

Inicialmente, se contrasta para el potasio (K) la distribución normal, o no, de los datos hallados.

H_0 : la distribución de los datos es normal.

H_a : la distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 14. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk - contenido de potasio (K) disponible del suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Especie	Profundidad (cm)	Repetición	P (ppm)	Media	W	p - valor
<i>Polylepis racemosa</i>	0 - 20	I	74	74.67	0.99	0.8439
		II	82			
		III	68			
	20 - 40	I	73	65.67	0.78	0.0706
		II	74			
		III	50			
	40 - 60	I	73	51.33	0.82	0.1730
		II	0			
		III	81			
<i>Cupressus macrocarpa</i>	0 - 20	I	42	81.00	0.89	0.3614
		II	94			
		III	107			
	20 - 40	I	95	97.33	0.99	0.7806
		II	81			
		III	116			
	40-60	I	74	54.33	0.87	0.3021
		II	89			
		III	0			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Los tratamientos son de tipo cuantitativo, lo que se averigua es si son de distribución normal por tratamientos individuales.

De acuerdo con la (tabla 14) los tratamientos tienen un p valor > 0.05, se acepta la H_0 , por lo tanto, los datos analizados se distribuyen normalmente y se procedió a realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores.

- Prueba de hipótesis:

*Factor especie forestal:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

*Para el factor profundidad:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

H_a : al menos uno de los promedios es diferente.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 15. Análisis de varianza del contenido de potasio disponible con *P. racemosa* y *C. macrocarpa* a tres profundidades.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculada	p - valor
Repeticiones	2	11,44	5,72	8E-03	0,9952
Especies	1	840,50	840,50	0,70	0,4216
Profundidad	2	2920,44	1460,22	1,22	0,3356
Especies x Profundidad	2	737,33	368,67	0,31	0,7416
Error experimental	10	11967,89	1196,79		
Total	17	16477,61			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

El p-valor para especies (p - valor = 0.2539) es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), entonces se acepta H_0 y se rechaza H_a ; el potasio disponible en el suelo con ambas especies forestales es igual estadísticamente.

El p-valor para profundidad (p - valor = 0.3356) es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), entonces se acepta H_0 y se rechaza H_a ; el potasio disponible es igual estadísticamente con la profundidad.

Tabla 16. Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de potasio disponible en el suelo - interacción de las especies por profundidad.

#	Especie x Profundidad (cm)	Potasio (ppm)	Significación
1	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 20 - 40	97.33	a
2	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 0 - 20	81.00	a
3	<i>Polylepis racemosa</i> x 0 - 40	74.67	a
4	<i>Polylepis racemosa</i> x 20 - 40	65.67	a
5	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 40 - 60	54.33	a
6	<i>Polylepis racemosa</i> x 40 - 60	51.33	a

Fuente: elaboración propia.

*Medias propias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Decisión:

Se acepta la H_0 y se rechaza la H_a ; todos los tratamientos son iguales estadísticamente.

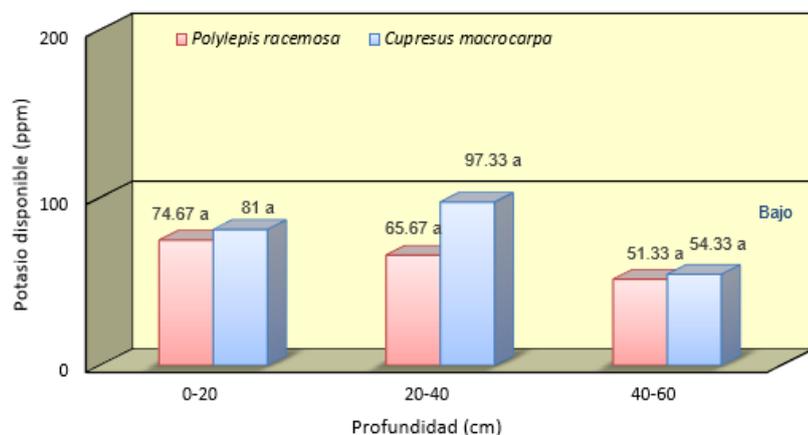


Figura 05. Promedios del contenido de potasio disponible en el suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Fuente: elaboración propia.

4.1.5. El contenido del nitrógeno (N) total en el suelo

Inicialmente, se contrasta para el nitrógeno total (N) la distribución normal, o no, de los datos hallados.

H₀: la distribución de los datos es normal.

H_a: la distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 17. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el contenido de Nitrógeno total en el suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Especie	Profundidad (cm)	Repetición	N _{total} (%)	Media	W	p - valor
<i>Polylepis racemosa</i>	0 - 20	I	0.22	0.18	0.94	0.5351
		II	0.15			
		III	0.17			
	20 - 40	I	0.20	0.16	0.98	0.7232
		II	0.12			
		III	0.17			
	40 - 60	I	0.21	0.11	1.00	0.9461
		II	0.00			
		III	0.11			
<i>Cupressus macrocarpa</i>	0 - 20	I	0.21	0.21	1.00	>0.9999
		II	0.17			
		III	0.25			
	20 - 40	I	0.08	0.12	0.85	0.2333
		II	0.06			
		III	0.21			
	40 - 60	I	0.06	0.03	0.96	0.6394
		II	0.04			
		III	0.00			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Los tratamientos son de tipo cuantitativo, lo que se averigua es si son de distribución normal por tratamientos individuales.

De acuerdo con la tabla 17 los tratamientos tienen un p valor > 0.05, se acepta la H_0 , por lo tanto, los datos analizados se distribuyen normalmente y se procedió a realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores.

- Prueba de hipótesis:

Factor especie forestal:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

*Para el factor profundidad:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

H_a : al menos uno de los promedios es diferente.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 18. Análisis de varianza del contenido de nitrógeno total con *P. racemosa* y *C. macrocarpa* a tres profundidades.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculada	p - valor
Repeticiones	2	0.019	0.009	3.372	0.0760
Especies	1	0.004	0.004	1.466	0.2539
Profundidad	2	0.047	0.024	8.522	0.0069
Especies x Profundidad	2	0.009	0.004	1.562	0.2568
Error experimental	10	0.028	0.003		
Total	17	0.106			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

El p - valor para especies (p - valor = 0.2539) es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), entonces se acepta H_0 y se rechaza H_a ; el nitrógeno total en el suelo con ambas especies forestales es igual estadísticamente.

El p-valor para profundidad (p - valor = 0.0069) es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), entonces se rechaza H_0 y se acepta H_a ; el nitrógeno total es diferente estadísticamente con la profundidad. Con la finalidad de verificar cuál de los tratamientos es diferentes (mayor o menor) entre sí, se realizó una comparación múltiple entre tratamientos con la prueba de Tukey.

Tabla 19. *Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de nitrógeno total en el suelo considerando profundidades.*

#	Profundidad (cm)	Nitrógeno total (%)	Significación
1	0 - 20	0.195	a
2	20 - 40	0.140	a b
3	40 - 60	0.070	b

Fuente: elaboración propia.

*Medias propias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Decisión:

Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a ; sobresale la profundidad de 0 - 20 cm, sin diferencias significativas con la profundidad de 20 - 40 cm.

Prueba de Tukey para la interacción especie x profundidades:

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$

H_a : al menos uno de los promedios es diferente.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 20. *Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de nitrógeno total en el suelo considerando su interacción.*

#	Especie x Profundidad (cm)	Materia Orgánica (%)	Significación
1	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 0 - 20	0.210	a

2	<i>Polylepis racemosa</i> x 0 – 20	0.180	a b
3	<i>Polylepis racemosa</i> x 20 – 40	0.163	a b
4	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 20 - 40	0.117	a b
5	<i>Polylepis racemosa</i> x 40 – 60	0.107	a b
6	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 40 - 60	0.033	b

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a ; sobresale la interacción *Cupressus macrocarpa* x 0 - 20 cm.

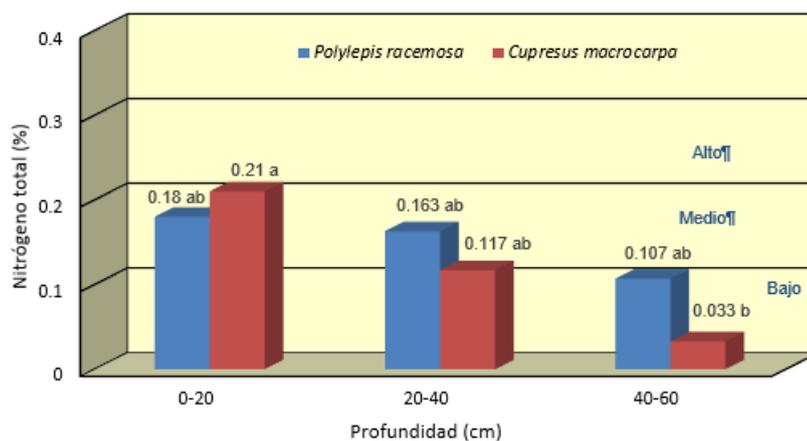


Figura 06. Promedios del contenido de nitrógeno total del suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Fuente: elaboración propia.

4.1.6. Relación Carbono/Nitrógeno

Inicialmente, se contrasta para la relación carbono/nitrógeno (C/N) la distribución normal, o no, de los datos hallados.

H_0 : la distribución de los datos es normal.

H_a : la distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 21. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la relación C/N en el suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Especie	Profundidad (cm)	Repetición	C/N	Media	W	p - valor
<i>Polylepis racemosa</i>	0 - 20	I	11.13	10.24	0.99	0.8660
		II	10.17			
		III	9.42			
	20 - 40	I	12.50	10.34	0.78	0.0763
		II	9.33			
		III	9.18			
	40 - 60	I	10.16	5.69	0.96	0.6057
		II	0.00			
		III	6.91			
<i>Cupressus macrocarpa</i>	0 - 20	I	13.87	14.03	0.81	0.1443
		II	13.82			
		III	14.41			
	20 - 40	I	8.92	8.34	0.99	0.8553
		II	1.45			
		III	14.64			
	40 - 60	I	7.54	5.41	0.85	0.2333
		II	8.70			
		III	0.00			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Los tratamientos son de tipo cuantitativo, lo que se averigua es si son de distribución normal por tratamientos individuales.

De acuerdo con la (tabla 21) los tratamientos tienen un p valor > 0.05, se acepta la H_0 , por lo tanto, los datos analizados se distribuyen normalmente y se procedió a realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores.

- Prueba de hipótesis:
Factor especie forestal:
 $H_0: \mu_1 = \mu_2$
 $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

*Para el factor profundidad:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H_a : al menos uno de los promedios es diferente.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 22. *Análisis de varianza de la relación C/N con P. racemosa y C. macrocarpa a tres profundidades.*

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculada	p - valor
Repeticiones	2	35.60	17.80	1.12	0.3643
Especies	1	1.15	1.15	0.07	0.7935
Profundidad	2	131.06	65.53	4.12	0.0496
Especies x Profundidad	2	26.55	13.27	0.83	0.4622
Error experimental	10	159.09	15.91		
Total	17	353.44			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

El p - valor para especies (p - valor = 0.7935) es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), entonces se acepta H_0 y se rechaza H_a ; la relación C/N en el suelo con ambas especies forestales es igual estadísticamente.

El p - valor para profundidad (p - valor = 0.0496) es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), entonces se rechaza H_0 y se acepta H_a ; la relación C/N es diferente estadísticamente con la profundidad del suelo.

Tabla 23. *Prueba de comparación múltiple de Tukey para la relación C/N del suelo considerando su profundidad.*

#	Profundidad (cm)	Relación C/N	Significación
1	0 - 20	12.14	a

2	20 - 40	9.34	a b
3	40 - 60	5.55	b

Fuente: elaboración propia.

*Medias propias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Decisión:

Se rechaza el H_0 y se acepta la H_a ; los tratamientos son diferentes estadísticamente.

Tabla 24. Prueba de comparación múltiple de Tukey para la relación C/N del suelo considerando la interacción especie x profundidad.

#	Especie x Profundidad (cm)	C/N	Significación
1	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 0 - 20	14.03	a
2	<i>Polylepis racemosa</i> x 20 - 40	10.34	a
3	<i>Polylepis racemosa</i> x 0 - 20	10.24	a
4	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 20 - 40	8.34	a
5	<i>Polylepis racemosa</i> x 40 - 60	5.69	a
6	<i>Cupressus macrocarpa</i> x 40 - 60	5.41	a

Fuente: elaboración propia.

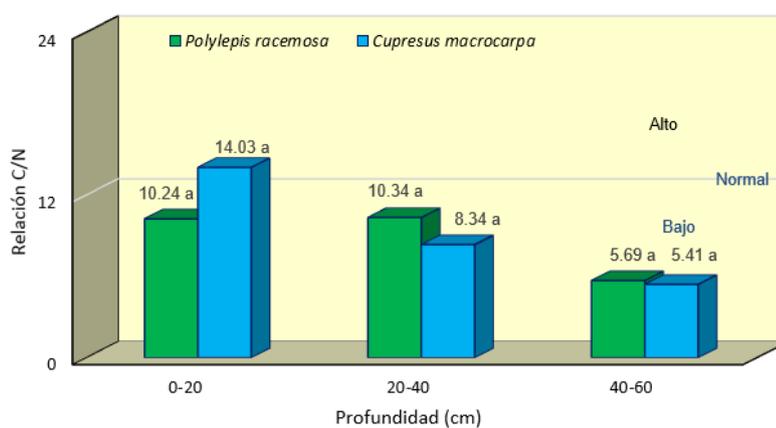


Figura 07. Promedios de la relación C/N del suelo con *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

Fuente: elaboración propia.

4.2. Discusión de resultados

- pH:

El pH promedio de los suelos con *P. racemosa* no presenta diferencias significativas entre las tres profundidades (0 - 20, 20 - 40 y 40 - 60 cm), con valores calificados como fuertemente ácidos (anexo 1), variando de 5.29 para la profundidad de 0 - 20 cm hasta 4.01 para la profundidad de 40 - 60 cm; estos valores presentan una disminución del pH en relación con la profundidad del suelo.

Los valores de pH promedio del suelo con *C. macrocarpa* en las profundidades de 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, fueron 4.91, 4.94 y 3.44; respectivamente, sin diferencias significativas entre sí, calificados como suelos de pH fuertemente ácido (anexo 1), teniendo el valor más bajo a una profundidad de 40 - 60 cm.

El pH de los suelos evaluados, tienen una variación, que se explica, por la naturaleza heterogénea del suelo, tanto en forma horizontal o vertical; esto se sustenta en el reporte de los investigadores, que mencionan diferentes horizontes, o aún partes de horizontes, dentro del mismo suelo pueden exhibir sustanciales diferencias de pH. En muchos casos el pH, de los horizontes superiores es más bajo que de los horizontes profundos, o viceversa, pero existen muchos patrones de variabilidad ⁵.

El pH del suelo afecta a los organismos del suelo; y como mencionan los reportes de investigación, con pH inferior a 5.5 la actividad de las bacterias y actinomicetos disminuye, y en ámbitos de acidez alta, los hongos son los principales responsables de la descomposición de la materia orgánica ¹⁵.

- Materia orgánica:

La materia orgánica en los suelos tiene un promedio, para las tres profundidades, valor de 2,61 % para *P. racemosa* y de 2,59 % para *C. macrocarpa* ambos calificados de nivel medio ($MOS_{media} = 2 - 4 \%$), indicando una falta de materia orgánica en estos suelos. Los datos se presentan en la tabla 18.

En la tabla 10, se observa que las dos especies arbóreas no presentan diferencias significativas en las profundidades de 0 - 20 cm y 20 - 40 cm, excepto en la profundidad de 40 - 60 cm donde *P. racemosa* es significativamente superior a *C. macrocarpa*. La materia orgánica químicamente se encuentra relacionada con la génesis del suelo y su fertilidad, incluye las formas de los tipos de materia orgánica (residuos de plantas, animales, microorganismos alterados y bastante resistentes denominados a veces humus y humatos) y residuos orgánicos poco alterados de vegetales y animales de organismos vivos y muertos. La materia orgánica incluye en las propiedades físicas y químicas de los suelos desproporcionadamente para las pequeñas cantidades presentes ²⁹.

También el contenido de materia orgánica en la capa superficial de los suelos (0 - 20 cm), se atribuye principalmente a la acumulación de hojarasca en las plantaciones con especies arbóreas; sin embargo, ocurre una reducción respecto a las siguientes profundidades de los tratamientos de los suelos con *P. racemosa* y una menor magnitud en el suelo con *C. macrocarpa* (tabla 8), como consecuencia de que la evolución del humus aumenta a medida que se descende en el perfil ⁵. Estos datos son similares a los reportados en suelos de Chile, donde se reporta que la materia orgánica se acumula en la superficie de los suelos y disminuye marcadamente con la profundidad, aumentando la evolución (oxidación) del humus conforme se descende en el perfil ¹¹. Además, la mayor cantidad de materia orgánica en el suelo que se ha generado con especies arbóreas, por la biomasa vegetal, constituye el aporte de hojarasca en el incremento de materia orgánica del suelo ¹⁸; los insectos, los gusanos, y otros animales, mezclan el material en unos pocos cm superiores del suelo, formando un horizonte A, rico en humus ¹⁸. El contenido de materia orgánica alto en el suelo con *C. macrocarpa* (M.O. = 6.21 %), es similar a lo reportado en Acaxochitlan, Hidalgo, México, donde se encontró que la materia orgánica fue mayor de 4 % en los horizontes superiores de suelos donde predomina el pino ².

- Fósforo (P) disponible:

El contenido de fósforo disponible promedio de las tres profundidades en los suelos de *P. racemosa* y *C. macrocarpa* fue de 9.78 ppm, a diferencia de los

suelos de *C. macrocarpa* fue de 3.09 ppm; en la primera especie forestal el contenido es de nivel medio y en la segunda especie forestal el contenido es de nivel bajo (anexo 2). Los datos se presentan en la tabla 12.

De los datos analizados para el fósforo disponible, los contenidos para *P. racemosa* son superiores en las tres profundidades comparados a *C. macrocarpa*; habiéndose encontrado en la profundidad de 0 - 20 cm un valor de 14.40 ppm para *P. racemosa* y solo de 3.57 ppm para *C. macrocarpa*, calificado como alto para la primera especie arbórea y baja para la segunda especie arbórea. En la profundidad de 20 - 40 cm, se repite la diferencia entre ambas especies, teniendo contenido medio *P. racemosa* y un contenido bajo *C. macrocarpa*. A la profundidad de 40 - 60 cm ambas especies arbóreas tienen un contenido bajo (<7 ppm P disponible). Los datos se presentan en la tabla 13.

La disponibilidad del fósforo en el suelo, como en este caso de especies arbóreas nativas, depende bastante del pH del suelo, siendo en suelos ácidos (Cullpa Alta), menos disponibles que en suelos neutros; como lo refieren los investigadores ¹⁷ pues la solubilidad del fósforo; con pH superior a 7.5 o inferior a 6 se forman con factibilidad compuestos insolubles ¹⁷. Esta disminución del contenido de fósforo disponible en suelos forestados, sugiere una asociación silvopastoral, como lo refieren los investigadores, para sembrar pasturas en zonas reforestadas, como los de Cullpa Alta, los cuales deben ser manejados con adecuada fertilización antes de la siembra ⁷.

- Potasio disponible (K):

El contenido de potasio disponible en los suelos con *P. racemosa* y *C. macrocarpa* es bajo en las tres profundidades: 0 - 20, 20 - 40 y 40 - 60 cm, variando los valores de 51.33 ppm a 97.33 ppm. Los datos se presentan en la tabla 14. De los datos analizados, no se ha observado diferencias significativas en el contenido de potasio disponible en las tres profundidades del suelo, en ambas especies arbóreas. Los datos se presentan en la tabla 15 y figura 5.

Los bajos contenidos de potasio disponible en los suelos de Cullpa Alta, se relaciona con la baja liberación de potasio a partir de los minerales del suelo; pues es más bajo el potasio (K) en suelos de textura gruesa formados de

arenisca o cuarzo y altos en suelos de textura fina formado de materiales parentales altos en potasio ¹⁶. Además, la meteorización libera potasio hacia la solución suelo desde diferentes minerales comunes como feldspatos y micas. Estos iones pueden ser fácilmente absorbidos por las raíces de las plantas. Poco potasio forma parte de la materia orgánica y la mayor parte está almacenado en el suelo por adsorción y fijación ¹⁸.

- Nitrógeno (N) total:

El contenido de nitrógeno en los suelos *P. racemosa* y del *C. macrocarpa*, están relacionados al contenido de materia orgánica, y los valores de profundidad de 0 - 20 cm tuvieron un promedio de 0.18 % para *P. racemosa* y de 0.21 % para *C. macrocarpa*; el primero calificado como contenido medio y el segundo como contenido alto (anexo 2). Los datos se presentan en la tabla 20.

También se observó de los datos analizados, que el contenido de nitrógeno total en el suelo disminuye con la profundidad para ambas especies arbóreas, sobresaliendo la profundidad de 0 - 20 cm con un promedio de 0.195 %, sin diferencias significativas con la profundidad de 20 - 40 cm, que tuvo un promedio de 0.140 %. Ambos contenidos son calificados de nivel medio (anexo 2), es decir los suelos no tienen suficiente nitrógeno. Los datos se presentan en la tabla 19. Estas diferencias se deben a que el nitrógeno del suelo tiene como principal fuente a la materia orgánica, y cuando se incrementa la materia orgánica del suelo también se incrementa el nitrógeno total ¹⁶. Estos resultados coinciden con el trabajo de investigación realizado en suelos forestales de Etiopía, donde se observó que el nitrógeno total y el nitrógeno inorgánico extractable con KCl estuvieron correlacionados positivamente con el contenido de hojarasca (materia orgánica) y suelos minerales superficiales; sus concentraciones fueron altas en altitudes medias ⁶. Estos cambios comparativos en el contenido de nitrógeno total de la capa superficial de suelo también son similares a trabajos de investigación sobre la transformación de las propiedades del suelo por la invasión de bosques, donde las diferencias observadas apoyan el punto de vista que el nitrógeno es más disponible en suelos de pasturas que el suelo forestal y que las cantidades y el ciclo del nitrógeno cambian marcadamente cuando los árboles invaden pasturas de montaña ⁸.

- Relación C/N:

La relación carbono/nitrógeno (C/N) se caracterizó por un valor mayor en la profundidad de 0 - 20 cm para ambas especies arbóreas, siendo un promedio de 10.24 para *P. racemosa* y de 14.03 para *C. macrocarpa*; siendo los valores calificados dentro del rango normal para *P. racemosa* y alto para *C. macrocarpa*. Los datos se presentan en la tabla 21.

Los resultados de la relación C/N, representan la factibilidad o dificulta la descomposición de los materiales orgánicos que los contienen, en este caso la materia orgánica del suelo, cuando la relación C/N es alta, como en la profundidad de 0 - 20 cm en el suelo con *C. macrocarpa*, los materiales orgánico tienen lenta descomposición y cuando la relación C/N disminuye con la profundidad del suelo en ambas especies forestales; similares datos encontraron otros investigadores en suelos forestales de Dinamarca, donde las concentraciones de C y N disminuyeron con la profundidad del suelo ⁹.

CONCLUSIONES

1. El pH del suelo tuvo un promedio de 5.29 en la profundidad de 0 - 20 cm con *P. racemosa* y aumento ligeramente con la profundidad de 20 - 40 cm a 5.45, disminuyendo en la profundidad de 40 - 60 cm a 4.01, sin diferencias significativas entre las tres profundidades y calificado como fuertemente ácido. Para el suelo con *C. macrocarpa* en la profundidad de 0 - 20 cm el pH promedio fue de 4.91, se incrementó ligeramente a la profundidad de 20 - 40 cm y disminuyó a 3.44 a la profundidad de 40 - 60cm, sin diferencias significativas entre las profundidades y calificado como fuertemente ácido.
2. La materia orgánica en los suelos varió con la profundidad en ambas especies forestales, sobresaliendo la profundidad de 0 - 20 cm con promedio de 4.148 %, calificado como nivel alto, a las profundidades de 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, disminuyó regularmente con la profundidad a valores medios y bajos respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre ambas especies arbóreas.
3. Para el contenido de nitrógeno total, sobresalió la profundidad de 0 - 20 cm, con un promedio de 0.195 %, calificado como nivel medio, sin diferencias significativas con la profundidad de 20 - 40 cm, que tuvo un promedio de 0.140. En la profundidad de 40 - 60cm, el suelo tuvo un nivel bajo de nitrógeno total para ambas especies forestales con un promedio de 0.07 %. No se presentaron diferencias en nitrógeno total para *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.
4. El fósforo disponible tiene alto contenido en la profundidad de 0 - 20 cm con *P. racemosa* con un valor promedio de 14.40 ppm, sin diferencias significativas con la profundidad de 20 - 40 cm, que tuvo un valor promedio de 9.50 ppm, calificado como medio, en la profundidad de 40 - 60 cm el nivel fue bajo, con un valor de 5.43 ppm. En el suelo con *C. macrocarpa* los niveles de fósforo disponible fueron bajos en las tres profundidades, variando de 3.57 ppm en la profundidad de 0 - 20 cm hasta 2.30 ppm en la profundidad de 40 - 60 cm.

5. El potasio disponible del suelo tuvo niveles bajos en las tres profundidades para *P. racemosa* y *C. macrocarpa* sin diferencias significativas entre sí, variando los valores entre 51.43 ppm para la profundidad de 20 - 40 cm para *C. macrocarpa*. No se observaron diferencias significativas para el contenido de potasio disponible para ambas especies forestales.

6. La relación carbono/nitrógeno (C/N) tuvo un valor promedio de 12.14 en la profundidad de 0 - 20 cm para ambas especies forestales, sin diferencias significativas con la profundidad de 20 - 40 cm, que alcanzo un promedio de 9.34, siendo la profundidad de 40 - 60 cm la que tuvo un valor promedio de 5.55, calificado como bajo. No se observaron diferencias significativas de relación C/N en los suelos de *P. racemosa* y *C. macrocarpa*.

RECOMENDACIONES

1. Sería recomendable realizar investigación para determinar las fracciones lábiles, de la materia orgánica en los suelos con plantaciones de *P. racemosa* y *C. macrocarpa* en la zona de Cullpa Alta, para relacionarlas con las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.
2. Realizar aplicaciones de fósforo en los suelos *C. macrocarpa* debido al contenido bajo encontrado en estos suelos.
3. Aplicar potasio a los suelos forestados de Cullpa Alta con especies de *P. racemosa* y *C. macrocarpa*, debido a los contenidos bajos encontrados en estos suelos.
4. Incrementar las zonas de reforestación de los suelos de Cullpa Alta, porque incrementan el contenido de materia orgánica, especialmente en la profundidad de 0 - 20 cm y mejoran el secuestro de carbono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ZAPATA, R. Química de la acidez del suelo. Cali, Colombia. Impresión Cargraphics. Impresión Digital. 2004. **1a**. 208 pp.
2. ACEVEDO, O., VALERA, M. y PRIETO, F. *Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlán, Hidalgo, México*. Universidad y Ciencia Trópico Húmedo. 2010. **26**. 2: 137-150 pp. 0186 -2979.
3. SMITH y otros. Soil Genesis and Classification by BUOL. Wiley-Blackwell. 2011. **6a**. 978-0-8138-0769-0.
4. HUNTINGTON, T. Assessment of calcium status in Maine forests: review and future projection. Can. Journal of Forest Research. 2005. **35**. 5: 1109-1121 pp.
5. WEIL, R. y BRADY, N. The nature and properties of soils. Pearson. USA. 2016. **15a**. 978-0-1332-5448-8.
6. ESHETU, Z., GIESLER, R. y HOGBERG, P. Historical land use pattern affects the chemistry of forest soils in the Ethiopian highlands. Geoderma Elsevier. 2004. 149-165 pp.
7. McDOWELL, R. y STEWART, I. The phosphorus composition of contrasting soils in pastoral, native and forest management in Otago, New Zealand: Sequential extraction and ³¹P NMR. Geoderma. 2006: 176-189.
8. GRIFFITHS, R., MADRITCH, M. and SWANSON, A. Conifer invasion of forest meadows transforms soil characteristics in the Pacific Northwest. Forest Ecology and Management. 2005: 347-358 pp.
9. HENRIK y otros. Carbon and Nitrogen in Danish Forest Soils - Contents and Distribution Determined by Soil Order by VEJRE, Soil Science Society of America Journal. Soc. Am. J. 2003. **67**: 335-343 pp.
10. NDALA, S., SCHOLE, M. y FEY, M. Soil properties and processes driving the leaching of nitrate in the forested catchments of the eastern escarpment of South Africa. Forest Ecology and Management. 2006. **236**: 142-152 pp.
11. SADZAWKA, A. y otros. *Características químicas de suelos forestales chilenos por Bosque*. 1995. **16**. 1: 9-28 pp.

12. PEÑA W., LEIRÓS DE LA PEÑA, M. y BRICEÑO, J. Propiedades generales y bioquímicas de suelos forestales en áreas serpentinizadas de Galicia. *Agronomía Costarricense*. 2005. **29**. 3: 71-78 pp. 0377-9424.
13. PORTA, J., LÓPEZ, M. y POCH R. De Laburu. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 2003. 10-8-4847-6661-6.
14. ZAVALETA, A. *Edafología. El suelo en relación con la producción*. CONCYTEC, Perú. 1992.
15. FASSBENDER, H. y BORNEMISZA, E. *Química de suelos con énfasis en suelos de América latina*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 1987.
16. HAVLIN, J., TISDALE, S. y BEATON, J. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. Pearson. New York. USA. 2014. **8a**. 978-0-1302-7824-1.
17. YAGÜE, J. *Manual práctico sobre utilización de suelo y fertilizantes*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 2002.
18. PLASTER, E. *Soil Science and Management. International edition*. Delmar. 2014. **6a**. 978-0-8400-2432-9.
19. *Australian Soil Fertility Manual. Third edition*. Editen by Fifa. Csiro Publishing. 2012. 978-0-6431-0072-5.
20. COMERFORD, N. y DE BARROS, N. Phosphorus nutrition of forest trees. In: *Phosphorus: Agriculture in the environment*. J.T. Sims and A.N. Sharpley, editors. *Agronomy Monograph*. 2005. 46.
21. GAUCHER, G. *Les Facteurs de la Pedogenese*. G. Lelotte 730 pp. Dison, B. 1981.
22. CRESSER, M., KILLHAMM, K. y EDWARDS, T. *Soil chemistry and its applications*. Cambridge Environment Chemistry Series 5. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 1993. 192 pp. 978-0-5116-2293-9.
23. SSSA. *Glossary of Soil Science Terms*. Madison, Wis. 2015.
24. TAN, K. *Principles of soil chemistry*. CRC Press. 2011. **4a**. 978-8-1239-0587-7.
25. MINAGRI. *Guía de Calificación de Parámetros Edáficos*. En: Anexo IV del Reglamento Nacional de Clasificación de Tierras. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios, Dirección de Evaluación de Recursos Naturales. Lima Perú. 2009.

26. USAID. *Estudio de los suelos en áreas de intervención en la subcuenca del río Shullcas*. PROYECTO Modelo de Gestión: Territorios Climáticamente Inteligentes para el diseño, implementación, monitoreo y evaluación de proyectos de inversión pública considerando la variabilidad y el cambio climático en Perú, Huancayo. 2017.
27. MOLLISON, B. y SLAY, R. *Introduction of Permaculture*. The Tutorial Press, Harare, Zimbabwe. 1991. 198 p. 978-0-9082-2805-8.
28. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. 2015. **5a**. 978-6-0715-0291-9.
29. LAZO, O. *Edafología*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Agronomía. Huancayo - Perú. 1992, 183 p.

ANEXOS

Anexo 01. Informe de análisis de suelo - fertilidad.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

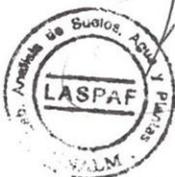


INFORME DE ANALISIS DE SUELO - FERTILIDAD

SOLICITANTE : SILMA GABY ROMANI OLIVERA
 PROCEDENCIA : JUNÍN/ HUANCAYO
 MUESTRA DE : QUINUAL
 REFERENCIA : H.R. 58597
 FACTURA : 320
 FECHA : 26/05/2017

Número Muestra		pH	CE _(1:1)	CaCO ₃	M.O.	P	K	Al ³⁺ + H ⁺
Lab	Claves	(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	meq/100
147	QUI-001, 0-20 cm.	7.59	0.34	5.60	4.22	13.4	74	0.00
148	QUI-001, 20-40 cm.	7.64	0.31	5.70	4.31	7.4	73	0.00
149	QUI-001, 40-60 cm.	7.63	0.30	4.20	3.68	6.3	73	0.00
150	QUI-002, 0-20 cm.	4.25	0.10	0.00	2.63	18.0	82	2.30
151	QUI-002, 20-40 cm.	4.41	0.09	0.00	1.93	7.8	74	1.10
152	QUI-003, 0-20 cm.	4.03	0.21	0.00	2.76	11.8	68	1.60
153	QUI-003, 20-40 cm.	4.29	0.17	0.00	2.69	13.3	50	0.90
154	QUI-003, 40-60 cm.	4.41	0.10	0.00	1.31	10.0	81	0.70
155	Suelo Agrícola N°1	4.80	0.18	0.00	2.76	7.8	116	0.20
156	Suelo Pastisal N°2	5.48	0.03	0.00	1.13	3.5	55	0.10

Número Muestra		N
Lab	Claves	%
147	QUI-001, 0-20 cm.	0.22
148	QUI-001, 20-40 cm.	0.20
149	QUI-001, 40-60 cm.	0.21
150	QUI-002, 0-20 cm.	0.15
151	QUI-002, 20-40 cm.	0.12
152	QUI-003, 0-20 cm.	0.17
153	QUI-003, 20-40 cm.	0.17
154	QUI-003, 40-60 cm.	0.11
155	Suelo Agrícola N°1	0.17
156	Suelo Pastisal N°2	0.07



Dr. Sady García Bendejú
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

TABLA DE INTERPRETACION

Salinidad			Reacción o pH		
Clasificación del Suelo	CE(es)		Clasificación del Suelo	pH	
*muy ligeramente salino	<2		*Fuertemente ácido	<5.5	
*ligeramente salino	2 - 4		*Moderadamente ácido	5.6 - 6.0	
*moderadamente salino	4 - 8		*Ligeramente ácido	6.1 - 6.5	
*fuertemente salino	>8		*Neutro	7.0	
			*Ligeramente alcalino	7.1 - 7.8	
			*Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4	
			*Fuertemente alcalino	>8.5	

	Materia Orgánica	Fósforo disponible	Potasio disponible
CLASIFICACIÓN	%	ppm P	ppm K
*bajo	<2.0	<7.0	<100
*medio	2 - 4	7.0 -14.0	100 - 240
*alto	>4.0	>14.0	>240

Relaciones Catiónicas			Distribución de Cationes %		
Clasificación	K/Mg	ca/Mg	Ca⁺²	=	60 - 75
*Normal	0.2-0.3	5	Mg⁺²	=	15 - 20
*defc. Mg	<0.5		K⁺	=	3 - 7
*defc. K	<0.2		Na⁺	=	<15
*defc. Mg		>10			

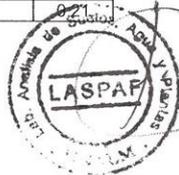


INFORME DE ANALISIS DE SUELO - FERTILIDAD

SOLICITANTE : SILMA GABY ROMANI OLIVERA
PROCEDENCIA : JUNÍN/ HUANCAYO
MUESTRA DE : CIPRES
REFERENCIA : H.R. 58597
FACTURA : 320
FECHA : 26/05/2017

Número Muestra		pH	CE _(1:1)	CaCO ₃	M.O.	P	K	Al ³⁺ + H ⁺
Lab	Claves	(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	meq/100
139	CI-001, 0-20 cm.	4.99	0.06	0.00	5.02	3.0	42	0.40
140	CI-001, 20-40 cm.	4.94	0.05	0.00	1.23	3.8	95	0.80
141	CI-001, 40-60 cm.	5.12	0.04	0.00	0.78	2.9	74	0.30
142	CI-002, 0-20 cm.	4.88	0.05	0.00	4.05	3.0	94	0.70
143	CI-002, 20-40 cm.	5.10	0.03	0.00	0.15	3.9	81	0.30
144	CI-002, 40-60 cm.	5.20	0.03	0.00	0.60	4.0	89	0.10
145	CI-003, 0-20 cm.	4.86	0.07	0.00	6.21	4.7	107	0.40
146	CI-003, 20-40 cm.	4.78	0.06	0.00	5.30	2.5	116	0.90

Número Muestra		N
Lab	Claves	%
139	CI-001, 0-20 cm.	0.21
140	CI-001, 20-40 cm.	0.08
141	CI-001, 40-60 cm.	0.06
142	CI-002, 0-20 cm.	0.17
143	CI-002, 20-40 cm.	0.06
144	CI-002, 40-60 cm.	0.04
145	CI-003, 0-20 cm.	0.25
146	CI-003, 20-40 cm.	0.21



Dr. Sachy García Bendezu
Jefe del Laboratorio

TABLA DE INTERPRETACION

Salinidad		Reacción o pH	
Clasificación del Suelo	CE(es)	Clasificación del Suelo	pH
*muy ligeramente salino	<2	*Fuertemente ácido	<5.5
*ligeramente salino	2 - 4	*Moderadamente ácido	5.6 - 6.0
*moderadamente salino	4 - 8	*Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
*fuertemente salino	>8	*Neutro	7.0
		*Ligeramente alcalino	7.1 - 7.8
		*Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
		*Fuertemente alcalino	>8.5

	Materia Orgánica	Fósforo disponible	Potasio disponible
CLASIFICACIÓN	%	ppm P	ppm K
*bajo	<2.0	<7.0	<100
*medio	2 - 4	7.0 -14.0	100 - 240
*alto	>4.0	>14.0	>240

Relaciones Catiónicas			Distribución de Cationes %		
Clasificación	K/Mg	ca/Mg	Ca²⁺	=	60 - 75
*Normal	0.2-0.3	5	Mg²⁺	=	15 - 20
*defc. Mg	<0.5		K⁺	=	3 - 7
*defc. K	<0.2		Na⁺	=	<15
*defc. Mg		>10			

Anexo 02. Guía de calificación de los parámetros edáficos.

1. pH¹

Rangos	Clases
< 3.5	Ultra ácido
3.6 – 4.4	Extremadamente ácido
4.5 – 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido
5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.6 – 7.3	Neutro
7.4 – 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 – 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 – 9.0	Fuertemente alcalino
> 9.0	Muy fuertemente alcalino

2. Materia Orgánica²

Nivel	%
Bajo	< 2
Medio	2 - 4
Alto	> 4

3. Fósforo disponible²

Nivel	P (ppm)
Bajo	< 7
Medio	7 - 14
Alto	> 14

4. Potasio disponible²

Nivel	K (ppm)
Bajo	< 100
Medio	100 - 240
Alto	> 240

5. Nitrógeno total³

Nivel	N (%)
Bajo	< 0,1
Medio	0,1 – 0.2
Alto	> 0.2

(1) Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.

(2) Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor, Lima, Perú.

(3) Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria, La Molina 2002.

Anexo 03. Panel fotográfico.



Fotografía 01. Recorrido para la toma de muestras de las plantaciones de *Polylepis racemosa*, *Cupressus macrocarpa*, pastizal y suelo agrícola.



Fotografías 02 y 03. Identificación de la especie Polylepis racemosa.



Fotografía 04. Identificación del lugar a muestrear respecto del pastizal.



Fotografía 05. Identificación de la zona con presencia de Cupressus macrocarpa.



Fotografía 06. Consideración respecto de la calicata como método de transecto.



Fotografía 07. Excavación de zanjas para el recojo de muestras.



Fotografías 08 y 09. Recolección de muestras y medición de la profundidad.



Fotografía 10. Zanja para retiro de muestras.



Fotografía 11. GPS para localización de puntos.

Anexo 04. Matriz de consistencia.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general</p> <p>*¿Existen diferencias en las propiedades químicas del suelo de plantaciones de <i>Polylepis racemosa</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i> en Cullpa Alta, Huancayo, 2017?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>*¿Cuáles son las concentraciones de pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N que se evidencian en las en las propiedades químicas del suelo con plantaciones de <i>Polylepis racemosa</i> en Cullpa Alta, Huancayo, 2017?</p> <p>*¿Cuáles son las concentraciones de pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N que se evidencian en las en las propiedades químicas del suelo con plantaciones de <i>Cupressus macrocarpa</i> en Cullpa Alta, Huancayo, 2017?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar si existen diferencias en las propiedades químicas del suelo de plantaciones de <i>Polylepis racemosa</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i> en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>*Describir las propiedades químicas (pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N) del suelo de plantaciones de <i>Polylepis racemosa</i> en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.</p> <p>*Describir las propiedades químicas (pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N) del suelo de plantaciones de <i>Cupressus macrocarpa</i> en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.</p>	<p>Hipótesis de investigación:</p> <p>*H0: Las propiedades químicas del suelo de plantaciones de <i>Polylepis racemosa</i> no son diferentes a suelos de <i>Cupressus macrocarpa</i>, en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.</p> <p>*Ha: Las propiedades químicas del suelo de plantaciones de <i>Polylepis racemosa</i> son diferentes a los suelos de <i>Cupressus macrocarpa</i>, en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>*H0: Las concentraciones de las propiedades químicas del suelo: pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N presentan diferentes características en las plantaciones de <i>Polylepis racemosa</i> en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.</p> <p>*Ha: Las concentraciones de las propiedades químicas del suelo:pH, materia orgánica, fósforo, potasio, nitrógeno y relación C/N presentan diferentes características en las plantaciones de <i>Cupressus macrocarpa</i> en Cullpa Alta, Huancayo, 2017.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>X = especie forestal.</p> <p>Indicador: suelos con <i>Polylepis racemosa</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i>.</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Y = Propiedades químicas del suelo.</p> <p>Indicadores: pH, fósforo disponible, potasio disponible, materia orgánica, nitrógeno total, relación carbono/nitrógeno.</p>	<p>Método general</p> <p>Hipotético - deductivo</p> <p>Método específico</p> <p>Análisis observacional</p> <p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicada</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Explicativo</p>