



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Distribución de carbono orgánico con la
profundidad del suelo en el bosque de aliso
(*Alnus acuminata*), Cullpa, Huancayo, 2017**

Adrian Pablo Camargo Pun

Huancayo, 2018

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

Ing. Andrés Alberto Azabache Leyton

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Continental, por haberme formado profesionalmente; de igual modo a la Universidad Nacional Agraria de La Molina por el soporte brindado en el análisis de las muestras.

A las personas que colaboraron directa o indirectamente en las diferentes fases del desarrollo del presente trabajo de investigación, en especial a mi asesor Ing. Andrés Azabache Leyton por la paciencia y el conocimiento brindado de su parte.

DEDICATORIA

A mis padres y familiares, por su apoyo permanente durante mis estudios profesionales.

ÍNDICE

PORTADA	i
ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema.....	5
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Justificación e importancia	6
1.3.1. Justificación práctica	6
1.3.2. Justificación metodológica	7
1.3.3. Justificación científica	7
1.3.4. Importancia	8
1.4. Hipótesis y variables	8
1.4.1. Hipótesis de investigación.....	8
1.4.2. Hipótesis nula.....	8

1.4.3.	Hipótesis alternativa.....	8
1.4.4.	Operacionalización de las variables.....	10
CAPÍTULO II	11
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	11
2.1.1.	Antecedentes encontrados en artículos científicos.....	11
2.1.2.	Antecedentes encontrados en tesis.....	15
2.1.3.	Antecedentes encontrados en artículos de divulgación.....	16
2.2.	Bases teóricas.....	17
2.2.1.	Fundamentos teóricos de la investigación.....	17
2.2.2.	Fundamentos metodológicos de la investigación.....	26
2.2.3.	Modelo teórico de la investigación.....	28
2.3.	Definición de términos.....	28
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.....	33
3.2.	Diseño de la investigación.....	33
3.3.	Población y muestra.....	33
3.3.1.	Población.....	33
3.3.2.	Muestra.....	34
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos.....	36
3.4.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	36
3.5.	Técnicas de análisis y procesamiento de datos.....	37
CAPÍTULO IV	38
4.1.	Resultados de la investigación.....	38
4.2.	Discusión de resultados.....	46

CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Puntos de muestreo de suelo.....	36
Figura 02. Distribución del carbono orgánico (%) en suelos con diferente cubierta vegetal (<i>A. acuminata</i> , pastizal, agrícola), a tres profundidades, Cullpa, Huancayo.....	38
Figura 03. Cantidad promedio de carbono orgánico almacenado (Mg/Ha) en suelos con diferente cubierta vegetal (<i>A. acuminata</i> , pastizal, agrícola), a tres profundidades. Cullpa, Huancayo.....	39
Figura 04. Almacenamiento porcentual de carbono en el suelo con <i>A. acuminata</i> , Cullpa, Huancayo.....	41
Figura 05. Almacenamiento porcentual de carbono en el suelo con pastizal Cullpa, Huancayo.....	41
Figura 06. Almacenamiento porcentual de carbono en el suelo agrícola. Cullpa, Huancayo.....	42
Figura 07. Cantidad promedio de dióxido de carbono almacenado en el suelo con diferente cubierta vegetal (<i>A. acuminata</i> , pastizal, agrícola), a tres profundidades. Cullpa, Huancayo.....	42
Figura 08. Razón de estratificación de la materia orgánica del suelo con diferente cubierta vegetal (<i>A. acuminata</i> , pastizal, agrícola). Cullpa, Huancayo.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Operacionalización de las variables.....	10
Tabla 02. Masa de carbono orgánico en el metro superior de los suelos del mundo.....	21
Tabla 03. Métodos de análisis normalizado del suelo.....	32
Tabla 04. Georreferenciación de los puntos de muestreo de suelo.....	34
Tabla 05. Número de muestras de suelo según su profundidad.....	35
Tabla 06. Contenido de carbono almacenado acumulado en el suelo, según cubierta vegetativa (Mg/Ha).....	40
Tabla 07. Contenido de dióxido de carbono almacenado en el suelo, según cubierta vegetativa (Mg/Ha).....	43
Tabla 08. Resumen de rangos y promedio de CO.....	44
Tabla 09: resumen de prueba de hipótesis	45

RESUMEN

Durante enero a mayo del 2017 se analizaron los suelos de Cullpa, Huancayo, con los objetivos de (i) determinar la variación del contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) a tres profundidades: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y agrícola (ii) estimar el contenido de carbono orgánico y CO₂ almacenado y (iii) calcular la razón de estratificación de la materia orgánica del suelo. Se delimitó el área de estudio mediante un transecto debidamente georeferenciado y se determinó la densidad aparente con el método del cilindro y carbono orgánico mediante el método de Walkley-Black en el laboratorio de análisis de suelo, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. El COS tuvo una tendencia a disminuir con la profundidad del suelo, fue alto en el suelo de plantaciones de *A. acuminata* en la capa de 0 - 20 cm, disminuyendo a valores bajos en la capa de 20 - 40 cm y 40 - 60 cm; tuvo contenido medio en las tres profundidades del suelo agrícola; y bajo en el suelo con pastizal a las tres profundidades. El carbono orgánico acumulado en el suelo a los 60 cm de profundidad, fue mayor en el agrícola con 143.57 Mg/ha (526.94 Mg CO₂/ha), seguido del suelo de plantaciones de *A. acuminata* con 71.99 Mg/ha (264.24 Mg CO₂/ha) y finalmente el suelo de pastizal con 45.29 Mg/ha (166.25 Mg CO₂/ha). La razón de estratificación, fue mayor en el suelo con *A. acuminata* (16.29 %), seguido del suelo con pastizal (1.82 %) y finalmente el suelo agrícola (1.66 %).

Palabras clave: carbono orgánico, *A. acuminata*, suelo.

ABSTRACT

During January to May 2017, the soils of Cullpa, Huancayo were analyzed, with the objectives of (i) determining the variation of the organic carbon content (COS) in three depths: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm and 40 - 60 cm, with alder, pasture and agricultural (ii) estimate the content of organic carbon and stored CO₂ and (iii) calculate the stratification ratio of soil organic matter. The study area was delimited by a transect duly georeferenced and the apparent density was determined with the cylinder and organic carbon method by the Walkley-Black method in the soil, plants, water and fertilizer analysis laboratory of the National Agrarian University La Molina, Lima. The COS had a tendency to decrease with the depth of the soil, it was high in the soil with alder in the layer of 0 - 20 cm, decreasing to low values in the layer of 20 - 40 cm and 40 - 60 cm; it had medium content in the three depths of the agricultural land; and low in the ground with pasture at three depths. The organic carbon accumulated in the soil at 60 cm depth was higher in agriculture with 143.57 Mg / ha (526.94 Mg CO₂ / ha), followed by the soil with alder with 71.99 Mg / ha (264.24 Mg CO₂ / ha) and finally the pasture land with 45.29 Mg / ha (166.25 Mg CO₂ / ha). The stratification ratio was greater in the soil with alder, (16.29 %), followed by the soil with pasture, (1.82 %) and finally the agricultural land (1.66 %).

Key words: organic carbon, *A. acuminata*, soil.

INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico del suelo (COS) es un complejo de compuestos orgánicos de carbono en forma de materia orgánica del suelo. La materia orgánica del suelo incluye todo material en o sobre el suelo de origen biológico, al margen del estado de descomposición (1). Incluye residuos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo, y sustancias provenientes de raíces de plantas y microbios del suelo. El producto final del proceso de descomposición es el humus, una formación amorfa de compuestos altamente resistentes a una posterior descomposición. Muchos compuestos orgánicos en el suelo están íntimamente asociados con las partículas inorgánicas del suelo. En suelos agrícolas, el contenido de carbono orgánico del suelo es usualmente menor del 5 % y disminuye con la profundidad del suelo (1).

Los suelos son las mayores existencias de carbono en el ambiente terrestre (2), con casi 60 % en forma de materia orgánica del suelo, y el 40 % restante en forma de carbono inorgánico (por ejemplo, carbonato de calcio).

La cantidad total de carbono almacenado en el metro superior de un suelo es estimada en 2 500 Pg Carbono globalmente (1 Pg = petagramo = 10^{15} g), incluyendo casi 1 500 Pg de carbono orgánico del suelo (COS), y 950 Pg de carbono inorgánico (CIS), y casi 4.5 veces (560 Pg Carbono) la cantidad de Carbono almacenado en la vegetación (3). La cantidad de COS juega un papel importante en el ciclo global del carbono y tienen un fuerte impacto en la sostenibilidad agrícola, y calidad ambiental (4,5):

La dirección del cambio y conversión del carbono orgánico del suelo es influenciada en la mayoría de ecosistemas por el uso de la tierra, como resultado de la actividad humana. Sobre todo para tierras agrícolas, donde la materia orgánica del suelo representa más del 95 % (pasturas) o casi el 100 % (tierra arable) del total de carbono orgánico acumulado en los ecosistemas mejorados por el hombre (6). Los cambios en el uso de la tierra significan cambios en la cantidad total de carbono orgánico del suelo. Los suelos pierden carbono orgánico fácilmente cuando los suelos vírgenes son convertidos al uso

agrícola o viceversa (cambios de tierras arables a pastizal permanentes, o agroforestería). Se ha estimado que el cultivo del suelo, principalmente la conversión de pastizal en tierras arables, produce una pérdida significativa de carbono orgánico, en un balance total de 50 Pg (7).

En este contexto, el carbono orgánico del suelo como componente de la materia orgánica tiene diferentes cantidades en zonas forestadas o bosques naturales, respecto a suelos con pastizal o agrícolas, por esta razón, su variación en relación con la profundidad, será una información importante en zonas altoandinas como indicador de la calidad de suelos y potencial de almacenamiento de carbono.

La investigación consta de cuatro capítulos, el Capítulo I corresponde al planteamiento del estudio, donde se formula el problema de investigación, para determinar el contenido de carbono orgánico en suelos de plantaciones de *A. acuminata* y sus diferencias con suelos agrícolas y de pastizal. Además, 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 carbono orgánico de suelos con especies forestales, pastizal y cultivos agrícolas; y las bases teóricas de las propiedades químicas de los suelos que se relacionan con el objeto de estudio.

El Capítulo III comprende la metodología del estudio, se utilizó el método general de investigación inductivo-sintético, básico, exploratorio y no experimental.

El capítulo IV presenta los resultados y discusión, presentando los valores del contenido de carbono orgánico de los suelos de plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas, y su discusión con los antecedentes reportados, evidenciando que el contenido de carbono orgánico en el suelo presenta una tendencia a disminuir respecto de la profundidad del suelo, en suelos de plantaciones de *A. acuminata* (90 %), pastizal (57 %) y agrícola (38 %), siendo más drástica la disminución en el suelo de plantaciones de *A. acuminata* (de 90 % a poca profundidad a 3 % a una profundidad significativa) y menor en el suelo agrícola y pastizal (de 57 % a 13 % y 38 % a 24 % respectivamente)

El autor.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

El suelo se constituye en un receptor natural en la naturaleza, de compuestos y residuos de diferente tipo, resultado de la actividad humana y deposiciones naturales. Dentro de estos materiales, los de naturaleza orgánica constituyen un componente principal en el suelo, que continuamente es agregado, y también descompuesto. Estos compuestos de naturaleza orgánica están constituidos principalmente por el carbono orgánico y constituyen a la materia orgánica del suelo.

La cantidad de carbono orgánico incorporado en un suelo, depende de varios factores, siendo uno de ellos el tipo de vegetación que prospera sobre la superficie terrestre, la cantidad de biomasa que genera, su sistema radicular, y tasa de crecimiento. En principio, la cantidad de carbono orgánico del suelo (COS) almacenado en un suelo dado es dependiente del equilibrio entre la cantidad de carbono que ingresa al suelo y la cantidad de carbono que sale del suelo como gases de respiración basados en carbono resultante de la mineralización microbial y, en menor extensión, la lixiviación del suelo como Carbono Orgánico Disuelto (COD).

Localmente, el carbono también puede ser incrementado o disminuido a través de la erosión del suelo o deposición, que conduce a la redistribución del carbono del suelo a escala local, de paisaje, y regional. Los niveles de COS almacenado son por lo tanto principalmente controlados por el manejo de la cantidad y tipo de residuos orgánicos que entran al suelo (esto es, las entradas de carbono orgánico al sistema suelo) y minimizar la pérdida de carbono del suelo (8). El carbono orgánico del suelo es un componente de la materia orgánica del suelo (MOS).

El término materia orgánica del suelo es usado para describir los constituyentes orgánicos del suelo en varios estados de descomposición tales como tejidos muertos de plantas y animales, materiales menores de 2 mm en tamaño, y organismos del suelo. Los cambios en la materia orgánica del suelo juegan un papel crucial en el funcionamiento del ecosistema suelo y el calentamiento global. La MOS es crítica para la estabilización de la estructura del suelo, retención y liberación de los nutrientes de las plantas y el mantenimiento de la capacidad de retención de agua, siendo así un indicador clave no solo de la productividad agrícola sino también de la resiliencia ambiental. La descomposición de la materia orgánica del suelo libera posteriormente nutrientes minerales, haciéndolos de este modo disponible para el crecimiento de las plantas (9), mientras que el mejor crecimiento de las plantas y la alta productividad contribuye a la seguridad alimentaria.

La distribución del carbono orgánico del suelo es muy heterogénea y es fuertemente dependiente del tipo de suelo, uso de la tierra y condiciones climáticas. Sobre ciertos tipos de suelo y bajo ciertos usos de la tierra, el almacenamiento de COS es altamente efectivo. Aunque ellos cubren proporcionalmente poca área de la superficie global de la tierra, estas áreas requieren especial atención: ellas son puntos cálidos de carbono orgánico del suelo. Estos lugares son muy sensibles al cambio climático y pueden fácilmente hacerse fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido a su alto contenido de carbono orgánico del suelo. Finalmente, grandes áreas de tierra con bajo contenido de carbono orgánico por km² representan un potencial para el secuestro del carbono: ellos son los puntos brillantes de carbono orgánico del suelo (10).

En el Valle del Mantaro, los suelos agrícolas tienen valores bajos a medios de carbono orgánico, como constituyente de la materia orgánica del suelo (60), limita el beneficio y mejora de sus propiedades para el buen crecimiento y desarrollo de las plantas, evidenciando vacíos objetivamente respecto del almacenamiento de carbono propiamente dicho. En esta zona geográfica del Perú, generalmente de carácter semiárido, existen áreas forestadas y también bosques naturales, que difieren de las zonas de pastizal o de cultivos en su contenido de carbono orgánico, y también en su distribución con la profundidad. Los bosques aportan carbono orgánico dependiendo de la especie arbórea, por encontrarse en relación directa con la biomasa que generan. Los bosques cubren globalmente 4.03 billones de hectáreas, aproximadamente el 30 % del total de la superficie terrestre.

Del total de la cantidad de Carbono terrestre en la biomasa forestal, el 37 % está en bosques de baja latitud, el 14 % en latitudes medias y el 49 % en altas latitudes. La cantidad de carbono orgánico del suelo comprende casi el 85 % del contenido de carbono terrestre en el bosque boreal, 60 % en los bosques templados y 50 % en selvas tropicales. Una gran parte de la cantidad de carbono orgánico del suelo se presenta en suelos de regiones de tundra, pre-tundra y taiga (bosques coníferos). El contenido de carbono orgánico en suelos forestales puede variar de 0 % en suelos muy jóvenes a casi 50 % en algunos suelos orgánicos o húmedales, con la mayoría de los suelos conteniendo entre 0.3 y 11.5 % en los 20 cm superficiales de suelos minerales (12).

El contenido de carbono orgánico en un suelo de bosque va a permitir no solo una mejora en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, sino también al ecosistema forestal, porque el crecimiento de otras especies vegetales (pastizal, arbustos, hongos, dentro del bosque), incrementa la retención de agua y contribuye a la formación del suelo, entre otros aspectos, siendo necesario evaluar la distribución del contenido de carbono orgánico en bosques de diferentes especies, para estimar comparativamente su aporte cuantitativo, y la cantidad almacenada en estos suelos. Los pastizales, incluyen pastos naturales, pastos cultivados y matorrales, cubrieron aproximadamente 3.5 billones de hectáreas de la

superficie terrestre en el año 2000. Los pastizales cubren aproximadamente 40 % de la superficie terrestre (13,14), representan el 70 % del área agrícola global, y contienen casi el 20 % del contenido de carbono orgánico del suelo del mundo (8). Alrededor del 20 % de las pasturas nativas del mundo han sido convertidos en tierras cultivadas.

Una de las razones para el uso intensivo de pasturas es su alta fertilidad natural del suelo. Las pasturas tienen alto contenido de materia orgánica del suelo, en promedio 333 Mg/ha (10). Las tierras áridas cubren aproximadamente 430 millones de ha, comprenden 40 % de la superficie terrestre. Aunque este no es un límite claro, las tierras áridas son consideradas áreas donde el promedio de lluvia es menor que la pérdida de humedad potencial a través de la operación y transpiración de las plantas (15). Los suelos de las tierras áridas están caracterizados por una deficiencia frecuente de agua, bajo contenido de materia orgánica y bajo contenido de nutrientes. Sin embargo, su cantidad de carbono almacenado por más de un tercio del contenido global, se debe a su gran área superficial y almacenamiento de COS a largo plazo. Las tierras áridas tienen el potencial para secuestrar más carbono en la medida que esté más lejos de su saturación de carbono (16), pero el almacenaje de carbono en tierras secas está afectado y limitado por diferentes elementos bioclimáticos y es lento. Además, estas tierras son susceptibles a diferentes tipos de degradación, incluyendo erosión del viento, y, ciertas prácticas de manejo resultan fácilmente en degradación. Por lo tanto, los suelos de tierras áridas necesitan ser manejados sosteniblemente para mantener sus niveles actuales de carbono orgánico del suelo y fomentar su potencial en el secuestro de carbono (16,8).

Por estas razones, es necesario evaluar el contenido de carbono orgánico del suelo, principal componente de la materia orgánica en las plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas del Valle del Mantaro, cuyas características dependen de diferentes factores y no solo del tipo de vegetación, tal como se evidencian en, el área forestada con *A. acuminata* en la comunidad campesina de Cullpa, la misma tiene un potencial significativo de conservación como mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos.

1.1.2. Formulación del problema

A) Problema general:

¿Cuál es el nivel de distribución de carbono orgánico del suelo (COS) de plantaciones de *A. acuminata*, pastizales y cultivos agrícolas a diferentes profundidades en Cullpa, Huancayo, 2017?

B) Problemas específicos:

- ¿Qué características presenta la distribución de carbono orgánico del suelo a profundidades de: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017?
- ¿Qué cantidad de carbono orgánico y dióxido de carbono, almacena el suelo a profundidades de 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017?
- ¿Qué razón de estratificación de materia orgánica presentan los suelos de plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el nivel de distribución de carbono orgánico del suelo (COS) en plantaciones de *A. acuminata*, pastizales y cultivos agrícolas a diferentes profundidades en Cullpa, Huancayo, 2017.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir las características de distribución de carbono orgánico del suelo a profundidades de: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de *A. acuminata*, pastizales y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017.
- Calcular la cantidad de carbono orgánico y dióxido de carbono del suelo a profundidades de 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de *A. acuminata*, pastizales y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017.
- Calcular la razón de estratificación de materia orgánica de los suelos en plantaciones de *A. acuminata*, pastizales y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación práctica

La caracterización del contenido de carbono orgánico del suelo a diferentes profundidades del suelo, permitió obtener información de los suelos, de uso forestal, pastizal y cultivo agrícola en el contexto del estudio, esto permite proponer recomendaciones de mejora en un sentido inicial o exploratorio, por ejemplo, si se obtiene baja materia orgánica, recomendar su incremento. La mejora del suelo es una práctica constante en la medida que las plantas cultivadas sean árboles, arbustos o plantas anuales, tienen en el suelo al sostén y soporte para su nutrición, crecimiento y productividad, reduciendo los riesgos de erosión y degradación, que, si se presentan, generan desequilibrios al ecosistema, alteran la vegetación y afectan a las poblaciones que dependen de ellas.

1.3.2. Justificación metodológica

Los resultados de la presente investigación servirán para comparar los contenidos de carbono orgánico en relación a la profundidad del suelo, desde el entorno metodológico y exploratorio, con plantaciones de *A. acuminata*, pastizal, y cultivo agrícola, para plantear su incremento y manejo, 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 sostenibilidad del ecosistema, especialmente con especies adaptadas o de fácil adaptación a la zona de estudio, como es el *A. acuminata* en Cullpa, Huancayo, de modo que el entorno de aplicación metodológica también pueda ser replicada o sustentada en la formulación de instrumentos de gestión ambiental específicos.

1.3.3. Justificación científica

El contenido de COS es un dato muy variable en la superficie terrestre, incluso con la profundidad, debido a que los componentes orgánicos del suelo tienen fácil transformación, cuando los factores meteorológicos y especialmente el uso del suelo por el hombre, tienen significativa incidencia; esto afecta a las otras propiedades del suelo, tanto en suelos de plantaciones, pastizales o agrícolas. Las propiedades físicas, como retención de agua, densidad aparente, estructura, porosidad, drenaje, permeabilidad y color del suelo; las propiedades químicas como pH, capacidad de intercambio catiónico y contenido de nutrientes; así como las propiedades biológicas, biodiversidad de organismos y su actividad, van a ser afectados por la variación del contenido de carbono orgánico del suelo, los datos servirán principalmente para plantear prácticas de mejora y manejo del suelo.

1.3.4. Importancia

La caracterización del contenido del carbono orgánico del suelo, constituye una información básica en el conocimiento del suelo, considerando que la comunidad campesina de Cullpa presenta un clima propio de una zona semiárida, donde la acumulación o descomposición de compuestos orgánicos carbonáceos se hace más lento en el suelo, lo cual genera la importancia de evaluar su contenido actual y su potencial de almacenamiento, con fines de mejorar sus contenidos a través de prácticas de manejo, diferentes según el uso que se le da al suelo.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis de investigación

H1: El nivel de distribución de carbono orgánico del suelo en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas es mayor a profundidades menores

1.4.2. Hipótesis nula

H0: El nivel de distribución de carbono orgánico del suelo en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas no es mayor a profundidades menores.

1.4.3. Hipótesis alternativa

Ha: El nivel de distribución de carbono orgánico del suelo en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas no varía con la profundidad.

- Hipótesis específicas:
 - H1: La distribución de carbono orgánico del suelo disminuye de acuerdo con las profundidades de: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017.
Ho: La distribución de carbono orgánico del suelo no disminuye según las profundidades de: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017.
 - H2: La cantidad de carbono orgánico y dióxido de carbono que almacena el suelo es descendente de acuerdo con las profundidades de 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017.
Ho: La cantidad de carbono orgánico y dióxido de carbono que almacena el suelo no varía según las profundidades de 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017
 - H3: La razón de estratificación es superior en plantaciones de *A. acuminata*, en comparación con suelos de pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017.
Ho: La razón de estratificación es uniforme en plantaciones de *A. acuminata*, en comparación con suelos de pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017.

1.4.4. Operacionalización de las variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador
X = Tipo de plantación/especie: <i>A. acuminata</i> , pastizal y cultivos agrícolas.	Especies vegetales que prosperan en determinado suelo, según su aptitud.	Especies arbóreas, pastizal y cultivos agrícolas que se desarrollan en determinado tipo de suelo.	Tipo de especie.	Plantación de <i>A. acuminata</i> , pastizal y cultivos agrícolas.
Y = Carbono Orgánico del Suelo.	Componente orgánico de la materia orgánica del suelo, de naturaleza animal o vegetal, en diferentes estados de descomposición.	El carbono orgánico del suelo varía con la profundidad del suelo, según el tipo de vegetación.	Alto = > 2.32 % Medio = 1.16 - 2.32 % Bajo = < 1.16 %	Contenido de Carbono Orgánico en el suelo (COS) COS almacenado CO ₂ almacenado RE (Razón de estratificación).

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes encontrados en artículos científicos

En el trabajo de investigación titulado: "Soil carbón distribution and quality in a montane rangeland - forest mosaic in northern Utah", se tuvo como objetivo determinar si existían diferencias significativas en la cantidad, distribución y calidad del carbono orgánico del suelo bajo diferentes tipos de vegetación. El lugar de estudio fue el Bosque Experimental T.W. Daniel en el Norte de Utah, de la Universidad del mismo nombre, en un área de 150 Ha con un mosaico de comunidades de vegetación incluyendo *Populus tremuloides* Michx, *Picea engelmannii* Parry, *Abies lasiocarpa*, *Artemisia tridentata*. Los suelos en el área de estudio están libres de carbonatos y generalmente bien drenados, formados en depósitos eólicos que sobreyacen a residuos y coluvios de la formación Wasatch, dominados por conglomerados ligeramente estratificados, de cientos de metros de espesor. Esto permitió enfocar la dinámica del carbono orgánico del suelo sin la interferencia del carbono inorgánico (carbonatos). Tales datos podrían proporcionar información importante sobre la variabilidad potencial en el almacenaje y retención en ambientes semiáridos, y la estabilidad de las cantidades de COS bajo climas cambiantes. Las comunidades

forestales incluyeron bosque de álamo (*Populus tremuloides* Michx) y coníferas, predominantemente abeto Engelmann (*Picea engelmannii*), abeto subalpino (*Abies lasiocarpa*), y pino (*Pinus contorta*). Las comunidades no forestadas incluyeron praderas de mezclas de gramíneas y arbustos y áreas dominadas por *Artemisia tridentata*. Los pedons de los suelos representativos de los principales tipos de vegetación y componentes del paisaje fueron expuestos por excavación manual. La morfología del suelo fue descrita siguiendo métodos estándar, incluyendo profundidad de horizontes, color, textura, estructura, y volumen de fragmentos rocosos. Aunque hubo poca diferencia en el COS total entre muestras de suelo bajo diferentes tipos de vegetación, distribución vertical, y calidad del COS, parece estar influenciado por el tipo de vegetación. Los suelos forestales tuvieron un horizonte O diferente y hubo mayor concentración de COS en los horizontes minerales cerca de la superficie y disminuyeron bruscamente con la profundidad. Los suelos con pasturas carecieron de horizontes O y a la concentración de COS disminuyó más gradualmente. La calidad del COS bajo la vegetación de pastizal fue más uniforme con la profundidad y el COS fue menos soluble y de menor descomposición (más estable) que bajo vegetación forestal. Sin embargo, el Carbono Orgánico Disuelto (COD) en los suelos con pasturas fue menos aromático y más biodisponible, promoviendo probablemente la retención del C a través del ciclaje. El COS en los suelos forestales fue notablemente más lixiviable y transformable, especialmente cerca de la superficie, incrementando su estabilidad con la profundidad del suelo. A través de todos los datos, hay una relación inversa débil entre la descomposición y aromaticidad del COD. Este estudio concluye que dentro de un mismo clima regional y matrix general del suelo, hay una notable heterogeneidad en la distribución del COS, calidad y estabilidad entre suelos bajo diferentes tipos de vegetación. Los cambios en microclima del suelo, composición de especies, y ciclos de fuego que pueden sobrevenir del cambio climático global pueden afectar las cantidades de COS (17).

En el trabajo de investigación titulado: "Soil Organic carbón pool under native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica", evaluaron

el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) y propiedades físico químicas del suelo en una plantación con especies de árboles nativos en una pastura degradada de las llanuras caribeñas de Costa Rica. El objetivo general del estudio fue cuantificar la cantidad de COS y relacionarlo a propiedades físicas bajo una plantación de árboles mezclada establecida en un suelo de pastura degradada en las llanuras caribeñas de Costa Rica. Los objetivos específicos fueron: (i) evaluar la distribución en profundidad de la concentración de COS hasta una profundidad de 50 cm, (ii) determinar las tendencias y variaciones en la cantidad de COS a la escala de la plantación, (iii) establecer la asociación del COS con propiedades físicas y químicas seleccionadas del suelo, y (4) establecer los factores determinantes de la distribución en profundidad del COS bajo plantaciones arbóreas. Los suelos del lugar de estudio fueron predominantemente Andisols, y de moderada a baja fertilidad. El pH del suelo varió de 3.7 a 4.8 y la textura varió de arcillo arenosa a franco arcillo arenosa en la superficie a arcillosa en las capas sub superficiales. Las plantaciones de árboles nativos fueron establecidas siguiendo un diseño de bloques completamente randomizados, comprendiendo tres bloques. Ocho especies de árboles nativos que son normalmente usadas en sistemas agroforestales fueron sembradas en un patrón de 3 m x 3 m en monocultivo dentro de cada bloque, a una densidad de 1111 árboles/Ha. Cuatro especies fueron seleccionadas para este estudio: *Vochysia guatemalensis* Smith, *Calophyllum brasiliense* Cambess, *Stryphnodendron excelsum*, y *Hieronyma alchorneoides* Allemano. Antes de realizar la excavación del perfil de suelo, el litter sobre la superficie del suelo fue separada con la mano en cuadrantes de 0.5 m² para estimar la cantidad de C que ingresa al suelo. Las muestras de suelo fueron obtenidas en los tres bloques para cada especie de árbol a profundidades de 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30, 30 - 40 y 40 - 50 cm. La concentración de COS promedio varió de 44.9 a 55.2 g/kg (0 -10 cm), y disminuyó con la profundidad a 12.7 - 16.8 g/kg (40 - 50 cm). La más alta cantidad de COS fue medida bajo *H. alchorneoides* y *V. guatemalensis*, esto fue 131.9 y 119.2 Mg C/ha, respectivamente, mientras que en la pastura fue 115.6 Mg C/ha. La cantidad de COS no cambio significativamente bajo las especies de árboles evaluados 14 años después de su establecimiento. Una técnica de ordenación multivariada

nominada análisis de componentes principales entre y dentro de clases fue usada para determinar los factores y tendencias que explican la variabilidad en los datos. El efecto de la vegetación en el COS y variables del suelo seleccionadas medidas en este estudio fueron solo detectadas para *H. alchorneoides* (18).

En el trabajo de investigación titulado: "Surface and subsurface organic carbón, microbial biomass and activity in a forest soil sequence", se investigaron la distribución del carbono orgánico, biomasa y actividad microbial, desde la superficie hasta 70 cm, a través de tres suelos Mediterráneos semiáridos: (i) un *Typic Calcixeroll* cubierto con un pino nativo (PN), (ii) un *Typic Calcixerept* bajo una plantación de pino maduro (PM) sobre terrazas agrícolas abandonadas y (iii) un *Typic Haploxerept* bajo un pasto (P). PN y P tuvieron los más altos y más bajos contenidos de carbono orgánico del suelo (COS), respectivamente. Ambos tuvieron una disminución del contenido de COS con la profundidad. PM, que tuvo niveles intermedios de COS, mostró un incremento en carbono orgánico total y carbono en sustancias húmicas con la profundidad debido a su mineralización en la capa superficial arable antiguamente. Los suelos fueron clasificados similarmente en relación con su actividad y biomasa mircobial de la siguiente manera: $PN > PM > P$. En general, las comunidades microbiales fueron menos densas y activas en los horizontes profundos. Específicamente, PM y P tuvieron una actividad microbial muy activa y con mucha población en la capa superior de 20 cm, lo cual fue atribuido al denso sistema radicular de su cubierta de pastizal. PN mantuvo niveles altos de actividad y biomasa microbial desde los 0 a 70 cm, disminuyendo progresivamente junto con la densidad de raíces de arbustos (esto es, la biomasa microbial disminuyó de 2342 a 394 mg/kg de suelo). Generalmente los patrones de disminución de la actividad y biomasa microbial no fueron siempre coincidentes con gradientes previamente publicados de habilidades metabólicas microbiales y estructura genética. Esto refuerza la necesidad de combinar la medición de biomasa, actividad y biodiversidad para entender el funcionamiento del

ecosistema y un monitoreo real del proceso de degradación y estrategias de restauración a ser alcanzadas (19).

2.1.2. Antecedentes encontrados en tesis

En el trabajo de tesis titulado: “Flujo y stock de Carbono de Suelos en Tres tipos de Bosque de la Amazonía Peruana. Jenaro Herrera - Loreto”, se tuvo como objetivos específicos: (i) cuantificar el CO₂ emitido por el suelo a través de la respiración total en tres tipos de bosque, (ii) Determinar la variación y relación de las emisiones de CO₂ del suelo en función de la humedad y temperatura del suelo, (iii) Determinar la variación y relación de las emisiones de CO₂ del suelo en función de la precipitación y temperatura del ambiente, y (iv) Cuantificar el almacén de carbono en el suelo de tres tipos de bosque a tres diferentes profundidades. Se determinó el flujo de CO₂ a través de la medición de la respiración utilizando un analizador de gases infrarrojos EGM - 4 (PP-System - Hitchon, UK), se realizó en tres tipos de bosque, dos de ellos ubicados en Llanura (Plantación y en bosque natural) y un tercero en Varillal de altura. En los bosques referidos, también se determinó el contenido de carbono a tres profundidades (0 - 30, 30 - 60 y 60 - 100 cm) mediante el método del cilindro y método de Walkley - Black. Se analizó la variabilidad temporal del flujo de CO₂ y se determinó la relación entre el flujo de CO₂ con la temperatura promedio mensual y precipitación mensual. Adicionalmente se determinó la relación general entre el flujo de CO₂, la temperatura y humedad del suelo. En base a las mediciones realizadas se estima que el promedio de Respiración del Suelo (flujo de CO₂) en los bosques tropicales evaluados es de 0.220 g CO₂.m⁻².h⁻¹ (19.26 t CO₂.ha⁻¹.año⁻¹), 0.167 g CO₂.m⁻².h⁻¹ (14.62 t CO₂.ha⁻¹.año⁻¹) y 0-149 g CO₂.m⁻².h⁻¹ (13.04 t CO₂.ha⁻¹.año⁻¹) en “Plantación”, “Terraza alta” y “Varillal”, respectivamente. Los tres tipos de bosque presentan la misma tendencia de almacenamiento de carbono, el mayor porcentaje en la capa superior y menor contenido de carbono a mayor profundidad. “Varillal” presentó el mayor contenido de carbono, determinándose a 1 m de profundidad 320,26 t C.ha⁻¹. Por otro lado se determinó 64.08 t C.ha⁻¹ y 82.42 t C.ha⁻¹ en “Plantación” y “Terraza Alta”, respectivamente (20).

En el trabajo de tesis titulado: “Stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en bosques andinos, Huancayo, Perú, 2013”, se tuvo como objetivos de: (i) estimar el stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en los bosques de Viques y la Hacienda Chorrillos, (ii) Identificar la relación que tienen los factores ambientales con la variación del stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en los bosques de Viques y la Hacienda Chorrillos, y (iii) Valorar económicamente en base al stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en los bosques de Viques y la hacienda Chorrillos. La metodología usada fue no destructiva a través de la ecuación alométrica de Brown según el MINAM. Para la determinación de parcelas se usó sensoramiento remoto por medio de Google Earth obteniendo 6 a 4 parcelas generales, 1 para caracterización del suelo, 18 y 12 para análisis especial de Carbono/Nitrógeno, 6 y 4 para el inventario forestal en Viques y Chorrillos respectivamente. Se concluyó que el bosque de Viques tienen mayor stock de carbono almacenado en sus componentes (33 291 t C/19 Ha y 122 065 Tn CO₂/19 Ha) a diferencia del bosque de Chorrillos (2 934 t C/10 ha y 10 758 t CO₂/10 Ha) influenciado por la edad, hectáreas y factores ambientales (climáticos, topográficos, hidrográficos y tipo de ecorregión) según la prueba de hipótesis paramétrica t-student y no paramétrica de Wilcoxon para muestras independientes. La valoración económica del primero fue de 332,905 US\$/Tn - C/19 ha y el segundo 29,339 US\$/Tn - C/10 Ha (22).

2.1.3. Antecedentes encontrados en artículos de divulgación

En el trabajo de investigación titulado: “Almacenamiento de carbono y flujo de CO₂ en los suelos con plantaciones de tres especies forestales – Valle del Mantaro”, desarrollado en tres zonas dentro del valle del Mantaro: el bosque del fundo “El Porvenir” (*Eucalyptus globulus* Labill), el bosque de la comunidad de Chamisería (*Pinus radiata* D.Don) y el bosque Dorado – anexo de Paccha (*Polylepis incana* H&B); se utilizaron parcelas de 50 m x 50 m, 20 m x 20 m y 10 m x 30 m, respectivamente, siendo un total de 9

parcelas para cada lugar. Se realizó un muestreo de biomasa aérea (inventario forestal) con la finalidad de cuantificar el almacenamiento de carbono y obtener la cantidad de CO₂ capturado por la biomasa total. La biomasa del sotobosque, fue recolectada en una subparcela de 1 m², dentro de cada parcela. Así, se obtuvo para el bosque de *Eucalyptus globulus* Labill un almacenamiento de carbono de 234,22 Tn-C/ha; para el bosque de *Pinus radiata* D.Don un almacenamiento de carbono de 141.50 Tn-C/ha y para el bosque de *Polylepis incana* H&B un almacenamiento de carbono de 156.45 t C/ha. Se capturó CO₂ de la atmosfera y se incorporó la biomasa total (madera, ramas principales y secundarias, hojas, raíces y suelos), 63.88 Tn-CO₂/Ha en el bosque de *Eucalyptus globulus* Labill, 38.59 Tn-CO₂/Ha en el bosque de *Pinus radiata* D.Don y 42.67 Tn-CO₂/Ha en el bosque de *Polylepis incana* H&B. Finalmente, se tomaron muestras de suelo (5 cm de profundidad), para determinar el contenido de carbono orgánico y nitrógeno disponible; con la finalidad de analizar su influencia sobre el flujo de CO₂. El flujo de CO₂ en el bosque de *Polylepis incana* H&B es mayor a 530 mg/m²/h, esto se atribuye a la cantidad de materia orgánica (hojarasca) que se encuentra en el suelo, lo que incrementa la acción de descomposición de los microorganismos aumentando la producción de CO₂; también se le atribuye a la edad del bosque como un factor influyente, ya que cuando un bosque tiene mayor antigüedad facilita la formación y establecimiento de comunidades de microorganismos especializados en la degradación. Para las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill y *Pinus radiata* D.Don los valores encontrados son 170 mg/m²/h y 165 mg/m²/h de CO₂ respectivamente, obteniendo valores cercanos entre ellos (23).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

El carbono orgánico del suelo.

El Carbono orgánico está contenido en la fracción orgánica del suelo, que consiste de las células de los microorganismos, residuos de animales y plantas en diferentes estados de descomposición, "humus" estable sintetizado de residuos, y compuestos altamente carbonizados como el grafito y carbono (formas elementales de carbono). El carbono orgánico en el suelo puede ser estimado como la diferencia entre el carbono total y el carbono inorgánico. El carbono orgánico puede ser determinado directamente por procedimientos del carbono total después de la remoción de carbono inorgánico o por técnicas rápidas de oxidación-titulación de dicromato. En ausencia de carbono inorgánico, el análisis de carbono total puede ser usado para determinar carbono orgánico y recuperar todas las formas de carbono orgánico en los suelos. Sin embargo, los métodos de carbono orgánico basados en la oxidación del dicromato recuperan proporciones variables de carbono elemental y, en algunos procedimientos, cantidades variables de carbono orgánico contenido en el "humus" (24). Complementariamente, el Carbono Orgánico del Suelo (COS) forma parte del ciclo del carbono que involucra el ciclo de dicho elemento a través del suelo, vegetación. Océano y la atmósfera. Las cantidades de COS almacenan un estimado de 1,500 Pg C en el primer metro de suelo, que es más carbono que el contenido en la atmósfera (aproximadamente 800 Pg C) combinado con el Carbono de la vegetación terrestre (500 Pg C) (8). Este fenomenal reservorio de COS no es estático, sino que está en constante ciclaje entre las diferentes cantidades de carbono global en diferentes formas moleculares (25). La cantidad de COS almacenado en un suelo dado es dependiente del equilibrio entre la cantidad de Carbono que ingresa al suelo y la cantidad de Carbono (C) que sale del suelo como gases de respiración basada en el Carbono resultado de la mineralización microbial y, en menor extensión, del lixiviado del suelo como Carbono Orgánico Disuelto (COD). Localmente, el Carbono puede ser perdido o ganado a través de la erosión del suelo o deposición, conduciendo a la redistribución del C a escala local, de paisaje y regional. Los niveles de almacenamiento de COS son por lo tanto principalmente controlados por el manejo y la cantidad y tipo de residuos orgánicos que ingresan al suelo (es decir, la entrada del C orgánico al sistema suelo) y minimizando la pérdida de C del suelo (8). La tasa a la cual la materia

orgánica del suelo incrementa o disminuye depende grandemente del balance entre pérdidas y ganancias de Carbono. En los suelos, la materia orgánica proviene primariamente de los residuos de las plantas y los exudados de crecimiento in situ y de materiales orgánicos aplicados (en suelos cultivados). Las pérdidas son debidas principalmente a la respiración (emisiones de CO₂), erosión, lixiviación del Carbono disuelto (en suelos cultivados) y remoción de las plantas (26).

El carbono orgánico del suelo: un componente de la materia orgánica del suelo.

La materia orgánica del suelo es parte de un complejo y mezcla variada de sustancias orgánicas. Todas las sustancias orgánicas, por definición, contienen el elemento carbono, y, en promedio, el carbono comprende casi la mitad de la masa de la materia orgánica del suelo. La materia orgánica en los perfiles de suelo del mundo contiene casi seis veces a más del carbono que se encuentra en la vegetación de todo el mundo. La materia orgánica del suelo, por lo tanto, juega un papel crítico en el balance global del carbono que mayormente controla el cambio climático global (26). El COS es el principal elemento que forma parte de la MOS, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno o de otro. Al respecto cabe señalar que los métodos analíticos determinan COS (calcinación húmeda o seca) y que la MOS se estima a partir del COS multiplicado por factores empíricos como el de Van Bemmelen equivalente a 1.724. El factor de transformación de COS a MOS puede variar entre 1.9 para suelos superficiales y 2.5 para muchos subsuelos. Como existe una considerable variación entre diferentes suelos y horizontes en el factor de conversión COS-MOS, es preferible informar el valor de COS sin transformar (27). La materia orgánica del suelo contiene aproximadamente 55 - 60 % de Carbono en masa. En muchos suelos, este Carbono comprende la mayor parte o todo el stock de carbono, referido como COS, excepto donde se presentan las formas inorgánicas de Carbono del suelo (8). Similar a la materia orgánica del

suelo, el COS se divide en diferentes cantidades como una función de su estabilidad física y química (28):

- Pool rápido (pool activo o lábil): después de agregar carbono orgánico fresco al suelo, la descomposición resulta en una gran proporción de la biomasa inicial perdiéndose en 1 a 2 años.
- Pool intermedio: comprende el carbono orgánico procesado microbiallymente que está parcialmente estabilizado sobre superficies minerales o protegido con agregados, con un tiempo de transformación en el rango de 10 a 100 años.
- Pool lento (pool estable o resistente): COS altamente estabilizado, entra en un periodo de transformación muy lenta de 100 a > 1 000 años.

Un pool adicional de COS lento es pirogénico, formado de biomasa parcialmente carbonizada (es decir, pirolizada) durante incendios forestales (29) que está presente en muchos ecosistemas. Una porción de este material tiene una estructura química aromática altamente condensada (frecuentemente referida como carbono pirogénico o carbono negro) que resiste la degradación microbial y persiste así en los suelos por largos periodos (30). La separación del COS en diferentes pools es más conceptual que medible y está basado en la facilidad de oxidación del COS o grado de estabilización física dentro de los agregados o a través de uniones a minerales determinados a través de protocolos analíticos. Aunque los pools de COS son usados frecuentemente para modelar la dinámica del carbono, la manera para reconciliar pools “medibles” y “modelables” han sido ya reportados (31). El Carbono Orgánico del Suelo y la Materia Orgánica del Suelo podrían por lo tanto también ser considerados un continuo de material orgánico en todos los estados de transformación y descomposición o estabilización (30).

Fuentes de carbono orgánico del suelo.

La fuente original de materia orgánica del suelo son los tejidos de las plantas, y la cantidad de materia orgánica acumulada en los suelos es parcialmente una función de la productividad neta de la planta que proporciona este material. Los animales son fuentes secundarias de materia orgánica. Conforme los animales comen los tejidos originales de las plantas, contribuyen con sus productos de residuo, y dejan sus propios cuerpos cuando mueren. Ciertas formas de vida animal, especialmente lombrices de tierra, termitas, hormigas, y escarabajos, juegan un papel importante en la incorporación y translocación de residuos orgánicos (26). Globalmente, en cualquier momento, aproximadamente 3 000 petagramos (Pg o 10^{15} g) de carbono son almacenados en los perfiles de suelo como materia orgánica del suelo (excluyendo el litter superficial), con alrededor de un tercio en el primer metro de profundidad. Un adicional de 940 Pg son almacenados en la parte superficial de suelo como carbonatos que pueden ser liberados como CO_2 después de la meteorización. Por supuesto, este carbono no está uniformemente distribuido entre todos los tipos de suelo (Tabla 02). Casi la mitad del carbono orgánico total está contenido en tres órdenes de suelos: Histosols, Inceptisols y Gelisols (26).

Tabla 02. Masa de carbono orgánico en el metro superior de los suelos del mundo.

Orden de suelo	Área Global, 10^3 km^2	Carbono Orgánico (Pg)
Entisols	21 137	90
Inceptisols	12 863	190
Histosols	1 526	179
Andisols	912	20
Gelisols	11 260	316
Vertisols	3 160	42
Aridisols	15 699	59

Mollisols	9 005	121
Spodosols	3 353	64
Alfisols	12 620	158
Ultisols	11 052	137
Oxisols	9 810	126
Tierras Misceláneas	18 398	24

Fuente: Weil y Brady (26).

Carbono orgánico: propiedad física de agregación del suelo.

El carbono orgánico del suelo tiene un efecto importante en la agregación de las partículas del suelo (33), existiendo una relación entre tamaño de los agregados y contenido de COS. Mientras mayor es el contenido de COS lábil, mayor es el tamaño de los agregados (34). A su vez, los agregados están asociados a la fracción altamente humificada con periodo de residencia en el suelo mayor a siete años (34). Se encontró una correlación positiva entre el porcentaje de estabilidad de los agregados y el contenido de MOS (35). Similares resultados fueron obtenidos en 26 suelos británicos (36) y en dos suelos semiáridos de España (37). En un Udifluventtic Haplustept (Texas), cultivado con sorgo, trigo y soya manejado con cero labranza y labranza convencional por 20 años, el COS se asoció positivamente con el porcentaje de agregados estables al agua (38). Además, hubo interacción entre el tamaño de los agregados y la especie cultivada. Al separar los distintos agregados por peso, el COS se asoció positivamente con los macroagregados, mayores a 1 mm y negativamente con los microagregados del suelo (< 0.25 mm) (38):

Carbono orgánico: propiedad física de porosidad y retención del agua.

La estructura del suelo involucra la forma, grado y tamaño de los agregados. En consecuencia, la estructura del suelo afecta la porosidad y, por lo tanto, la retención y disponibilidad de agua, además de su capacidad para contener aire. La porosidad afecta, además, el crecimiento de las raíces de los cultivos (39). Porosidad y retención de agua son dos parámetros que se encuentran estrechamente vinculados ya que la capacidad de retención de agua en el suelo es dependiente del número de poros, de la distribución del tamaño de poros y de la superficie específica de cada suelo (40). Se estudió la distribución del espacio poroso con diferentes manejos de suelo y encontraron que al agregar materia orgánica aumentaban los poros de mayor diámetro, que retienen el agua con menor energía (41). La materia orgánica disminuye la densidad aparente del suelo (40), pero a la vez, tiende a disminuir la densidad de partícula, por lo que el efecto en la porosidad total no es fácil de predecir. Además, la densidad aparente es fuertemente afectada por el manejo del suelo (42). La mantención de adecuados niveles de materia orgánica del suelo contribuye a disminuir la densidad de volumen del suelo y resistencia a la compactación del suelo (43).

Carbono orgánico: propiedad física de compactación y presencia.

La compactación del suelo consiste en una reducción del espacio poroso causado por una carga aplicada a la superficie del suelo (44). Se mide usualmente mediante el valor de resistencia que ofrece el suelo a ser penetrado por una herramienta de corte. La resistencia a la penetración afecta a otras propiedades del suelo que se asocian directamente al desarrollo de las plantas y las labores agrícolas (45). La resistencia a la penetración depende de varias propiedades básicas como la resistencia a la deformación del suelo, compresibilidad y fricción suelo-metal; se puede asociar a propiedades fáciles de medir como densidad aparente, contenido de agua (45), materia orgánica del suelo y cantidad de agentes cementantes (46). Se han identificado los siguientes efectos de la materia orgánica del suelo sobre la estructura y compactación del suelo: floculación

de las partículas minerales, reducción de la humectación de los agregados y cambios en la resistencia mecánica (coherencia) de los agregados (47). Sin embargo, se han observado diferentes efectos sobre la resistencia a la compactación dependiendo del tipo de material orgánico aportado (48). La MOS fácilmente oxidable tiene un mayor efecto en el comportamiento mecánico del suelo que la MOS total al disminuir los efectos de la compactación (49).

Carbono orgánico: propiedad química de reacción del suelo.

La MOS afecta la reacción del suelo (pH) debido a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo (50). En un experimento, se incubaron dos suelos, Oxisols (4.5 % COS) y Ultisol (2.6 % COS), con poda de ramillas de árboles observándose durante los primeros 14 días un aumento en pH de 4.8 a 5.8 en el Oxisol y de 4.1 a 6.8 en el Ultisol junto a la disminución del aluminio intercambiable. Para el Ultisol el mejor predictor de los cambios de pH fue el contenido total de bases de las rfamilias. Los autores propusieron que el mecanismo de neutralización de la acidez se debe a una complejación de protones y aluminio mediante aniones inorgánicos. La materia orgánica del suelo tiene grupos carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos débiles y tienden a disminuir el pH del suelo. En suelos cercanos a la neutralidad o que tiene cantidades altas de carbonatos y bicarbonatos, el pH disminuye por aumento en la presión parcial de CO₂ en la atmósfera del suelo. El CO₂ de la atmósfera se combina con agua y forma ácido carbónico, que al disociarse genera H⁺ que acidifica el suelo (52). De acuerdo a lo expuesto, la MOS tiende a aumentar el pH cuando el suelo es ácido y tiende a disminuirlo cuando el pH del suelo es alcalino.

Carbono orgánico: capacidad de intercambio catiónico.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), es una propiedad química del suelo estrechamente vinculada a su fertilidad, depende de los coloides inorgánicos (arcillas cristalinas, geles amorfos, óxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio) y del contenido de MOS. La mayoría de los suelos tienen una carga permanente y otra carga que varía con el pH (40), observándose un aumento de la CIC con el pH, por lo que la CIC total se mide a pH 8.2 (53). Se considera que la CIC permanente proviene de la fracción arcilla, mientras que la CIC variable depende de las sustancias húmicas. Los coloides inorgánicos prácticamente no varían en un suelo en particular, con valores de CIC que fluctúan entre 2 y 150 cmol (+).kg^{-1} suelo. Por otro lado, los coloides orgánicos, son altamente dependientes del manejo y pueden tener una CIC que superan 200 cmol/kg suelo. Para el caso de la fracción de MOS de alto peso molecular, el aporte en la CIC es menor (170 cmol/kg) comparado con la fracción de bajo peso molecular (500 cmol/kg) (54).

Carbono orgánico: propiedades biológicas del suelo.

El carbono orgánico es esencial para la actividad biológica del suelo (50). Proporciona recursos energéticos a los organismos del suelo, mayoritariamente heterótrofos, en forma de carbono lábil (hidratos de carbono o compuestos orgánicos de bajo peso molecular) (55). Por otro lado, los organismos del suelo descomponen los residuos orgánicos participando activamente en los ciclos de muchos elementos utilizados por las plantas. Además, los organismos del suelo participan en la formación y estabilización de la estructura y porosidad del suelo (40). La biota del suelo representa el 1 a 3 % del COS y el componente microbiano varía desde 100 hasta 1000 $\mu\text{g C.g}^{-1}$ suelo (56). La actividad biológica actúa en la solubilización, movilización y disponibilidad de nutrientes para las plantas (55) y es indicador de los cambios tempranos que modifican la dinámica de nutrientes antes que estos puedan ser detectados por análisis químicos (57).

2.2.2. Fundamentos metodológicos de la investigación

Estratificación de los suelos: razón y propiedad.

La “razón de estratificación” de la materia orgánica del suelo es un indicador de calidad de suelos (32) basado en el hecho que los suelos naturales de pradera o forestales tienen sus propiedades estratificadas en profundidad. El cálculo de la razón de estratificación de la MOS es:

$$RE_{MOS} = \frac{MOS_{superior}}{MOS_{profunda}}$$

Donde RE_{MOS} es la razón de estratificación de la materia orgánica, $MOS_{superior}$ es el contenido de MOS cercano a la superficie o primera estrata de muestreo y $MOS_{profunda}$ es el contenido de materia orgánica del suelo en profundidad, en el límite de la capa arable. Mientras mayor es el valor de RE_{MOS} mayor es la calidad del suelo. Esta relación se utilizó en diferentes suelos, Ustochrepts, Eutrocryepts, Cryoboralf y Natriboralf manejados con labranza convencional y cero labranzas. Se encontró que los suelos manejados con cero labranzas tenían una mayor RE_{MOS} comparado con los mismos suelos manejados con labranza convencional (32).

Evaluación de las propiedades de los suelos.

El contenido de carbono orgánico del suelo (COS): obtenido mediante la relación:

$$COS (\%) = \frac{MOS (\%)}{1.724}$$

Donde:

- COS = Carbono orgánico del suelo.
- MOS = Materia Orgánica del suelo.

- 1.724 = Factor de conversión de COS a MOS, considerando que el suelo tiene en promedio 58 % del Carbono orgánico, del total del Carbono del suelo (24).

La densidad aparente del suelo (DAP) se determina mediante el método del cilindro (61), la cual mantiene una validez respecto de la Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa en los bosques del Perú propuesto por el Ministerio del Ambiente en función de lo propuesto por Chaves et. al. citada en la fuente precedente (61). El carbono almacenado en el suelo se calculó a partir de los valores de porcentaje de Carbono Orgánico y densidad aparente bajo la siguiente relación (62):

$$CAS = COS * DAP * P * 10\ 000$$

Donde:

- CAS = Carbono almacenado en el suelo (Mg C/Ha).
- COS = Contenido de Carbono Orgánico del Suelo (%).
- DAP = Densidad aparente del suelo (Mg/m³).
- P = Profundidad de muestreo del suelo (m).
- 10000 = área de una hectárea (m²).

Después de haber calculado la cantidad de carbono orgánico que almacena el sistema, se convirtió el carbono orgánico a moléculas de CO₂, para esto se utilizó el siguiente factor de corrección:

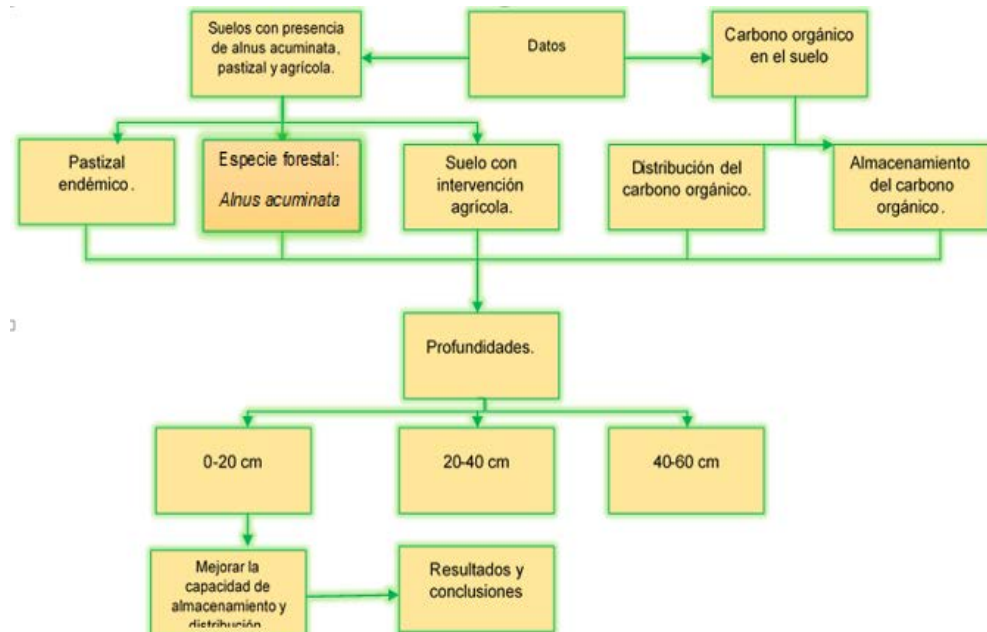
$$Factor\ de\ Corrección\ (FC) = \frac{44}{12} = 3.67$$

Entonces: CO₂ (Mg/Ha) = FC * CO.

Donde:

- CO₂ = dióxido de carbono almacenado en el suelo (Mg/Ha).
- FC = Factor de corrección de CO a CO₂.
- CO = Carbono orgánico almacenado en el suelo (Mg/ha).

2.2.3. Modelo teórico de la investigación



2.3. Definición de términos

- *A. acuminata*: es una especie forestal que conforma un hábitat propio de bosques ribereños o lugares húmedos (58).
- Cambio climático: tiende por ser la variabilidad a nivel global del clima provocado por la actividad humana; relacionado al efecto invernadero (58).
- Capacidad de intercambio de cationes: la suma total de cationes intercambiables que el suelo puede adsorber. Algunas veces llamado capacidad de intercambio total, capacidad de intercambio de bases, o capacidad de adsorción de cationes. Expresado en centimol de carga por kilogramo (cmol_c/kg) de suelo (o de otro material adsorbente, como arcilla) (58).
- Carbono orgánico del suelo: el carbono orgánico del suelo es un complejo de compuestos orgánicos de carbono en la forma de materia orgánica del suelo. La materia orgánica del suelo incluye compuestos de origen biológico en o sobre el suelo, al margen del origen o estado de descomposición. Incluye residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo, y sustancias provenientes de las raíces de

las plantas o microorganismos del suelo. El producto final del proceso de descomposición es el humus, un material amorfo de compuestos altamente resistentes a la posterior descomposición. Muchos compuestos orgánicos en el suelo están íntimamente asociados con las partículas inorgánicas del suelo. En suelos agrícolas, el contenido de carbono orgánico del suelo es usualmente menor del 5 % y disminuye con la profundidad del suelo (59).

- Estructura del suelo: la combinación o arreglo de las partículas primarias del suelo en partículas secundarias, unidades o peds. Estas unidades secundarias tienen un patrón característico. Las unidades secundarias están caracterizadas y clasificadas en base al tamaño, forma y grado de diferenciación en clases, tipos y grados, respectivamente (58).
- Densidad de volumen del suelo: la masa de suelo seco por unidad de volumen de suelo, incluyendo el espacio aéreo. La densidad de volumen es determinada antes de secar a peso constante a 105°C (58).
- Humus: la porción de la materia orgánica del suelo que no tiene tejidos de plantas reconocibles o vivos, y está protegida de rápida descomposición en algún grado por el ambiente suelo. Generalmente su tamaño de partícula es coloidal y de color negro (58).
- Materia orgánica viva: una porción de la materia orgánica del suelo que es metabolizada relativamente fácil por microorganismos y ciclos con una vida media en el suelo de unos pocos días o unos pocos años (58).
- Mineralización: la conversión de un elemento de una forma orgánica a un estado inorgánico como resultado de la descomposición microbial (58).
- Productividad del suelo: la capacidad de un suelo para producir una planta especificada o secuencia de plantas bajo un sistema específico de manejo. La productividad enfatiza la capacidad del suelo para producir cultivos y podría ser expresada en términos de rendimiento (58).
- Propiedades físicas del suelo: aquellas características, procesos o reacciones de un suelo que son causados por fuerzas físicas y que pueden ser descritas o expresadas en ecuaciones o términos físicos. Ejemplos de propiedades físicas son: densidad de volumen, capacidad de retención de agua, porosidad, conductividad hidráulica y distribución del tamaño de poros (58).
- Stock de carbono: Un stock es todo aquello que se encuentra almacenado en los componentes del bosque y los flujos de carbono es todo aquel proceso que afecta el stock. Por ejemplo, cuando se cuantifica el stock de un bosque, se

muestrea: la biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces; la necromasa almacenada en la hojarasca y la madera muerta; y el carbono del suelo (60).

- 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 (58).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

A) Método general:

El método general elegido y apropiado para la presente investigación fue el inductivo y sintético (1). El entorno del método inductivo requiere del análisis del conocimiento desde un enfoque específico o puntual para llegar a situaciones generales, es decir, al contrario del enfoque deductivo; de igual manera, el método sintético engloba a la concepción del manejo del conocimiento e información de manera equitativa al enfoque inductivo de manera complementaria. El hecho de determinar los niveles de carbono orgánico relacionado a la intervención y presencia de la especie forestal *A. acuminata*, conllevó a obtener un conocimiento inicial respecto del potencial de captura y almacenamiento de carbono a nivel del suelo, obteniendo de dicho modo información representativa acorde al alcance del aporte científico.

B) Método específico:

De manera específica se optó por elegir al método empírico como observacional (1), considerando propiamente al entorno del método científico como relevante a lo largo de la investigación. De manera complementaria, se utilizó el método de análisis siguiente como entorno del proceso metodológico: las muestras de suelo obtenidas en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas, fueron analizados en su contenido de carbono orgánico, multiplicado por un factor de conversión de 1.724, de esta manera se puede obtener un valor respecto de la materia orgánica. El método de análisis fue el de Walkley-Black en un entorno normalizado, cuyo principio es la oxidación húmeda del dicromato de potasio en ácido sulfúrico a nivel de laboratorio propiamente dicho.

Tabla 03. Métodos de análisis normalizado del suelo.

Parámetro	Método	Unidad de expresión
Carbono orgánico	Walkley-Black	%

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

3.1.2. Tipo de la investigación

El tipo de investigación asumida es básica (1), sustentada por la generación de conocimientos iniciales u originales respecto del objeto de estudio en el contexto de investigación, es decir, el inducir sobre un conocimiento inicial respecto del carbono orgánico a nivel del suelo respecto del análisis propio del *A. acuminata* representa la obtención de información inicial en el lugar de estudio, lo que conllevará a abrir puertas a otras investigaciones, así como conocer su potencial de captura y almacenamiento inicial del mismo.

3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de investigación fue el exploratorio (1); se consideró dicho nivel en relación al método general descrito, así como teniendo en cuenta la consideración de obtención inicial del conocimiento expuesto en el tipo de investigación propiamente dicho.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación, acorde al método específico asumido, fue no experimental (1), no se manipularon las variables de estudio, solo se conoció su esencia inicial respecto a la captura de carbono orgánico en el suelo de plantaciones de *A. acuminata*. Para la posterior determinación del contenido de carbono orgánico en las muestras de suelo en una plantación de *A. acuminata*, campo de pastizal y campo agrícola en Cullpa, considerándose el siguiente modelo:

$$Y_i = X_i + \varepsilon_i$$

Y_i = contenido de carbono orgánico del suelo.

X_i = tipo de investigación.

ε_i = error de observación.

De igual manera, se consideró como corte específico del manejo de información a la transversalidad, es decir, se tomaron y analizaron datos en un momento específico acorde al alcance de la investigación.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población estuvo constituida por los suelos de la plantación de *A. acuminata* (6.500 m²); se consideró suelos con cubierta de pastizal y suelos con cultivos agrícolas, en la Comunidad Campesina de Cullpa, Huancayo.

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 *A. acuminata* delimitadas mediante una técnica no paramétrica; de la misma forma se realizó el muestreo en el pastizal y el campo agrícola. 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 04. Georreferenciación de los puntos de muestreo de suelo.

N°	Código	Descripción	Zona	Este	Norte	Msnm
1	AL 001	Plantación de <i>A.</i> <i>acuminata</i>	18 L	480799	8672851	3669
2	AL 002			480796	8672851	3669
3	AL 003			480822	8672868	3683
4	PA 001	Pastizal	18 L	480788	8672806	3656
5	Ag 001	Campo agrícola	18 L	481093	8672618	3586
6	Ag 002			481102	8672623	3585
7	Ag 003			481128	8672619	3587

Fuente: elaboración propia.

Complementariamente, se optó por recolectar 18 muestras que fueron enviadas al laboratorio para su respectivo análisis, las cuáles se exponen en la siguiente tabla, así como su localización.

Tabla 05. Número de muestras de suelo según su profundidad.

Tipo de vegetación	Profundidad (cm)	Nº muestras
<i>A. acuminata</i>	0 – 20	3
	20 – 40	3
	40 – 60	2
Pastizal	0 – 20	1
	20 – 40	1
	40 – 60	1
Agrícola	0 – 20	3
	20 – 40	3
	40 – 60	1
Total	-	18

Fuente: elaboración propia.

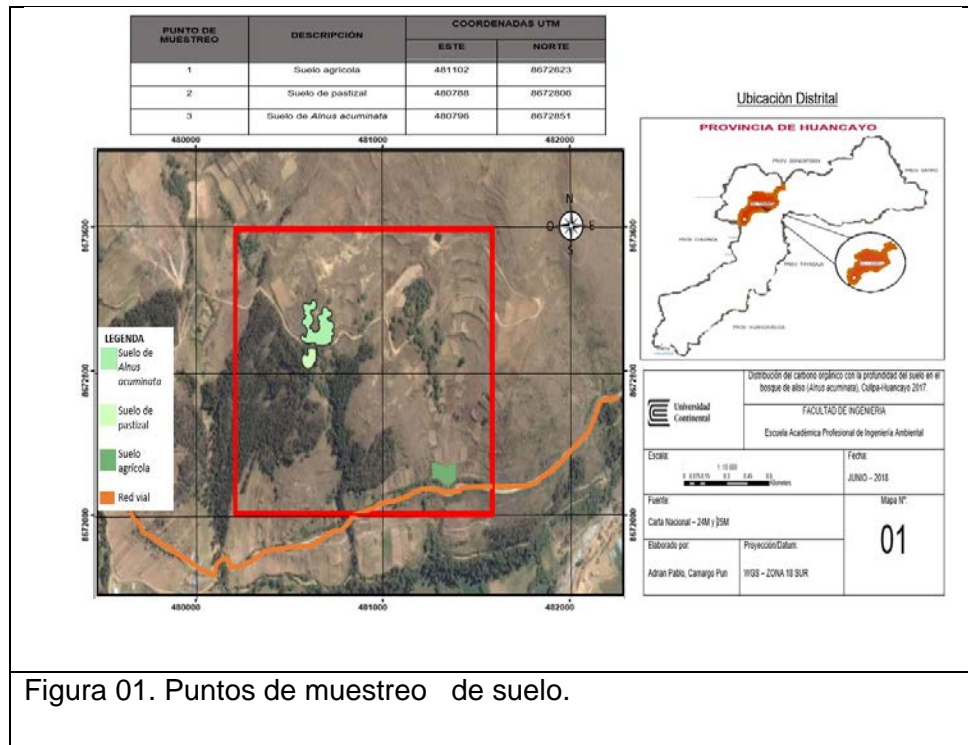


Figura 01. Puntos de muestreo de suelo.

Fuente: elaboración propia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos para la presente investigación es acorde a lo propuesto en el método específico de la investigación, se optó por la observación (1).

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

El instrumento de recolección, el cual representó un modo concreto de la técnica asumida, fue la siguiente: Guía de observación y/o cotejo (Ver Anexo 10): “Consideraciones del análisis de muestra de suelo propio de *A. acuminata*, pastizal y suelo agrícola con fines de determinación de carbono orgánico”, representadas en los informes de ensayo emitidos.

3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Los datos del contenido de carbono orgánico del suelo fueron sistematizados utilizando medidas descriptivas de tendencia central (promedio), así como gráficos calificados e interpretados para caracterizar el contenido de carbono orgánico en el suelo de la plantación de *A. acuminata*, suelos con pastizal y suelos con cultivos agrícolas; la estimación y análisis de las propiedades relacionadas al almacenamiento y distribución de carbono orgánico se describió apropiadamente en la sección de fundamentos metodológicos así como en la tabla 03, que mantuvo relación con los métodos estandarizados de análisis de las propiedades del suelo empleadas por la Universidad Nacional Agraria La Molina y expuestas en el anexo 10.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

- Distribución vertical del carbono orgánico del suelo.

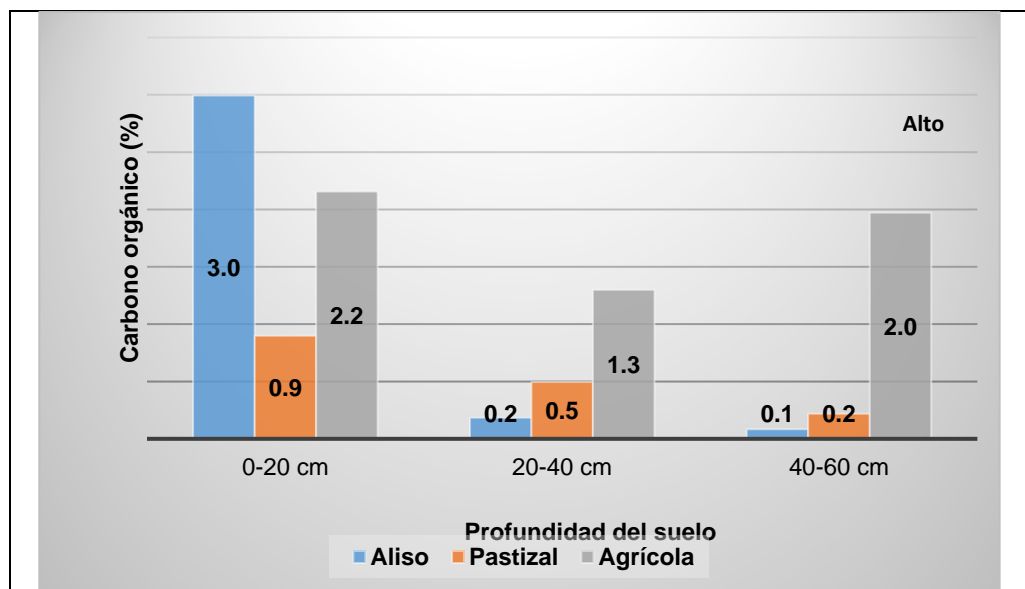


Figura 02. Distribución del carbono orgánico (%) en suelos con diferente cubierta vegetal (*A. acuminata*, pastizal, agrícola), a tres profundidades. Cullpa, Huancayo.

Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se observa que existe una mejor distribución de carbono orgánico en términos porcentuales a una menor profundidad (0 - 20 cm). *A. acuminata* presenta una mayor cantidad con 3 % de CO, en comparación con una profundidad mayor (40 - 60 cm), donde la distribución de carbono es poco significativa, como en *A. acuminata* con una cantidad de 0.1 % y pastizal de 0.2 % de CO. La cobertura vegetal que evidenció una mejor distribución fue *A. acuminata* respecto de su presencia en el suelo, sin embargo, a profundidades mayores dicha distribución se comportó de manera inversa presentando una cantidad de 0.1 % de CO, es decir no mostró una distribución “normal”. Respecto del entorno del pastizal, se evidencia que la distribución tiende a decrecer progresivamente de 0.9 % de CO en la parte superficial a 0.2 % de CO en la parte más profunda mientras que en suelo agrícola a profundidades medias se tiene una distribución más variada.

- Carbono orgánico almacenado en el suelo

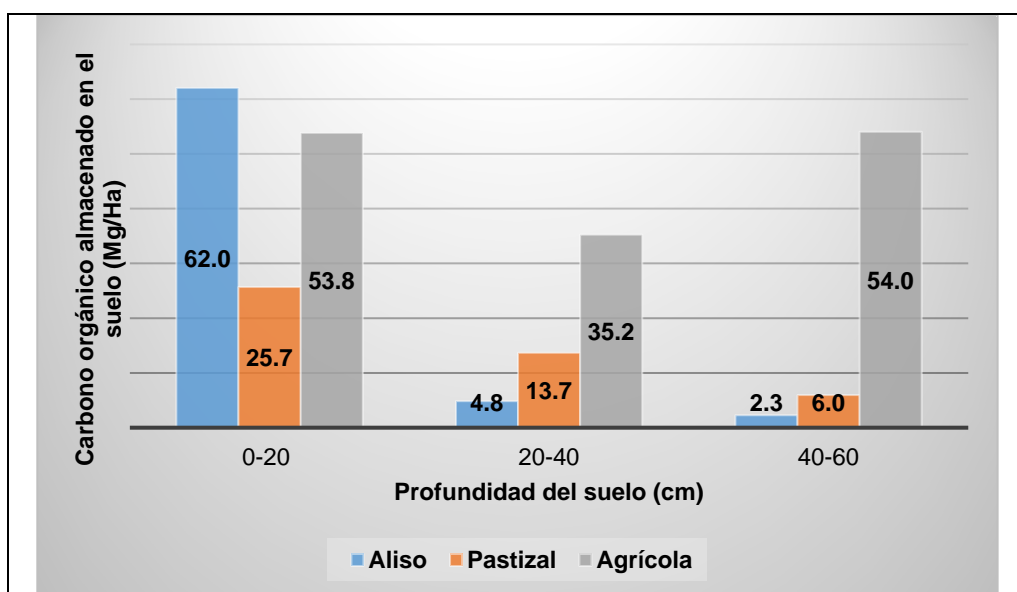


Figura 03. Cantidad promedio de carbono orgánico almacenado (Mg/ha) en suelos con diferente cubierta vegetal (*A. acuminata*, pastizal, agrícola), a tres profundidades. Cullpa, Huancayo.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 05 se evidencia una mayor cantidad de carbono orgánico almacenado en la parte superficial de 0 – 20 cm; el pastizal también presentó un almacenamiento de carbono de manera decreciente en forma progresiva, mientras el suelo agrícola evidencia altos valores de almacenamiento evidenciando que, a poca profundidad, así como a una gran profundidad se da un mejor desempeño de almacenamiento de CO. Respecto al *A. acuminata*, se evidencia un alto almacenamiento debido a la constante remoción del suelo, siendo superior al suelo agrícola, sin embargo, a mayores profundidades dicho escenario se disminuye significativamente como en *A. acuminata* y el pastizal. Complementariamente se presenta la siguiente tabla presentando la acumulación del almacenamiento del carbono orgánico a diferentes profundidades.

Tabla 06. Contenido de carbono almacenado acumulado en el suelo, según cubierta vegetativa (Mg/Ha).

Cubierta vegetal	Profundidad del suelo (cm)		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
<i>A. acuminata</i>	64.84	4.86	2.29
Acumulado	64.84	69.70	71.99
%	90.07	96.82	100.00
Pastizal	25.68	13.66	5.95
Acumulado	25.68	39.34	45.29
%	56.70	86.86	100.00
Agrícola	54.46	35.08	54.03
Acumulado	54.46	89.54	143.57
%	37.93	62.37	100.00

Fuente: elaboración propia.

A partir de ello se logró obtener la distribución porcentual de carbono con presencia de *A. acuminata* equivalente a cada profundidad analizada; se

evidencia un alto porcentaje a poca profundidad (0 a 20 cm), equivalente a un 90 %; contrariamente a profundidades mayores (0 a 60 cm), solo representó el 3 % del total.

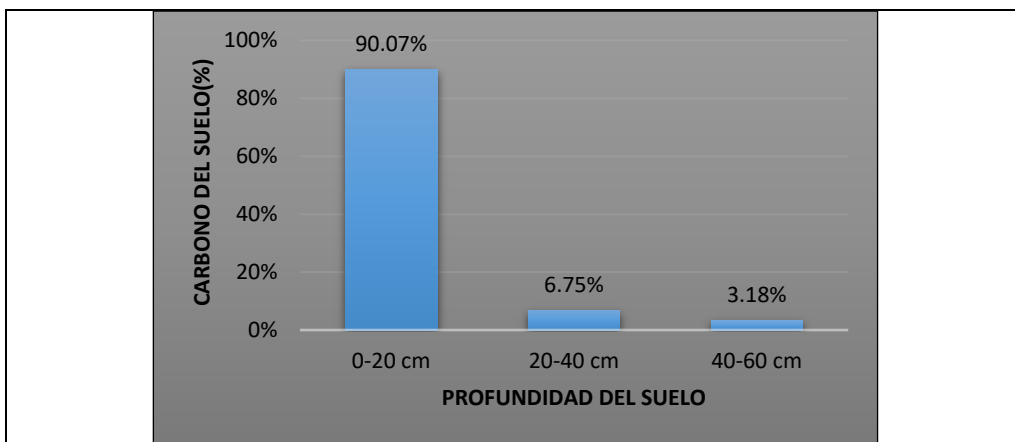


Figura 04. Almacenamiento porcentual de carbono del suelo en plantaciones de *A. acuminata*. Cullpa, Huancayo.

Fuente: elaboración propia.

Respecto del almacenamiento del carbono en el suelo con presencia pastizal, se tiene que un 57 % se almacenó a un nivel poco profundo del suelo (0 a 20 cm) evidenciando que a medida que se evidencia una mayor profundidad se disminuye el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo.

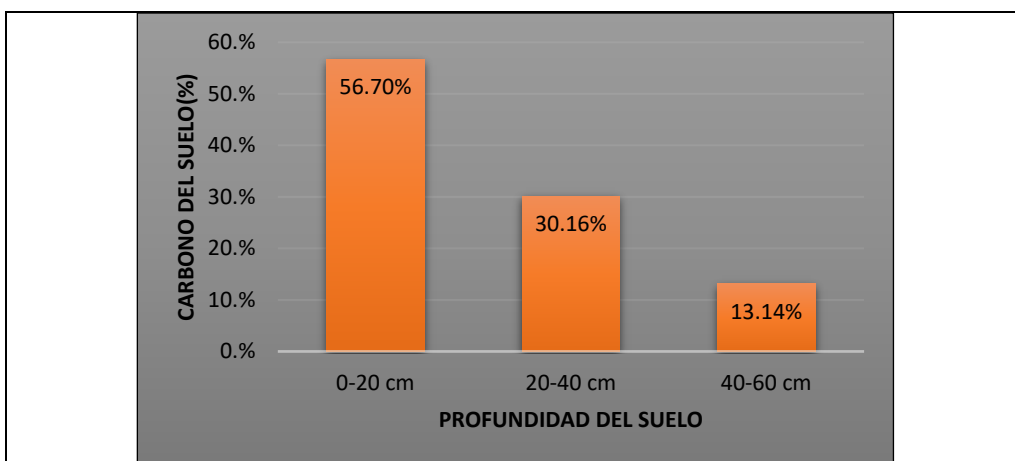


Figura 05. Almacenamiento porcentual de carbono en el suelo con pastizal Cullpa, Huancayo.

Fuente: elaboración propia.

Respecto del almacenamiento de carbono en el suelo agrícola, se evidenció que a niveles bajos y profundos se tuvo un nivel de porcentaje de 38 %, mientras que en un nivel medio (20 a 40 cm) el porcentaje fue menor (24 %).

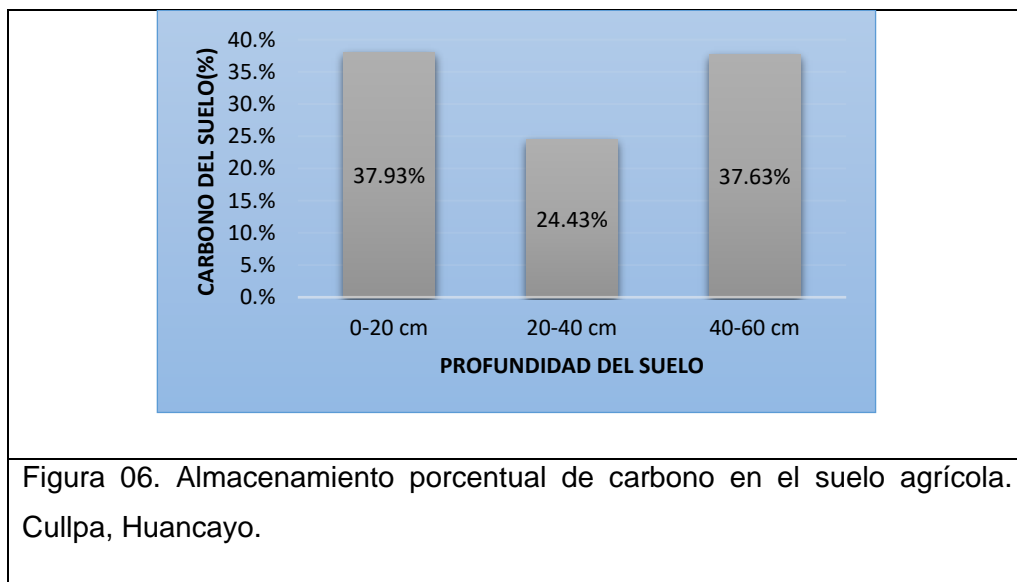


Figura 06. Almacenamiento porcentual de carbono en el suelo agrícola. Cullpa, Huancayo.

Fuente: elaboración propia.

- CO₂ almacenado en el suelo

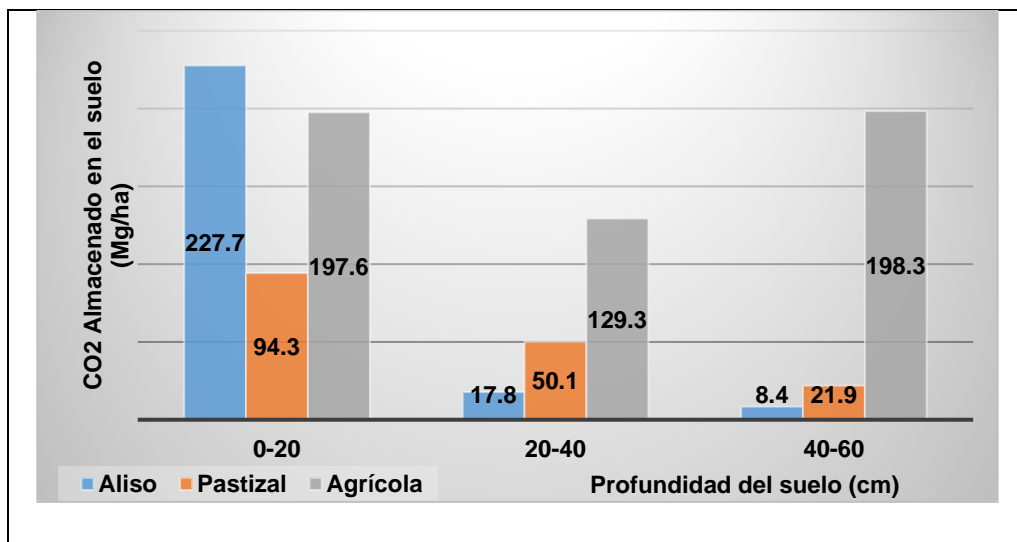


Figura 07. Cantidad promedio de dióxido de carbono almacenado del suelo con diferente cubierta vegetal (*A. acuminata*, pastizal, agrícola), a tres profundidades. Cullpa, Huancayo.

Fuente: elaboración propia.

A nivel de la cantidad de CO₂, se da un escenario equivalente a la distribución y almacenamiento de carbono anteriormente expuesto; se completa dicha afirmación con la tabla siguiente.

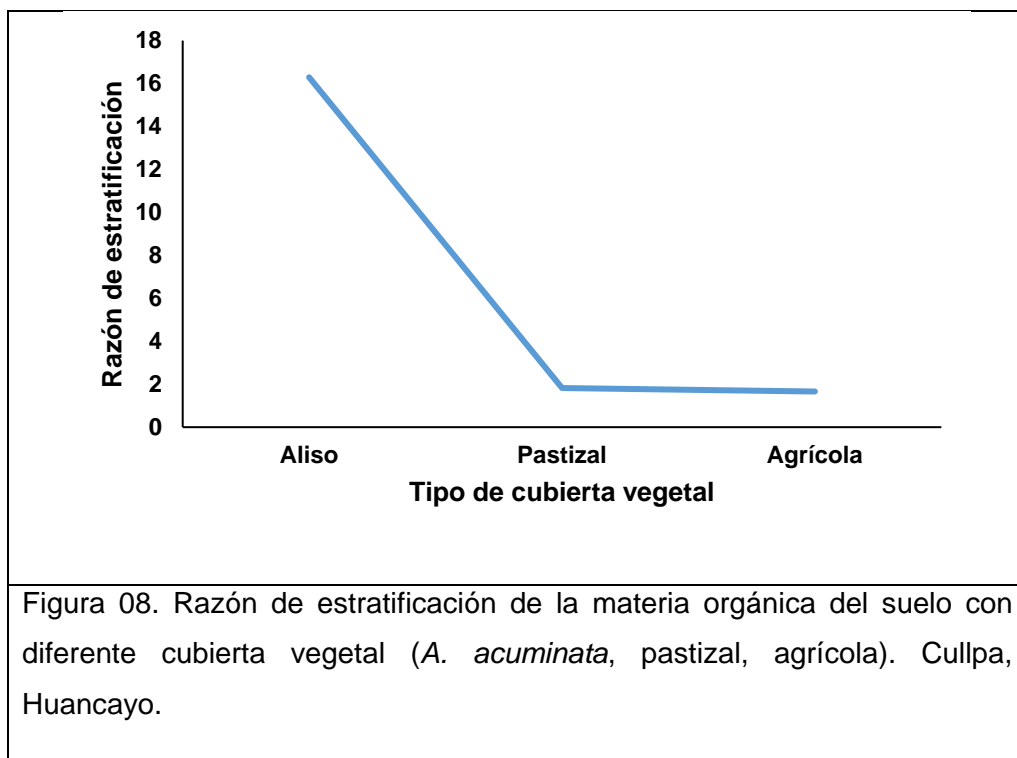
Tabla 07. Contenido de dióxido de carbono almacenado en el suelo, según cubierta vegetativa (Mg/ha).

Cubierta vegetal	Profundidad del suelo (cm)		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
<i>A. acuminata</i>	237.99	17.84	8.41
Acumulado	237.99	255.83	264.24
%	90.06	96.82	100.00
Pastizal	94.25	50.14	21.86
Acumulado	94.25	144.39	166.25
%	56.69	86.85	100.00
Agrícola	199.89	128.75	198.30
Acumulado	199.89	328.64	526.94
%	37.93	62.37	100.00

Fuente: elaboración propia.

- Razón de estratificación

La razón de estratificación respecto del suelo con presencia de *A. acuminata* tiende a ser mayor por la acumulación de CO₂, en comparación con la razón relacionada al suelo pastizal y agrícola, tal como se evidencia en la figura siguiente.



Fuente: elaboración propia.

- Prueba estadística (prueba de Friedman).

Debido a que la cantidad de muestras es reducida y no están sometidas a ciertos requisitos se utilizó una prueba no paramétrica. Al ser más de dos muestras se consideró realizar la prueba de Friedman, se seleccionó 1 grupo de k elementos de forma que los elementos de cada grupo sean lo más parecidos posible entre sí que aportan CO.

Tabla 08. Resumen de rangos y promedio de CO.

PROFUNDIDAD (cm)	<i>A. acuminata</i>		Agrícola		Pastizal	
	Mediana de CO	R1	Mediana de CO	R2	Mediana de CO	R3
0-20	5.2	3	3.7	2	2.7	1
20-40	0.3	1	2.2	3	1.5	2
40-60	0.1	1	3.4	3	0.7	2

Fuente: elaboración propia.

Las sumas de rangos correspondientes a cada especie, variable o columna son:

$$R1 = 5 \quad R2 = 8 \quad R3 = 5$$

$$X_r^2 = \frac{12}{H K (K + 1)} \sum Rc^2 - 3H (K + 1)$$

En la expresión anterior:

- X_r^2 = estadístico calculado del análisis de varianza por rangos de Friedman.
 - H = representa el número de elementos o de bloques (número de hileras)
 - K = el número de variables relacionadas
- $\sum Rc^2$ = es la suma de rangos por columnas al cuadrado

$$X_r^2 = \frac{12}{3 \times 3(3 + 1)} [5^2 + 8^2 + 5^2] - 3 \times 3(3 + 1)$$

$$X_r^2 = \frac{12}{36} [114] - 36$$

$$X_r^2 = 2$$

Tabla 09: resumen de prueba de hipotesis

Hipótesis nula	Test	Chi-cuadrada(X_r^2)	Decisión
El nivel de distribución de carbono orgánico del suelo en plantaciones de <i>A. acuminata</i> , pastizal y cultivos agrícolas no es mayor a profundidades menores.	Análisis de dos vías de Friedman de varianza por rangos de muestras relacionadas	Por fórmula: $X_r^2 = 2$ Por tabla, con nivel de significancia de 0.05: $X_r^2 = 0.103$	Se rechaza la hipótesis nula.

Fuente: elaboración propia.

Como el valor de chi-cuadrado obtenido por formula ($\chi^2_r = 2$) es mayor al valor obtenido por tabla ($\chi^2_{r=0.103}$), se rechaza la hipótesis nula, es decir, el nivel de distribución de carbono orgánico del suelo en plantaciones de *A. acuminata*, pastizal y cultivos agrícolas disminuye según las profundidades de 0 – 20 cm, 20 – 40 cm y 60 cm.

De acuerdo con los resultados, el nivel de distribución de carbono orgánico es mayor a profundidades menores. Como se puede evidenciar en el *A. acuminata* con 5.6 % de CO, en el suelo agrícola de 3.7 % de CO y en el suelo de pastizal de 2.7 % de CO a una profundidad de 0 – 20 cm.

4.2. Discusión de resultados

En la distribución del carbono orgánico del suelo (COS) se tiene una distribución descendente con la profundidad del suelo, ya sea en una plantación de *A. acuminata*, pastizal y cultivo agrícola (Figura 4). Los valores encontrados fueron altos en promedio para la capa superior de *A. acuminata* debido a la descomposición de hojas que se desprenden del árbol, valores medios para el suelo con cultivos agrícolas en sus tres profundidades y valores bajo para el suelo con pastizal en sus tres profundidades, así como para el *A. acuminata* en las profundidades de 20 - 40 cm y 40 - 60 cm. Esta tendencia de disminución de carbono orgánico con la profundidad del suelo coincide con la tendencia observada en tres suelos mediterráneos, un Mollisol, Typic calcixeroll, y dos inceptisols Typic calcixercept y Typic haploxerept (19). Asimismo, en la evaluación de tres tipos de bosque de la amazonía peruana, Loreto, se observó que presentan la misma tendencia de contenido de carbono, el mayor porcentaje en la capa superior y menor contenido de carbono a mayor profundidad (20). Los datos encontrados en la comunidad campesina de Cullpa, tienen la misma tendencia de la investigación realizada en la microcuenca de Pomacohas, departamento de Amazonas, Perú, donde la mayor cantidad de carbono orgánico se encuentra en los primeros 20 cm de los sistemas pastoril a campo abierto, silvopastoriles y forestales (21). Esto se debe a que la mayor cantidad de carbono orgánico que recibe el suelo, se

encuentran en la zona de mayor deposición, la capa superior y conforme la profundidad del suelo aumenta, esta disminuye.

La razón de estratificación (RE) muestra la relación del contenido de materia orgánica del suelo, de la primera capa de suelo (0 - 20 cm) respecto a la profundidad (20 - 40 cm), cuyo principal elemento que lo conforma es el carbono orgánico del suelo (27). Esta relación es un indicador de calidad de suelos (32). Se ha encontrado que los suelos con *A. acuminata* tienen una RE mayor que los suelos con pastizal o agrícola, con valores de 16.29 %, 1.82 % y 1.66 % respectivamente. Estos valores demuestran que los suelos de *A. acuminata* tienen una mejor calidad de suelo que lo hace sostenible, respecto de los suelos con pastizal y agrícola (32).

El carbono almacenado en el suelo, es mayor en la plantación de *A. acuminata* en la capa superior de 0 - 20 cm, donde se estimó un 64.84 Mg/ha, respecto al suelo agrícola, que tuvo 54.46 Mg/ha y pastizal con solo 25.68 Mg/ha. En la capa de 20 a 40 cm el orden de carbono orgánico almacenado se invierte bruscamente, el suelo agrícola almacena en promedio 35.08 Mg/ha, seguido del pastizal con 13.66 Mg/ha y finalmente el bosque de *A. acuminata* con solo 4.86 Mg/ha; mientras que en la capa de 40 - 60 cm el suelo agrícola con 54.03 Mg/ha es mayor que el pastizal que alcanzó 5.95 Mg/ha y el bosque de *A. acuminata* alcanzó un valor estimado de 2.29 Mg/ha. Estos datos se presentan en la figura 5. En el caso del bosque con *A. acuminata* la cantidad total de carbono orgánico acumulada en el suelo a la profundidad de 60 cm fue de 71.99 Mg/ha con la mayor proporción en la capa superior de 0 - 20 cm (90 %); en el suelo con pastizal la cantidad de carbono total acumulada en la profundidad de 0 - 60 cm fue de 45.29 Mg/ha con un 57 % almacenado en la capa superior de 0 - 20 cm; mientras que en el terreno agrícola, fue de 243.57 Mg/ha, con un 47 % del carbono almacenado en la capa de 0 - 20 cm; siendo mayor la acumulación total de carbono orgánico que las otras dos anteriores cubiertas vegetales; estos datos se presentan en la tabla 6, figuras 6,7 y 8. Los datos de acumulación de carbono orgánico encontrados en Cullpa fue menor comparado al trabajo de investigación realizado en la microcuenca ganadera de Pomacochas, departamento de Amazonas, Perú, donde el sistema forestal almacena 316.21 t C/ha, luego está el sistema silvopastoril con 240.25 t C/ha y finalmente el sistema a campo abierto que almacenó 160.31 t C/ha (21); este último valor bastante cercano a lo encontrado en la zona agrícola (campo abierto) en Cullpa, donde se obtuvo 143.57 Mg C/ha (Mg = t). La variabilidad de los datos se

debe a la variabilidad de las propiedades del suelo asociadas al contenido de carbono orgánico en el suelo en cada lugar de evaluación, siendo mayor la acumulación de biomasa vegetal en zonas tropicales, que en zonas de climas tropicales como el caso de Cullpa.

El CO₂ almacenado en el suelo, es mayor en la capa superior (0 - 20 cm) de los suelos con *A. acuminata*, respecto a los suelos con pastizal y agrícola. En el suelo con *A. acuminata* disminuye drásticamente con la profundidad del suelo (20 - 40 cm y 40 - 60 cm); en el suelo con pastizal también se observa una disminución con la profundidad, pero más gradual respecto al suelo con *A. acuminata*; mientras que en el suelo agrícola disminuye a la profundidad de 20 - 40 cm, pero aumenta en la capa de 40 - 60 cm, a valores cercanos a la capa superior de 0 - 20 cm. Estos datos están representados en la figura 5. El CO₂ acumulado en el suelo hasta la profundidad de 0 - 60 cm fue de 264.24 Mg/Ha para el suelo con *A. acuminata*, 166.25 Mg/Ha para el suelo con pastizal y 526.94 Mg/Ha para el suelo agrícola; siendo mayor en el suelo agrícola, por la distribución menos variable del carbono orgánico con la profundidad del suelo, si se compara con el suelo con *A. acuminata* o pastizal donde la disminución es drástica. Esto se puede atribuir al manejo y uso del agrícola, que tiene continuos volteos y hace que la materia orgánica se distribuya más con la profundidad a diferencia del suelo forestal y pastizal, donde no hay volteos del suelo y el carbono orgánico se acumula solo en la capa superior. Los valores encontrados siguen la misma tendencia del contenido del COS en los tres tipos de cubierta vegetativa, siendo el sistema agrícola el que almacena mayor cantidad de CO₂ que el sistema forestal y finalmente el sistema de pastizales, siendo la capa de suelo, 0 - 20 cm, la que almacena la mayor cantidad de CO₂ (21).

CONCLUSIONES

1. El nivel de distribución de carbono orgánico del suelo (COS) fue alto en el suelo de plantaciones de *A. acuminata* en la capa de 0 - 20 cm (2.993 %), disminuyendo a valores bajos en la capa de 20 - 40 cm (0.184 %) y 40 - 60 cm (0.084 %); se obtuvo un valor medio en las tres profundidades del suelo agrícola (0 - 20 cm = 2.156 %; 20 - 40 cm = 1.299 % y 40 - 60 cm = 1.972 %); y en el suelo con pastizal los valores fueron bajos en las tres profundidades (0 - 20 cm = 0.898 %; 20 - 40 cm = 0.495 % y 40 - 60 cm = 0.219 %).
2. Las características del contenido de carbono orgánico en el suelo evidenciaron una tendencia a disminuir respecto de la profundidad del suelo. En los suelos con *A. acuminata* se obtuvo (90 %), pastizal (57 %) y agrícola (38 %), siendo más drástica la disminución en el suelo de *A. acuminata* (desde 90 % a poca profundidad, hasta 3 % a mayor profundidad) y menor en el suelo agrícola y pastizal (de 57 % a 13 % y 38 % a 24 % respectivamente).
3. La cantidad de carbono orgánico acumulado en el suelo de 0 - 60 cm de profundidad, fue mayor en el suelo agrícola con 143.57 Mg/Ha, seguido del suelo de *A. acuminata* con 71.99 Mg/Ha y finalmente el suelo de pastizal con 45.29 Mg/Ha. Y la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) acumulado en el suelo de 0 - 60 cm de profundidad, fue mayor en el suelo agrícola con 526.94 Mg CO₂/Ha, seguido del suelo con *A. acuminata* con un valor promedio de 264.24 Mg CO₂/Ha y finalmente el suelo de pastizal con un promedio de 166.25 Mg CO₂/Ha.
4. La razón de estratificación, un indicador de calidad, fue mayor en el suelo con *A. acuminata*, alcanzando un valor de 16.29 %, seguido del suelo con pastizal, con un valor de 1.82 % y finalmente el suelo agrícola con un valor promedio de 1.66 %.

RECOMENDACIONES

1. Realizar otras evaluaciones en otras especies forestales que prosperan en el Valle del Mantaro, para proporcionar valores medios de carbono orgánico almacenado en los suelos a diferentes profundidades.
2. Estimar el carbono orgánico almacenado en la vegetación con diferentes cubiertas vegetales en otras localidades del valle del Mantaro y estimar su aporte al suelo.
3. Separar la capa de hojarasca sobre suelos con bosques, para estimar con precisión el carbono orgánico mezclado con el suelo bajo diferentes especies forestales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Baldock, J.A., Skjemstad, J.O. Organic soil C/soil organic matter. In Prveril, K.I., Sparrow. L.A. Reuter, D.J. (Eds.), Soil Analysis: An interpretation manual. CSIRO Publishing: Collingwood, Victoria, pp. 159 - 170. 1999.
2. Jobbagy, E.G. Jackson, R.B. The vertical distribution of soil organic C and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*. 10:423 - 436. 2000.
3. Lal, R. Agricultural activities and the global C cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 70. 103-116. 2004.
4. Jenkinson, D.S., Adams, D.E., Wild, A. Global warming and soil organic matter. *Nature*. 351:304-306. 1991.
5. Stevenson, F.J. *Humus Chemistry: génesis, composition, reactions*. 2nd Ed. J. Wiley & Sons. New York. 1994.
6. Stolbovoy, V. and Montanarella, L. Application of soil organic carbon status indicators for the policy-decision making in the EU. In Toth, G. Montanarella, L. and Rusco, J. /eds) *Threats to soil quality in Europe*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, pp 87 - 99. 2008.
7. Janzen, H.H. The soil carbón dilema: shall we hoard it or use it. In *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 38, N° 3, pp. 419 - 424. 2006.
8. FAO and ITPS. *Status of the World's Soil Resources*, Rome: s.n. 2015.
9. Van der Wal, A. & De Boer, W. Dinner in the dark: Illuminating drivers of soil organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 105:45 - 48. 2017.
10. Lefevre L., V. Alcantara, R. Baritz and R. Vargas. *Soil Carbon Organic. The hiddden potential*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 2017.
11. Pan, Y., Birdsey, R.A., Phillips, O.L. & Jackson, R.B. The Structure, Distribution, and Biomass of the World's Forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44: 593-622. 2013.
12. Lal, R. Forest Soils and Carbon Sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220:242 - 258. 2005.

13. McSherry, M.E. & Ritchie, M.E. Effects of grazing on grassland soil carbón: a global review. *Global Change Biology*, 19(5):1347 - 1357. 2013.
14. Orghiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J-L., De Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N.C., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., Miko, L., Montanarella, L., Moreira, F.M.S., Ramírez, K.S., Scheu, S., Singh, B.K., Six, J., van der Putten, W.H. & Wall, D.H. *Global Soil Biodiversity Atlas*. Luxembourg: European Commission, Publications Office of the European Union. 2016.
15. FAO. *Carbon sequestration in dryland soils*, Rome:FAO. 2004.
16. United Nations. *Paris Agreement*. s.l.:s.n. 2015.
17. Van Miegroet H., Janis L. Boettinger, Michelle A. Baker, J. Nilesen, D. Evans, A. Stum. Soil Carbon distribution and quality in a montane rangeland-forest mosaic in northern Utah. *Forest Ecology and Management* 220:284 - 299. 2005.
18. Jiménez, J.J., R. Lal, H.A. Leblanc, R.O. Russo. Soil organic carbon pool under native tree plantations in the Caribbean Lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 241: 134 - 144. Elsevier. 2007.
19. Goberna, M., J. Sánchez, J.A. Pascual, and C. García. (2006). Surface and subsurface organic carbón, microbial biomass and activity in a forest soil sequence. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 2233 - 2243. Elsevier.
20. Porlles Arteaga, M.A. Flujo y Stock de Carbono de Suelos en Tres Tipos de Bosque de la Amazonía Peruana. Jenaro Herrera-Loreto. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales. Lima, Perú. 2011.
21. Chichipe B. J. y T.A. Esparraga Espinoza. Evaluación de la influencia del uso de la tierra en el almacenamiento de carbono orgánico en suelos de la microcuenca ganadera de Pomacochas del departamento de Amazonas, Perú. Tesis para optar el título de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Amazonas, Perú. 2015.
22. Luza Eyzaguirre I.A. Stock de carbono alanceando en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en bosques andinos, Huancayo, Perú, 2013. Tesis para optar el título de

Ingeniera Ambiental. Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental. Huancayo, Perú, 2014.

23. Dávila V., F. Retamozo y L. Suárez. Almacenamiento de carbono y flujo de CO₂ en los suelos con plantaciones de tres especies forestales-valle del Mantaro. En: Cambio Climático en la Cuenca del Río Mantaro. Balance de 7 años de estudio. Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú. 2010.
24. Nelson D.W. and L.E. Sommers. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. In The Soil Science Society of America Book Series. Madison, Wisconsin, USA. 1996.
25. Kane, D. Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices, s.l.:s.n.
26. Weil R.R. and N.C. Brady. The nature and Properties of Soils. Fifteenth edition. Pearson. USA. 2016.
27. Allison, L.E. Organic Carbon. In: C.A. Black. Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. Number 9 (Part 2) in The Series Agronomy. Madison, Wisconsin USA. Pp:1367 - 1378. 1965.
28. O'Rourke S.M., Angers, D.A., Holden N.M. & Mcbratney A.B. Soil organic carbon across scales. *Global Change Biology*, 21:3561 - 3574. 2015.
29. Schmidt M. & Noack A. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles*, 14(3): 777 - 793. 2000.
30. Lehmann J. & Kleber M. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580):60 - 68. 2015.
31. Luo Z., Wanga E., Fillery I.R.P., Macdonald L.M., Huth N., & Baldock J. Modelling soil carbon and nitrogen dynamics using measurable and conceptual soil organic matter pools in APSIM. *Agriculture. Ecosystems and Environment*, 186:94-104. 2014.
32. Franzluebbers A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66, 95 - 106. 2002.
33. Follet R.F. Stewart B.A. Soil erosion and Crop Productivity. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. 1985; p. 533.

34. Buyanovsky G.A., Aslam M., Wagner G.H. Carbon turnover in soil physical fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1167 - 1173. 1994.
35. Rothon F.E. Influence of time on soil response to No-Till Practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 700 - 709. 2000.
36. Chaney, K., Swift R.S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British Soils. *Journal of Soil Science* 35, 223 - 230. 1984.
37. Caravaca F., Lax A., Albaladejo J. Soil aggregate stability and organic matter in clay and fine silt fractions in urban refuse-amended semiarid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 1235 - 1238. 2001.
38. Arshad M.A., Franzluebbers A.J., Azooz R.H. Surface-soil structural properties under grass and cereal production on a Mollic Cryoboralf in Canada. *Soil Till Res.* 77, 15 - 23. 2004.
39. Acevedo E. y Martínez E. Sistema de labranza y productividad de los suelos, en Acevedo, E.: *Sustentabilidad en cultivos an uales*. Santiago, Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 8, p. 13 - 25. 2003.
40. Krull E.S., Skjemstad J.O., Baldock, J.A. Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Grains Research & Development Corporation report Proyect N° CSO 00029. 2004.
41. Pikul J.L.Jr., Allmaras R.R. Physical and chemical properties of a Haploxeroll after fifty years of residue management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 214 - 219. 1986.
42. Lampurlanes, J., C. Cantero-Martinez. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management system and their relationship with barley root growth. *Agronomy Jopurnal.* 95:526 - 536. 2003.
43. Carter M.R. Sopil quality for sustaibale land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil funtions. *Agron. J.* 94, 38 - 47. 2002.
44. Kulli, B. Analysis of flow patterns. The influence of soil compaction and soil structure on the infiltration pathways of dye tracer solutions and the quantitative evaluation of flow patterns. Thesis for the degree of Doctor of Natural Sciences, Swiss Federal Institute of Technology. 109 p. 2002.
45. Dexter A.R., Czyz E.A., Gate O.P. A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil Till. Res.* 93, 412 - 419. 2007.

46. Aggarwal P., Choudhary K.K., Singh A.K., Chakraborty D. Variation in soil strength and rooting characteristics of wheat in relation to soil management. *Geoderma*. 136, 353 - 363. 2006.
47. Hazma M.A., Anderson W.K. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and posible solutions. *Soil Till.Res.* 82, 121 - 145. 2005.
48. Ekwue E.J. Organic matter effect on soil strength properties. *Soil Tillage Res.* 16, 289 - 297.1990.
49. Ball B.C., Campbell D.J., Hunter E.A. Soil compactibility in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK. *Soil Till. Res.* 57, 83 - 91. 2000.
50. Aguilera S.M. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile. P. 77 - 85. 2000.
51. Wong M.T.F., Gibbs P., Nortcliff S., Swift R.S. Measurement of the acid neutralizing capacity of agroforestry tree prunings added to tropical soils. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 134, 269 - 276. 2000.
52. Carrasco M.A. El suelo como sistema químico. En Vera W.: Suelos, una visión actualizada del recurso. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 38, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, 345 p. 1992.
53. Tan K.H., Dowling P.S. Effect of organic matter on CEC due to permanent and variable charges in selected temperate región soils. *Geoderma* 32, 89 - 101.1984.
54. Wolf B., Snyder G.H. Sustainable Soils: The place of organic matter in sustaining soils and their productivity. Food products Press of the Haworth press. New York. 2003.
55. Borie G., Aguilera S.M. y Peirano P. Actividad biológica en suelos. *Frontera Agrícola*. 5, 29 - 32. 1999.
56. Paul E.A., Harris D., Klug M.J., Ruess R.W. The determination of microbial biomass. En G.P. Robertson, D.C. Coleman, C.S. Bledsoe, and P. Sollins: Standard soil methods for long-term ecolglcal research. Oxford University Press. New York. Pp. 291 - 317. 1999.
57. Powlson D.S., Brookes P.C., Christensen B.T. Measurements of soil microbial biomass provides an early indication of changes in soil total organic matter due to Straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.*, 19, 159 - 164. 1987.

58. SSSA. Glossary of Soil Science Terms. Madison, Wis. 2015.
59. Baldock J.A., Skjemstad J.O. Organic soil C/soil organic matter. In Prvedril K.I. Sparrow L.A. Reuter D.J. (Eds.), Soil analysis: An interpretation manual. CSIRO Publishing: Collingwood, Victoria, pp. 159 - 170. 1999.
60. Honorio E. y Baker T. Memoria del Taller de análisis estadístico para apoyar el diseño de inventario de carbono. Perú. IQ. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Universidad de Leeds. 12 p. 2009.
61. Forsythe W. Física de suelos. Manual de Laboratorio. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 1980.
62. Schlegel B., Gayoso J., y Guerra J. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Chile. FONDEF y Universidad Austral de Chile. 17 p. 2001.

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de consistencia.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es el nivel de distribución de carbono orgánico del suelo (COS) de plantaciones de <i>A. acuminata</i>, pastizales y cultivos agrícolas a diferentes profundidades en Cullpa, Huancayo, 2017?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Qué características presenta la distribución de carbono orgánico del suelo a profundidades de: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de <i>A. acuminata</i>, pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017? ¿Qué cantidad de carbono orgánico y dióxido de carbono, almacena el suelo a profundidades de 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de <i>A. acuminata</i>, pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017? ¿Qué razón de estratificación de materia orgánica presentan los suelos de plantaciones de <i>A. acuminata</i>, pastizal y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017? 	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar el nivel de distribución de carbono orgánico del suelo (COS) en plantaciones de <i>A. acuminata</i>, pastizales y cultivos agrícolas a diferentes profundidades en Cullpa, Huancayo, 2017.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Describir las características de distribución de carbono orgánico del suelo a profundidades de: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de <i>A. acuminata</i>, pastizales y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017.</p> <p>Calcular la cantidad de carbono orgánico y dióxido de carbono del suelo a profundidades de 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, en plantaciones de <i>A. acuminata</i>, pastizales y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017.</p> <p>Calcular la razón de estratificación de materia orgánica de los suelos en plantaciones de <i>A. acuminata</i>, pastizales y cultivos agrícolas, en Cullpa, 2017.</p>	<p>Hipótesis de investigación</p> <p>H1: El nivel de distribución de carbono orgánico del suelo en plantaciones de <i>A. acuminata</i>, pastizal y cultivos agrícolas es mayor a profundidades menores.</p> <p>Hipótesis nula</p> <p>H0: El nivel de distribución de carbono orgánico del suelo en plantaciones de <i>A. acuminata</i>, pastizal y cultivos agrícolas no es mayor a profundidades menores.</p> <p>Hipótesis alternativa</p> <p>Ha: El nivel de distribución de carbono orgánico del suelo en plantaciones de <i>A. acuminata</i>, pastizal y cultivos agrícolas no varía con la profundidad.</p>	<p>Variable dependiente:</p> <p>Distribución de carbono orgánico respecto de la profundidad.</p> <p>Variable independiente:</p> <p>Suelos con presencia de <i>A. acuminata</i>, pastizal y de cultivo agrícola.</p>	<p>Método general:</p> <p>Inductivo y sintético.</p> <p>Método específico:</p> <p>Observacional.</p> <p>Tipo de investigación</p> <p>Básica.</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Exploratorio.</p> <p>Diseño de investigación</p> <p>No experimental transversal.</p> <p>Población</p> <p>Suelos con presencia de <i>A. acuminata</i>.</p> <p>Muestra</p> <p>Puntos de muestreo delimitados mediante el transecto.</p>

Anexo 02. Guía de calificación de los parámetros edáficos.

Materia orgánica (MO)²

Nivel	% MO	CO (%)
Bajo	< 2	< 1.16
Medio	2 – 4	1.16 – 2.32
Alto	> 4	> 2.32

Anexo 03. Resultados del análisis de materia orgánica del suelo (MOS, %) en suelos de diferente cubierta vegetal (*A. acuminata*, pastizal y agrícola), a tres profundidades (0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm). Cullpa, Huancayo.

Cubierta vegetal	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
<i>A. acuminata</i> 1	1.53	0.57	0.16
<i>A. acuminata</i> 2	5.17	0.08	0.13
<i>A. acuminata</i> 3	8.78	0.30	-
Promedio	5.16	0.32	0.145
Agrícola 1	2.27	1.55	-
Agrícola 2	4.64	4.53	3.40
Agrícola 3	4.24	0.64	-
Promedio	1.58	4.45	3.40
Pastizal	2.67	1.47	0.65

Anexo 04. Resultados del análisis de densidad aparente del suelo (DAP, Mg/m³) en suelos de diferente cubierta vegetal (*A. acuminata*, pastizal y agrícola), a tres profundidades (0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm). Cullpa, Huancayo.

Cubierta vegetal	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
<i>A. acuminata</i> 1	1.22	1.31	1.33
<i>A. acuminata</i> 2	1.01	1.32	1.40
<i>A. acuminata</i> 3	1.02	1.34	-
Promedio	1.083	1.323	1.365
Agrícola 1	1.34	1.35	-
Agrícola 2	1.23	1.36	1.37
Agrícola 3	1.22	1.34	-
Promedio	1.263	1.350	1.370
Pastizal	1.43	1.38	1.36

Anexo 05. Resultados del cálculo de carbono orgánico del suelo (COS) ($f = \text{MOS}/1.724$) en suelos de diferente cubierta vegetal (*A. acuminata*, pastizal y agrícola), a tres profundidades (0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm). Cullpa, Huancayo.

Cubierta vegetal	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
<i>A. acuminata</i> 1	0.887	0.331	0.093
<i>A. acuminata</i> 2	2.999	0.046	0.075
<i>A. acuminata</i> 3	5.093	0.174	-
Promedio	2.993	0.184	0.084
Agrícola 1	1.317	0.899	-
Agrícola 2	2.691	2.628	1.972
Agrícola 3	2.459	0.371	-

Promedio	2.156	1.299	1.972
Pastizal	0.898	0.495	0.219

Anexo 06. Carbono orgánico almacenado en el suelo (Mg/Ha) en suelos de diferente cubierta vegetal (*A. acuminata*, pastizal y agrícola), a tres profundidades (0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm). Cullpa, Huancayo.

Cubierta vegetal	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
<i>A. acuminata</i> 1	21.6428	8.6722	2.4738
<i>A. acuminata</i> 2	60.5798	1.2144	2.1000
<i>A. acuminata</i> 3	103.8972	4.6632	-
Promedio	62.03993	4.84993	2.2869
Agrícola 1	35.2956	24.273	-
Agrícola 2	66.1986	71.4816	54.0328
Agrícola 3	59.9996	9.9428	-
Promedio	53.83127	35.23247	54.03280
Pastizal	25.6828	13.662	5.9568

Anexo 07. Dióxido de carbono almacenado en el suelo (Mg/Ha) en suelos de diferente cubierta vegetal (*A. acuminata*, pastizal y agrícola), a tres profundidades (0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm). Cullpa, Huancayo.

Cubierta vegetal	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
<i>A. acuminata</i> 1	79.43	31.83	90.79
<i>A. acuminata</i> 2	222.33	4.46	7.71
<i>A. acuminata</i> 3	381.30	17.11	-
Promedio	237.99	17.84	8.41

Agrícola 1	129.53	89.08	-
Agrícola 2	242.94	262.34	198.30
Agrícola 3	220.19	36.49	-
Promedio	199.89	128.75	198.30
Pastizal	94.25	50.14	21.86

Anexo 08. Razón de estratificación en suelos de diferente cubierta vegetal (*A. acuminata*, pastizal y agrícola), Cullpa, Huancayo.

Cubierta vegetal	MOS (0 - 20 cm)	MOS (20 - 40 cm)	Factor de estratificación (MOS 0 - 20 cm)/(MOS 20 - 40 cm)
<i>A. acuminata</i> 1	1.53	0.57	-
<i>A. acuminata</i> 2	5.17	0.08	-
<i>A. acuminata</i> 3	8.78	0.30	-
Promedio	5.1600	0.3167	16.29
Agrícola 1	2.27	1.55	-
Agrícola 2	4.64	4.53	-
Agrícola 3	4.24	0.64	-
Promedio	3.72	2.24	1.66
Pastizal	2.67	1.47	1.82

Anexo 09. Panel fotográfico.



Fotografía N°01: Vista panorámica de Cullpa.



Fotografía N°02: Identificación de las especies forestales en Cullpa.



Fotografía N°03: Toma de muestras en preservación de suelos con A. acuminata.



Fotografía N°04: Identificación de la especie forestal A. acuminata.



Fotografía N°05: Identificación del lugar de muestro respecto del pastizal.



Fotografía N°06: Identificación del lugar de muestreo de suelo a nivel de pastizal.



Fotografía N°07: Identificación del lugar de muestreo de suelo agrícola.

Anexo 10. Resultados de la evaluación de muestras a nivel de laboratorio.



ALISO

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



INFORME DE ANALISIS DE SUELO - FERTILIDAD

SOLICITANTE : ADRIAN PLABLO CAMARGO
 PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ MUESTRA: ALISO
 REFERENCIA : H.R. 58599
 BOLETA : 321
 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
164	AL-001,0-20cm	4.47	0.05	0.00	1.53	7.9	76	2.80
165	AL-001,20-40cm	4.60	0.03	0.00	0.57	4.1	133	2.00
166	AL-001,40-60cm	5.20	0.02	0.00	0.16	3.1	79	0.70
167	AL-002,0-20cm	4.15	0.20	0.00	5.17	4.5	69	1.40
168	AL-002,20-40cm	5.07	0.02	0.00	0.08	9.2	70	0.60
169	AL-002,40-60cm	5.47	0.02	0.00	0.13	3.6	69	0.40
170	AL-003,0-20cm	4.73	0.34	0.00	8.78	4.8	108	0.20
171	AL-003,20-40cm	5.20	0.08	0.00	0.30	4.5	67	0.20



[Signature]
 Dr. Sady García Béndezú
 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

Análisis de muestra de suelo con presencia de A. acuminata.



INFORME DE ANALISIS DE SUELO - FERTILIDAD

SOLICITANTE : ADRIAN PLABLO CAMARGO
PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ MUESTRA: PASTISAL
REFERENCIA : H.R. 58599
BOLETA : 321
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
172	PA-002,0-20cm	5.11	0.04	0.00	2.67	6.1	43	0.10
173	PA-002,20-40cm	5.85	0.02	0.00	1.47	2.7	43	0.10
174	PA-002,40-60cm	5.84	0.05	0.00	0.65	3.1	48	0.10



Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio



AGRICOLA

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



INFORME DE ANALISIS DE SUELO - FERTILIDAD

SOLICITANTE : ADRIAN PABLO CAMARGO
PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ MUESTRA: AGRICOLA
REFERENCIA : H.R. 58599
BOLETA : 321
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
157	AG-001,0-20cm	4.61	0.09	0.00	2.27	7.0	115	0.50
158	AG-001,20-40cm	4.77	0.03	0.00	1.55	6.5	52	0.80
159	AG-002,0-20cm	4.43	0.13	0.00	4.64	4.7	89	0.40
160	AG-002,20-40cm	4.63	0.15	0.00	4.53	3.0	92	0.80
161	AG-002,40-60cm	4.67	0.12	0.00	3.40	2.0	64	0.80
162	AG-003,0-20cm	4.82	0.13	0.00	4.24	10.1	95	0.50
163	AG-003,20-40cm	5.20	0.03	0.00	0.64	4.8	80	0.40



[Signature]
Dr. Sady García Bendezú
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

Análisis de muestra de suelo agrícola.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

US= Uso del suelo
CO = Carbono Orgánico (%)
1 = Aliso
2 = Agrícola

Group Statistics

	US	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CO	1	3	1,06700	1,616777	,933446
	2	3	1,80900	,451153	,260473

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower		Upper
CO	Equal variances assumed	7,595	,051	-.766	4	,487	-.742000	,969107	-3,432673	1,948673
	Equal variances not assumed			-.766	2,310	,514	-.742000	,969107	-4,419362	2,935362

US= Uso del suelo
CO = Carbono Orgánico (%)
1 = Aliso
3 = Pastos

Group Statistics

	US	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CO	1	3	1,06700	1,616777	,933446
	3	3	,53733	,341474	,197150

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower		Upper
CO	Equal variances assumed	9,367	,038	,555	4	,608	,529667	,954039	-2,119170	3,178504
	Equal variances not assumed			,555	2,178	,631	,529667	,954039	-3,269810	4,329143

US= Uso del suelo
CO = Carbono Orgánico (%)
2 = Agrícola
3 = Pastos

Group Statistics

	US	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CO	2	3	1,80900	,451153	,260473
	3	3	,53733	,341474	,197150

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
CO	Equal variances assumed	,495	,520	3,893	4	,018	1,271667	,326672	,364680	2,178653
	Equal variances not assumed			3,893	3,725	,020	1,271667	,326672	,337685	2,205648

US= *Uso del suelo*
 COA = *Carbono Orgánico Almacenado (Mg/ha)*
 1 = *Aliso*
 2 = *Agrícola*

Group Statistics

	US	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COA	1	3	2400,08567	3539,824161	2043,718432
	2	3	4786,04333	1106,857230	639,044320

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
COA	Equal variances assumed	6,806	,059	-1,114	4	,328	-2385,957667	2141,299295	-8331,157614	3559,242281
	Equal variances not assumed			-1,114	2,387	,365	-2385,957667	2141,299295	-10304,9654	5533,050032

US= *Uso del suelo*
 COA = *Carbono Orgánico Almacenado (Mg/ha)*
 1 = *Aliso*
 3 = *Pastos*

Group Statistics

	US	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COA	1	3	2400,08567	3539,824161	2043,718432
	3	3	1510,05333	994,136825	573,965163

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
COA	Equal variances assumed	7,408	,053	,419	4	,697	890,032333	2122,786150	-5003,766882	6783,831549
	Equal variances not assumed			,419	2,314	,711	890,032333	2122,786150	-7154,151309	8934,215976

US= Uso del suelo
 COA = Carbono Orgánico Almacenado (Mg/ha)
 2 = Agrícola
 3 = Pastos

Group Statistics

	US	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
COA	2	3	4786,04333	1106,857230	639,044320
	3	3	1510,05333	994,136825	573,965163

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
COA	Equal variances assumed	,170	,701	3,814	4	,019	3275,990000	858,960797	891,132499	5660,847501
	Equal variances not assumed			3,814	3,955	,019	3275,990000	858,960797	880,326778	5671,653222

US= Uso del suelo
 RE= Razón de Estratificación
 1 = Aliso
 2 = Agrícola

Group Statistics

	US	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RE	1	2	25,96350	13,671910	9,667500
	2	2	1,37600	,400222	,283000

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
RE	Equal variances assumed	4,008E+16	,000	2,542	2	,126	24,587500	9,671641	-17,026214	66,201214
	Equal variances not assumed			2,542	1,002	,238	24,587500	9,671641	-97,806611	146,981611

US= Uso del suelo
 RE= Razón de Estratificación
 1 = Aliso
 3 = Pastos

Group Statistics

US	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RE 1	2	25,96350	13,671910	9,667500
3	2	2,95700	1,616446	1,143000

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper	
RE	Equal variances assumed	3,314E+16	,000	2,363	2	,142	23,006500	9,734835	-18,879113	64,892113
	Equal variances not assumed			2,363	1,028	,249	23,006500	9,734835	-93,014548	139,027548

US= Uso del suelo
RE= Razón de Estratificación
2 = Agrícola
3 = Pastos

Group Statistics

US	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RE 2	2	1,37600	,400222	,283000
3	2	2,95700	1,616446	1,143000

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper	
RE	Equal variances assumed	1,575E+17	,000	-1,343	2	,311	-1,581000	1,177513	-6,647432	3,485432
	Equal variances not assumed			-1,343	1,122	,389	-1,581000	1,177513	-13,193360	10,031360