

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACIÓN DE**  
**SUELOS Y AGUA**



**ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DEGRADADOS**  
**POR EX COCALES EN EL CENTRO POBLADO DE PUENTE PIEDRA DEL**  
**DISTRITO DE LUYANDO – LEONCIO PRADO.**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**

**PACHECO RAMOS, RUDY BERTHA**

**Tingo María – Perú**

**2020**



## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 013-2022-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 01 de enero del 2020 a hora 10:00 a. m. a través de la Sala Virtual de Conferencias Microsoft Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

### **“ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DEGRADADOS POR EX COCALES EN EL CENTRO POBLADO DE PUENTE PIEDRA DEL DISTRITO DE LUYANDO – LEONCIO PRADO”**

Presentado por la Bachiller: **PACHECO RAMOS, Rudy Bertha**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 31 de mayo de 2022

Ing. M. Sc JOSE LEVANO CRISOSTOMO  
PRESIDENTE

Dr. ROBERTO OBREGON PEÑA  
MIEMBRO

Ing. M. Sc. JOSE VICTOR QUIROZ RAMIREZ  
MIEMBRO

Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO  
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL  
(RIDUNAS)

Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

**CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 186 - 2023 - CS-RIDUNAS**

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

**CERTIFICA QUE:**

El trabajo de investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:

Facultad de Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

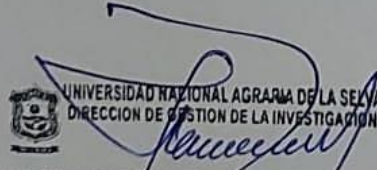
Tesis

X

Trabajo de investigación

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DEGRADADOS POR EX COCALES EN EL CENTRO POBLADO DE PUENTE PIEDRA DEL DISTRITO DE LUYANDO – LEONCIO PRADO	PACHECO RAMOS, RUDY BERTHA	<b>25%</b> <b>Veinticinco</b>

Tingo María, 10 de julio de 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION  
-----  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
DIRECTOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACIÓN DE**  
**SUELOS Y AGUA**



**ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DEGRADADOS**  
**POR EX COCALES EN EL CENTRO POBLADO DE PUENTE PIEDRA DEL**  
**DISTRITO DE LUYANDO – LEONCIO PRADO.**

**Autor** : Bach. PACHECO RAMOS, Rudy Bertha

**Asesor** : Dr. ALVA VALDIVIEZO, Wilfredo

**Programa de investigación:** Ciencias básicas

**Líneas de investigación** : Física y químicas de suelos

**Eje temático** : Secuestro de carbono atmosférico por el suelo

**Lugar de ejecución** : Caserío Puente Piedra, distrito Luyando.

**Duración** : 6 meses

**Financiamiento** : S/. 3028.85

**FEDU** : No

**Propio** : Si

**Otros** : No

Tingo María – Perú

## DEDICATORIA

A Dios por darme la dicha de la vida siendo la fuente de fe y esperanza en mi camino, rodeándome siempre de buenas personas.

A mi querida madre: Rosa Ramos Mallco en reconocimiento de sus constante apoyo, amor infinito y orientación para el logro de mis metas.

A mi querido padre Alejandro Pacheco Poccotay que ahora se encuentra en el cielo, con eterna gratitud por su apoyo y confianza para la culminación de mi carrera profesional.

A mis queridos hermanos: Marleny, Claudia, Efrain, Edgar y Valeria por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por estar presente cada día, por estar siempre presente en cada paso de mi vida, rodeándome de personas que me brindan amor, respeto y lealtad.

A mis padres y hermano por brindarme amor, confianza y estar siempre presente en los momentos difíciles, demostrando ser una familia unida.

A mi alma mater, la Universidad Nacional Agraria de la Selva por la formación académica brindada.

A todos los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables por las enseñanzas de sus conocimientos transmitidos para mi formación profesional.

A mi asesor de la presente investigación el Dr. Alva Valdivezo, Wilfredo por sus aportes técnicos y científicos en el proceso de elaboración de la presente tesis.

A mi pareja Jill Engell, Vasquez Calero por su apoyo incondicional y compañía en el proceso de la realización del estudio de Investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo general.....	1
1.2. Objetivos específicos .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Carbono.....	3
2.1.1. EL dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	3
2.1.2. El efecto invernadero.....	3
2.1.3. Causas y consecuencias del cambio climático global .....	3
2.1.4. Sumidero de carbono .....	4
2.2. Contenido de carbono en el suelo.....	5
2.2.1. Determinación de carbono orgánico en el suelo (COS) .....	6
2.3. Carbono orgánico.....	8
2.3.1. Origen de los componentes orgánicos del suelo.....	8
2.3.2. Importancia de la materia orgánica en el suelo .....	8
2.3.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo que influyen en el carbono orgánico.....	9
2.4. Degradación de los suelos .....	9
2.4.1. Procesos de degradación de suelos.....	10
2.4.2. Caracterización de la degradación de los suelos .....	10
2.4.3. Indicadores de la degradación de suelos.....	10
2.4.4. Causas de la degradación de suelos.....	11
2.5. Tendencia general de la captura de carbono en el suelo.....	11
2.5.1. Capacidad para fijar CO <sub>2</sub> en los suelos áridos.....	12
2.6. Antecedentes.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
3.1. Descripción general área de estudio .....	14
3.1.1. Accesibilidad .....	15
3.1.2. Vegetación .....	15
3.1.3. Factores climáticos .....	15
3.1.4. Zonas de vida.....	15
3.1.5. Fisiografía.....	16
3.2. Materiales y equipos .....	16

3.2.1. Materiales de escritorio y campo.....	16
3.2.2. Materiales de laboratorio.....	16
3.2.3. Equipos y programas.....	16
3.3. Metodología.....	16
3.3.1. Fase inicial del gabinete.....	16
3.3.2. Fase de campo.....	17
3.3.3. Fase de laboratorio.....	19
3.3.4. Fase final de gabinete.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Carbono orgánico almacenado en suelos degradados por ex cicales en el centro poblado Puente Piedra.....	22
4.1.1. Característica física (Densidad aparente).....	24
4.1.2. Características químicas (pH del suelo).....	26
4.2. Carbono orgánico almacenado en la hojarasca en suelos degradados por ex cicales en el centro poblado Puente Piedra.....	28
4.3. Carbono orgánico almacenado en las raíces que se encuentran en suelos degradados por ex cicales en el centro poblado Puente Piedra.....	29
4.4. Carbono orgánico total almacenado en suelos degradados del centro poblado Puente Piedra.....	31
V. CONCLUSIONES.....	34
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	35
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
ANEXOS.....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Resumen de los distintos tipos de depósitos de carbono. ....	5
2. Parcelas con suelos degradados por ex coteles.....	14
3. Carbono orgánico (t/ha) por profundidad de estratos de cada parcela.....	22
4. Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> ) del suelo por horizontes. ....	24
5. pH de suelos a diferentes profundidades de cada parcela.....	26
6. Contenido de carbono orgánico en hojarasca de las parcelas. ....	28
7. Carbono radicular por tres profundidades de cada parcela. ....	30
8. Carbono orgánico de suelo, raíz y hojarasca.....	32
9. Carbono orgánico total del centro poblado Puente Piedra. ....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación del centro poblado Puente Piedra. ....	14
2. Ubicación de las parcelas en el centro poblado Puente Piedra. ....	15
3. Esquema de muestreo en las parcelas de estudio. ....	17
4. Esquema de muestreo de cálculo de carbono orgánico en el suelo y raíces. ....	18
5. Diagrama de estratificación de suelo. ....	18
6. Carbono orgánico del suelo (t/ha) en cada estrato. ....	23
7. Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> ) en el suelo de las parcelas a diferentes profundidades. ....	25
8. pH de suelos en diferentes estratos en cada una las parcelas estudiadas. ....	27
9. Carbono orgánico en hojarasca (t /ha) de parcelas con suelos degradados.....	29
10. Carbono radicular (t /ha) de cada estrato en suelos degradados. ....	31
11. Carbono orgánico total (t /ha) de las parcelas en suelos degradados. ....	33
12. Carbono orgánico total (t /ha) de cada parcela de suelos degradados.....	33
13. Área de estudio.....	41
14. Ubicación de las parcelas en el centro poblado Puente Piedra. ....	42
15. Análisis de suelos de la parcela 1 al 5.....	43
16. Análisis de suelos de la parcela 6 a 10.....	44
17. Reconocimiento del centro poblado Puente Piedra.....	45
18. Reconocimiento de la parcela 1. ....	45
19. Reconocimiento de la parcela 2. ....	46
20. Reconocimiento de la parcela 3. ....	46
21. Reconocimiento de la parcela 4. ....	47
22. Reconocimiento de la parcela 5. ....	47
23. Reconocimiento de la parcela 6. ....	48
24. Reconocimiento de la parcela 7. ....	48
25. Reconocimiento de la parcela 8. ....	49
26. Reconocimiento de la parcela 9. ....	49
27. Reconocimiento de la parcela 10. ....	50
28. Realización de la calicata en la parcela 10.....	50
29. Identificación de los estratos de la parcela 2.....	51
30. Muestreo de hojarasca de la parcela 1.....	51

31. Muestreo de suelo para determinar densidad aparente. ....	52
32. Lavado de las muestras de raíces. ....	52
33. Secado de las muestras de suelo (parcela 1, 2, 3, 4 y 5). ....	53
34. Secado de las muestras de suelo (parcela 6, 7, 8, 9 y 10). ....	53
35. Pesado y empaquetado las muestras de hojarasca. ....	54
36. Secado de las muestras de hojarasca. ....	54
37. Pesado de la muestra de raíces. ....	55
38. Pesado de las muestras de suelos para densidad aparente. ....	55
39. Ubicación de los cilindros muestreadores de suelos y muestras de raíces en la estufa. ....	56
40. Determinación de textura de las muestras de suelos. ....	56
41. Determinación del pH de las muestras de los suelos. ....	57
42. Determinación de la materia orgánica de las muestras de suelos. ....	57

## RESUMEN

La investigación se realizó mediante un trabajo de campo y una entrevista a los agricultores, donde se determinó a los predios con suelos degradados por ex cicales con vegetación de macorillas y shapumbas en el centro poblado de Puente Piedra del distrito de Luyando, Leoncio Prado; con la finalidad de evaluar el almacenamiento de carbono orgánico en suelos degradados por ex cicales. Los procesos para el cálculo de carbono almacenado en el suelo fueron de acuerdo con la metodología propuesta por el Centro Internacional de Investigación en Agroforestería (ICRAF, 2009), consistió en la recopilación de muestras de suelo, raíces y hojarasca de cada estrato de cada una de las parcelas, análisis de las muestras en el laboratorio y estimación en la fase de gabinete. Los valores de carbono obtenido en el suelo tienden a disminuir progresivamente debido al aumento de la profundidad, el carbono orgánico almacenado en hojarasca indicó que la parcela 1 tiene más cantidad de carbono orgánico y la parcela 5 tiene menor cantidad de carbono orgánico debido al tipo de vegetación que se encuentre en la parcela y el carbono orgánico en las raíces va descendiendo en cuanto la profundidad va aumentando. En conclusión, el contenido de carbono orgánico almacenado en los suelos degradados por ex cicales es de 0.51 t C/ha.

**Palabras clave:** Macorillas, shapumbas, hojarasca, estrato, parcelas

## ABSTRACT

The research was carried out through fieldwork and an interview with farmers, where it was determined the properties with soils degraded by former coca with vegetation of macorillas and shapumbas in the populated center of Puente Piedra of the district of Luyando, Leoncio Prado; in order to evaluate the storage of organic carbon in soils degraded by ex coca growers. The processes for calculating carbon stored in the soil were in accordance with the methodology proposed by the International Center for Research in Agroforestry (ICRAF, 2009), consisted of the collection of soil, roots and leaf litter samples from each stratum of each of the plots, analysis of the samples in the laboratory and estimation in the cabinet phase. The values of carbon obtained in the soil tend to decrease progressively due to the increase in depth, the organic carbon stored in leaf litter indicated that plot 1 has more organic carbon and plot 5 has less organic carbon due to the type of vegetation found in the plot and the organic carbon in the roots decreases as the depth increases. In conclusion, the organic carbon content stored in soils degraded by ex coca is 0.51 t C/ha.

**Keywords:** Macorillas, shapumbas, litter, stratum, plots

## I. INTRODUCCIÓN

El suelo es importante en ciclo del carbono, asimismo es un gran almacén de CO<sub>2</sub>, se calcula entre 50 a 84 % de total de CO<sub>2</sub> emitido a la atmosfera proviene de la respiración de suelo, que representa alrededor de 75 a 80 billones de toneladas de carbono cada año, por lo que se convierte uno de los componentes más importante del ciclo de carbono (Metcalf et al,2009). Además, es la fuente de la materia orgánica para los procesos de reciclaje que los diferentes usos del suelo, puedan tener la disponibilidad de nutrientes y mejorar las propiedades físicas del suelo (Alegre y Cassell, 1996).

La degradación de suelo es un cambio de estado de salud del suelo, que no pueden brindar los servicios y bienes normales o provoca la disminución de la capacidad del ecosistema en brindar los bienes o prestar servicios para los seres vivos.

También la degradación de suelos a causa de la deforestación y el mal manejo de usos de suelos en las zonas tropicales y subtropicales, ha provocado la disminución en los rendimientos de los cultivos y reducción de almacenamiento del carbono en los ecosistemas agrícolas, causa de este se puede reducir la biodiversidad con el paso del tiempo (FAO, 2006).

Los suelos almacenan más carbono, que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera. El carbono en el suelo se puede encontrar en dos maneras como orgánica e inorgánica, la cantidad total de carbono orgánico almacenado en el suelo se determinó por varios métodos (Ordoñez et al., 2001).

La investigación se realizó en suelos degradados por ex coteles en el centro poblado Puente Piedra perteneciente al distrito de Luyando, con la presencia de poca vegetación y entre ellas tenemos a los shapumbales y macorillas, etc., donde nace la necesidad de recuperar estas tierras de mal manejo. Por lo tanto, se propone cuantificar el carbono orgánico almacenado en estos suelos. Entonces la hipótesis planteada es: ¿los suelos degradados por ex coteles almacenarán suficiente carbono orgánico para poder recuperarse?

### 1.1. Objetivo general

Evaluar el almacenamiento de carbono orgánico en suelos degradados por ex coteles en el centro poblado Puente Piedra del distrito de Luyando, Leoncio prado.

### 1.2. Objetivos específicos

- Calcular el carbono orgánico almacenado en suelos degradados por ex coteles en el centro poblado Puente Piedra del distrito de Luyando, Leoncio Prado.

- Estimar el carbono orgánico almacenado en la hojarasca en suelos degradados por ex cicales en el centro poblado Puente Piedra del distrito de Luyando, Leoncio Prado.
- Cuantificar el carbono orgánico almacenado en las raíces que se encuentran en suelos degradados por ex cicales en el centro poblado Puente Piedra del distrito de Luyando – Leoncio Prado.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Carbono

Es uno de los componentes químicos más importante de los compuestos orgánicos, que se encuentran en la atmósfera, suelo, capa subterránea y en los océanos. Asimismo, estos son llamados almacén de carbono; para cambiar de un almacén a otro es mediante los procesos fisicoquímico y biológico. Además, está vinculado a la agricultura sustentable, perjudicando a las características del suelo que está relacionado al desarrollo de las plantas (Martínez et al., 2008).

#### 2.1.1. EL dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Es el gas producido por los seres humanos con las actividades cotidianas (industrial, agrícola, etc.), también es uno de los gases más importantes de efecto invernadero. Al transcurrir los años, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera a nivel global se ha incrementado con un valor preindustrial de 280 a 379 ppm. En los años 1995 al 2005 se incrementó la tasa de crecimiento anual de la concentración de CO<sub>2</sub>, llegando a una media de 1.9 ppm/año (Panel intergubernamental sobre Cambio Climático [IPCC], 2007).

Según Brack y Mendiola (2000) en el medio ambiente, el carbono está presente en forma de gas llamado dióxido de carbono de carbono (CO<sub>2</sub>) se encuentran en todas partes (aire, agua y suelo).

#### 2.1.2. El efecto invernadero

El planeta tierra está cubierta por fina capa de gases conocido como atmosfera, que está compuesta por nitrógeno (78.3%), oxígeno (21.0%), argón (0.3%), bióxido de carbono (0.03%) y otros gases en cantidades mínimas como helio, neón y xenón (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2007). Estos gases facultan que la mayor parte de la radiación solar ingrese hasta la superficie de nuestro planeta. Cuando es alta la concentración de los gases de invernadero es mínima la radiación infrarroja, que el planeta expulsa al espacio o es decir al incrementar la concentración de gases de invernadero, aumenta el calor acumulado en la atmósfera, provocando altas temperaturas (Caballero et al., 2007).

#### 2.1.3. Causas y consecuencias del cambio climático global

El aumento de los niveles de concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> y otros gases de invernadero, elevaría la temperatura superficial a nivel global entre 1.4 y 5.8 °C hasta el año 2100. En los últimos 100 años observados aumentó la temperatura a 0.6 °C, dicho aumento no solo es entre dos a diez veces superior al observado. Además, no hay antecedentes en los miles

de años atrás y se pronostica que aumentará bruscamente la temperatura en estos últimos 10 mil años (Ordóñez, 2001).

#### **2.1.4. Sumidero de carbono**

Se almacena en depósitos y la circulación es de manera rápida entre los depósitos; el depósito que almacena mayor cantidad de carbono es el océano (38,000 Gt), en el segundo lugar es el suelo (1,500 Gt), el tercer lugar es la atmósfera (750 Gt) y por último las plantas (560 Gt). Asimismo, cualquier inestabilidad que ocurre entre los flujos de entrada y salida se ve reflejada en la concentración CO<sub>2</sub>. Además, las plantas absorben CO<sub>2</sub> atmosférico mediante la fotosíntesis (Chidiak et al., 2003).

A continuación, se presenta algunas de las reservas donde se encuentran el carbono:

##### **- En hojarasca**

En el humus existe la cantidad de carbono cuatro veces más que en la biota, el contenido de carbono presenta valores altos en bosques templados, donde las bajas temperaturas no ayudan a la rápida descomposición; por otro lado, hay mayor almacenamiento de carbono en la biota en los bosques tropicales. La estabilidad de entradas y salidas de carbono en estos dos grandes depósitos se puede calcular con el movimiento de carbono orgánico en la atmósfera (Woodwell et al., 1978).

Según Gallardo (2001), la buena calidad de la hojarasca influye en la disponibilidad de nutrientes y en los procesos descomposición y mineralización, de la misma manera, la baja calidad de la hojarasca atrasa los procesos de estos.

##### **- En raíces**

Las raíces según Delgadillo y Quechulpa (2006) son depósitos de carbono en el suelo. La cantidad se puede estimar mediante la medición directa, para su muestreo y cálculo más precisos se requiere de tiempo y recursos, gracias a la variabilidad y distribución en el suelo. La variabilidad se provoca, cuando hay mayor biomasa radicular, que permite el aumento de materia orgánica gracias a la muerte de raíces (Pezo et al., 2009).

##### **- En el suelo**

El contenido de carbono orgánico genera una estabilidad dinámico entre la absorción de material vegetal muerto, pérdida por descomposición y mineralización (Roncal et al., 2008). En el suelo se estima la cantidad de carbono mediante el contenido de materia orgánica, que es un indicador de la calidad del suelo, que cumplen funciones en sistemas agrícolas y ambientales (Gómez, 2000).

Según Avila et al. (2001), la cantidad de carbono se debe a varios factores como el cambio de uso de suelo, textura del suelo, manejo de cultivos, edades de especies, etc.

**Tabla 1.** Resumen de los distintos tipos de depósitos de carbono.

<b>Depósito</b>		<b>Descripción</b>
Biomasa	Biomasa aérea	Toda biomasa de la vegetación viva que se encuentra en la superficie del suelo (maderera y herbácea incluidos tallos, cepas, ramas, corteza, semillas y follaje).
	Biomasa subterránea	Toda la biomasa de las raíces vivas, excepto las raíces finas de menos de 2 mm de diámetro, se excluyen porque no se las puede distinguir de la materia orgánica del suelo o de la hojarasca.
Materia orgánica muerta	Madera muerta	Toda la biomasa leñosa muerta, ya sea en pie, tendida en suelo o enterrado, también incluye a las raíces muertas y las cepas de 10 cm de diámetro a más.
	Hojarasca	Toda la biomasa no viva (2 mm $\leq$ 10 cm de diámetro), incluye madera muerta en diversos estados de descomposición, capa de hojarascas y las raíces vivas finas que se encuentran la superficie del suelo.
Suelos	Materia orgánica del suelo	Se refiere a la materia orgánica contenido en suelos minerales hasta una profundidad dada, elegida por el país y aplicada coherentemente a lo largo de la serie temporal, también se incluyen las raíces finas (< 2 mm) vivas y muertas que se encuentran dentro del suelo. El valor por defecto para la profundidad del suelo es de 30 cm.

Fuente: Adaptado de la clasificación de reservorios de carbono (Avila, 2001).

## 2.2. Contenido de carbono en el suelo

En estos últimos años, se ha liberado a la atmósfera 150 Pg C aproximadamente, a causa de los cambios en uso del suelo. Esto equivale en la actualidad, aproximadamente a 30 años de emisiones de combustible fósil (Kanninen, 2001).

Según Oades (1988), hay varios factores que ayudan a la retención del carbono en el suelo, que permiten mayores tasas de recambio y tiempo de almacenamiento. También incluyen la distribución por debajo de la superficie del suelo, adaptado con baja cantidad de nutrientes, componentes ricos en lignina y ceras, suelos inundados, bajas temperaturas, texturas arcillosas, alta saturación de bases, agregación y cargas variables. El carbono para ser asimilado por las plantas se requiere de ciertos factores que incrementan la aceleración al suelo son: hojarascas con altas concentraciones de asimilados, ricos en nutrientes, carbohidratos, aireación, altas

temperaturas, textura arenosa, pH ácido y superficies con poca carga. Además, para que hay mayor almacenamiento de carbono en el suelo depende del equilibrio entre las tasas de los procesos de adquisición y rotura del carbono resistente como del carbono obtenido (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2000).

La cantidad de carbono acumulado por hectáreas es variable debido al tipo y estado del bosque. En doce bosques adultos, resultó un total de 606,80 t C/ha, donde obtuvo carbono en la biomasa aérea es 283,75 t C/ha, en raíces (>5 mm de diámetro) es 79,92 t C/ha, sotobosque es 2,79 t C/ha, necromas 53,56 t C/ha, hojarasca es 5,87 t C/ha y en el suelo (0 -30 cm) es 180,91 t C/ha. El contenido de carbono en los suelos en todo los casos evaluados tomando en cuenta los 0.30 m de profundidad supera a los 140 t C/ha, a pesar de que aún existe materia orgánica hasta los 1.20 m de profundidad, pero los cambios después los 0.30 m no son muy significativos (Gayoso, 2006)

En pasturas el almacenamiento carbono en suelo es 70 t C/ha, valor parecido a la cantidad de carbono almacenado en suelos forestales. En las zonas tropicales y áridas muchas extensiones de tierras de pastoreo presentan una variación en el almacenamiento de carbono (Trumbmore et al., 1995 y Balesdent et al., 2000).

Según FAO (2000) nos menciona que los bosques son depósitos de almacenamiento de carbono en la biomasa y en el suelo. Además, actúa como depósitos de carbono cuando se incrementa su productividad generando el aumento de la absorción de CO<sub>2</sub> y por el otro lado, cumple la función como fuente de GEI cuando se produce la quema, degradación del suelo y estado de pudrición de la biomasa provocando emisiones de CO<sub>2</sub> y otros. En estos últimos años el 20% aproximadamente de las emisiones antropogénicas a nivel mundial de CO<sub>2</sub> se debe al cambio de uso del suelo, principalmente por la deforestación en las zonas tropicales.

En los suelos de buena calidad de 5% del contenido de carbono es de uso a corto plazo y se almacena de 1 a 2 años, el 10 a 20% es de uso medio y se almacena por 10 a 14 años y finalmente el 75 a 85% de carbono es de uso de largo plazo reteniéndose de 200 a 2,000 años, en las regiones se pueden mantenerse hasta 10,000 años (Senayake y Gamboa, 2003).

Por el cambio de uso en el suelo, deforestación, reforestación, agricultura, entre otros, existe la variabilidad de almacenamiento de carbono en suelo. Por lo tanto, se ve afectada o es decir que el 75% de carbono almacenado en suelo es de corto plazo y solo el 5% de carbono se almacena a largo plazo (Andaluz, 2004).

### **2.2.1. Determinación de carbono orgánico en el suelo (COS)**

Según Ellert et al. (2001) y FAO (2006), el almacenamiento de carbono en suelo está muy relacionado con la densidad aparente, su variabilidad en el contenido se ve reflejado por

ciertos factores como la profundidad, manejo y propiedades físicas del suelo. Para estimar el porcentaje de la materia orgánica y el contenido de carbono, se considera el carbono como el resultado de la concentración de carbono orgánico del suelo, densidad aparente y profundidad del suelo. Por esta razón la comparación de carbono en el suelo es de acuerdo con el espesor o volumen; además se recomienda expresar el carbono almacenado en el suelo por unidad de área.

- **Densidad aparente**

Se expresa en un término de masa por unidad de volumen de un elemento. Se calcula la densidad aparente en suelo porque presenta espacios porosos. En los suelos con textura gruesa la densidad aparente es mayor, debido a que hay menor porosidad, por más que el tamaño de sus poros es mucho más grande, de la misma manera los suelos de textura fina tienen mayor espacio poroso, por lo tanto, es menor la densidad aparente (Cavazos y Rodríguez, 1992).

- **Profundidad del suelo.**

Se define como el volumen del suelo a calcular, además existen antecedentes de almacenamiento de carbono que varía en cada estrato o horizontes del suelo. En el horizonte "A" es rico en materia orgánica, asimismo se espera que sea rico en carbono orgánico. Pero los suelos con cobertura vegetal es posible encontrar hasta el horizonte 8, y es menos disponible el carbono (Ellert et al., 2001).

- **Pedregosidad**

Incluye a rocas o piedras que dificultan los trabajos de labranza, al desarrollo de las raíces y el movimiento de agua, o se puede decir que es la cantidad de grava cuyo tamaño varía entre 0.2 a 20 mm, las piedras (> 2 cm de diámetro) y rocas, ya sea afloramientos en el suelo muy delgados o bloques (Mata, 2003). A continuación, se muestra los siguientes niveles de pedregosidad:

- **Sin pedregosidad:** No hay piedras o rocas o hay mínimas cantidades que no dificultan la preparación del suelo. Las rocas existentes es 0,01% del terreno.
- **Ligeramente pedregoso:** La cantidad de piedras no impiden mucho con la preparación de terrenos.
- **Moderadamente pedregoso:** La cantidad de piedras dificulta un poco en la preparación del terreno, las piedras presentes son el 0.1 a 3% del área total.
- **Pedregoso:** La cantidad de piedras dificulta mucho en la labranza del suelo, por ello se puede emplear maquinaria liviana o herramientas de mano, Las piedras presentes son el 0.1 a 3% del área total.

- **Muy pedregoso:** La presencia de piedras es impedimento para el empleo de las maquinarias agrícolas en la labranza del suelo, por lo que sólo herramientas manuales.
- **Fuertemente pedregoso:** La presencia de piedras ocupa el 20 a 50% de todo el terreno.
- **Extremadamente pedregoso:** Se encuentra cubierta prácticamente toda el área con más con más de 50% del área total.

### 2.3. Carbono orgánico

Es la materia orgánica del suelo (MOS), que incluye a los residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que se encuentran en diferentes procesos de descomposición, se pueden almacenar en la superficie y subsuelo (Rosell, 1999). El carbono orgánico del suelo (COS) es elemento principal de la materia orgánica del suelo (MOS). Asimismo, existen métodos analíticos para determinar COS (calcinación húmeda o seca) y para estimar el MOS es a partir de COS multiplicando con el factor de Van Benmelen equivalente a 1.724 (Jackson, 1964). Pero esta transformación puede variar entre 1.9 para suelos superficiales y 2.5 para subsuelo. Por lo tanto, al existir una gran variación en diferentes suelos y estratos en el factor de conversión, es recomendable tomar el valor de COS sin transformar, además un suelo agrícola varía entre 11 a 30 g/kg de carbono orgánico (Alison, 1965).

El carbono almacenado en la biomasa de raíces se estima a partir de cálculo de masa seca (MS) de total de raíces en cada estrato del suelo y finalmente multiplicando por un factor equivalente de 0.45 (Etchevers et al., 2005).

#### 2.3.1. Origen de los componentes orgánicos del suelo

El suelo recibe una gran cantidad de restos orgánicos de diferentes orígenes los cuales son: residuos vegetales y animales (biomasa microbiana y otros organismos) que habitan en el suelo (Jaramillo, 2001), origen antropogénico, gracias al uso y manejo de suelo se aporta diferentes abonos orgánicos (estiércoles, restos de cosechas, compost, etc.) y productos orgánicos perjudiciales (herbicidas, plaguicidas, hidrocarburos, etc.) (Carreira, 2005).

Los humus proceden de la degradación de los residuos vegetales y animales mediante los procesos químicos y biológicos, así como los procesos de síntesis, polimerización y policondensación son llevados a cabo principalmente por los microorganismos del suelo (Jaramillo, 2001).

#### 2.3.2. Importancia de la materia orgánica en el suelo

El desarrollo de las plantas se debe a la capacidad que tiene el suelo en proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento óptimo. La disponibilidad de nutrientes se debe a varios factores como el contenido y la calidad de materia orgánica (Jackson, 1964).

El contenido de materia orgánica es alto en el primer estrato respecto a los demás estratos subsiguientes, asimismo disminuye el contenido de carbono orgánico según que va aumentando la profundidad. Hay excepciones como en los suelos procedentes de cenizas volcánicas y la disminución de la materia orgánica es visible, se debe a que se almacena los restos orgánicos y la actividad de microorganismos en los primeros decímetros del suelo, quedando en cantidades mínimas en el horizonte B (Fassbender, 1993).

### **2.3.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo que influyen en el carbono orgánico**

#### **- pH**

La reacción del suelo es afectada por la materia orgánica, gracias a los diversos activos que ayudan al grado de acidez, bases cambiables y nitrógeno presentes en los residuos orgánicos aportados al suelo (Aguilera, 2000). Wong et al. (2000) hizo un análisis en suelos Oxisoles con 4,5 % COS y Ultisoles con 2,6% COS agregando la poda de las ramas delgadas de los árboles, en los primeros 14 días, donde el Al intercambiable disminuyó y mientras el pH aumentó de 4.8 a 5.8 para suelos Oxisoles suelos y suelos Ultisoles de 4.1 a 6.8. El mejor predictor en la variación de pH en suelos Ultisoles es el contenido total de bases de las ramas delgadas de los árboles o ramillas. Además, algunos autores mencionan que los mecanismos de neutralización de la acidez se deben a una complejación de protones y aluminio mediante aniones orgánicos.

Carrasco (1992) indica, que los suelos cercanos a neutro, el pH disminuye gracias al aumento en presión parcial de CO<sub>2</sub> en la atmosfera. El CO<sub>2</sub> de la atmósfera se mezcla con agua y se forma el ácido carbónico, al disociarse genera iones de hidrogeno que acidifica al suelo. La materia orgánica del suelo aumenta el pH, cuando el suelo es ácido y disminuye cuando el suelo es alcalino.

#### **- Densidad aparente del suelo**

Es uno de los parámetros que se puede incluir para determinar la calidad del suelo, la estructura, resistencia mecánica y cohesión. Además, los valores densidad aparente depende de muchos factores como la textura, contenido de materia orgánica y manejo de uso del suelo (Doran et al., 1994).

## **2.4. Degradación de los suelos**

Según Hill et al. (1998), la degradación es fruto de las interacciones entre las características y las intervenciones antropogénicas, que llevan al desequilibrio ecológico. En la actualidad el uso inadecuado del suelo son la causa principal de la degradación. Asimismo, los impactos socioeconómicos son uno de los factores en los procesos de degradación. Los indicadores físicos más importante de la degradación está relacionado a la destrucción del suelo y pérdida de vegetación. Según Macedo y Zimmer (1993) manifiesta que, la degradación de

suelos en pasturas como el proceso de pérdida de vegetación, productividad, capacidad de recuperación natural del suelo y la capacidad de superar a las plagas y enfermedades.

#### **2.4.1. Procesos de degradación de suelos**

Según Lal (1994), la degradación de suelos se divide en físicos, químicos y biológicos, los cuales son: erosión y compactación de suelos, agotamiento de nutrientes, acidificación, salinización y reducción de materia orgánica del suelo. Por otro lado, el grado de degradación está basado en la pérdida de la productividad, que se puede clasificar en degradación leve, moderada, severa y muy severa (Lal, 1994). Según Barcellos (1986), la deficiencia de nitrógeno en el suelo es el principal factor que afecta a la resistencia y causa el inicio de la degradación de pasturas mejoradas y así provocando la deficiencia de la calidad de nutrientes, a consecuencia se produce la reducción de la actividad de biológica y deficiencias de nutrientes como el fosforo y potasio.

#### **2.4.2. Caracterización de la degradación de los suelos**

Barcellos (1986) y Rosa (2003) clasificaron los grados de degradación de suelos en pasturas en bajo, medio y alto. En los niveles bajos de degradación en suelos de pasturas, se refiere al debilitamiento de las plantas y contribuyendo a esto las condiciones edafoclimáticas. Según que va pasando el tiempo después del sembrío de pastura puede ir debilitando el desarrollo y finalmente disminuyendo la capacidad de producción de forrajes y cobertura del suelo, además permitiendo el crecimiento de algunas plantas invasoras a causa de algunos factores como pérdida de fertilidad, mal manejo de suelo, sobrepastoreo y las condiciones climáticas. La baja producción de pasturas se caracteriza al nivel medio de la degradación y el nivel alto se refiere cuando existe la presencia de especies invasoras, un porcentaje alto de suelos desnudos, presencia de termitas (orden Isóptera), provocados a causa de la falta de cobertura.

#### **2.4.3. Indicadores de la degradación de suelos**

Huete et al. (2002) presentan indicadores y señales de detección temprana de la degradación y la desertificación de suelos, los cuales son:

- Pérdida de cobertura vegetal.
- Aumento de reflectancia.
- Erosión eólica y hídrica.
- Salinización del suelo.
- Deterioro en la estructura del suelo y superficie del suelo.
- Menor humedad del suelo.
- Cambios en contenidos de óxidos del hierro.

- Reducción de los niveles de materia orgánica.
- Aparición de otros tipos y especies de plantas en la cobertura del suelo
- Variación en las características del suelo.
- Actividad y movimiento de la arena.
- Aumento del área superficial de la roca.

#### **2.4.4. Causas de la degradación de suelos**

Según Rosa (2003), algunas de las causas en la degradación de suelos es el uso de inadecuado de suelo, fertilización, uso plaguicidas y herbicidas, ataque de plagas, quema, deforestación, ausencia de sistemas agroforestales, manejo inadecuado de pastoreo, entre otros. Provocando la pérdida de capacidad productiva suelo.

#### **2.5. Tendencia general de la captura de carbono en el suelo**

La captura de carbono, se trató en el Protocolo de Kyoto en los artículos 1.3 (uso de la tierra) y 1.4 (cambios de uso de la tierra y forestación). La captura carbono en los suelos puede influir en la economía, social y ambiental, incrementando la capacidad productiva del suelo, que afecta la seguridad alimentaria y permite prevenir o mitigar la degradación de suelos.

El incremento de la liberación de carbono a la atmósfera se debe al aumento de la deforestación, pastoreo y la agricultura, como consecuencia se acelera el calentamiento global. Anteriormente, la agricultura era el principal fuente de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y ahora en la actualidad son los combustibles fósiles usados en la industria y transporte.

Uno de los objetivos más importantes de protocolo es Kyoto es cuantificar la captura de carbono y que sea depósitos de almacenamiento de carbono los suelos agrícolas a nivel mundial. El movimiento del carbono en los suelos se debe a los aportes de material vegetal muerto, pérdida por mineralización y acumulación por humificación. Asimismo, los factores como vegetación y edafoclimáticos afectan en la evolución de la materia orgánica en los suelos.

Existen distintas metodologías para conocer las fracciones que componen la materia; pero no todos son útiles para estimar la tasa de recambio de estos componentes. Los métodos isotópicos, como el carbono 13, sirven para estimar el tiempo de permanencia de la materia orgánica en suelo y calcular las tasas de años a siglos. Asimismo, el carbono 14, sirve para estimar las tasas de recambio de siglos a milenios. Gracias a estas metodologías se puede continuar con la evolución de los diferentes tipos de residuos vegetales en un suelo, cuando han existido cambios grandes en la cobertura vegetal.

El principal indicador de la calidad del suelo es la materia orgánica, donde ocurren procesos microbiológicos y aportan nutrientes para las plantas. Por lo tanto, algunas de las

funciones es brindar la estabilidad estructural del suelo, capacidad de infiltración y disponibilidad de agua para las plantas.

La tercera parte de la tierra está cubierta por bosques y almacena la tercera parte del total de carbono del suelo a un metro de profundidad que es 1500 Gt aproximadamente. En conclusión, los ecosistemas forestales almacenan más carbono a diferencia de otros tipos de uso del suelo, por lo que es muy importante considerar el manejo de bosques para la captura de carbono

Asimismo, el protocolo de Kyoto incorpora a los suelos de pastoreo para captura de carbono, ya que ocupan áreas extensas y almacenan entre 200 a 400 Gt de carbono (FAO, 2006). Además, son tomados en cuenta a los suelos agrícolas, aunque en la agricultura se genera disminución de materia orgánica del suelo, pero se puede aplicar técnicas de conservación.

Además, se comprenden las medidas muy prometedoras para aplicarse en los diferentes ecosistemas y usos del suelo, para lograr la cooperación a la captura de carbono, prevenir la desertificación y mejorar la calidad del suelo. También es necesario de contar con una red global de inspección, para brindar información sobre los depósitos de carbono y mejora de las propiedades del suelo.

### **2.5.1. Capacidad para fijar CO<sub>2</sub> en los suelos áridos**

Los suelos áridos contienen muy bajos en carbono y la capacidad para fijar CO<sub>2</sub>, pero al ocupar grandes áreas, pueden llegar a tener una buena cooperación en la captura de carbono y prevenir la desertificación. Los suelos tropicales necesitan más atención y medidas de conservación, ya que son abundantes en biomasa; por lo tanto, suelen deforestar para explotar sus recursos maderables y aplicación en otros usos del suelo, provocando la infertilidad del recurso suelo.

## **2.6. Antecedentes**

Stevenson (1994) menciona los principales factores de la transformación de la materia orgánica del suelo y su permanencia son: tipo de cobertura vegetal, tipo de residuos, composición química de los materiales y factores edafoclimáticos (temperatura, humedad, textura del suelo, pH, entre otros).

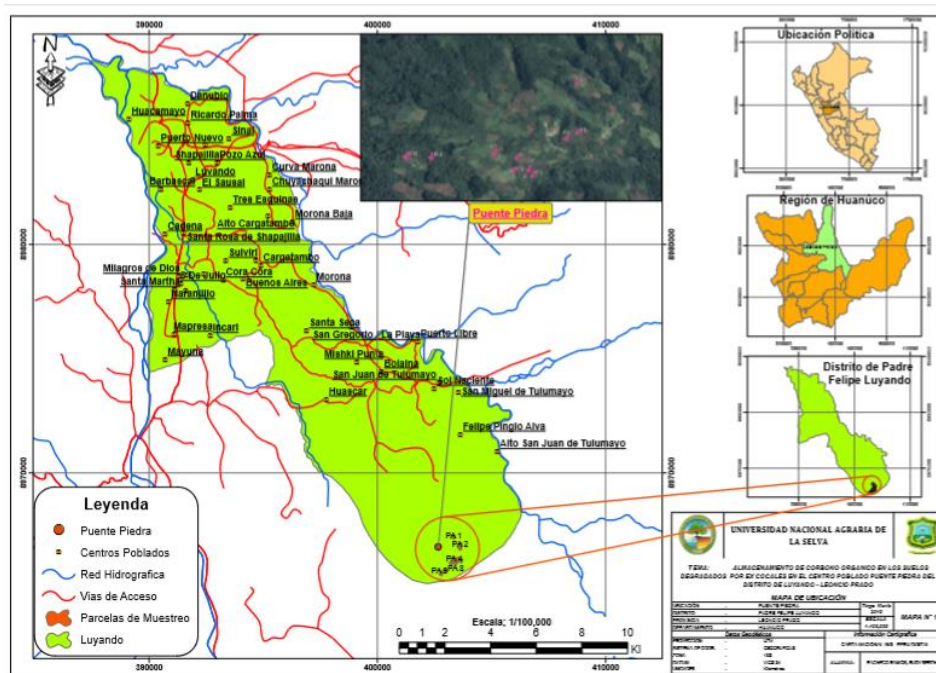
En la Amazonia peruana se reportó, mayor almacenamiento de carbono en el suelo. Se reportó el contenido de carbono en los sistemas de huerto casero (196 Mg C·ha<sup>-1</sup>), cafetales bajo sombra (193 Mg C·ha<sup>-1</sup>) y silvopastoril (120 Mg C·ha<sup>-1</sup>); de los cuales, más del 58% se encuentran en suelo. Finalmente concluyó, el depósito más importante de carbono son los árboles donde se obtuvo el 30% (Callo, 2001).

Según Solsol (2018), realizó la recuperación de suelos degradados ex cicales para un periodo de barbecho de 5, 10, 15 y 20 años en el distrito de Mariano Damaso Beraún. Concluyó que, un periodo de descanso más prolongado la calidad de suelo es mucho mejor, asimismo obtuvo mejor resultado en el sistema de ex cocal con 20 años de barbecho o descanso.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción general área de estudio

La investigación se llevó a cabo en las parcelas de suelos degradados por ex cicales, situado en el CC.PP. Puente Piedra del distrito de Luyando, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, ubicados en las coordenadas UTM 0403470 m E, 8966669 m N, con una altitud de 1237 m.s.n.m.

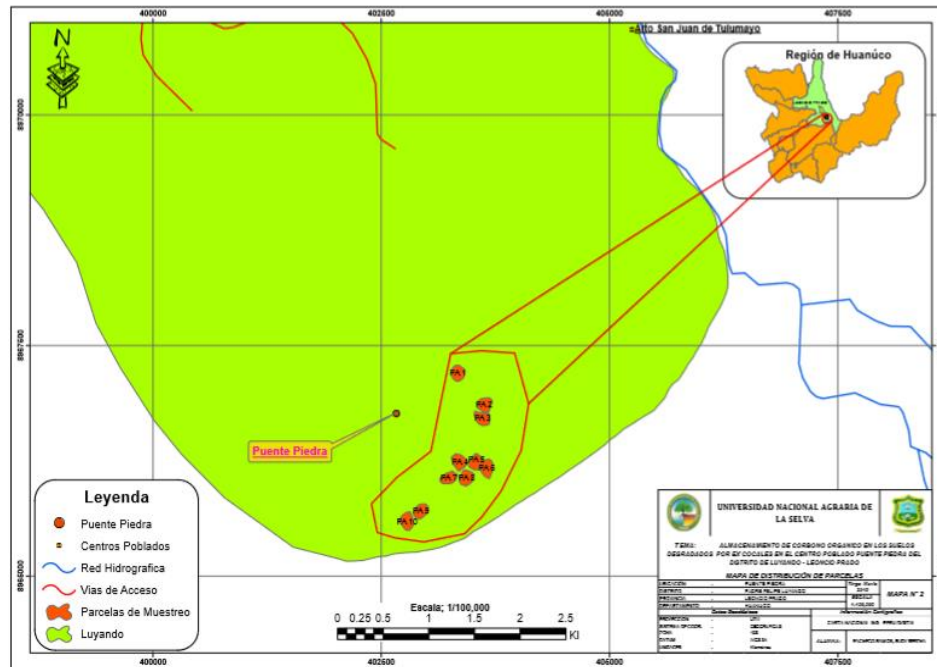


**Figura 1.** Ubicación del centro poblado Puente Piedra.

**Tabla 2.** Parcelas con suelos degradados por ex cicales.

Nº de parcelas	Este	Norte	Áreas (Ha)
P - 1	403596	8966170	2.1
P - 2	403351	8967141	2
P - 3	403608	8966666	1.9
P - 4	403457	8966080	2
P - 5	402810	8965582	2.2
P - 6	403396	8966196	2.1
P - 7	403541	8966182	1.9
P - 8	403237	8966087	1.8

P - 9	403646	8966784	2
P - 10	402933	8965706	1.9
<b>Total</b>			<b>19.9</b>



**Figura 2.** Ubicación de las parcelas en el centro poblado Puente Piedra.

### 3.1.1. Accesibilidad

El CC. PP. Puente piedra se encuentra a 1 hora en moto lineal desde la zona céntrica del distrito de Luyando, dicho distrito se encuentra 0.5 km de la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco.

### 3.1.2. Vegetación

El área de estudio presenta diversas especies de flora como algas, hongos, musgos, helechos, hierbas, enredaderas, lianas, arbustos, arboles, epífitas y parásitas, embelleciendo el paisaje natural y definiendo hábitats complejos

### 3.1.3. Factores climáticos

El área de estudio presenta una precipitación media anual de 500 mm, y los meses con incidencia de precipitación empiezan en el mes de enero hasta el mes de abril. La temperatura media anual es de 20°C, máxima media 38°C, mínima media 17°C.

### 3.1.4. Zonas de vida

El área de investigación presenta dos zonas de vida, bosque húmedo tropical (bh-t) y bosque montano húmedo premontano tropical (bmh-PT). Donde podemos encontrar cultivos

como café, cacao, plátano, maíz, aguaje, coca, papaya, etc.

### **3.1.5. Fisiografía**

- **Valle Fluvial:** Esta ubicado en la zona baja y cercanas de curso del río Tulumayo, que abarca aproximadamente el 35% de área total del distrito. Además, se encuentran los suelos ricos en nutrientes para crecimiento y producción de los cultivos o suelos agrícolas más productivos.
- **Lomada:** Se ubican en la zona alta (caseríos de Rio Negro, Bolaina, Zanja Seca, etc.) del distrito de Luyando, con una altitud que varía desde 500 a 900 m.s.n.m,
- **Colinas:** Se ubican en los caseríos de San Juan de Tulumayo, Zanja Seca, Alto San Juan, Ciro Alegría, Pedro Ruiz Gallo, Villa Rica, etc.

## **3.2. Materiales y equipos**

### **3.2.1. Materiales de escritorio y campo**

Pala, cuadrante de madera con dimensiones de 0.50 m x 0.50 m, Wincha de 50m, rafia, bolsas de platico, cinta de embalaje, papel periódico, papel kraff, plumón indeleble delgado, cuaderno de apuntes, estacas de madera y cilindro de muestreo.

### **3.2.2. Materiales de laboratorio**

Vaso de precipitación, varilla, probeta graduada, tamiz de 2 mm, matraz Erlenmeyer y estufa.

### **3.2.3. Equipos y programas**

Balanza de precisión, GPS marca Garmin modelo 62 s, cámara digital, laptop Toshiba y programas como Excel y Word, Arc Gis 10.2.1.

## **3.3. Metodología**

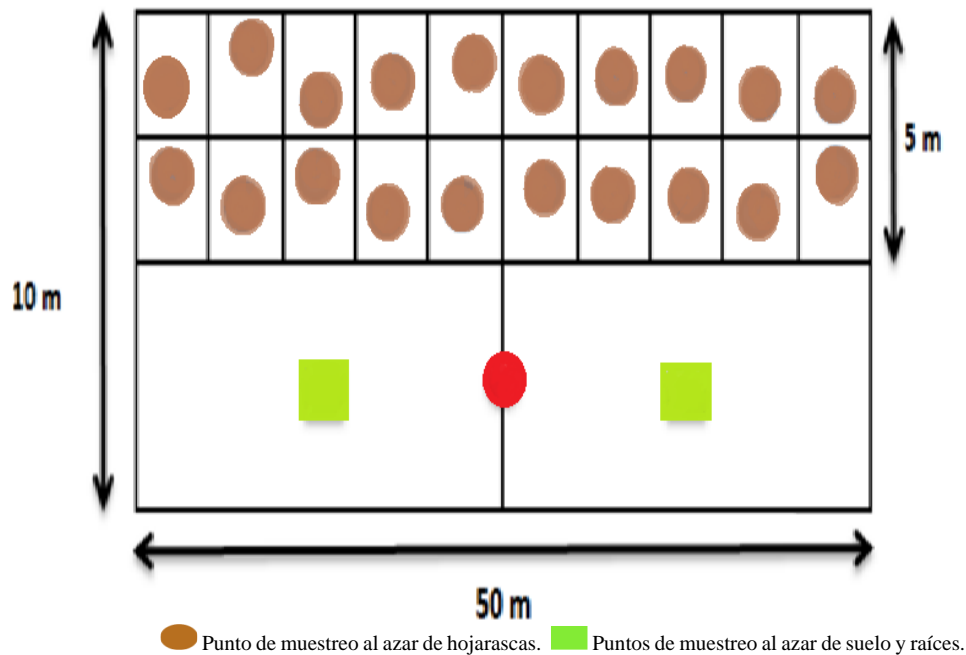
### **3.3.1. Fase inicial del gabinete**

#### **- Estratificación del área de estudio**

Con ayuda del mapa de ubicación del CC.PP. Puente Piedra, se reconoció las áreas o unidades homogéneas y finalmente determinar los puntos de muestreo.

#### **- Diseño de muestreo**

Para el muestreo de carbono orgánico y raíces se procedió a realizar según la guía para la determinación de carbono (ICRAF, 2009). Se estableció dentro del área de estudio dos sub parcelas de 10 m x 50 m, dentro de este se generó una sub parcela de 1 m<sup>2</sup> ubicados al azar. Además, se determinó una calicata de 0.30 m x 0.30 m x 0.30 m de profundidad para análisis textural y pH.



**Figura 3.** Esquema de muestreo en las parcelas de estudio.

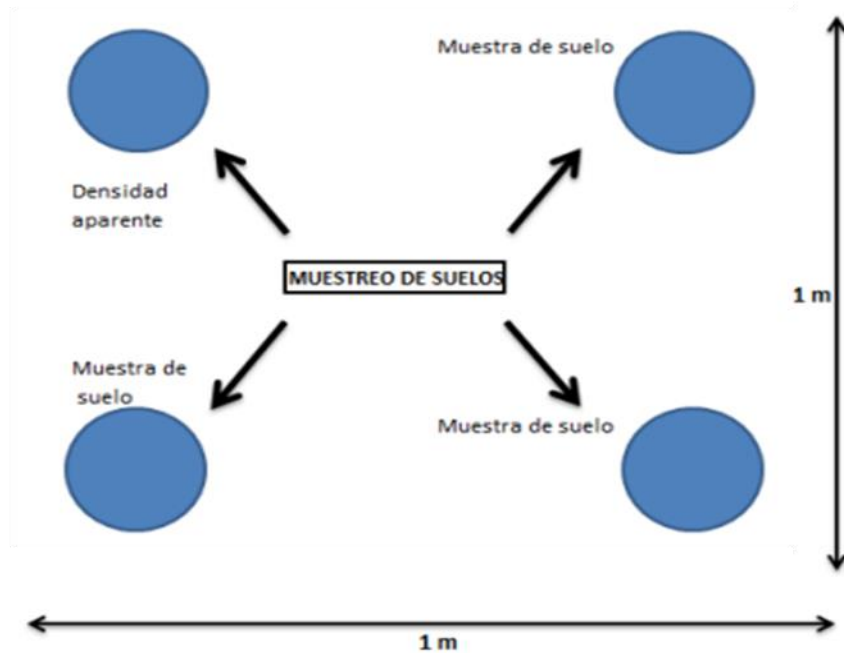
### 3.3.2. Fase de campo

Para la evaluación del carbono almacenado en suelos, raíces y hojarascas fue acorde a la metodología planteada por Centro Internacional de Investigación en Agroforestería (ICRAF, 2009).

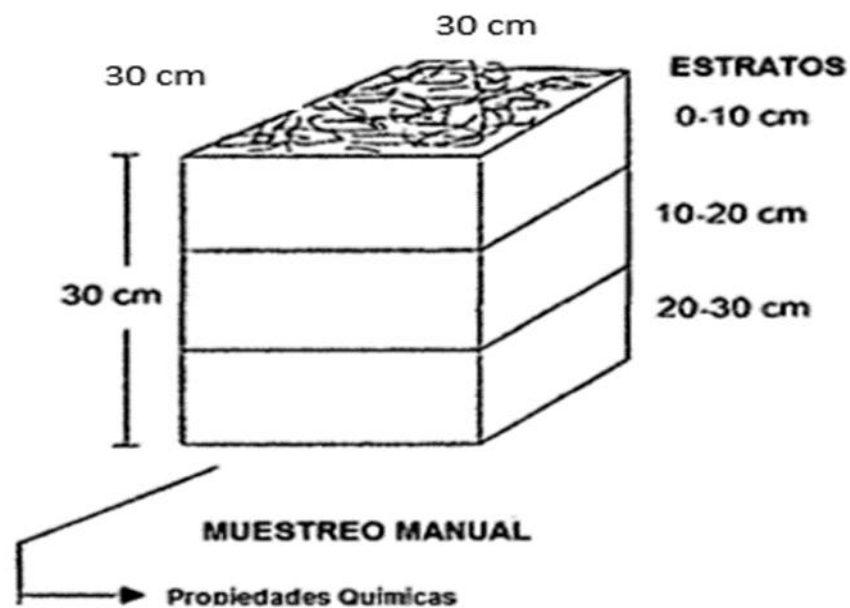
#### - Muestreo de suelo

En la zona de estudio se instaló dos parcelas de 10 m x 50 m, dentro de este se procedió a dividir en sub parcelas de 1 m<sup>2</sup> al azar, donde se realizó el muestreo de suelos mediante una calicata de 0.30 m x 0.30 m x 0.30 m de profundidad. Las muestras de suelos fueron tomadas en cada estrato de 0 - 0.1 m, 0.10 m - 0.20 m y 0.20 m - 0.30 m de profundidad. Según ICRAF (2009), la profundidad de muestreo dependerá de ciertos factores como: tipo de proyecto, especies utilizadas, condiciones del área y entre otros, donde haber cambios el almacenamiento de carbono.

Además, para obtener la densidad aparente del suelo en cada estrato, se introduce al suelo un cilindro con volumen conocido, luego se sacó el cilindro con la muestra del suelo y se depositó en las bolsas, posteriormente llevados al laboratorio para el cálculo de la densidad aparente del suelo.



**Figura 4.** Esquema de muestreo de cálculo de carbono orgánico en el suelo y raíces.



**Figura 5.** Diagrama de estratificación de suelo.

#### - Muestreo de raíces

En la misma calicata donde se realizó el muestreo de suelo, se obtiene las muestras con la ayuda de cilindros de muestreo en cada estrato de 0 – 10 m, 0.10 m – 0.20 m y 0.20 m - 0.30 m, depositados en bolsas plásticas transparentes y posteriormente llevados al laboratorio para su análisis.

### - Muestreo de hojarasca

Dentro de la sub parcela de manera aleatoria se seleccionó un área de 0.50 m x 0.50 m, donde se recolectó todas las hojas, semillas, frutos y material seco o leñoso menor a 2 cm de diámetro, dentro área y su perímetro. Posteriormente se envolvió en papel periódico y llevados al laboratorio.

#### 3.3.3. Fase de laboratorio

##### - Datos para determinar carbono del suelo

Para obtener el carbono almacenado en el suelo se necesitó el porcentaje de materia orgánica (% MO) y densidad aparente de suelo ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

**Materia Orgánica (%):** Las muestras de suelos fueron secados a temperatura ambiente y llevados a laboratorio para su análisis con el método de Walkley y Black (1938).

**Densidad aparente de suelo ( $\text{Kg}/\text{cm}^3$ ):** Se pesó la muestra del suelo en húmedo o fresco y se llevó a estufa a  $70^\circ\text{C}$  por 24 horas, y después se saca la muestra de la estufa y pesa, para obtener el peso seco. Para obtener el volumen del cilindro se midió el diámetro y altura en cm del cilindro.

##### - Datos para determinar carbono de raíces

Se selecciona las raíces mediante el proceso tamizado y lavado, luego se pesó para obtener el peso húmedo de las raíces y llevado a estufa a  $70^\circ\text{C}$  por 24 a 48 horas, después de sacarlo de la estufa se vuelve a pesar, para obtener el peso seco. Posteriormente se obtiene la biomasa de materia seca en Tn/ha.

##### - Datos para determinar carbono de hojarasca

Se pesó la hojarasca fresca y llevados a estufa a  $70^\circ\text{C}$  por 24 a 48 horas y posteriormente se pesó nuevamente (peso seco) y se procedió a calcular la biomasa en Tn/ha.

#### 3.3.4. Fase final de gabinete

##### - Cálculo de carbono orgánico del suelo

Se utilizó la ecuación propuesta por Walkley y Black (1938).

$$COS = \% \frac{CO}{100} \times Densidad\ aparente \left( \frac{kg}{cm^3} \right) \times Ps \times 10\ 000 \quad (1)$$

Donde:

COS : Carbono orgánico del suelo (tn/ha)

% CO :  $1.724 \times$  Porcentaje de materia de orgánico (%MO)

Ps : Profundidad del suelo (m)

10 000: Factor de conversión a toneladas por ha

Asimismo, se calculó la densidad aparente del suelo ( $Da$ ) con la ecuación propuesta por ICRAF, (2009):

$$Da_{aparente} = \frac{Masa\ seco\ (kg)}{Volumen\ del\ cilindro\ (cm^3)} \quad (2)$$

$$Volumen\ del\ cilindro = \pi r^2 h \quad (3)$$

Dónde:

r : Radio del cilindro (cm)

h : Altura del cilindro (cm)

**- Cálculo de carbono de raíces**

Se utilizó la siguiente ecuación propuesto por ICRAF (2009):

$$CR = (BIOMASA \left(\frac{t}{ha}\right) * 1.25) * 0.50 \quad (4)$$

Dónde:

CR : Carbono en raíces (t C/ha)

1.25: Factor de corrección

0.50: Valor asignado por el IPCC

**- Cálculo de carbono de hojarasca**

Se utilizó la siguiente ecuación propuesto por ICRAF (2009), donde en primer lugar se calculó de biomasa de hojarasca (t C/ha):

$$Bh \left(\frac{t\ C}{ha}\right) = \left(\left(\frac{PSM}{PFM}\right) * PFT\right) * 40 \quad (5)$$

Dónde:

Bh : Biomasa de la hojarasca (t C/ha)

PSM: Peso seco de la hojarasca (Kg)

PFM: Peso fresco de la hojarasca (Kg)

PFT: Peso fresco total de la hojarasca (Kg/0.25m<sup>2</sup>)

40 : Factor de conversión (t C/ha)

Por último, se determinó el carbono de hojarasca (t C/ha):

$$CH = Bh * 0.50 \quad (6)$$

Dónde:

CH : Carbono en hojarasca (t C/ha)

Bh : Biomasa de la hojarasca (t C/ha)

0.50: valor propuesto por IPCC

**- Cálculo total de carbono del suelo**

$$C_{\text{suelo}} = \text{COS} + \text{CR} + \text{CH}$$

(7)

Dónde:

$C_{\text{suelo}}$ : Cantidad de carbono de un determinado estrato

COS: Carbono orgánico del suelo (t C/ha)

CR: Carbono en raíces (t C/ha)

CH : Carbono de la hojarasca (t C/ha)

Área del estrato: en hectáreas (ha)

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Carbono orgánico almacenado en suelos degradados por ex cicales en el centro poblado Puente Piedra.

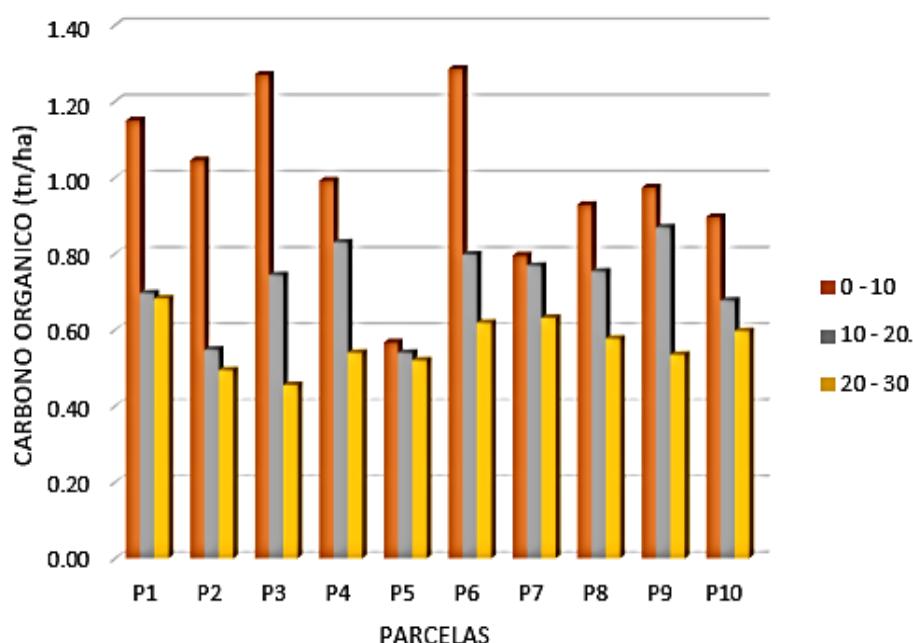
En la Tabla 3, muestra en el primer estrato (0 – 10 cm) en el segundo (10 - 20 cm) y finalmente en el tercer estrato (20 – 30 cm), el contenido de carbono orgánico va disminuyendo según que va aumentando la profundidad del suelo.

**Tabla 3.** Carbono orgánico (t/ha) por profundidad de estratos de cada parcela.

Profundidad (cm)	Muestra	C.O (%)	Densidad del suelo (Kg/cm <sup>3</sup> )	COS (tn/ha)
0 - 10	M1A	1.98	0.000581	1.15
	M2A	1.9	0.00055	1.05
	M3A	2.16	0.000588	1.27
	M4A	1.7	0.000584	0.99
	M5A	1.02	0.000556	0.57
	M6A	2.56	0.000502	1.29
	M7A	1.47	0.000541	0.8
	M8A	1.85	0.000502	0.93
	M9A	1.64	0.000594	0.97
	M10A	1.5	0.000598	0.9
10 - 20	M1B	1.17	0.000595	0.7
	M2B	0.95	0.000576	0.55
	M3B	1.24	0.0006	0.74
	M4B	1.35	0.000615	0.83
	M5B	0.91	0.000571	0.54
	M6B	1.5	0.000532	0.8
	M7B	1.4	0.000549	0.77
	M8B	1.44	0.000523	0.75
	M9B	1.4	0.000621	0.87
	M10B	1.13	0.000599	0.68
20 - 30	M1C	1.1	0.00062	0.68

M2C	0.84	0.000588	0.49
M3C	0.73	0.000624	0.46
M4C	0.84	0.000643	0.54
M5C	0.84	0.000642	0.52
M6C	1.13	0.000547	0.62
M7C	1.06	0.000596	0.63
M8C	1.06	0.000544	0.58
M9C	0.85	0.000629	0.53
M10C	0.99	0.000603	0.6

En la Figura 6, se detalla mejor el comportamiento del carbono orgánico en el suelo (t/ha) en cada uno de los componentes estudiados y estratos.



**Figura 6.** Carbono orgánico del suelo (t/ha) en cada estrato.

En la Tabla 3, se aprecia que los valores calculados de carbono almacenado en cada profundidad del suelo degradado, tienden a disminuir progresivamente al aumento de la profundidad. Ante esto Fassebender (1993), indica que la primera capa del suelo es mayor el contenido de materia orgánica respecto a las demás capas, por lo tanto, presenta disminución regular de la materia orgánica a mayor profundidad, esto se debe que en los primeros centímetros de suelo existe la acumulación de restos orgánicos y actividad de los microorganismos.

Según Trumbmore et al. (1995); Balesdent et al. (2000), la cantidad de carbono almacenado en los suelos con pasturas se estimó 70 t. C/ha, cifra similar en suelos forestales; además áreas extensas de pastoreo en las zonas tropicales y áridas, hay más posibilidades de almacenamiento de carbono. En el estudio se encontró el contenido de carbono orgánico de suelos degradados es menor comparado con suelos con pasturas, esta diferencia se debería a que las parcelas estudiadas, son suelos de ex cicales, parcelas que no se practicaron las técnicas de conservación de suelos, asimismo presenta una cobertura vegetal a la maleza llamado macorillas, que es un indicador de un suelo con baja cantidad de materia orgánica o mejor dicho suelo pobre.

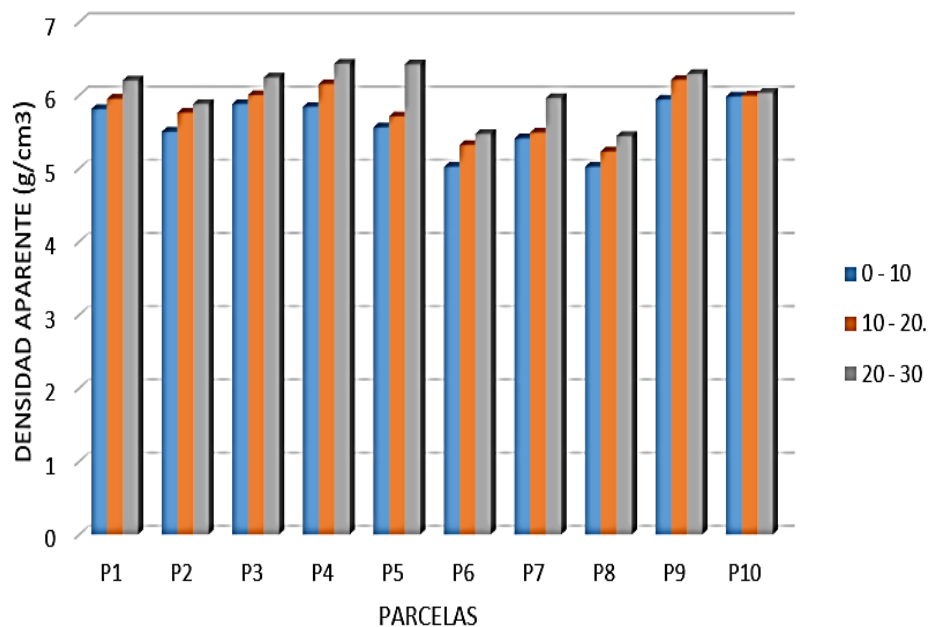
#### 4.1.1. Característica física (Densidad aparente)

En la Tabla 4, se muestra la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) del suelo degradado de cada estrato: primer estrato (0 - 10 cm) se observa diferencias no muy significativas; segundo estrato (10 - 20 cm) no se repite el comportamiento anterior, debido a que se presenta un aumento leve de la densidad aparente en los suelos y finalmente en el tercer estrato (20 - 30 cm) la densidad aparente del suelo va incrementando en las parcelas, similar al comportamiento del segundo estrato.

**Tabla 4.** Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) del suelo por horizontes.

Profundidad (cm)	Muestra	Densidad de suelo ( $\text{g/cm}^3$ )
0 - 10	M1A	5.81
	M2A	5.50
	M3A	5.88
	M4A	5.84
	M5A	5.56
	M6A	5.02
	M7A	5.41
	M8A	5.02
	M9A	5.94
	M10A	5.98
10 - 20	M1B	5.95
	M2B	5.76
	M3B	6.00
	M4B	6.15

	M5B	5.71
	M6B	5.32
	M7B	5.49
	M8B	5.23
	M9B	6.21
	M10B	5.99
20 - 30	M1C	6.20
	M2C	5.88
	M3C	6.24
	M4C	6.43
	M5C	6.42
	M6C	5.47
	M7C	5.96
	M8C	5.44
	M9C	6.29
	M10C	6.03



**Figura 7.** Densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) en el suelo de las parcelas a diferentes profundidades.

En la Figura 7, se muestra el comportamiento de la densidad aparente del suelo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) a diferentes profundidades de cada parcela. En la primera parcela la densidad aparente del suelo es  $5.81 \text{ g}/\text{cm}^3$ , incrementado sucesivamente en el segundo  $5.95 \text{ (g}/\text{cm}^3)$ , y en el tercer horizonte

6.20 g/cm<sup>3</sup> respectivamente. De la misma manera, el comportamiento anterior se repite en las parcelas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 respectivamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la materia orgánica en el primer estrato (0 – 10 cm) es mayor que el segundo estrato (10 – 20 cm) y va disminuyendo en el tercer estrato (20 – 30 cm), los resultados de materia orgánica comparados con los de densidad aparente en el primer estrato la densidad es menor y va aumentando según la profundidad, lo cual se corrobora por lo mencionado por el autor Doran et al. (1994) que los valores de la densidad aparente influye muchos factores, uno de ellos es la materia orgánica. La materia orgánica disminuye el valor de la densidad aparente del suelo.

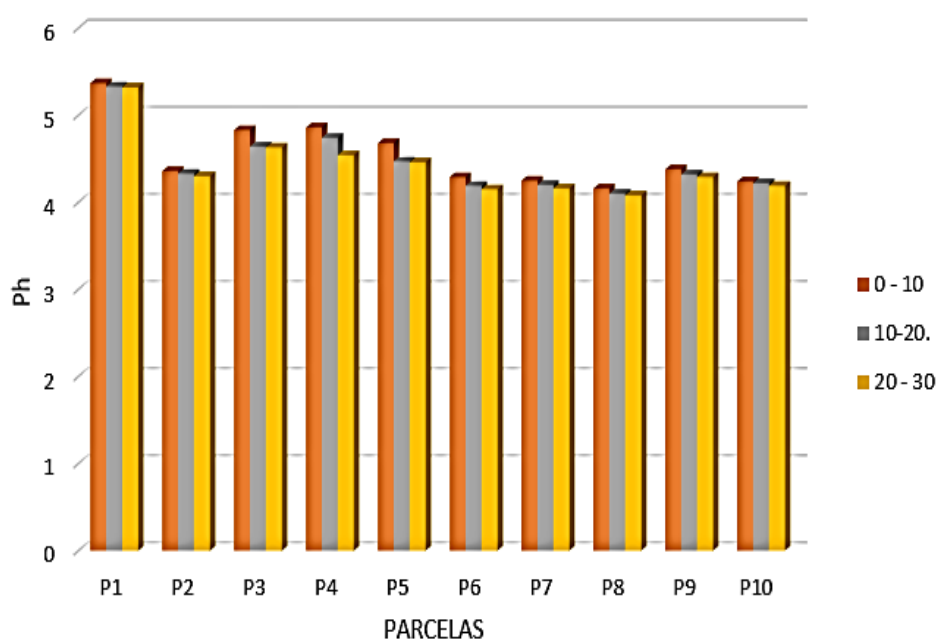
#### 4.1.2. Características químicas (pH del suelo)

En la Tabla 5, se muestra los pH del suelo degradado en cada estrato: primer estrato (0 - 10 cm) es 5.37, segundo estrato (10 - 20 cm) es 5.33 y por último el tercer estrato (20 - 30 cm) es 5.32. Además, se observa que el pH del suelo va disminuyendo según que va aumentando la profundidad.

**Tabla 5.** pH de suelos a diferentes profundidades de cada parcela.

Profundidad (cm)	Muestra	pH
0 - 10	M1A	5.37
	M2A	4.36
	M3A	4.83
	M4A	4.86
	M5A	4.68
	M6A	4.29
	M7A	4.25
	M8A	4.16
	M9A	4.38
	M10A	4.24
10-20	M1B	5.33
	M2B	4.33
	M3B	4.64
	M4B	4.74
	M5B	4.47
	M6B	4.19

	M7B	4.2
	M8B	4.1
	M9B	4.32
	M10B	4.22
	M1C	5.32
	M2C	4.3
	M3C	4.63
	M4C	4.54
20 - 30	M5C	4.46
	M6C	4.15
	M7C	4.16
	M8C	4.08
	M9C	4.29
	M10C	4.19



**Figura 8.** pH de suelos en diferentes estratos en cada una las parcelas estudiadas.

La Figura 8, muestra el comportamiento del pH de los suelos degradados a diferentes profundidades de cada una de las parcelas. En la primera parcela el pH es 5.37, en el segundo estrato es 5.33 y en el tercer estrato es 5.32, se va disminuyendo según que aumenta la

profundidad. Del mismo modo el comportamiento anterior se repite en las parcelas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10.

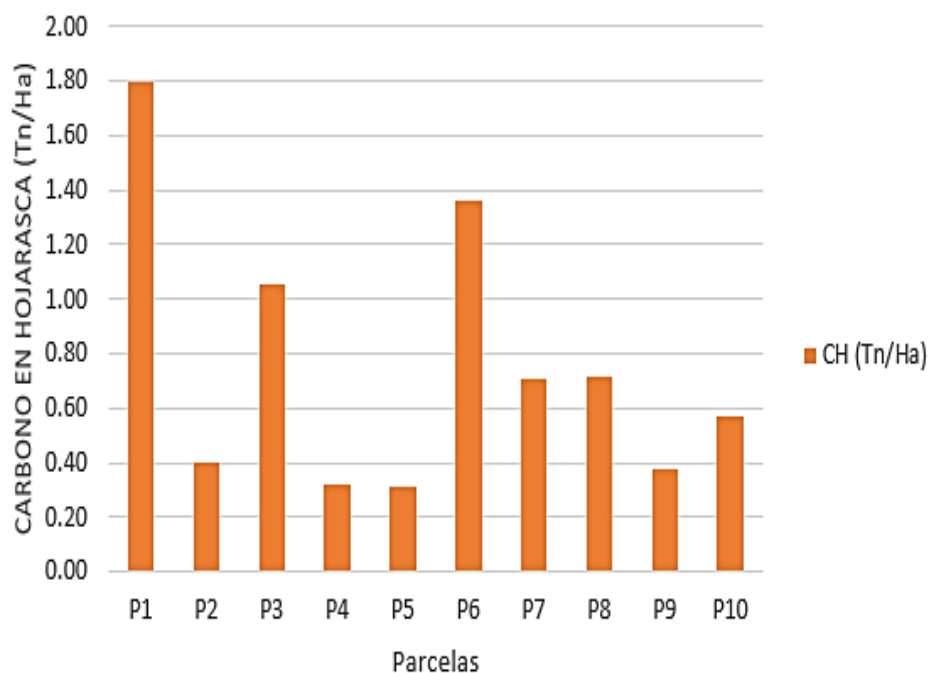
La composición química de suelos degradados por ex cicales tiene valores bajos y medios (Sistema de clasificación USDA), esto se ve afectada directamente al contenido de materia orgánica, en la Tabla 5 se observa que el pH del estrato va disminuyendo según va aumentando la profundidad. Al respecto Carrasco (1992) indica, el pH del suelo disminuye por aumento en la presión parcial del CO<sub>2</sub> de la atmosfera. El CO<sub>2</sub> de la atmósfera se mezcla con agua y se forma ácido carbónico, que al disociarse genera H<sup>+</sup> que acidifica el suelo. Además, la MOS tiende incrementar el pH, cuando el suelo es ácido y disminuye cuando el pH del suelo es alcalino.

#### **4.2. Carbono orgánico almacenado en la hojarasca en suelos degradados por ex cicales en el centro poblado Puente Piedra**

En la Tabla 6, muestra el contenido de carbono orgánico almacenado en hojarasca de parcelas de suelos degradados, los resultados indican que la parcela 1 tiene más cantidad de carbono orgánico y la parcela 5 tiene menor cantidad de carbono orgánico, esto depende del tipo de vegetación que se encuentre en la parcela.

**Tabla 6.** Contenido de carbono orgánico en hojarasca de las parcelas.

Muestra	Peso fresco (kg)	Peso seco (kg)	BH (t /ha)	CH (t /ha)
M1H	0.4532	0.3265	3.60	1.80
M2H	0.1466	0.1218	0.81	0.40
M3H	0.299	0.2291	2.11	1.05
M4H	0.0802	0.0532	0.63	0.32
M5H	0.1014	0.0808	0.63	0.31
M6H	0.08	0.038	2.72	1.36
M7H	0.1871	0.0642	1.41	0.71
M8H	0.1592	0.0808	1.43	0.71
M9H	0.0958	0.0664	0.75	0.38
M10H	0.1379	0.0928	1.14	0.57



**Figura 9.** Carbono orgánico en hojarasca (t /ha) de parcelas con suelos degradados.

En la Tabla 6, la parcela 5 contiene 0.31 t C/ha, siendo la parcela con menor contenido de carbono orgánico, mientras la parcela 1 contiene 1.80 t C/ha y las demás parcelas se mantienen dentro de ese rango (parcela 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 y 10). En ese sentido Avila et al. (2001), indica, el almacenamiento de carbono se debe a varios factores como: textura de suelo, uso de suelo, manejo de cultivos, edad de especies, etc.

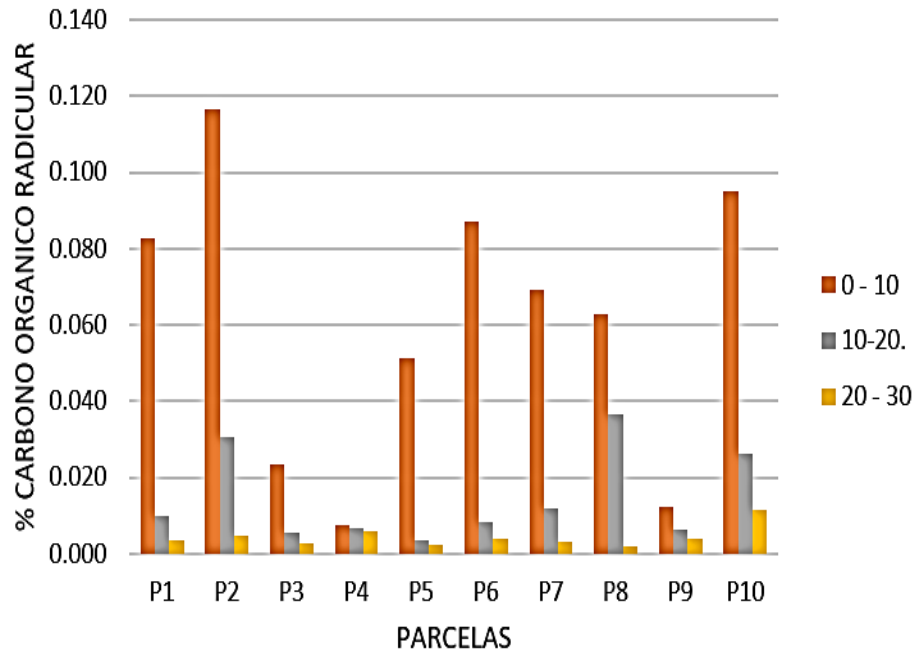
Cabe destacar que los valores bajos obtenidos en las hojarasca de las parcelas se deben a que son áreas degradadas, es decir que hay presencia de especies representativas de zonas degradadas que no generan demasiada hojarasca, que al ser una zona en contacto directo con las radiaciones solares (no hay presencia de sombra), la tasa de descomposición del material orgánico es mayor. Por el cual Gallardo (2001) manifiesta, la calidad de la hojarasca influye directamente en la tasa de descomposición y mineralización, también afecta la disponibilidad de nutrientes.

#### **4.3. Carbono orgánico almacenado en las raíces que se encuentran en suelos degradados por ex cicales en el centro poblado Puente Piedra**

En la Tabla 7, se muestra el contenido de carbono radicular evaluados por cada estrato en suelos degradados de cada parcela.

**Tabla 7.** Carbono radicular por tres profundidades de cada parcela.

Profundidad (cm)	Muestra	Biomasa raíces (t /ha)	Carbono raíces (t /ha)
0 - 10	R1A	0.132	0.083
	R2A	0.187	0.117
	R3A	0.037	0.023
	R4A	0.012	0.008
	R5A	0.082	0.051
	R6A	0.139	0.087
	R7A	0.111	0.069
	R8A	0.101	0.063
	R9A	0.020	0.012
	R10A	0.152	0.095
10-20	R1B	0.016	0.010
	R2B	0.049	0.031
	R3B	0.009	0.006
	R4B	0.011	0.007
	R5B	0.006	0.004
	R6B	0.013	0.008
	R7B	0.019	0.012
	R8B	0.059	0.037
	R9B	0.010	0.006
	R10B	0.042	0.026
20 - 30	R1C	0.005	0.003
	R2C	0.007	0.005
	R3C	0.004	0.003
	R4C	0.010	0.006
	R5C	0.003	0.002
	R6C	0.006	0.004
	R7C	0.005	0.003
	R8C	0.003	0.002
	R9C	0.006	0.004
	R10C	0.018	0.011



**Figura 10.** Carbono radicular (t /ha) de cada estrato en suelos degradados.

La Figura 10, indica el carbono radicular, en la primera parcela en el estrato (0 – 10 cm) contiene 0.083 t /ha, en el segundo estrato (10 – 20 cm) es 0.010 t /ha y por último el tercer estrato (20 – 30 cm) es 0.003 t /ha. De la misma manera el comportamiento se observa en la parcela 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10.

El contenido de carbono en la raíz va descendiendo en cuanto la profundidad va aumentando, estos resultados dependen del porcentaje de raíces que se encuentran en cada horizonte, hay mayor proporción de raíces es los estratos más superficiales, esto es debido a que absorben agua y nutrientes con mayor facilidad en la superficie del suelo. Ante esto la variabilidad ocurre cuando hay mayor biomasa radicular, que permite el aumento de la materia orgánica gracias a la muerte de raíces (Pezo et al., 2009).

#### **4.4. Carbono orgánico total almacenado en suelos degradados del centro poblado Puente Piedra**

En la Tabla 8, la parcela 5 contiene menor contenido de carbono en el suelo, seguida por la parcela 4, 2, 9, 10, 7, 8, 3, 6 y la parcela con mayor contenido de carbono es la parcela 1, estas parcelas son suelos degradados por ex coteles.

En la Tabla 8 y Figura 11, se presentan información de almacenamiento de carbono total (suelo, hojarasca y raíz) por cada parcela. Según FAO (2000) nos menciona que los bosques son depósitos de almacenamiento de carbono (biomasa y suelo). Además, actúan como depósitos, cuando se incrementa su productividad generando mayor absorción de CO<sub>2</sub>

atmosférico; de la misma manera actúa como fuente de GEI cuando sucede una quema, pudrición de la biomasa y alteraciones del suelo provocando emisiones de CO<sub>2</sub> y otros. El 20% aproximadamente de las emisiones antropogénicas a nivel mundial de CO<sub>2</sub> se debe al cambio de uso de la tierra, principalmente por la deforestación en las zonas tropicales.

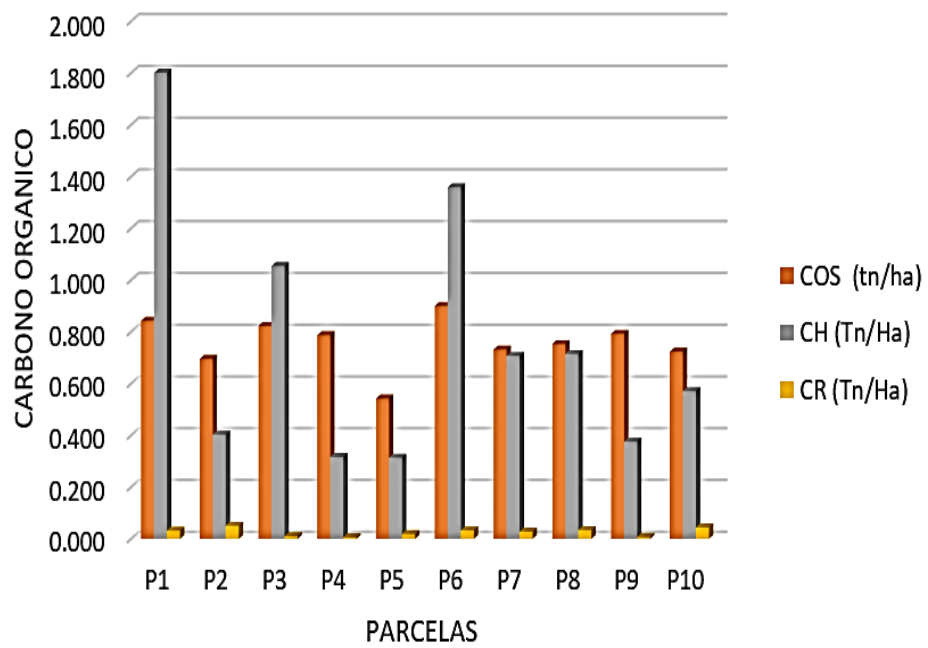
**Tabla 8.** Carbono orgánico de suelo, raíz y hojarasca.

Parcela	COS (t /ha)	CH (t /ha)	CR (t /ha)	CT (t /ha)
P1	0.843	1.801	0.032	0.89
P2	0.695	0.403	0.051	0.38
P3	0.823	1.054	0.011	0.63
P4	0.787	0.316	0.007	0.37
P5	0.542	0.314	0.019	0.29
P6	0.900	1.359	0.033	0.76
P7	0.732	0.707	0.028	0.49
P8	0.753	0.715	0.034	0.50
P9	0.793	0.375	0.008	0.39
P10	0.724	0.571	0.044	0.45
TOTAL	0.759	0.761	0.027	0.52

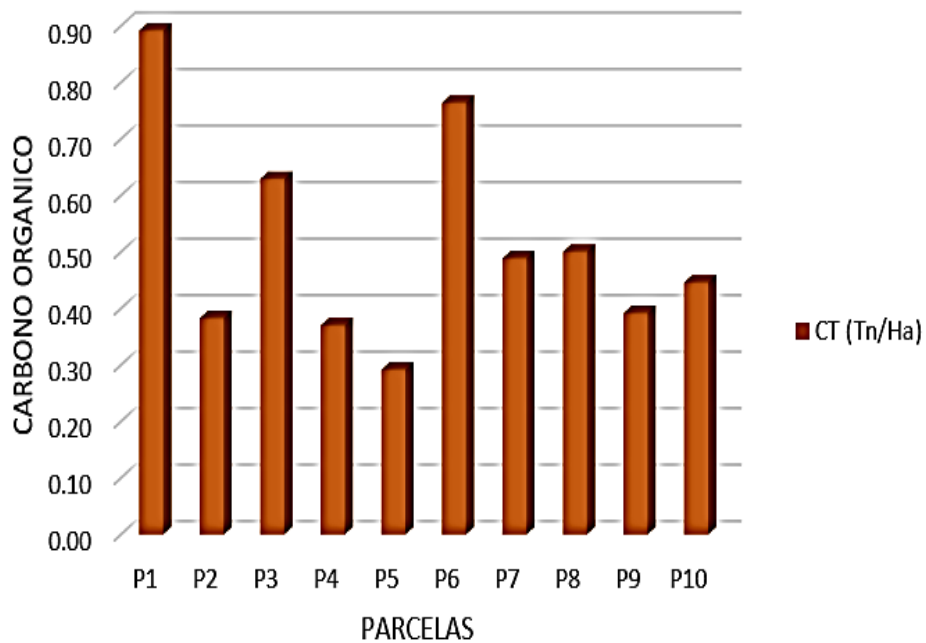
Además, en la Tabla 8 la parcela 5 contiene menor cantidad de carbono seguida por la parcela 4, 2, 9, 10, 7, 8, 3, 6 y la parcela con mayor contenido de carbono es la parcela 1, estas parcelas son suelos degradados por ex coteles, por el cual tienen la mínima capacidad para almacenar carbono a diferencia de los bosques. Corroborando lo mencionado por Andaluz (2004), cuando se interviene un bosque para el respectivo cambio de uso del suelo (deforestación, plantación y para diferentes usos) también se cambia la cantidad de carbono en el suelo.

**Tabla 9.** Carbono orgánico total del centro poblado Puente Piedra.

	COS (t /ha)	CR (t /ha)	CH (t /ha)	CT (t /ha)
Carbono orgánico	0.759	0.027	0.751	0.51



**Figura 11.** Carbono orgánico total (t /ha) de las parcelas en suelos degradados.



**Figura 12.** Carbono orgánico total (t /ha) de cada parcela de suelos degradados.

## V. CONCLUSIONES

1. El carbono orgánico almacenado en los suelos degradados por ex cicales del centro poblado Puente Piedra es 0.51 t C/ha.
2. El carbono orgánico de suelo almacenado es de 0.759 t C/ha, debido que estos suelos han sido degradados por cultivos de coca y presentan un pH ácido.
3. El carbono en la hojarasca almacenado es de 0.751 t C/ha, esto es debido a la vegetación que se encuentra en las parcelas, la macorilla presentan una estructura con menor biomasa arbórea y por ser suelos degradado no hay mucha vegetación.
4. El carbono radicular almacenado es de 0.027 t C/ha a una profundidad de 30 cm, el contenido de carbono radicular va disminuyendo según que va aumentado la profundidad.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Continuar con evaluaciones de forma anuales de las mismas parcelas para determinar el contenido de carbono anual (la variabilidad del COS).
2. Investigar el contenido de carbono orgánico con mayor número de muestras en todo el centro poblado que permitan elaborar una propuesta para recuperar los suelos degradados.
3. Concientizar a los agricultores de la importancia de la recuperación de suelos degradados con diferentes técnicas, ya se cultivos agrícolas o implementación de sistemas agroforestales.
4. Realizar análisis físico, químicos y biológicos en los suelos degradados, para conocer la calidad del suelo y tomar medidas o métodos de recuperación de suelos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, S.M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. *Repositorio Académico de la Universidad de Chile*, 77-85. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065>
- Alegre, J.C., Cassel, D.K. (1996). Dynamics of soil physical properties under alternative systems to slash-and-burn. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 58 (1), 39 - 48. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(95\)00654-0](https://doi.org/10.1016/0167-8809(95)00654-0)
- Allison, E. (1965). Organic soil carbon by reduction of chromic. *Soil Science*. 40, 311- 320.
- Andaluz, C. (2004). *Derecho Ambiental. Ambiente Sano y Desarrollo Sostenible* (1. Era ed.). Editorial Bellido S.R.L.
- Ávila, G. (2001). Almacenamiento, Fijación de Carbono y Valoración de Servicios Ambientales en Sistemas Agroforestales en Costa Rica. *Avance de Investigación. Agroforesterías en las Américas*, 8 (30), 32-45. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5765>
- Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M. (2000). Relationship of Soil Organic Matter Dynamics to Physical Protection and Tillage. *Soil & Tillage Reserch*, 53, 215-230. <https://climatescience.ru/uploads/pubs/1/13/137/1374c2a3e793153945f00a9bfa810cad.pdf>
- Barcellos, A. (1986). Recuperacáo de pastagens degradadas. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA-CPAC)*, 38.
- Brack, A., Mendiola, C. (2000). *Ecología del Perú*. Asociación Editorial Bruño.
- Caballero, M., Lozano, S. y Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*. 8 (10), 3-12. [https://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct\\_art78.pdf](https://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf)
- Callo, (2001). Cuantificación del carbono secuestrado por algunos sistemas agroforestales y testigos en tres pisos Ecológicos de la Amazonia del Perú. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo].
- Carrasco, M.A. (1992). El suelo como sistema químico. En Vera W, *Suelos, una visión actualizada del recurso* (pp. 345). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile
- Carreira, D. (2005). Carbono oxidable. Una forma de medir la materia orgánica del suelo. En L. Marban y S. Ratto (eds.), *Manual Tecnologías en Análisis de Suelos* (pp. 91- 102).

- Cavazos, T., Rodriguez, O. (1992). *Manual de prácticas de física de suelos*. México.
- Chidiak, M., Moreyra, A., Greco, C. (2003). *Captura de carbono y desarrollo forestal sustentable en la Patagonia: Sinergias y Desafíos*. CENT – CEPAL-UDESA. <http://hdl.handle.net/11362/28462>
- Delgadillo, M., Quechulpa, S. (2006). *Manual de Monitoreo de Carbono en Sistemas Agroforestales*. Comisión Nacional Forestal y Ambio S.C. de R.L.
- Doran, J., Coleman, D., Bezdicek, D., Stewart, B. (1994). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, United States of America. *Soil Science Society of America*, 244.
- Doran, S., Parkin, A. (1994). Suelos del valle y del piedemonte en Talamanca: un paisaje dinámico para el almacenamiento de carbono. En *Agroforestería de las Américas* (8, 40-44).
- Ellert, B., Janzen, H., Mcconkey, B. (2001). Measuring and comparing soil carbon storage. In R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett, B.A. Stewart, *Assessment Methods for Soil Carbon* (131-144). Lewis Publishers, Boca Raton.
- Etchevers, B., Monreal, C., Hidalgo, M., Acosta, J., Padilla, R., López, M. (2005). *Manual para la Determinación de Carbono en la Parte Aérea y Subterránea de Sistemas de Producción en Laderas*. Colegio de Postgraduados, México.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2000). *Informe de Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO<sub>2</sub>*.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2006). *La evaluación del almacenamiento del 78 carbono en el suelo y los principales cambios*. UN Food and Agriculture Organization. FAO. <http://www.fao.org/docrep/005N2779S/y2779s06.htm>
- Fassbender, H. W. 1993. *Modelos edafológicos de sistemas agroforestales*. Turrialba, CR, CATIE.
- Gallardo, A. 2001. Descomposición de hojarasca en ecosistemas mediterráneos. Zamora y Pugnaire (eds), *Ecosistemas Mediterráneos, Análisis funcional* (pp. 95-122). Textos universitarios N° 3, CSIC y AEET, Castillo y Edisart.
- Gayoso, J. 2006. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. *Revista Forestal Iberoamericana I* (1), 1-13. <http://www.forest.ula.ve/rforibam/archivos/DOC1.pdf>

- Gómez, A. 2000. Successional studies of a rain forest in Mexico. In D. C. West, H. H. Shugart and D. B. Botkin. Springer-Verlag (eds), *Forest succession. Concepts and application* (pp. 246-266). New York, U.S.A.
- Hill, J., Hostert, P., Tsiourlis, G., Kasapidis, P., Udelhoven, T.H., Diemer, C. 1998. Monitoring 20 years of increased grazing impact on the Greek island of Crete with earth observation satellites. *Journal of Arid Environments*, 39, 165-178.
- Huete, A.R., Gao, X., Kim, H.J., Miura, T., Borghi, C., Ojeda, R. 2002. Characterization of land degradation in central Argentina with hyperspectral AVIRIS and E0-1 data. *Publication*, 987.
- ICRAF. 2009. *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA).
- IPCC. 2007. *Panel Intergubernamental sobre cambio climático. Climate Change 2007: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Jackson, M. L. 1964. *Análisis químico de suelos* (Traducido por J. Beltrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España.
- Jaramillo, D. 2001. *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín.: Escuela de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia.
- Kanninen, M. 2001. *Sistemas silvopastoriles y almacenamiento de carbono: Potencial para América Latina*. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. LEAD-CATIE. <https://fdocuments.ec/document/potencialidades-de-los-sistemas-silvopastoriles-para-la-potencialidades-de-los.html?page=63>
- Lal, R. (1994). Global overview of erosion, In Soil and Water Science, *Key to Understanding Our Global Environment* (N° 41), Soil Science Society of America Special Publication.
- Macedo, C.M., Zimmer, A.H. 1993. *Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária*. 11 simposio Sobre Ecosistema De Pastagens. Jaboticabal: FUNESP, UNESP, SP.
- Martinez, E., Fuentes, P., Acevedo, E. 2008. Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. *SciELO*, 8 (1), 68-96. <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>
- Mata, CH.R. 2003. Principios generales sobre la pedología y taxonomía de suelos. Curso de certificadores de uso conforme a Ley 7776.
- Metcalfé, D., Phillips, O., Baker, T., Brienen, R., Kuo- Jung C., Silva, J. 2009. Measuring Tropical Forest Carbon Allocation and Cycling. *RAINFOR Field Manual*, 70.
- Oades, J.M. 1988. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry* 5, 35-70.

- Ordoñez, J., Masera, O., Jong, B. 2001. Almacenamiento de Carbono en un bosque. *Instituto de Ecología*, 7, 27-47. <http://www.redalyc.org/articuloBasic.oa?id=61770204>
- Pezo, D., Torres, O., Ospina, S. 2009. Rol de los pastizales seminaturales en las fincas ganaderas de Nicaragua percepciones de productores en investigadores. *Agroforestería de las Américas*, 47, 7-11.
- Rosa, R. 2003. *Metodología de coleta de dados radiométricos em pastagens do género "Brachiaria" com diferentes estágios de degradayao*. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, Brasil, INPE.
- Ronca L, S., Soto, L., Castellanos, J., Ramírez, N., De Jong, B. 2008. *Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México*.
- Rosell, R. A. 1999. *Materia Orgánica, fertilidad del suelo y productividad de cultivos*. Proced XIV congreso Latinoamericano de la ciencia del suelo, Chile.
- SEMARNAT (secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2007). *Cambio climático global*. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/296/cap1.html>
- Senayake, R., Gamboa, L. 2003. *Fortaleciendo de Relaciones Comunitarias: Intercambio Internacional para el Manejo de los Recursos Naturales*. Taller de Desarrollo en la Economía Local desde un enfoque de Forestaría Análoga.
- Solsol, E. (2018). Recuperación de suelos degradados ex cicales por procesos naturales en periodos de abandono en 5, 10, 15, 15 años en el distrito Mariano Dámaso Beraún – 2018. [Tesis para título de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1468>
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. New York, NY. John Wiley and Sons.
- Trumbmore, S.E., Davidson, E.A., P., Nepstad, D.D., Martinelli, L.A. (1995). *Belowground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia*. Global Biogeochemical Cycles: FAO, <http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>
- Wong, T.F., Gibbs, P., Nortcliff, S., Swift, R.S. (2000). Measurement of the acid neutralizing capacity of agroforestry tree prunings added to tropical soils. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 134, 269-276.
- Woodwell, M., Whittaker, R., Reiners, W., Likens, G., Delwiche, C., Botkin, D. (1978). The biota and the world carbon budget. *Science*, 199 (4325), 141 – 146.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Mapa de ubicación del centro poblado.

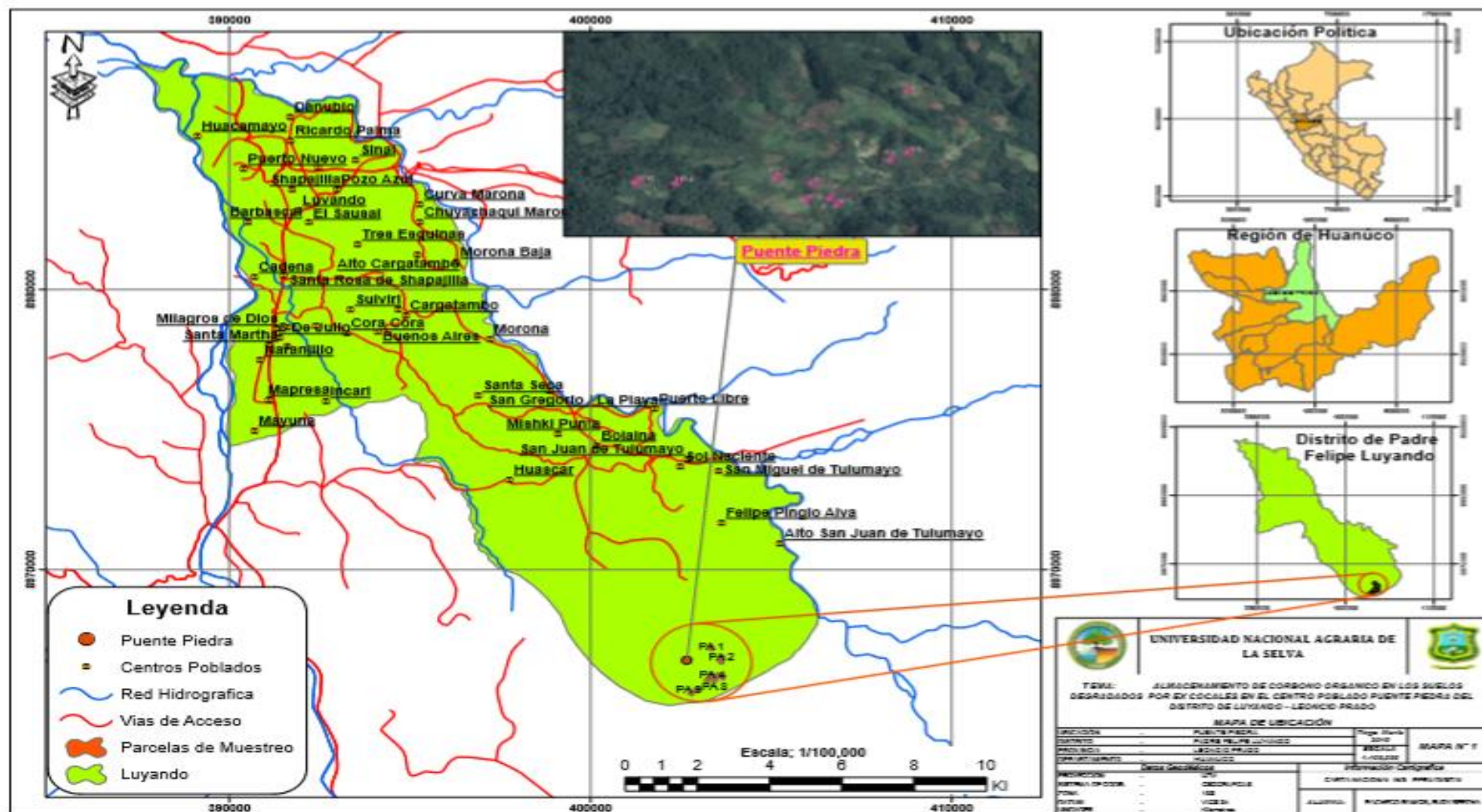


Figura 13. Área de estudio.

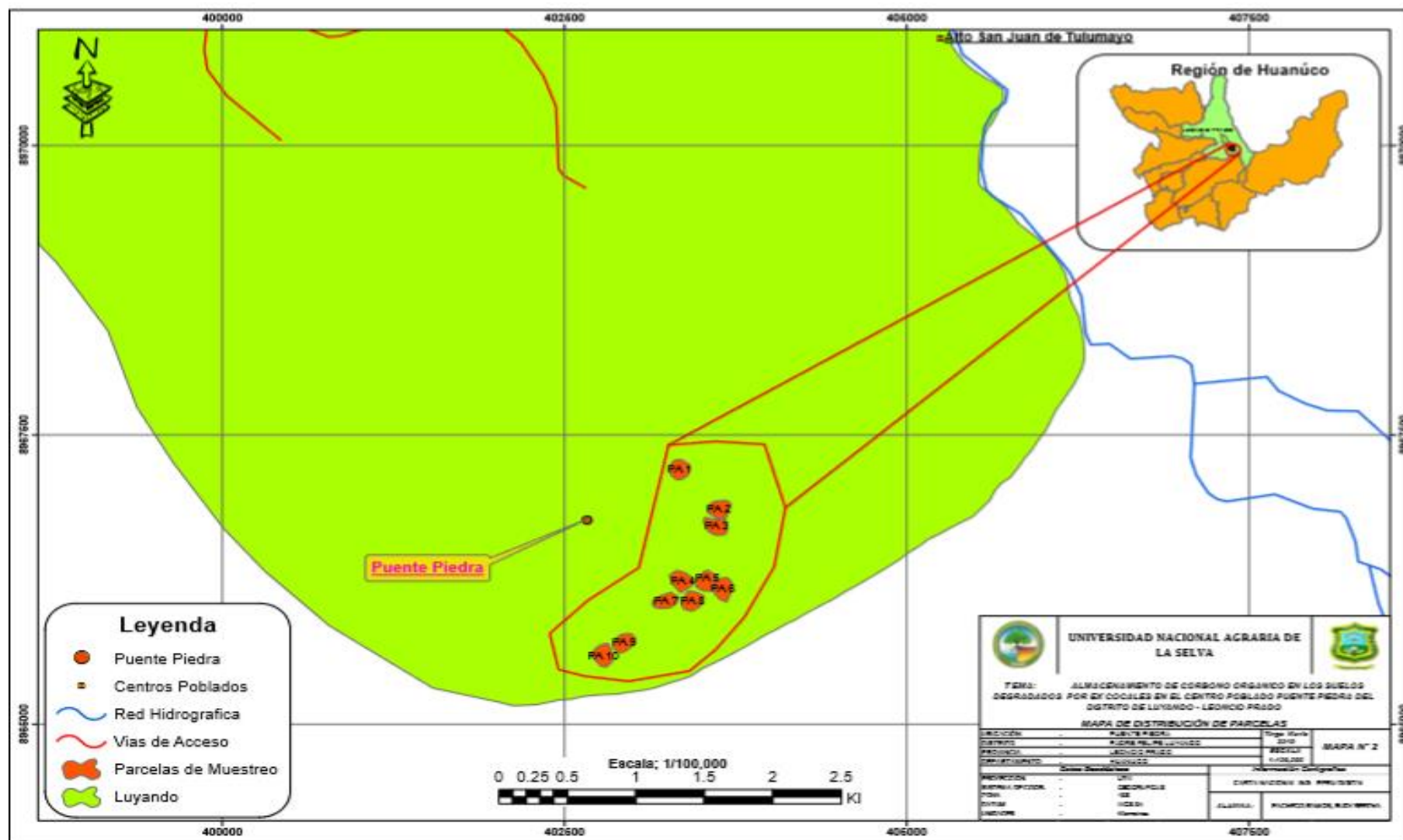


Figura 14. Ubicación de las parcelas en el centro poblado Puente Piedra.

## Anexo 2. Análisis de suelos degradados.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km1.21 - Tingo María - CELULAR 941531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



# ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:				PROCEDENCIA:																				
RUDY BERTHA PACHECO RAMOS				SECTOR:			PUENTE PIEDRA					PROVINCIA					LEONCIO PRADO							
				DISTRITO:			PADRE FELIPE LUYANDO					DEPARTAMENTO					HUANUCO							
				ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	C	P	K	CIC	CAMBIABLES					Cm(+)/kg	CICe	%	%	%	
N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DATOS DE LA MUESTRA			Textura					1:1	%	%		%	disponible	Ca	Mg	K			Na	Al	H	Bas. Camb.
		REFERENCIA	Arena	Arcilla	Limo	%	%	%	%	ppm	ppm													
1	S0846	M1	A	74	11	15	Arena Franca	5.37	3.41	0.17	1.98	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	S0847	M1	B	60	19	21	Franco Arenoso	5.33	2.02	0.10	1.17	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	S0848	M1	C	56	23	21	Franco Arcillo Arenoso	5.32	1.89	0.09	1.10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	S0849	M2	A	54	19	27	Franco Arenoso	4.36	3.28	0.16	1.90	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	S0850	M2	B	26	37	37	Franco Arcilloso	4.33	1.64	0.08	0.95	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	S0851	M2	C	26	35	39	Franco Arcilloso	4.30	1.45	0.07	0.84	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	S0852	M3	A	34	17	49	Franco	4.83	3.72	0.19	2.16	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8	S0853	M3	B	20	35	45	Franco Arcillo Limoso	4.64	2.14	0.11	1.24	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9	S0854	M3	C	20	37	43	Franco Arcillo Limoso	4.63	1.26	0.06	0.73	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	S0855	M4	A	24	43	33	Arcilloso	4.86	3.22	0.16	1.87	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11	S0856	M4	B	28	35	37	Franco Arcilloso	4.74	2.33	0.12	1.35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12	S0857	M4	C	16	45	39	Arcilloso	4.54	1.45	0.07	0.84	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13	S0858	M5	A	24	43	33	Arcilloso	4.68	1.77	0.09	1.02	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14	S0859	M5	B	22	29	49	Franco Arcillo Limoso	4.47	1.58	0.08	0.91	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15	S0860	M5	C	16	33	51	Franco Arcillo Limoso	4.46	1.45	0.07	0.84	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

TINGO MARIA, 27 DE AGOSTO 2019

RECIBO N° 0593793



Ing. Luis G. Mansilla Minaya  
 JEFE



Figura 15. Análisis de suelos de la parcela 1 al 5.



**Anexo 3.** Panel fotográfico del trabajo de investigación.



**Figura 17.** Reconocimiento del centro poblado Puente Piedra.



**Figura 18.** Reconocimiento de la parcela 1.



**Figura 19.** Reconocimiento de la parcela 2.



**Figura 20.** Reconocimiento de la parcela 3.



**Figura 21.** Reconocimiento de la parcela 4.



**Figura 22.** Reconocimiento de la parcela 5.



**Figura 23.** Reconocimiento de la parcela 6.



**Figura 24.** Reconocimiento de la parcela 7.



**Figura 25.** Reconocimiento de la parcela 8.



**Figura 26.** Reconocimiento de la parcela 9.



**Figura 27.** Reconocimiento de la parcela 10.



**Figura 28.** Realización de la calicata en la parcela 10.



**Figura 29.** Identificación de los estratos de la parcela 2.



**Figura 30.** Muestreo de hojarasca de la parcela 1.



**Figura 31.** Muestreo de suelo para determinar densidad aparente.



**Figura 32.** Lavado de las muestras de raíces.



**Figura 33.** Secado de las muestras de suelo (parcela 1, 2, 3, 4 y 5).



**Figura 34.** Secado de las muestras de suelo (parcela 6, 7, 8, 9 y 10).



**Figura 35.** Pesado y empaquetado las muestras de hojarasca.



**Figura 36.** Secado de las muestras de hojarasca.



**Figura 37.** Pesado de la muestra de raíces.



**Figura 38.** Pesado de las muestras de suelos para densidad aparente.



**Figura 39.** Ubicación de los cilindros muestreadores de suelos y muestras de raíces en la estufa.



**Figura 40.** Determinación de textura de las muestras de suelos.



**Figura 41.** Determinación del pH de las muestras de los suelos.



**Figura 42.** Determinación de la materia orgánica de las muestras de suelos.