

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



T E S I S

**Cuantificación de carbono orgánico del suelo en los sistemas de
producción de café (*Coffea arábica*) con sombra de plátano (*Musa
paradisiaca*); Distrito de Oxapampa, Pasco – Perú**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Autor

Bach. Osmar Garit SABINO VILLANUEVA

Asesor

Dr. Hickey Emilio CORDOVA HERRERA

Cerro de Pasco – Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



T E S I S

**Cuantificación de carbono orgánico del suelo en los sistemas de
producción de café (*Coffea arabica*) con sombra de plátano (*Musa
paradisiaca*); Distrito de Oxapampa, Pasco – Perú**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Manuel Jorge CASTILLO NOLE
PRESIDENTE

M.Sc. Josué Hernán INGA ORTÍZ
MIEMBRO

Mg. Moisés TONGO PIZARRO
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 016-2025/UIFCCAA/V

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por
SABINO VILLANUEVA, Osmar Garit

Escuela de Formación Profesional
Agronomía - Oxapampa
Tesis

Cuantificación de carbono orgánico del suelo en los sistemas de producción de café (*Coffea arabica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); Distrito de Oxapampa, Pasco – Perú

Asesor
Dr. CORDOVA HERRERA, Hickey Emilio

Índice de similitud
7%

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el reporte de evaluación del software anti-plagio.

Cerro de Pasco, 7 de mayo de 2025



Firmado digitalmente por HUANES
TIGUAR Luis Antonio FAU
20156020046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 07.05.2025 10:57:42 -05:00

Firma Digital
Director UIFCCAA

c.c. Archivo
LHT/UIFCCAA

DEDICATORIA

En primer lugar; agradecer a Dios que siempre estuvo presente en mi vida, en lograr concluir mi carrera profesional; a mis padres Augusto y María Luz por ser mis pilares fundamentales, así como también a mi hermana Thalía.

AGRADECIMIENTO

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas y colegas me han prestado durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo.

A la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.

Un agradecimiento enorme y fraternal a mis padres Augusto Sabino Inocente y María Luz Villanueva Calero que me han ayudado y apoyado en todos mis logros de estudio y vida.

A mi asesor, el Dr. Hickey Emilio CORDOVA HERRERA por el apoyo durante todo el proceso de elaboración, ejecución y redacción del presente trabajo; por sus grandes consejos y su valioso tiempo.

Así mismo, deseo expresar mi reconocimiento al propietario del terreno donde realicé mi investigación; por todas las atenciones e información brindada a lo largo del trabajo.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue revelar la densidad aparente y la concentración de carbono orgánico en sistemas de producción de café bajo sombra de plátano en el distrito de Oxapampa, Pasco, Perú. Se observaron diferencias significativas en la densidad aparente del suelo entre diferentes profundidades, con la capa superficial (1-10 cm) mostrando la densidad más alta, seguida por la capa más profunda (20-30 cm) y la capa intermedia (10-20 cm). Estas variaciones pueden atribuirse a una serie de factores, como la actividad agrícola, contenido de materia orgánica, procesos de erosión y sedimentación, y características naturales del suelo. Por otro lado, la concentración de carbono orgánico en el suelo se encontró en niveles moderados y no mostró diferencias significativas entre las profundidades. Sin embargo, se observó una mayor acumulación de carbono en la capa superficial (0-10 cm), lo que sugiere una influencia significativa de esta profundidad en la retención y acumulación de carbono orgánico. Además, se realizó un análisis de las características fisicoquímicas del suelo, revelando un pH ligeramente alcalino, baja conductividad eléctrica, presencia moderada de carbonato de calcio y materia orgánica, niveles moderados de fósforo y potasio, textura franca arcillo arenosa, capacidad moderada de intercambio catiónico y saturación completa de bases. Estas características son consistentes con los requisitos del cultivo de café y sugieren que el suelo es adecuado para este propósito. Un aspecto destacado del estudio fue la correlación muy fuerte y positiva entre la concentración de carbono orgánico y la densidad aparente del suelo, lo que indica que a medida que la concentración de carbono aumenta, la densidad aparente del suelo tiende a aumentar también. Finalmente, se realizó una prueba de hipótesis que demostró que la media muestral de la densidad aparente del suelo fue significativamente diferente de la hipótesis nula de 1.4 g/cm³, lo que respalda la idea de que esta variable puede variar significativamente en el entorno estudiado. En conclusión, este estudio proporciona una visión integral de la dinámica del suelo en

sistemas de producción de café bajo sombra de plátano, destacando la importancia de considerar múltiples factores en la gestión y conservación de estos suelos para un cultivo sostenible y productivo.

Palabras clave: Captura de carbono, densidad aparente, suelo agrícola, pH alcalino, emisiones, carbono, cafetal.

ABSTRACT

The objective of the present study was to reveal the apparent density and concentration of organic carbon in coffee production systems under banana shade in the Oxapampa district, Pasco, Peru. First, significant differences in soil bulk density were observed between different depths, with the surface layer (1-10 cm) showing the highest density, followed by the deepest layer (20-30 cm) and the middle layer. (10-20cm). These variations can be attributed to a series of factors, such as agricultural activity, organic matter content, erosion and sedimentation processes, and natural soil characteristics. On the other hand, the concentration of organic carbon in the soil was found at moderate levels and did not show significant differences between depths. However, a greater accumulation of carbon was observed in the surface layer (0-10 cm), suggesting a significant influence of this depth on the retention and accumulation of organic carbon. In addition, an analysis of the physicochemical characteristics of the soil was carried out, revealing a slightly alkaline pH, low electrical conductivity, moderate presence of calcium carbonate and organic matter, moderate levels of phosphorus and potassium, sandy clay loam texture, moderate cation exchange capacity and complete base saturation. These characteristics are consistent with the requirements of coffee cultivation and suggest that the soil is suitable for this purpose. A highlight of the study was the very strong and positive correlation between organic carbon concentration and soil bulk density, indicating that as carbon concentration increases, soil bulk density tends to increase as well. Finally, a hypothesis test was performed that demonstrated that the sample mean of soil bulk density was significantly different from the null hypothesis of 1.4 g/cm³, which supports the idea that this variable can vary significantly in the studied environment. In conclusion, this study provides a comprehensive view of soil dynamics in coffee production systems under banana shade, highlighting the importance of considering multiple factors in the management and conservation of these soils for a sustainable and productive crop.

Keywords: Carbon capture, apparent density, agricultural land, alkaline pH, emissions, carbon, coffee plantation

INTRODUCCIÓN

La realidad peruana en el manejo de café bajo sombra con plátano presenta una serie de características y desafíos específicos, entre los que resalta la diversidad de sistemas de producción, el manejo del café bajo sombra con plátano se lleva a cabo en una amplia gama de condiciones agroecológicas y socioeconómicas.

La producción de café es una actividad económica importante en muchas regiones de Perú, generando empleo e ingresos para numerosas familias. El cultivo bajo sombra con plátano proporciona una fuente adicional de ingresos y diversificación para los agricultores, ya que los plátanos también son un cultivo comercializable, sin embargo, a pesar de los beneficios ambientales asociados con el cultivo bajo sombra, como la conservación del suelo, la biodiversidad y la regulación del microclima, algunos sistemas de producción pueden enfrentar desafíos relacionados con la deforestación, la pérdida de biodiversidad y la degradación del suelo.

Muchos agricultores en Perú aún requieren capacitación y acceso a tecnologías adecuadas para mejorar sus prácticas de manejo del café bajo sombra con plátano. Tal es así que la realidad peruana en el manejo de café bajo sombra con plátano refleja una mezcla de oportunidades y desafíos, que requieren enfoques integrados y colaborativos para promover prácticas sostenibles y mejorar la competitividad de los productores en el mercado global.

El objetivo general de este trabajo fue cuantificar la concentración de carbono orgánico en los suelos mencionados, mientras que los objetivos específicos incluyen la determinación de la densidad aparente en relación con la cuantificación del carbono orgánico, el cálculo preciso de la concentración de carbono en el suelo y la evidencia de las características fisicoquímicas en una profundidad de 1 a 30 cm. Este estudio no solo contribuirá al conocimiento científico sobre la gestión de los suelos en sistemas de producción de café con sombra de plátano, sino que también proporcionará información

valiosa para el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles en la región de Oxapampa,
Pasco - Perú.

INDICE

Página.

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
INDICE	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema.....	1
1.2.	Delimitación de la investigación	3
1.3.	Formulación del problema.....	4
1.3.1.	Problema general	4
1.3.2.	Problemas específicos	4
1.4.	Formulación de objetivos	5
1.4.1.	Objetivo general	5
1.4.2.	Objetivos específicos	5
1.5.	Justificación de la investigación	6
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	6

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	7
2.2.	Bases teóricas - científicas	9
2.3.	Definición de términos básicos	17
2.4.	Formulación de la hipótesis	18
2.4.1.	Hipótesis general.....	18
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	18
2.5.	Identificación de variables.....	18
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	19

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	20
------	----------------------------	----

3.2.	Nivel de investigación.....	20
3.3.	Método de investigación.....	20
3.4.	Diseño de investigación	20
3.5.	Población y muestra.....	21
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	21
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	21
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	22
3.9.	Tratamiento estadístico	22
3.10.	Orientación ética.....	22

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	24
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	33
4.3.	Prueba de hipótesis.....	42
4.4.	Discusión de resultados	44

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Densidad aparente según tipo de suelo	12
Tabla 2. Densidad aparente según el tipo de suelo	13
Tabla 3. Kilogramos cafés (Grano verde)	32
Tabla 4. Análisis descriptivo para la concentración del carbono en el suelo.....	33
Tabla 5. Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas - Shapiro-Wilks (modificado).....	34
Tabla 6. Valor de la media bajo la hipótesis nula: 1.4 g/cm ³	42
Tabla 7. Valor de la media bajo la hipótesis nula: 25 t/ha.....	43

INDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Zona de estudio	24
Figura 2. Parcelas para muestreo.....	27
Figura 3. Parcelas y semi calicatas según parcelas.....	27
Figura 4. Levantamiento de datos en las parcelas.....	29
Figura 5. Obtención de muestras para determinar carbono orgánico del suelo.....	30
Figura 6. Muestras listas para determinar carbono orgánico del suelo	30
Figura 7. Procesamiento de las muestras antes de ser enviadas al laboratorio	33
Figura 8. Prueba de cuantiles observados	35
Figura 9. Densidad aparente en la cuantificación de carbono orgánico en los sistemas de producción de café.	36
Figura 10. Profundidad de carbono orgánico almacenado en suelos.....	37
Figura 11. Carbono orgánico almacenado en suelos a profundidades distintas en sistemas de producción de café.....	40

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

El carbono orgánico del suelo (COS) es crucial para la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, ya que mejora propiedades del suelo esenciales para el rendimiento sostenido de los cultivos. El COS contribuye a la cantidad y disponibilidad de nutrientes, como el nitrógeno, y ajusta la acidez del suelo para aumentar la solubilidad de varios nutrientes. Asociado a la materia orgánica, el COS ofrece alta capacidad de intercambio catiónico y mejora la estructura y porosidad del suelo. La cantidad de COS está influenciada por las condiciones ambientales y las prácticas de manejo del suelo, pudiendo ser disminuida o incrementada según dichas prácticas (Eduardo Martínez et al., 2008).

El suelo es fundamental para la vida en la Tierra, formando un sistema autorregulado junto con todos los organismos y su entorno inorgánico, según la hipótesis Gaia de James Lovelock. Es un recurso crucial para proveer bienes y servicios esenciales para los ecosistemas y el bienestar humano. Por ello, es vital preservar y mejorar el suelo, ya que es clave para la producción de alimentos, agua y seguridad energética. Con el aumento de la población, la

presión sobre el suelo aumentará, necesitando producir más alimentos, fibras y combustibles para lograr la seguridad alimentaria (Burbano Orjuela, 2016).

El cambio climático impacta los ecosistemas, la biodiversidad, la hidrología, la producción de alimentos y la salud humana (IPCC 2008), provocando variaciones en la temperatura, la precipitación, los ciclos agrícolas, las características del suelo, y aumentando la frecuencia y magnitud de sequías, incendios, plagas y enfermedades, además de reducir el acceso al agua. Debido a estos efectos, la agricultura es altamente vulnerable al cambio climático, especialmente en poblaciones en crecimiento con recursos tecnológicos limitados y condiciones económicas, sociales y legislativas desfavorables. No obstante, su importancia, la cuantificación de estos impactos en la agricultura es aún insuficiente. En el sector agrícola peruano, se estima que para 2030 el producto bruto interno (PBI) real será un 6.8% inferior al esperado sin el cambio climático.

En el caso del cultivo del café, el cambio climático amenaza la producción mundial, impactando tanto los rendimientos como la calidad de las cosechas, afectando a pequeños y grandes productores por igual. Esta situación justifica la necesidad de intervenir en los sistemas agrícolas para desarrollar soluciones a corto plazo y estrategias a largo plazo. Estas medidas deben preparar a los productores de café en aspectos como las Buenas Prácticas Agrícolas, la obtención de créditos de carbono y la reducción de la huella de carbono, entre otros.

El cambio climático amenaza la producción de café y los medios de vida de los caficultores y sus familias en todo el mundo. Las alteraciones en los patrones de lluvia y temperatura, junto con los eventos climáticos extremos, pueden perturbar los ciclos de cultivo y afectar negativamente la producción de café.

1.2. Delimitación de la investigación

Delimitación espacial: En la investigación se estimó la concentración de carbono orgánico en los suelos de los sistemas de producción de café con sombra de plátano del Distrito de Oxapampa, Provincia de Oxapampa, Región Pasco; Perú.

El Distrito de Oxapampa está ubicado en la margen derecha del río Chorobamba, en la parte central y oriental de la Región Pasco, en las coordenadas 10°35'25" de latitud sur y 75°23'55" de longitud oeste.

El distrito de Oxapampa tiene una superficie de 982.04 km² con una densidad de 3.52 hab/km². La cuenca de Oxapampa abarca aproximadamente 2508.78 km². La altitud del distrito varía desde 1,000 m.s.n.m. en el Puente Paucartambo hasta 2,300 m.s.n.m. en el Parque Nacional Yanachaga Chemillén.

El clima es húmedo y semicálido, con temperaturas promedio que oscilan entre 15°C y 25°C, y precipitaciones anuales de 1500 a 2000 mm.

El distrito de Oxapampa limita al norte con el distrito de Huancabamba, al sur con el distrito de San Luis de Shuaro en la provincia de Chanchamayo, al este con los distritos de Palcazú y Villa Rica, y al oeste con el distrito de Chontabamba.

Oxapampa, ubicada a 396 km de Lima, fue fundada el 30 de agosto de 1891 por Enrique Böttger Treu. Originalmente habitada por nativos yaneshas, quienes la llamaban "Mon Konma" (Llanura de carrizo o pajonal), se destaca por su excelente comida y gente acogedora. Actualmente, la provincia es un importante centro económico gracias a sus recursos naturales, ubicación geocéntrica, tierras fértiles y atractivo turístico debido a sus paisajes.

La economía de Oxapampa se centra en la agricultura y la ganadería, seguidas por el comercio, con una menor actividad forestal e industrial. Los principales cultivos incluyen café, caihua, rocoto, ají, plátano, piña, granadilla,

palta, zapallo y menestras. Aunque en el pasado la extracción forestal fue importante, su relevancia ha disminuido debido a la depredación del recurso, que fue especialmente significativa entre 1950 y 1980. Esta actividad, que alguna vez representó el 90% de la economía local, ha disminuido debido a la explotación irracional y la consiguiente escasez y degradación ambiental.

Aunque aún existen recursos forestales significativos en los valles del Pichis y Palcazú, se están explotando de manera irracional, lo que podría llevar a situaciones similares a las ocurridas en el valle de Oxapampa. Entre las principales especies forestales se encuentran el tornillo, ishpingo, aguaje, caña brava, pijuayo, nogal y Diablo fute. Actualmente, se promueven prácticas de reforestación con especies exóticas como el pino, ciprés y eucalipto.

La agricultura es el sector principal en Oxapampa, ocupando el 13.3% de las áreas disponibles (22,908 ha). Los principales cultivos incluyen café, plátano, yuca, rocoto, cítricos, piña, granadilla, zapallo, palmito, maíz, achiote, papa, arroz, papaya, cacao y frijol. En la producción pecuaria, destacan el ganado vacuno, ovino, porcino y aves de corral, siendo el ganado vacuno especialmente importante en la producción de leche y carne.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

- ¿Cuál es el promedio de la cuantificación de carbono orgánico en los suelos de los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco - Perú?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la densidad aparente en la cuantificación de carbono orgánico en los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) con

sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco – Perú?

- ¿Cuál es la concentración de carbono en el suelo de los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco – Perú?
- ¿Cómo es las características físico químicos del suelo de 1-30 cm de profundidad de los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco – Perú?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Cuantificar la concentración de carbono orgánico en suelos de los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco - Perú.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la densidad aparente en la cuantificación de carbono orgánico en los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco - Perú.
- Calcular la concentración de carbono en el suelo de los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco - Perú.
- Evidenciar las características físico químicos del suelo de 1-30 cm de profundidad de los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco - Perú.

1.5. Justificación de la investigación

La estimación de carbono en sistemas de producción de café es importante para desarrollar políticas que ayuden a mitigar el cambio climático global. Estas intervenciones pueden generar ingresos en comunidades rurales y de productores familiares, promoviendo el uso sostenible de recursos naturales y el bienestar comunitario. Al aumentar la producción de biomasa y los niveles de carbono en la tierra, los agricultores familiares pueden contribuir al almacenamiento de carbono a través de actividades forestales y agroforestales. Sin embargo, hasta ahora, los beneficios financieros obtenidos por estos esfuerzos en los mercados de carbono han sido mínimos. La determinación del carbono orgánico del suelo es crucial debido a su influencia en diversas características del suelo, como color, formación de agregados, capacidad de retención de humedad, intercambio catiónico y aniónico, disponibilidad de nutrientes, producción de sustancias que afectan el crecimiento microbiano, y participación en procesos pedogenéticos y formación de quelatos.

1.6. Limitaciones de la investigación

La principal limitación de la tesis radica en el acceso limitado a personas, organizaciones o documentos, lo que dificulta la recopilación de información. El tiempo disponible para la investigación también es un desafío, y la capacidad de medir el cambio o la estabilidad a lo largo del tiempo es limitada. En la actualidad, los laboratorios de análisis de suelos utilizan el método de Walkley & Black para determinar el contenido de carbono orgánico, aunque esta técnica volumétrica puede ser menos precisa que una colorimétrica, lo que podría ocasionar errores significativos en los resultados.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Según (Casanova-Lugo et al., 2011) Los sistemas agroforestales (SAF) se presentan como una alternativa para capturar carbono en los ecosistemas tropicales de México, siendo tanto productivos como ecológicamente amigables. Se destaca su importancia en el ciclo global del carbono, tanto en la vegetación como en el suelo. Se señalan las necesidades de investigación para mejorar su implementación y aprovechamiento sostenible. En conclusión, los SAF representan una opción sostenible que aumenta la productividad y contribuye a mitigar el calentamiento global en las zonas tropicales.

El estudio evaluó el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) en la interfaz entre bosques riparios y arrozales y pasturas orgánicas en Piedras, Tolima, Colombia. Se tomaron muestras en dos áreas de producción (arroz y pastura) y en el borde e interior de bosques riparios adyacentes. Se midió la densidad aparente y la concentración de carbono orgánico entre mayo y julio de 2013. Se encontró que las interfaces arroz-bosque ripario y pastura-bosque ripario almacenaron en promedio 65,6 y 61,3 t C/ha, respectivamente, sin diferencias significativas. La posición de muestreo tuvo un impacto

significativo en la densidad aparente, pero no en el COS. La conversión de bosques riparios a arrozales o pasturas orgánicas no emite gases de efecto invernadero, sino que incrementa el COS en 3,2 t C/ha (Andrade-Castañeda et al., 2016).

Las comunidades nativas de Callería, Flor de Ucayali, Buenos Aires, Roya, Curiaca, Pueblo Nuevo del Caco y Puerto Nuevo, ubicadas en los departamentos de Ucayali y Huánuco, poseen reconocimiento oficial desde 1974, con títulos de territorio comunal. Apesar de que la mayor parte de estos territorios está conformada por bosques primarios, están experimentando una rápida deforestación y degradación debido a la migración causada por la apertura de nuevas carreteras y caminos. Para abordar estas amenazas, se está llevando a cabo el proyecto "Puesta en valor de los servicios ambientales de los bosques manejados de 07 comunidades nativas" por la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) y AIDER. El objetivo es contribuir a la conservación de los bosques y al aprovechamiento sostenible de los servicios ecosistémicos mediante un manejo forestal sostenible, con la implementación de un esquema de pagos por servicios ambientales. Este informe describe la metodología y los resultados del inventario de carbono realizado en los bosques de estas comunidades, que se utilizará para establecer la línea base de un proyecto de carbono bajo el mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) bajo estándares VCS y CCBA (Managed, 2013).

Según (Martínez &, Juan, 2008) El carbono orgánico del suelo (COS) es crucial para la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, influyendo en las propiedades del suelo y el rendimiento de los cultivos. Contribuye a la disponibilidad de nutrientes, ajusta la acidez del suelo y mejora la estructura y porosidad del mismo. Su cantidad está influenciada por las condiciones ambientales y el manejo del suelo, con prácticas que pueden aumentar o

disminuir su contenido. Este trabajo analiza la relación entre el carbono orgánico, las propiedades químicas, físicas, biológicas y el manejo del suelo.

El estudio analizó la captura y emisión de carbono en suelos de cafetales bajo distintos tipos de sombra en el estado Falcón, Venezuela. Se evaluaron cuatro tipos de sombra: leguminosas, musáceas, cítricos y vegetación boscosa. Se tomaron muestras de suelo en cada sitio y se realizaron varios análisis. Los resultados mostraron que los suelos de cafetales bajo sombra de leguminosas son sumideros de carbono, almacenando 83 t/ha de carbono a 30 cm de profundidad, con una eficiencia del 100%. El cambio de sombra tradicional por musáceas y cítricos redujo la eficiencia de captura de carbono en el suelo. Los suelos de café-cítricos mostraron la mayor emisión de CO₂, seguidos por café-musáceas y café-leguminosas, siendo el sistema café-cítricos el menos eficiente en la captura de carbono (Pastor et al., 2022).

(Alvarado et al., 2013) El estudio evaluó la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) en tres sistemas de producción de café en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia: monocultivo, sistemas agroforestales (SAF) con nogal y SAF con plátano. Se seleccionaron cinco repeticiones por sistema y se analizaron mediante un diseño experimental al azar. Los resultados mostraron que los sistemas de producción no afectaron significativamente la densidad aparente ni la concentración de COS. Sin embargo, el SAF con plátano tendió a tener una densidad aparente menor que el monocultivo y SAF con nogal. Estos sistemas almacenaron entre 50 y 54 t/ha de COS en los primeros 30 cm de profundidad, lo que demuestra su capacidad de almacenamiento de carbono y su potencial para mitigar el cambio climático.

2.2. Bases teóricas - científicas

El Suelo

Según (Jordán, 2005) La Edafología estudia el suelo como un ente natural organizado e independiente, influenciado por factores como el clima, los

organismos, el relieve y el tiempo. El suelo es un sistema abierto que almacena temporalmente recursos vitales para los seres vivos, como agua, energía y nutrientes minerales. La disponibilidad de estos recursos depende de la intensidad y velocidad de los procesos de intercambio entre el suelo y otros compartimentos de los sistemas ecológicos.

Según (Burbano-Orjuela, 2016) El suelo, un recurso natural limitado y no regenerable, ofrece una variedad de servicios ambientales o ecosistémicos. Por ejemplo, participa en los ciclos biogeoquímicos de elementos esenciales para la vida, como el carbono, el nitrógeno, el fósforo, etc. Estos elementos se transfieren constantemente de los sistemas vivos a los no vivos del planeta debido a la energía disponible.

El perfil del suelo

(Jordán, 2005) El texto explica que los horizontes edáficos son capas que se forman en el suelo en función de los cambios en sus propiedades y constituyentes, derivados de los procesos de formación del suelo. Estas capas se designan con letras mayúsculas que indican sus características principales. Los horizontes principales se identifican mediante letras específicas.

- **H.** Es el horizonte donde se acumula materia orgánica sin descomponer, con un contenido superior al 20-30%, y suelen estar saturados de agua durante largos períodos. Este horizonte se conoce como turba.
- **O.** Se trata de la capa de hojarasca que cubre la superficie del suelo, caracterizada por no estar saturada de agua y tener un contenido de materia orgánica superior al 35%. Esta capa es comúnmente encontrada en los bosques.
- **A.** Este horizonte se desarrolla en la superficie del suelo y contiene un mayor porcentaje de materia orgánica transformada en comparación con las capas inferiores. Generalmente tiene un color gris oscuro o negro, aunque en suelos cultivados puede ser más claro debido a una menor cantidad de

materia orgánica. Su estructura es migajosa y granular.

- **E.** Se trata de un horizonte de fuerte lavado, ubicado generalmente entre los horizontes A y B. Tiene menos arcilla y óxidos de hierro y aluminio que los horizontes A y B, así como menos materia orgánica que el horizonte A. Es muy arenoso y de colores muy claros, con una estructura poco desarrollada, siendo típica la estructura laminar en este horizonte.
- **B.** Este horizonte se caracteriza por un enriquecimiento en arcilla, óxidos de hierro y aluminio, o materia orgánica, ya sea a través de procesos de iluviación o in situ. También puede presentar enriquecimiento residual por el lavado de carbonatos si estaban presentes en la roca. Se distingue por colores pardos y rojos, con cromas más intensos o tonalidades más rojas que el material original, designado como horizonte C. Además, muestra desarrollo de estructura edáfica, típicamente en bloques angulares, subangulares o prismáticos.
- **C.** Este material es el estado original del suelo, caracterizado por la ausencia de desarrollo de estructuras o rasgos edáficos. Es suave y suelto, permitiendo la excavación con una azada. Aunque puede presentar meteorización, nunca ha experimentado procesos de edafización.
- **R.** Material original. Roca dura, coherente. No se puede cavar.

A. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo son cruciales para diversos usos humanos, ya que influyen en su rigidez, fuerza, penetrabilidad para las raíces, aireación, drenaje, capacidad de retención de agua, plasticidad y retención de nutrientes. Es esencial que quienes trabajan con la tierra comprendan estas propiedades, cómo afectan el crecimiento de las plantas y cómo las actividades humanas pueden alterarlas. Mantener las mejores condiciones físicas del suelo es fundamental (Rucks et al., 2004).

B. Densidad aparente

Según (Rubio, 2010) La densidad aparente del suelo se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen, incluyendo los espacios porosos. Se mide extrayendo una muestra de suelo de volumen conocido, secándola en el horno a 105°C hasta que alcanza un peso constante y luego dividiendo el peso seco entre el volumen original en el campo:

$$Da. = \frac{\text{Peso de los sólidos de la muestra o Peso seco}}{\text{Volúmen de los sólidos} + \text{Volúmen de los poros}}$$

Da. (g cm⁻³ o Mg/m⁻³)

Según (Flores & Alcalá, 2010) Los valores de densidad aparente considerados altos varían según la textura del suelo: más de 1.3 Mg m⁻³ para suelos arcillosos, 1.4 Mg m⁻³ para suelos de textura media y 1.6 Mg m⁻³ para suelos arenosos. La densidad aparente tiende a aumentar con la profundidad del suelo debido a la menor presencia de materia orgánica, lo que resulta en una menor agregación y una mayor compactación.

Tipo de horizonte	Densidad aparente (Mg m⁻³)
Horizontes arenosos	1.45 – 1.60
Horizontes arcillosos con estructura	1.05 – 1.10
Horizontes compactos	1.90 – 1.95
Horizontes de suelos volcánicos	0.85
Horizontes turbosos	0.25
Valor medio	1.35

Los valores de densidad aparente suelen incrementarse con la profundidad del suelo debido a la disminución de la actividad biológica presente en el horizonte A. (Burga, 2019).

Tabla 1. Densidad aparente según tipo de suelo

Tipo de suelo	Densidad aparente (g cm⁻³)
De rocas y minerales	2,65
Arenosos	1,7 – 1,9
Francos	1,0 – 1,3
Ricos en humus	0,8 – 0,9

Fuente: Donoso (1992), citado por Araucaria (2005).

Tabla 2. Densidad aparente según el tipo de suelo

Tipo de suelo	Densidad aparente (g cm ⁻³)
Orgánicos y volcánicos	< 1,0
Arcillosos	1,0 – 1,19
Francos	1,20 – 1.32
Arenosos	> 1,32

Fuente: Gonzáles (2015).

C. Materia orgánica del suelo

(Grand & Michel, 2020) La materia orgánica del suelo (MOS) es esencial para sus funciones vitales, como la producción de alimentos, la purificación del agua y la regulación del clima. Compuesta principalmente por carbono, la MOS, derivada de la actividad fotosintética de las plantas, representa alrededor del 58% del suelo. Aunque constituye solo una pequeña proporción del suelo, entre el 1 y el 6%, la MOS influye significativamente en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, siendo crucial no solo para la salud del suelo y la agricultura, sino también para el medio ambiente y la sociedad en general.

Por otra parte (Docampo, 2013) La determinación precisa de la materia orgánica del suelo (MOS) presenta desafíos debido a su diversidad de componentes, que incluyen carbono, nitrógeno, fósforo, entre otros. Por esta razón, se enfoca en métodos para medir el carbono orgánico del suelo (COS) y estimar la MOS mediante factores de conversión. Dada la variabilidad entre suelos y métodos analíticos, se informa comúnmente el valor de COS sin transformación, especialmente en el contexto actual de preocupaciones sobre el cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero.

D. El Carbono

El carbono, fundamental para la vida y la evolución, es un elemento presente en una variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos. Aunque

constituye una pequeña parte de la Tierra, es ampliamente distribuido en el mundo vegetal y animal. En su forma inorgánica, se encuentra en carbonatos como el mármol, y en su forma gaseosa, como dióxido de carbono en la atmósfera terrestre y en cuerpos celestes como el Sol, estrellas y cometas (Fundación Polar, 2015).

E. Carbono orgánico del suelo

(Docampo, 2013) El contenido de carbono en el suelo está determinado por la interacción entre la entrada de carbono orgánico y la liberación de CO₂ por la actividad microbiana. Factores como el tipo de suelo, clima, composición mineral, topografía y biota del suelo influyen en la cantidad y distribución del carbono orgánico del suelo (COS). Algunos son inherentes al suelo, otros son influenciados por el clima y las prácticas de manejo. El potencial de carbono del suelo se ve afectado por factores como la cantidad de arcilla, profundidad y densidad del suelo, y la vegetación, mientras que las prácticas de manejo no alteran este potencial total de carbono.

(Léfevre et al., 2017) El secuestro de carbono orgánico del suelo implica la fijación del carbono desde la atmósfera por las plantas y su almacenamiento en el suelo. Este proceso incluye la fotosíntesis de las plantas para extraer CO₂ del aire, la transferencia de carbono a la biomasa vegetal y finalmente su almacenamiento en el suelo como carbono orgánico. El carbono almacenado en esta forma es parte de una reserva más activa que se descompone fácilmente por la fauna del suelo, liberando CO₂ a la atmósfera.

Según (FAO, 2016) La pérdida de carbono orgánico del suelo afecta su fertilidad y su capacidad de regular el clima. En el primer metro de suelo se almacenan aproximadamente 1 417 billones de toneladas de carbono orgánico, y alrededor de 2 500 billones de toneladas a dos metros de profundidad. Desde 1850, se estima que se han perdido globalmente

alrededor de 66 billones de toneladas de carbono orgánico, principalmente debido al cambio en el uso del suelo. Es importante destacar que hay más carbono orgánico en el suelo que en la vegetación y la atmósfera juntas.

F. Carbono en los sistemas agrícolas

(Léfevre et al., 2017) El secuestro de carbono orgánico del suelo se reconoce como una medida importante para mitigar y adaptarse al cambio climático. Sin embargo, se pasa por alto que el carbono orgánico del suelo desempeña un papel igualmente crucial en la seguridad alimentaria. Mejorar la productividad del suelo, aumentar la capacidad de retención de agua y nutrientes, y mejorar la estructura del suelo son formas de garantizar altos rendimientos y condiciones de crecimiento óptimas para las plantas. El cambio climático representa una amenaza significativa para la seguridad alimentaria, con proyecciones de un aumento de temperatura que podrían tener repercusiones devastadoras. Esto plantea desafíos importantes para el sector agrícola en su esfuerzo por satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos. La seguridad alimentaria se ve afectada en varias dimensiones debido al cambio climático:

- Disponibilidad de alimento
- Accesibilidad al alimento
- Estabilidad en el suministro de alimento
- Capacidad de los consumidores para utilizar adecuadamente el alimento (seguridad alimentaria y nutrición).

Según (Samayoa, 2011) El secuestro de carbono implica la captura de CO₂ de la atmósfera por las raíces y la fotosíntesis de la vegetación, almacenando este carbono en árboles y plantas. Además, la descomposición de materiales orgánicos incrementa la cantidad de carbono

almacenado en el suelo, superando la cantidad total presente en la vegetación y la atmósfera.

G. Bonos de carbono

(Samayoa, 2011) El mercado de carbono surge en 2005 tras la ratificación del Protocolo de Kyoto por países desarrollados, comprometidos a reducir GEI en un 5.2% respecto a 1990. Los países en vías de desarrollo pueden contribuir voluntariamente. El Protocolo establece tres mecanismos: cuotas para países desarrollados y proyectos para países en desarrollo y economías en transición, a través del MDL y el Mecanismo de Implementación Conjunta, respectivamente.

Tipos de proyectos para bonos de carbono

(Samayoa, 2011) En el mercado de carbono, se pueden llevar a cabo dos tipos de proyectos de pequeña escala para generar bonos de carbono: reducción de emisiones en la fuente y captura o secuestro de carbono. Los proyectos de reducción en la fuente son ideales para PYMEs que buscan implementar energías renovables y eficiencia energética. Por otro lado, los proyectos de secuestro de carbono son recomendables para productores agroforestales organizados que se dedican a actividades agrícolas, forestales y otros usos del suelo.

H. Bono de carbono en el Perú

(Rumbo Minero, 2011) La demanda mundial de bonos de carbono supera los US\$ 120 mil millones, y Perú tiene la capacidad de emitir alrededor de US\$ 2,000 millones hasta 2012, principalmente debido a su potencial en industrias extractivas que buscan operar de manera más sostenible. El país cuenta con vastas extensiones de bosques y está comprometido con la conservación de millones de hectáreas a través de programas específicos. El mercado de carbono en Perú ofrece oportunidades comerciales basadas en la reducción de emisiones y el

desarrollo de proyectos de energía renovable, lo que conlleva beneficios financieros adicionales y fortalece la competitividad empresarial y la sostenibilidad ambiental. Como resultado, Perú ha escalado al sexto lugar como proveedor de Reducciones Certificadas de Emisiones (CER's).

2.3. Definición de términos básicos

El secuestro de carbono orgánico del suelo: se reconoce como una medida importante para mitigar y adaptarse al cambio climático. Sin embargo, se pasa por alto que el carbono orgánico del suelo desempeña un papel igualmente crucial en la seguridad alimentaria. Mejorar la productividad del suelo, aumentar la capacidad de retención de agua y nutrientes, y mejorar la estructura del suelo son formas de garantizar altos rendimientos y condiciones de crecimiento óptimas para las plantas. (Léfevre et al., 2017).

El contenido de carbono en el suelo: está determinado por la interacción entre la entrada de carbono orgánico y la liberación de CO₂ por la actividad microbiana. Factores como el tipo de suelo, clima, composición mineral, topografía y biota del suelo influyen en la cantidad y distribución del carbono orgánico del suelo (COS). Algunos son inherentes al suelo, otros son influenciados por el clima y las prácticas de manejo. El potencial de carbono del suelo se ve afectado por factores como la cantidad de arcilla, profundidad y densidad del suelo, y la vegetación, mientras que las prácticas de manejo no alteran este potencial total de carbono. (Docampo, 2013).

La densidad aparente del suelo se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen, incluyendo los espacios porosos. Se mide extrayendo una muestra de suelo de volumen conocido, secándola en el horno a 105°C hasta que alcanza un peso constante y luego dividiendo el peso seco entre el volumen original en el campo (Rubio, 2010).

La Edafología: estudia el suelo como un ente natural organizado e independiente, influenciado por factores como el clima, los organismos, el

relieve y el tiempo. El suelo es un sistema abierto que almacena temporalmente recursos vitales para los seres vivos, como agua, energía y nutrientes minerales. La disponibilidad de estos recursos depende de la intensidad y velocidad de los procesos de intercambio entre el suelo y otros compartimentos de los sistemas ecológicos. (Jordán, 2005).

2.4. Formulación de la hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- La inclusión de sombra de plátano (*Musa paradisiaca*) en los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) en el distrito de Oxapampa, Pasco - Perú, aumenta la concentración de carbono orgánico en el suelo.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La densidad aparente del suelo en los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco – Perú, es de 1.4 g/cm³.
- La concentración de carbono orgánico en el suelo de los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco – Perú, es de 25 t/ha.
- Los suelos de los sistemas de producción de café (*Coffea arábica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*) presentan características físico-químicas más favorables (como mayor contenido de materia orgánica, mejor capacidad de retención de agua y nutrientes).

2.5. Identificación de variables

Variable 1 Cuantificación del carbono orgánico del suelo.

Variable 2 Concentración del carbono orgánico del suelo.

- Densidad aparente del suelo
- Profundidad del suelo.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

VARIABLES	PARAMETROS	DEFINICIÓN		INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
		CONCEPTUAL	OPERACIONAL		
VARIABLE 1	Cuantificación de carbono orgánico en el suelo en los sistemas de producción de café (Coffea arábica)	Comprende el carbono orgánico en los suelos minerales y orgánicos a una profundidad específica seleccionada.	Promedio de toneladas métricas de carbono por hectárea	Producción de café kg/ha	(Tn/ha)
	Concentración de carbono orgánico en el suelo	El carbono orgánico del suelo (COS) es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos.	Concentración de carbono orgánico del suelo para una determinada masa de suelo obtenida del análisis de laboratorio	Concentración de carbono orgánico del suelo	(g C /kg de suelo)
	Densidad aparente	Se define como la masa de suelo por unidad de volumen.	Masa de suelo por unidad de volumen.	Masa de suelo por volumen de muestra	(t de suelo m3)
VARIABLE 2	Profundidad del suelo	Profundidad del horizonte o espesor de la capa de suelo.	Profundidad del horizonte.	(1-10,10-20,20-30)	Centímetros

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Según su aplicación es investigación Aplicada por resolver problemas en la práctica para satisfacer las necesidades de la sociedad. Según su naturaleza o profundidad es una investigación correlacional que mide variables.

3.2. Nivel de investigación

El trabajo de investigación pertenece al nivel de descriptivo-explicativo, correlacional.

3.3. Método de investigación

La investigación se enmarca dentro del método de investigación cuantitativa.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es: No experimental – Transversal.

- No experimental: No manipula variables, sino que observa sistemas existentes (café-plátano) en condiciones naturales.
- Transversal: Los datos se recolectan en un único período (campaña agrícola 2024), analizando el estado actual del COS en Oxapampa.

3.5. Población y muestra

Población

La población está compuesta por 9 parcelas en 1.2 hectáreas.

Muestra

La muestra estuvo constituida por 30 subparcelas.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizó la técnica del barreno para recolectar muestras de suelo hasta una profundidad mínima de 30 cm, dividida en tres horizontes (1-10, 10-20, 20-30 cm). Se tomarán nueve muestras de suelo para cada profundidad (1-10, 10-20, 20-30 cm) y tres muestras para densidad aparente en total (una por profundidad) utilizando el barreno o una pala recta. Estas muestras se colocarán individualmente en recipientes y se extraerá un kilogramo de cada muestra para ser depositado en un saco y enviado al laboratorio (30 kg en total). Se realizará la recolección con cuidado para evitar la pérdida de material.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La validación del método de cuantificación de materia orgánica propuesto por Walkley-Black se realizó mediante determinaciones estadísticas de linealidad, precisión, límite de detección (LOD), límite de cuantificación (LOQ) y exactitud. Se llevó a cabo en el laboratorio de suelos y tejido foliar del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). Los resultados mostraron un rango de trabajo lineal entre 0.363% y 5.081% de materia orgánica (MO), con un coeficiente de determinación r^2 de 0.9969. La precisión se evaluó en términos de repetibilidad y reproducibilidad, con valores de 0.1411% y 0.0446% de MO, respectivamente. El LOD fue de 0.064% de MO, mientras que el LOQ fue de 0.2120% de MO. La exactitud se determinó mediante porcentajes de recuperación al 50% y al 100%, obteniéndose un 97% y un porcentaje igual al 100%, respectivamente.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de datos, se empleará el método de Walkley-Black, conocido por su eficacia y por no requerir equipos complejos. Sin embargo, este método no considera el conteo de carbonatos. El cálculo del stock de carbono orgánico del suelo se realiza a partir de la densidad aparente y el porcentaje de carbono orgánico en las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm, utilizando una ecuación específica:

$$COS = [CO] * DA * E * (1 - (FG / 100))$$

Donde:

- COS es el stock de carbono orgánico del suelo (t C ha⁻¹),
- CO es la concentración de carbono orgánico de suelo (%)
- DA es la densidad aparente (g cm⁻³)
- E es el espesor de la capa a analizar (30 cm)
- FG es el porcentaje ocupado por fragmentos de roca en los primeros 30 cm del perfil.

3.9. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico de la tesis incluye la operacionalización de variables, que consiste en definir conceptualmente lo que se desea conocer sobre el objeto de investigación. Las variables son símbolos que representan distintos estados o aspectos de la realidad estudiada, donde cada estado específico se refleja en los valores de las variables.

3.10. Orientación ética

La presente tesis se adhiere al principio de honestidad científica, el cual se manifiesta mediante diversas conductas que deben seguir los investigadores, estudiantes, autoridades y personal administrativo involucrados en actividades de investigación en la UNDAC:

- a) Deben ser transparentes al reconocer las fuentes de datos, textos, imágenes, figuras y logotipos utilizados en cualquier material de difusión que

produzcan, ya sea en forma física o virtual.

- b) No deben apropiarse de ideas o información de otros colegas durante la evaluación de artículos científicos o proyectos de investigación.
- c) No deben reproducir sustancialmente creaciones intelectuales o artísticas de otros, ya sea mediante copia literal, parafraseo o síntesis, sin respetar los derechos de autor, incluso en el caso de traducciones.
- d) Se abstendrán de mentir o manipular información para obtener ventajas.
- e) No deben destruir deliberadamente la propiedad intelectual de sus colegas.
- f) Si tienen conocimiento directo de actividades de plagio por parte de un colega, deben advertirle y proponer medidas correctivas. Si los intentos de cambiar el comportamiento no tienen éxito, deben utilizar las directrices institucionales y exponer dicha conducta de manera ética y profesional.

Se informaron continuamente sobre los mecanismos de control de plagio y establecieron estrategias para eliminarlo (por ejemplo, a través del uso de software especializado).

No se aceptaron regalos, prestaciones o favores que pudieran influir en las decisiones o acciones.

CAPITULO IV

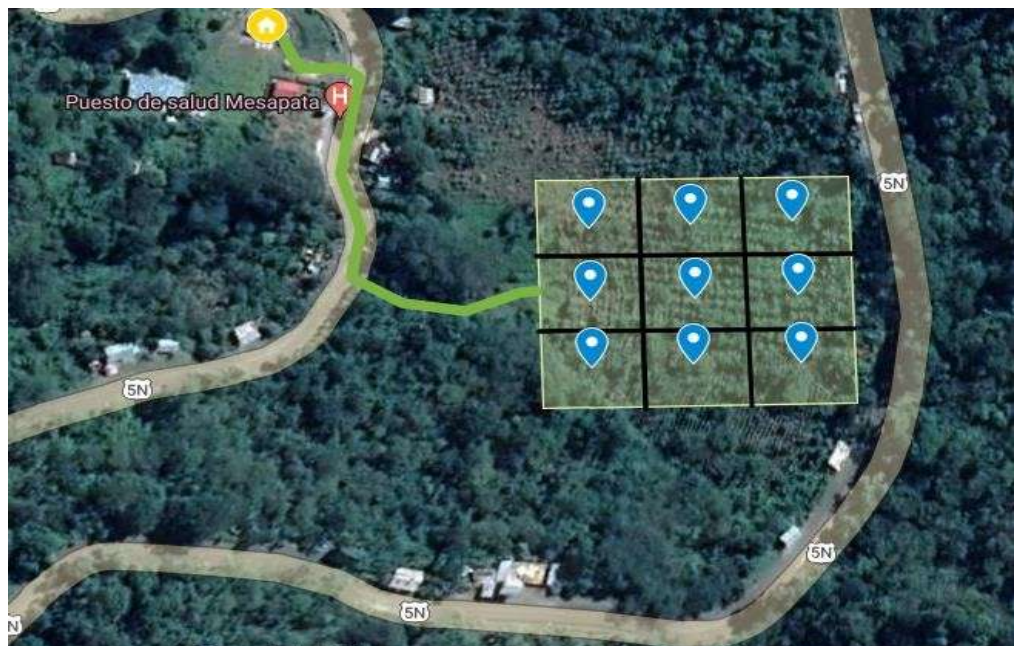
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Lugar de ejecución

El estudio se llevó a cabo en el sector de Mesapata, en el distrito de Oxapampa, provincia de Oxapampa, departamento de Pasco.

Figura 1. Zona de estudio



La región tiene un clima húmedo y semi cálido, con temperaturas medias anuales que oscilan entre 13 °C y 20 °C, y una precipitación pluvial que varía de

1500 a 2500 mm. La topografía es variada, con pendientes, llanuras y zonas boscosas. Las coordenadas UTM de Mesapata son 460426 (Este) y 8811301 (Norte). El área de estudio se encuentra en una zona que va desde húmeda hasta seca, con suelos que tienen pendientes de más de 30°, pH moderadamente ácido (5.1 - 6.5), alta materia orgánica, y un perfil A (B) C, con una superficie efectiva superficial y un drenaje medio.

El café con sombra de plátano tiene una extensión aproximada de 1.2 hectáreas, se encuentra a una altitud de 1201 msnm y como punto de referencia se ubica en las coordenadas UTM 460596 (Este) y 8811134 (Norte). En cuanto a la caracterización encontramos un total de 4500 plantas de café y unas 600 plantas de plátano, con un terreno homogéneo en pendiente menor a 30°, con un suelo franco arcilloso de mismas características edáficas.

Materiales y equipos

Materiales de campo

- Wincha de 50 m
- Palana derecha
- Chafle o machete
- Espátula
- Cinta Masking
- Cuaderno de campo
- Etiquetas
- Tableros
- Bolsas de polietileno
- Plumón indeleble
- Sacos de nylon

Materiales de escritorio

- Libreta de campo
- Lápiz

- Reglas
- Lapiceros
- Papel bond 75 gr.
- Resaltador
- USB
- Plumón indeleble
- Tijeras

Equipos

- Computadora (Laptop)
- Cámara fotográfica digital
- Balanza analítica
- Receptor GPS

Metodología

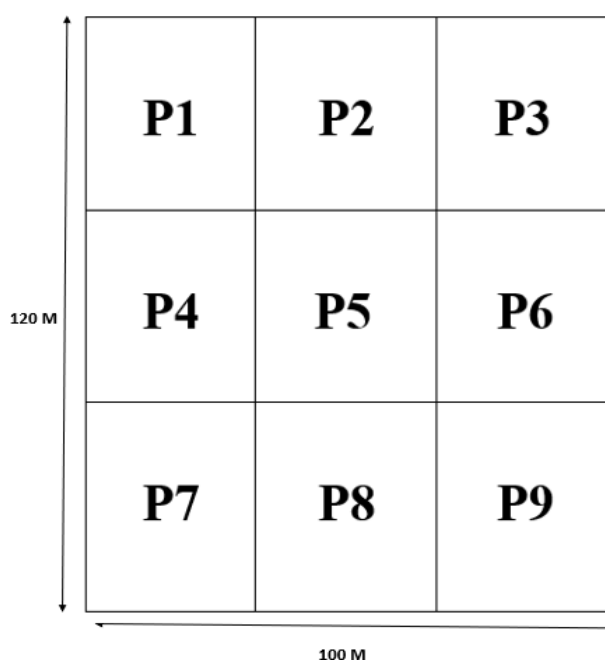
A. Fase de campo

La metodología aplicada a la presente investigación fue tomada de la Guía para la determinación de carbono en pequeñas parcelas rurales del Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consorcio Iniciativa Amazónica (IA)

B. Diseño de muestreo

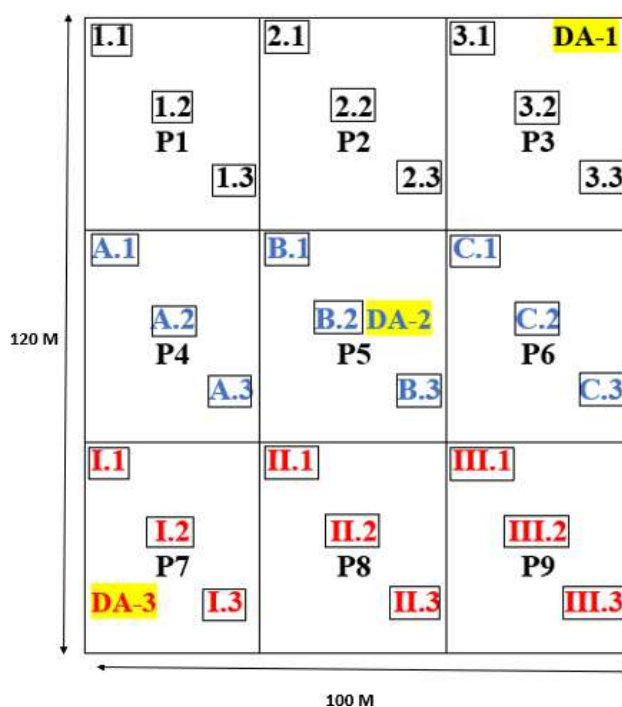
Para el levantamiento de información en campo se establecieron 9 parcelas dentro de 1.200 hectáreas de café con sombra de plátano. Las parcelas fueron rectangulares de 40 m x 33 m. Para instalar las parcelas se empezó por la parcela lateral izquierda arriba (P1), luego para la derecha y finalmente la parcela inferior (P9) como se muestra en la figura.

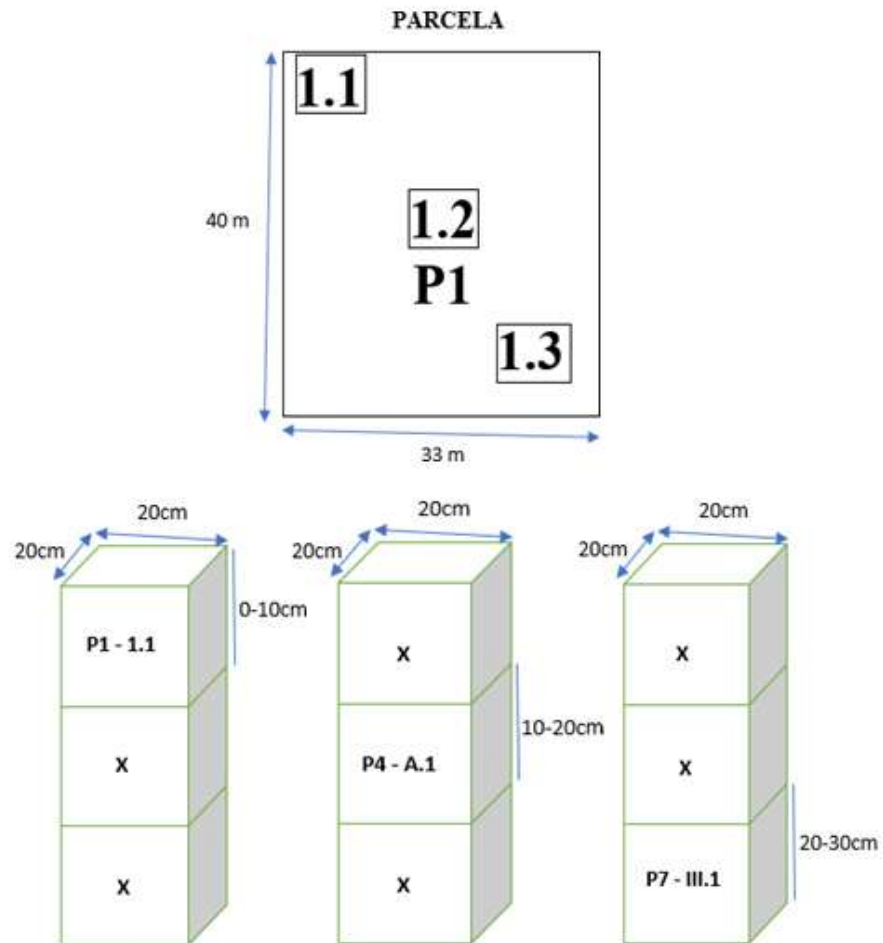
Figura 2. Parcelas para muestreo.



Para el muestreo del suelo se establecieron tres semi - calicatas cuadradas de 20 x 20 cm cada una, distribuidas de forma diagonal de la parcela de 40 x 33 m. En estas semi - calicatas se tomaron las muestras de suelo a una profundidad: 1 - 10 cm (P1-P2-P3), 10 – 20 cm (P4-P5-P6) y 20 – 30 cm (P7-P8-P9) de profundidad. (ver Figura)

Figura 3. Parcelas y semi calicatas según parcelas





C. Levantamiento de datos en las parcelas

Dentro del cafetal con sombra de plátano de extensiones 1.200 ha se delimitaron las 09 parcelas a estudio utilizando rafia y estacas. Cada parcela fue georreferenciada en su punto central con el GPS en el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), donde se tomaron 03 muestras de manera diagonal por parcela de acuerdo a profundidad del suelo; 1 – 10 cm (P1-P2-P3), 10 – 20 cm (P4-P5-P6) y 20 – 30 cm (P7-P8-P9) y 01 muestra de densidad (D1, D2, D3) aparente por profundidad de suelo.

Figura 4. Levantamiento de datos en las parcelas



D. Obtención de muestras para determinar carbono orgánico en el suelo

Dentro del cafetal con sombra de plátano de extensiones 1.200 ha se delimitaron las 09 parcelas a estudio utilizando rafia y estacas. Cada parcela fue georreferenciada en su punto central con el GPS en el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), donde se tomaron 03 muestras de manera diagonal por parcela de acuerdo a profundidad del suelo; 1 – 10 cm (P1-P2-P3), 10 – 20 cm (P4-P5-P6) y 20 – 30 cm (P7-P8-P9) y 01 muestra de densidad (D1, D2, D3) aparente por profundidad de suelo.

Figura 5. Obtención de muestras para determinar carbono orgánico del suelo



Figura 6. Muestras listas para determinar carbono orgánico del suelo



E. Obtención de muestras para determinar densidad aparente del suelo

Las muestras para la densidad aparente se obtuvieron 01 por profundidad de suelo (1- 10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm); y se sacó de manera diagonal del terreno (P3-P5-P7). Se obtuvo 03 muestras con la misma metodología del cilindro (Andrade & Ibrahim, 2003), usada por profundidad;

las muestras fueron depositados en bolsas de polietileno con su respectiva etiqueta de campo con un aproximado de 2 kilogramos por muestra (muestra húmeda).

Estas muestras fueron llevadas a peso constante, secando en horno a una temperatura de 105 °C en el Laboratorio, de cada capa por profundidad se recolectaron 1 muestra para densidad aparente, la cual fue estimada mediante la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{P_{ss}}{V_c}$$

Donde

- Da es la densidad aparente expresada en g·cm⁻³,
- Pss es el peso de suelo seco en g
- Vc es el volumen de cilindro de suelo.

Con base en el porcentaje de carbono orgánico y la densidad aparente se estimó la cantidad almacenada de carbono orgánico en el suelo con la metodología propuesta por Andrade & Ibrahim (2003).

$$COS = Ps \cdot Da \cdot Co$$

Donde

- COS es carbono orgánico de suelos (t·ha⁻¹)
- Ps es la profundidad del suelo (cm)
- DA es la densidad aparente (g·cm⁻³)
- CO es la concentración de carbono orgánico en suelos (%)

A. Obtención de la producción de café kg/ha

Dentro del cafetal con sombra de plátano de extensiones 1.200 ha se delimitaron las 09 parcelas a estudio; donde se determinó el kilogramo (kg) de café en grano verde de cada parcela, dando un total de 514 kilogramos.

Tabla 3. Kilogramos cafés (Grano verde)

Parcelas	Kilogramos de café (Grano verde)
P1	53.0 kg.
P2	54.5 kg.
P3	54.0 kg.
P4	60.0 kg.
P5	62.0 kg.
P6	64.0 kg.
P7	54.0 kg.
P8	53.5 kg.
P9	59.0 kg

B. Procesamiento de muestras antes del laboratorio

Las muestras obtenidas de la parcela que en este caso están húmedas y tienen un peso de 2 kilogramos por muestra, se procedió a realizar un secado a temperatura ambiente bajo sombra por un periodo de 24 a 48 horas.

Posteriormente se realizó el tamizado de las mismas, el pesado de 1 kilogramo por muestra, y su posterior etiquetado para enviar al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Figura 7. Procesamiento de las muestras antes de ser enviadas al laboratorio



4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Análisis descriptivo

Se realizó el análisis descriptivo según los objetivos planteados en la investigación cuyos resultados se muestran a continuación.

A. Concentración de carbono en el suelo de los sistemas de producción de café con sombra de plátano.

Tabla 4. Análisis descriptivo para la concentración del carbono en el suelo

Profundidad	Variable	Media	D.E.	CV	Mín.	Máx.	Asimetría
P1	C %	2.26	0.67	0.30	1.49	3.51	0.83
P2	C %	1.69	0.64	0.38	0.89	2.66	0.28
P3	C %	0.99	0.48	0.49	0.32	2.06	1.23

El promedio para la concentración del carbono en el suelo (%), los resultados demuestran que a una profundidad de 1-10 cm, el promedio de la concentración de carbono en el suelo es de 2,26 %, los datos recopilados indican una mínima de 1,49 % a 3,51 %. El menor porcentaje de carbono (0,99 %) es detectado a una profundidad de 20 a 30 cm de suelo; registrándose promedios mínimos de 0,32 % a 2,06 %. Según los coeficientes de variación (CV) se

aprecia que los valores de los tratamientos se encuentran agrupados muy cercanos con respecto a la media y este a su vez a la desviación estándar; según los coeficientes de asimetría, los valores observados para los tratamientos tienden a concentrarse a la derecha de la curva de distribución.

Análisis inferencial

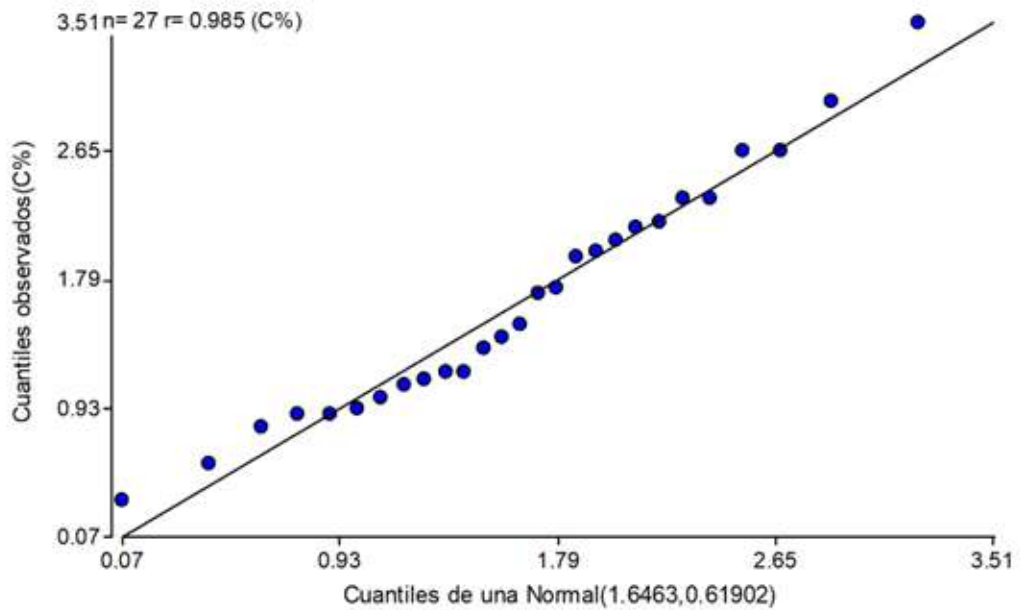
Se evaluó la normalidad de las variables estudiadas mediante la prueba de Shapiro- Wilks modificada. Aquellas que demostraron normalidad fueron sometidas a análisis de varianza, mientras que las que no siguieron una distribución normal fueron transformadas angularmente o mediante arcoseno, como en el caso del porcentaje de carbono orgánico del suelo (Steel & Torrie, 1997). Además, se realizaron pruebas de comparación de medias de Duncan para detectar posibles diferencias estadísticas entre las diversas profundidades del suelo y las variables analizadas. Se llevó a cabo un análisis de correlación para explorar la relación entre el almacenamiento de carbono, la densidad aparente y el porcentaje de carbono orgánico en el suelo. Por último, se empleó un análisis de regresión para identificar relaciones matemáticas entre la densidad aparente y el porcentaje de carbono orgánico del suelo. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat.

Tabla 5. Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas - Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	P (Unilateral D)
C%	27	1.65	0.79	0.95	0.5676
RDUO C%	27	0.00	0.79	0.95	0.4237

Los resultados demuestran que todos los promedios de p-valor son mayores a 0,05, por lo tanto, se asume que los datos obtenidos en nuestro estudio siguen una distribución normal, el mismo que es demostrado en la bondad de ajuste de la prueba Q-Q plot.

Figura 8. Prueba de cuantiles observados



Densidad aparente en la cuantificación de carbono orgánico en los sistemas de producción de café con sombra de plátano.

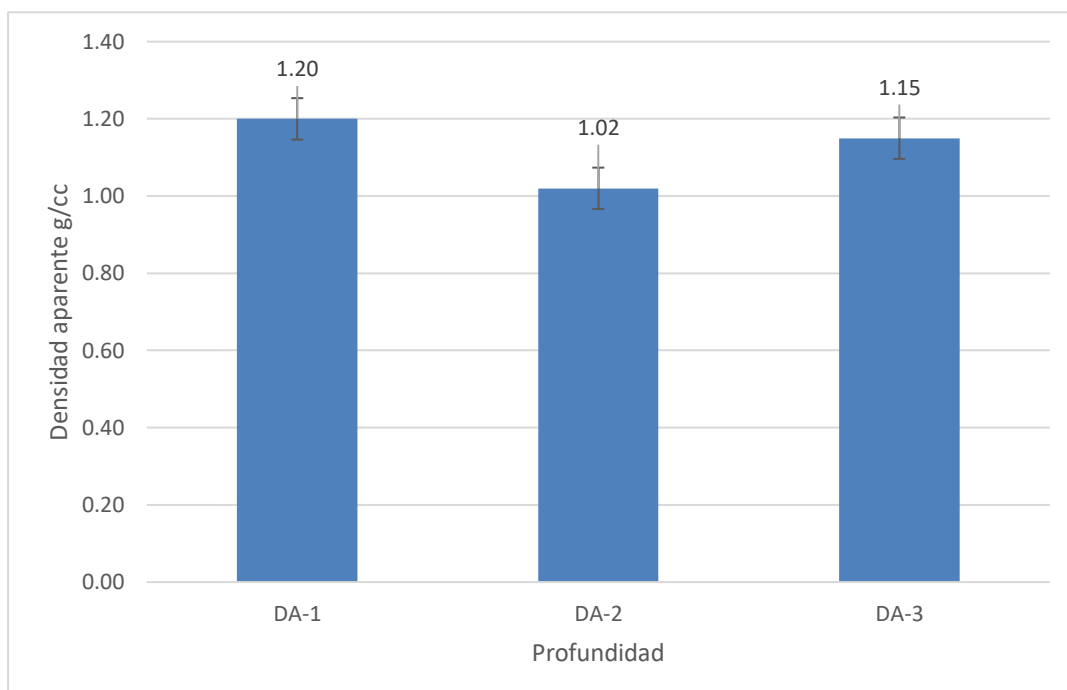
Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) revelan diferencias significativas ($p < 0.0001$) en la densidad aparente del suelo entre las diferentes profundidades (1-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm) en sistemas de producción de café con sombra de plátano. La densidad aparente del suelo se refiere a la cantidad de materia sólida presente en el suelo por unidad de volumen total.

Observamos que la densidad aparente del suelo a una profundidad de 1-10 cm fue de 1,20 g/cc³, lo que fue estadísticamente superior en promedio a las otras profundidades. Esto sugiere una mayor compactación o densidad de partículas en la capa superficial del suelo. La siguiente densidad más alta fue registrada a una profundidad de 20-30 cm, con un valor de 1,15 g/cc³, mientras que la menor densidad se encontró a una profundidad de 10-20 cm, con un valor de 1,02 g/cc³.

Estas diferencias en la densidad aparente del suelo entre las diferentes profundidades pueden atribuirse a una variedad de factores interrelacionados. La compactación del suelo puede variar con la profundidad, siendo las capas

superficiales más propensas a una mayor compactación debido a la actividad agrícola y al tráfico de maquinaria. Además, el contenido de materia orgánica puede influir en la estructura y porosidad del suelo, afectando su densidad aparente. Los procesos de erosión y sedimentación también pueden desempeñar un papel, alterando la distribución de materiales en el suelo a diferentes profundidades. Por último, las características naturales del suelo, como la textura y composición mineral, pueden contribuir a las variaciones en la densidad aparente. Estos factores interactúan de manera compleja para determinar la densidad aparente del suelo en diferentes profundidades.

Figura 9. Densidad aparente en la cuantificación de carbono orgánico en los sistemas de producción de café.



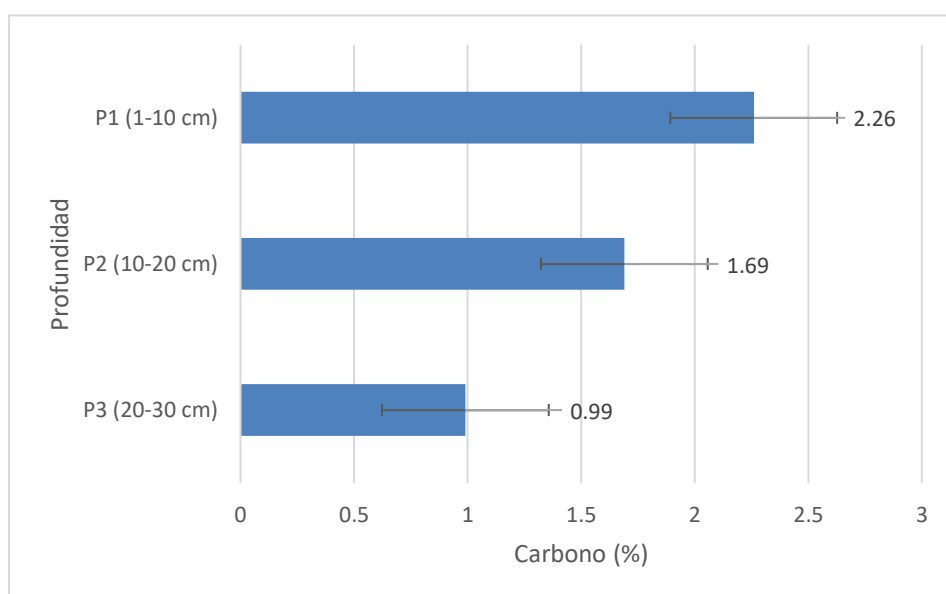
Densidad aparente (a) en suelos a distintas profundidades en sistemas de producción de café. Las barras de error corresponden al error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

Concentración de carbono en el suelo de los sistemas de producción de café con sombra de plátano.

El carbono orgánico del suelo se encontró a concentraciones que variaron entre 0,99% y 2,26% en estos suelos cafeteros. Esto indica que los suelos estudiados tienen un contenido moderado de carbono orgánico, lo cual es importante para la salud y la fertilidad del suelo, así como para la retención de nutrientes y la capacidad de retención de agua.

El análisis estadístico realizado (ANOVA), no mostró un impacto o diferencia significativos en los porcentajes de carbono entre las diferentes profundidades del suelo. Esto se indica mediante el valor p de 0,9875, que es mayor que el nivel de significancia típicamente utilizado (0,05). Además, el valor de F (0,01) es bajo, lo que sugiere que la variabilidad entre las medias de las diferentes profundidades no es significativa en comparación con la variabilidad dentro de cada profundidad. Los grados de libertad (gl) para el análisis son 26, lo que indica el número de muestras menos uno que fueron enviados al laboratorio para el análisis respectivo.

Figura 10. Profundidad de carbono orgánico almacenado en suelos



Aunque no se encontraron diferencias significativas en los porcentajes de carbono entre las diferentes profundidades del suelo, es importante destacar que la mayor acumulación de carbono se encontró en la profundidad de 1-10 cm. Esto sugiere que esta capa superficial del suelo puede ser especialmente

importante para la acumulación y retención de carbono orgánico. Esta acumulación puede deberse a una mayor actividad biológica y aportes de materia orgánica en esta capa, como resultado de la descomposición de residuos vegetales y otros materiales orgánicos.

Carbono orgánico almacenado en suelos a profundidades distintas en sistemas de producción de café. Las barras de error corresponden al error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

La información dada de la concentración de carbono fue trasladado a concentraciones de carbono por hectárea desde los datos en la tabla 3 y a través de la fórmula:

$$COS = \%CO * DA * Tx * (1 - FG)$$

Donde:

- (%CO) es el contenido de carbono orgánico para un tipo de suelo específico (en % de peso seco), que se determinó mediante cálculos matemáticos;
- (DA) es la Densidad Aparente del suelo (g/cm³), un factor crucial que describe el peso de una muestra de suelo inalterado – los suelos pueden tener densidades que oscilan entre el 0,1 en las turbas ligeras y el 1,8 en los suelos minerales muy densos y compactos. La materia orgánica es más ligera que la materia mineral, por lo que, si aumenta el contenido de materia orgánica en un suelo, la densidad disminuirá de forma correspondiente;
- (Tx) es el espesor de la capa del suelo expresado en términos de metros de profundidad (T1=1 – 10 cm; T2=10 – 20 cm; T3=20 – 30 cm);
- (FG) es el contenido de fragmentos gruesos (y / o hielo) en el suelo (% en peso seco);
- (COS) normalmente se expresa en toneladas de carbono (tC), gigatoneladas (Gt = 1 billón - mil de millones- de toneladas) o teragramos (Tg = 1 millón de toneladas), o petagramos (Pg = 1 billón de toneladas)

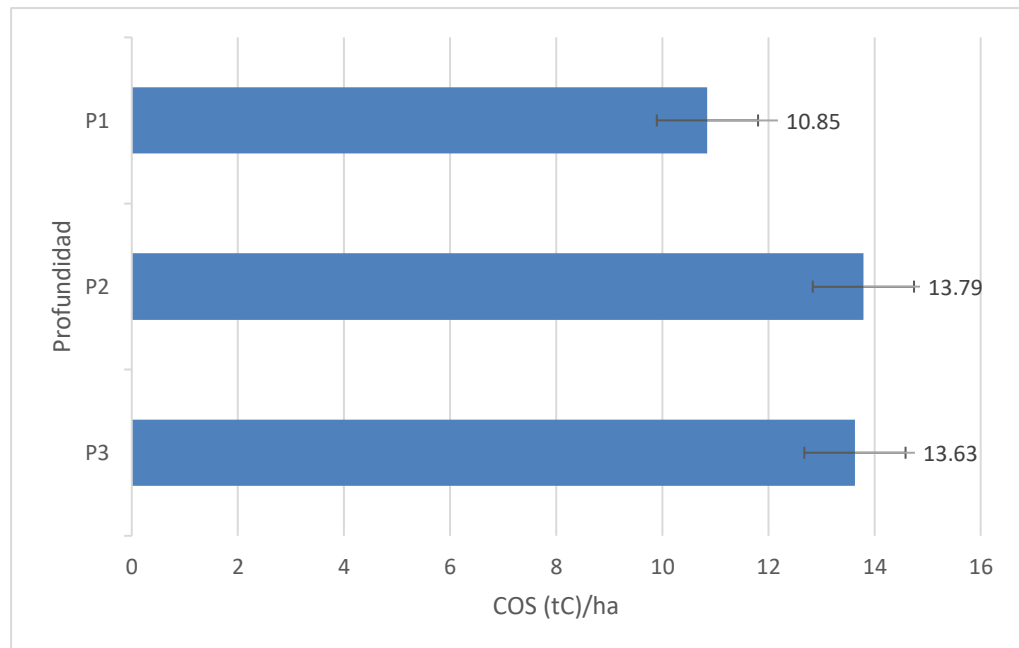
La concentración del carbono orgánico del suelo en toneladas métricas por hectárea (COS (tC)/ha) varía entre 10,85 y 13,79 COS (tC)/ha en estos suelos cafeteros.

El análisis estadístico realizado mediante ANOVA no mostró diferencias significativas en las concentraciones de carbono entre las diferentes profundidades del suelo. Esto se evidencia a través del valor p obtenido de 0,4213, que supera el nivel de significancia típicamente utilizado (0,05). Además, el valor de F obtenido de 0,90 es bajo, lo que sugiere que la variabilidad entre las medias de las diferentes profundidades no es significativa en comparación con la variabilidad dentro de cada profundidad. Los grados de libertad (gl) para el análisis son 26, indicando el número de muestras menos uno que fueron enviadas al laboratorio para el análisis respectivo.

Aunque no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de carbono entre las diferentes profundidades del suelo, es importante resaltar que la mayor acumulación de carbono se encontró en la profundidad de 10-20 cm, con una concentración de 13,79 COS (tC)/ha. La profundidad de 20-30 cm mostró una concentración de 13,63 COS (tC)/ha. La concentración más baja se registró en la profundidad de 1-10 cm, con 10,85 COS (tC)/ha.

Carbono orgánico almacenado en suelos a profundidades distintas en sistemas de producción de café. Las barras de error corresponden al error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$)

Figura 11. Carbono orgánico almacenado en suelos a profundidades distintas en sistemas de producción de café



Características físico químicas del suelo de 1 – 30 cm de profundidad

Según los resultados del análisis de suelo, el pH (1.1), indica la acidez o alcalinidad del suelo. En este caso, el pH es 7.58, lo que sugiere un suelo ligeramente alcalino, en tanto la Conductividad Eléctrica (C.E) es una medida de la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica, lo que está relacionado con la concentración de sales disueltas en el suelo. Aquí, es 0.34 Ds/m, indica una baja conductividad eléctrica y sugiere una baja concentración de sales disueltas. El CaCO_3 % representa el porcentaje de carbonato de calcio en el suelo. En este caso, es 0.72%, siendo de una presencia moderada de carbonato de calcio en este tipo de suelo.

La M.O %, es el porcentaje de materia orgánica en el suelo. Aquí, es 1.88%, lo que indica una cantidad moderada de materia orgánica, en tanto el P ppm, K ppm son los valores que representan la cantidad de fósforo y potasio respectivamente, en partes por millón (ppm). En este caso, el fósforo es 6.0 ppm y el potasio es 162 ppm.

Referido al análisis mecánico, se ha descrito la textura del suelo, es decir, la proporción de arena, limo y arcilla. En este caso, se clasifica como "Fr. Ar" que significa Franco Arcillo Arenoso. En esta oportunidad los resultados indican que el suelo tiene una cantidad significativa de arcilla y arena, con una menor proporción de limo, además se ha visto CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) que es la cantidad total de cationes que un suelo puede retener. El resultado demuestra el 8.80 meq/100g, lo que sugiere una capacidad moderada de retención de nutrientes.

Por último, se ha visto los cationes cambiabiles, interpretándose que la concentración de cationes intercambiabiles en el suelo, como Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} y Na^{+} , son en meq/100g., y la suma de Cationes y Suma de Bases indican la suma total de cationes y bases presentes en el suelo, además de registrarse el % Saturación de bases en el suelo, que en este caso es 100%, lo que sugiere una saturación completa de bases.

Por lo tanto, los suelos del sistema de producción de café bajo sombra de plátano, tiene un pH ligeramente alcalino, una baja conductividad eléctrica, una moderada presencia de carbonato de calcio y materia orgánica, niveles moderados de fósforo y potasio, una textura franca arcillo arenosa, una capacidad moderada de intercambio catiónico y una saturación completa de bases.

Relación entre la densidad aparente y la concentración de carbono orgánico del suelo

Para el cálculo de la correlación de Pearson utilizando los datos proporcionados. Se ha utilizado los valores promedio de concentración de carbono y densidad aparente para cada profundidad. Luego fue determinado el coeficiente de correlación de Pearson utilizando fórmulas matemáticas estándar.

- Concentración de Carbono (%C):

- Media: $(2.26 + 1.69 + 0.99) / 3 = 1.647$
- Densidad Aparente (DA) en g/cm^3 :
- Media: $(1.2 + 1.15 + 1.02) / 3 = 1.1233$
- Coeficiente de correlación $[r \approx 0.9815]$

Por lo tanto, el coeficiente de correlación de Pearson entre la concentración de carbono y la densidad aparente del suelo es aproximadamente 0,9815. Esto indica una correlación muy fuerte y positiva entre estas dos variables, lo que sugiere que a medida que la concentración de carbono aumenta, la densidad aparente del suelo también tiende a aumentar en este conjunto de datos.

4.3. Prueba de hipótesis

Prueba de t para una media

Hipótesis: La densidad aparente del suelo en la cuantificación de carbono orgánico en los sistemas de producción de café (*Coffea arabica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco – Perú, es de 1.4 g/cm^3 .

Tabla 6. Valor de la media bajo la hipótesis nula: 1.4 g/cm^3

Variable	n	Media	D.E.	LI (95)	LS (95)	t	P (Bilateral)
DA g/cm^3	27	1.12	0.08	1.02	1.20	-18.30	<0.0001

La hipótesis nula (H_0) en este caso sería que el promedio de la densidad aparente del suelo de los sistemas de producción de café con sombra de plátano es igual a 1.4 g/cm^3 . La hipótesis alternativa (H_1) sería que el promedio no es igual a 1.4 g/cm^3 .

Esta tabla muestra los resultados de una prueba t para una media, donde la hipótesis nula es que la media poblacional es igual a 1.4 g/cm^3 , el tamaño de la muestra fue de 27 y la media muestral de la densidad aparente es de 1.12 g/cm^3 , con desviación estándar muestral 0.08, además de ser el LI(95) y LS(95)

los límites de confianza del 95%, es decir, el intervalo dentro del cual se esperaba que esté la verdadera media poblacional con un nivel de confianza del 95%. En este caso, el intervalo va desde 1.02 hasta 1.20 g/cm³, además se muestra el valor t calculado para determinar si hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. En este caso, el valor t fue de -18.30, sumado a ello el valor p para una prueba bilateral este caso p es <0.0001, lo que significa que la probabilidad es extremadamente baja.

Entonces, con el valor t extremadamente negativo (-18.30) y el valor p significativamente bajo (<0.0001) se entiende que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, queda demostrado que la media muestral de la densidad aparente del suelo es significativamente diferente de 1.4 g/cm³, dado que el intervalo de confianza del 95% (1.02-1.20 g/cm³) no incluye el valor hipotético de la media (1.4 g/cm³), esto respalda aún más la conclusión de que la media muestral es significativamente diferente de 1.4 g/cm³.

Hipótesis. La concentración de carbono orgánico en el suelo de los sistemas de producción de café (*Coffea arabica*) con sombra de plátano (*Musa paradisiaca*); distrito de Oxapampa, Pasco – Perú, es de 25 t/ha.

Tabla 7. Valor de la media bajo la hipótesis nula: 25 t/ha

Variable	n	Media	D.E.	LI (95)	LS (95)	t	P (Bilateral)
COS (tC)/ha	27	12.76	5.22	4.42	28.43	-12.19	<0.0001

La hipótesis nula (H0) en este caso sería que el promedio de concentración de carbono en el suelo de los sistemas de producción de café con sombra de plátano es igual a 25 t/ha. La hipótesis alternativa (H1) sería que el promedio no es igual a 25 t/ha.

Según los datos proporcionados, el valor de la media observada es de 12.76 t/ha, con una desviación estándar de 5.22. Además, se presenta un

intervalo de confianza del 95% para la media poblacional, que va desde 4.42 hasta 28.43 t/ha. La estadística de prueba (T) es -12.19, y el valor p asociado a esta prueba es menor que 0.0001, lo que indica una significancia estadística muy alta. Dado que el valor p es menor que cualquier nivel de significancia comúnmente utilizado (como 0.05), se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, hay evidencia estadística suficiente para concluir que el promedio de concentración de carbono en el suelo en los sistemas de producción de café con sombra de plátano en el distrito de Oxapampa, Pasco - Perú, no es igual a 25 t/ha.

4.4. Discusión de resultados

Según los resultados para la concentración de carbono orgánico, los suelos en los sistemas de producción de café con sombra de plátano tienen un contenido moderado de carbono orgánico, que varía entre 0.99% y 2.26%, la mayor acumulación de carbono se encontró en la profundidad de 10-20 cm, con una concentración de 13,79 COS (tC)/ha. La profundidad de 20-30 cm mostró una concentración de 13,63 COS (tC)/ha. La concentración más baja se registró en la profundidad de 1-10 cm, con 10,85 COS (tC)/ha. Estos hallazgos sugieren que, aunque no se observaron diferencias significativas en las concentraciones de carbono entre las profundidades del suelo, la profundidad de 10-20 cm puede ser especialmente importante para la acumulación de carbono orgánico en estos suelos cafeteros. Sin embargo, es necesario tener en cuenta otros factores, como la actividad biológica del suelo y la composición específica del suelo, para comprender completamente los patrones de acumulación de carbono orgánico en estos sistemas de producción de café. El presente estudio revela que los valores de concentración de carbono orgánico en el suelo, con un promedio máximo de 13.79 COS (tC)/ha, son considerablemente más bajos en comparación con los estándares mundiales para los andisoles en los primeros 30 cm, que promedian alrededor de 114 t C·ha⁻¹ según Baties (1996).

Esta disparidad sugiere que los suelos podrían haber sido objeto de prácticas de manejo inadecuadas en el pasado, lo que habría resultado en la pérdida de carbono orgánico del suelo y posibles emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Además, los informes de Hergoualch et al. (2012) destacan una diferencia significativa en el almacenamiento de carbono entre sistemas de producción de café con *Inga* sp. y cafetales en monocultivo en los 10 cm superiores del suelo, registrando concentraciones de 25.2 t C·ha⁻¹ y 9.8 t C·ha⁻¹ respectivamente, después de siete años de establecimiento. Estas disparidades en los resultados podrían atribuirse a diferencias en la historia de uso del suelo, sugiriendo que los suelos podrían haber experimentado una mayor reducción del carbono orgánico debido a prácticas anteriores de uso del suelo antes de la implementación de los actuales sistemas de producción de café con sombra de plátano.

En comparación con los resultados del presente estudio, los hallazgos de Mogollón et al. (2022) son notablemente relevantes. Su investigación demostró que los suelos de cafetales bajo sombra de leguminosas actuaron como sumideros de carbono más eficientes, almacenando hasta 83 t ha⁻¹ de carbono a una profundidad de 30 cm. Esto representó una eficiencia del 100% en comparación con los suelos de bosque utilizados como referencia. Sin embargo, el cambio de la sombra tradicional de leguminosas a musáceas y cítricos resultó en una disminución significativa en la eficiencia de captura de carbono en el suelo. Se observó una reducción del 60% y 48% en la captura de carbono en los suelos de café bajo sombra de musáceas y cítricos, respectivamente, en comparación con los suelos de café bajo sombra de leguminosas. Además, se registraron tasas de emisión de CO₂ más altas en los sistemas de café-cítricos, con valores de 82,4 mg C-CO₂ kg⁻¹ día⁻¹, seguidos de los sistemas de café- musáceas con 63,7 mg C-CO₂ kg⁻¹ día⁻¹, y los sistemas de café-leguminosas con 50,8 mg C- CO₂ kg⁻¹ día⁻¹. Estos hallazgos calificaron al

sistema de café-cítricos como el menos eficiente en términos de captura de carbono.

En relación a las características físico-químicas del suelo, el análisis respectivo muestra características favorables para el cultivo de café bajo sombra de plátano, como un pH ligeramente alcalino, baja conductividad eléctrica, moderada presencia de carbonato de calcio y materia orgánica, textura franca arcillo arenosa y capacidad moderada de intercambio catiónico. Estos resultados son consistentes con las características de los suelos con esos sistemas de siembra de café. Los suelos utilizados para el cultivo de café a menudo se benefician de un pH ligeramente alcalino, ya que el café tiende a crecer mejor en suelos con pH en el rango de 6-7.5. La sombra proporcionada por los árboles de plátano podría contribuir a mantener este pH alcalino (PROCAFE, 2006).

La baja conductividad eléctrica del suelo indica una baja concentración de sales disueltas, lo cual es favorable para el cultivo de café, ya que esta planta generalmente prefiere suelos con bajos niveles de salinidad., además se ha evidenciado moderada presencia de carbonato de calcio y materia orgánica, el cultivo bajo sombra del plátano generalmente contribuye a la incorporación de materia orgánica en el suelo a través de la descomposición de los residuos orgánicos de la planta (Bastidas y Tepud, 2014).). en tanto Álvarez (2023) reportó la conductividad eléctrica el cultivo de café sin sombra con 5.30 mS/m y café paca presenta el menor valor con 4.23 mS/m, frente a ello Garza et al. (2020) menciona que cuando menor es la conductividad eléctrica es mejor, para el café debe ser menor a 100 mS/m., por su parte Tilahuan (2022) afirma que cuando el contenido de fósforo en el suelo es inferior a 10 ppm la planta de café presenta deficiencias en los sistemas y referente al potasio del suelo las hojarasca de los demás sistemas de producción influyen significativamente en el contenido de potasio.

Los suelos de textura franco arcillo arenosa son las adecuadas para el cultivo de café, ya que proporciona un buen drenaje y retención de agua, características deseables para el crecimiento de esta planta, sumado a ellos capacidad moderada de intercambio catiónico y saturación completa de bases son beneficiosas en la disponibilidad de nutrientes para las plantas de café. En conjunto, estas características sugieren que el suelo podría ser el adecuado para el cultivo de café bajo sombra del cultivo de plátano, aunque sería importante confirmar esta hipótesis con un análisis más detallado y específico del suelo y las prácticas agrícolas locales (Cenicafé, 2008)

Se observa una correlación muy fuerte y positiva entre la concentración de carbono orgánico y la densidad aparente del suelo. Esto sugiere que a medida que aumenta la concentración de carbono, la densidad aparente del suelo también tiende a aumentar (Matituy et al., 2017). Esta relación puede tener implicaciones importantes para la gestión y la salud general del suelo en estos sistemas de producción de café con sombra de plátano (Farfán, 2019).

CONCLUSIONES

1. La relación entre la densidad aparente y la concentración de carbono orgánico es fuerte y positiva. Esto sugiere que a medida que aumenta la concentración de carbono, la densidad aparente del suelo también tiende a aumentar en la producción del café.
2. Aunque no se encontraron diferencias significativas en la concentración de carbono entre las diferentes profundidades del suelo según el análisis estadístico (ANOVA), se observó una mayor acumulación de carbono en la profundidad de 1-10 cm.
3. En cuanto a las características físico-químicas del suelo, los suelos analizados muestran características favorables para el cultivo de café (*Coffea arábica*). bajo sombra de plátano, como un pH ligeramente alcalino, baja conductividad eléctrica, moderada presencia de carbonato de calcio y materia orgánica, textura franca arcillo arenosa y capacidad moderada de intercambio catiónico.
4. Los suelos en los sistemas de producción de café con sombra de plátano tienen un contenido moderado de carbono orgánico, que varía entre 0.99% y 2.26%, la mayor acumulación de carbono se encontró en la profundidad de 10-20 cm, con una concentración de 13,79 COS (tC)/ha. La concentración más baja se registró en la profundidad de 1-10 cm, con 10,85 COS (tC)/ha.

RECOMENDACIONES

1. Dada la discrepancia entre los valores de concentración de carbono orgánico encontrados en el estudio y los estándares mundiales para los suelos cafetaleros, es crucial revisar y mejorar las prácticas de manejo del suelo.
2. Existiendo la variabilidad en la eficiencia de captura de carbono es importante realizar investigaciones adicionales y monitorear regularmente los cambios en la concentración de carbono en el suelo. Esto permitirá identificar prácticas de manejo del suelo más efectivas y sostenibles que maximicen la captura y retención de carbono.
3. Considerando las características favorables del suelo para el cultivo de café bajo sombra de plátano, se podría enfocar en optimizar la gestión de nutrientes para promover un equilibrio óptimo en el suelo. Esto podría implicar la aplicación precisa de fertilizantes y la gestión adecuada de la materia orgánica para mantener la salud del suelo y apoyar el producto

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Alvarado, J., Andrade, H., & Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arábica* L.) EN EL municipio del Líbano, Tolima, Colombia (Vol. 16, Issue 1). <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3919/5886>
- Álvarez, A. (2023). Efecto de tres especies de sombra en las propiedades fisicoquímicas del suelo y rendimiento de café (*Coffea arábica*) Oxapampa-Pasco.
- Andrade-Castañeda, H., Segura-Madrigal, M., & Rojas-Patiño, A. (2016). Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en Piedras, Tolima, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 233.
- Bastidas, Y., & Tepud, O. (2014). Evaluación de algunas propiedades físicas y químicas del suelo, en sistemas tipificados de café (*Coffea arábica* L.), en el municipio de la Unión-Nariño.
- Burbano, H. (2016). El carbono orgánico del suelo en el ámbito de la naturaleza y la sociedad. In *Suelos Ecuatoriales* (Vol. 46).
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117–124. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Burga, E. (2019). Determinación del carbono en el suelo del bosque del caserío La Palma, Chadín, Chota. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3543/DETERMINACI%C3%93N%20DEL%20CARBONO%20EN%20EL%20SUELO%20DEL%20BOSQUE%20DEL%20CASER%C3%8DO%20LA%20PALMA%2C%20CHAD%C3%8DN%2C%20CHOTA.pdf?sequence=1>
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., & Solorio-Sánchez, J. (2011). Los Sistemas Agroforestales como Alternativa a la Captura de Carbono en el Trópico Mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVII (1), 133–143. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.047>
- CENICAFE (2008). Germinadores de café. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0368.pdf>
- Docampo, R. (2013). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola.
- Eduardo, H., Juan, E., & Edmundo, H. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68–96. <https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000100006>
- FAO. (2016). Pérdida de carbono orgánico del suelo (COS). <https://www.fao.org/3/i6472s/i6472s.pdf>

- Farfán, F. (2019). Descripción de la estructura del dosel arbóreo al interior de un sistema agroforestal con café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos - Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELO%20S1.pdf>
- Fundación Polar. (2015). El mundo de la química El CARBONO: Vida y energía. <http://c3po.barnesos.net/homepage/postdoc1/australia/day5678/day5.html>
- Garza-Lau, R., Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M., & Torres-Rivera, J. (2020). Caracterización de especies arbóreas asociadas al cultivo de café. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11(1), 25-32.
- Grand, A., & Michel, V. (2020). MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO. Environmental Science and Policy. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.002>; <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>; <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/08/suelo-completo.pdf>; <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7831495.pdf>; <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.24359>
- Jordán, A. (2005). Manual de edafología.
- Rucks, F. García, A. Kaplán, J. Ponce de León, & M. Hill. (2004). Propiedades Físicas del Suelo-FACULTAD DE AGRONOMÍA UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA. <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Léfevre, C., Rekik, F., Alcántara, V., & Wiese, L. (2017). Carbono orgánico del suelo el potencial oculto. <https://www.fao.org/3/i6937es/l6937ES.pdf>
- Managed Forest, E. I. R. L. (2013). Estimación del carbono almacenado en la biomasa del bosque de las comunidades nativas de Calleria, Flor de Ucaiyali, Buenos Aires, Roya, Curiaca, Pueblo Nuevo del Caco y Puerto Nuevo en la región de Ucaiyali- Perú. https://www.ito.int/files/ito_project_db_input/2995/Technical/Estudio%20de%20stock%20de%20carbono%20RED-PD%2003311%20Rev.pdf
- Martínez, H., & Juan E., E. A. H. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006
- Matituy, Y. A. B., Rosales, O. A. T., & Estrada, J. F. N. (2017). Evaluación de la calidad del suelo en sistemas productivos cafeteros, municipio de la unión, nariño. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias-FAGROPEC, 9(1), 17-24.

- Mogollón, J., Fernández, T., Garrido, H., Quintero, D., Cordero, A., Castillo, Y., ... & Alejos, I. (2022). captura y emisión de carbono en suelos de cafetales bajo diferentes tipos de sombra en Venezuela. *Suelos Ecuatoriales*, 52(1y2), 71-91.
- Pastor, J., Fernández, T., Garrido, H., Quintero, D., Cordero, A., Castillo, Y., Veliz, T., & Alejos, I. (2022). Captura y emisión de carbono en suelos de cafetales bajo diferentes tipos de sombra en venezuela. http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/157/134
- Rubio, A. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales-Proyecto.fin.de.carrera. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>
- Rumbo Minero. (2011). El mercado de los bonos de carbono en el Perú. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/8CD8B3DDF253087605257C200078DA85/\\$FILE/Mercado Bonos Carbono En El Per%C3%BA.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/8CD8B3DDF253087605257C200078DA85/$FILE/Mercado%20Bonos%20Carbono%20En%20El%20Per%C3%BA.pdf)
- Samayoa, S. (2011). Mercado de carbono, oportunidades para proyectos de pequeña escala. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/CF1F3D1F3D8BBA DB05257C290072D01F/\\$FILE/Mercado de carbono oportunidades para proyectos.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/CF1F3D1F3D8BBA DB05257C290072D01F/$FILE/Mercado%20de%20carbono%20oportunidades%20para%20proyectos.pdf)
- Tilahum A. (2022). Effect of dominant shade tree species on selected soil physicochemical properties and coffee production in Sayyo district, western Ethiopia. *Trees, Forests and People*, 8, 100245.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha para registro de datos

MONITOREO Y CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ CON SOMBRA DE PLÁTANO DEL DISTRITO DE OXAPAMPA.					FECHA		
					Año	Mes	Día
Etapas de muestreo	____ Monitoreo			____ Densificación			
Coordenadas N				Altitud		msnm	
W							
Nombre del reconocedor							
Sitio							
Porcentaje de fragmentos de roca			Tipo de fragmentos de roca				
Número de muestras tomadas	____ Densidad			____ CO%			
Factor limitante de profundidad			Profundidad limitante	cm			
Tipo de observación	____ Calicata		____ Cajuela		____ Barrenaje		
Observaciones:							

Anexo 2: Formato para georreferenciar la parcela de 1.2 ha de café con sombra de plátano en muestreo de campo.

Ubicación geográfica (UTM)			
Coordenadas	Este (X)	Norte (Y)	Altitud (msnm)
Parcela 1	460637.55	8811183.23	1208
Parcela 2	460640.87	8811151.17	1209
Parcela 3	460642.00	8811121.31	1210
Parcela 4	460599.28	8811180.97	1193
Parcela 5	460601.51	8811148.91	1195
Parcela 6	460600.45	8811120.16	1196
Parcela 7	460561.02	8811179.82	1177
Parcela 8	460562.15	8811147.76	1180
Parcela 9	460563.28	8811117.90	1182

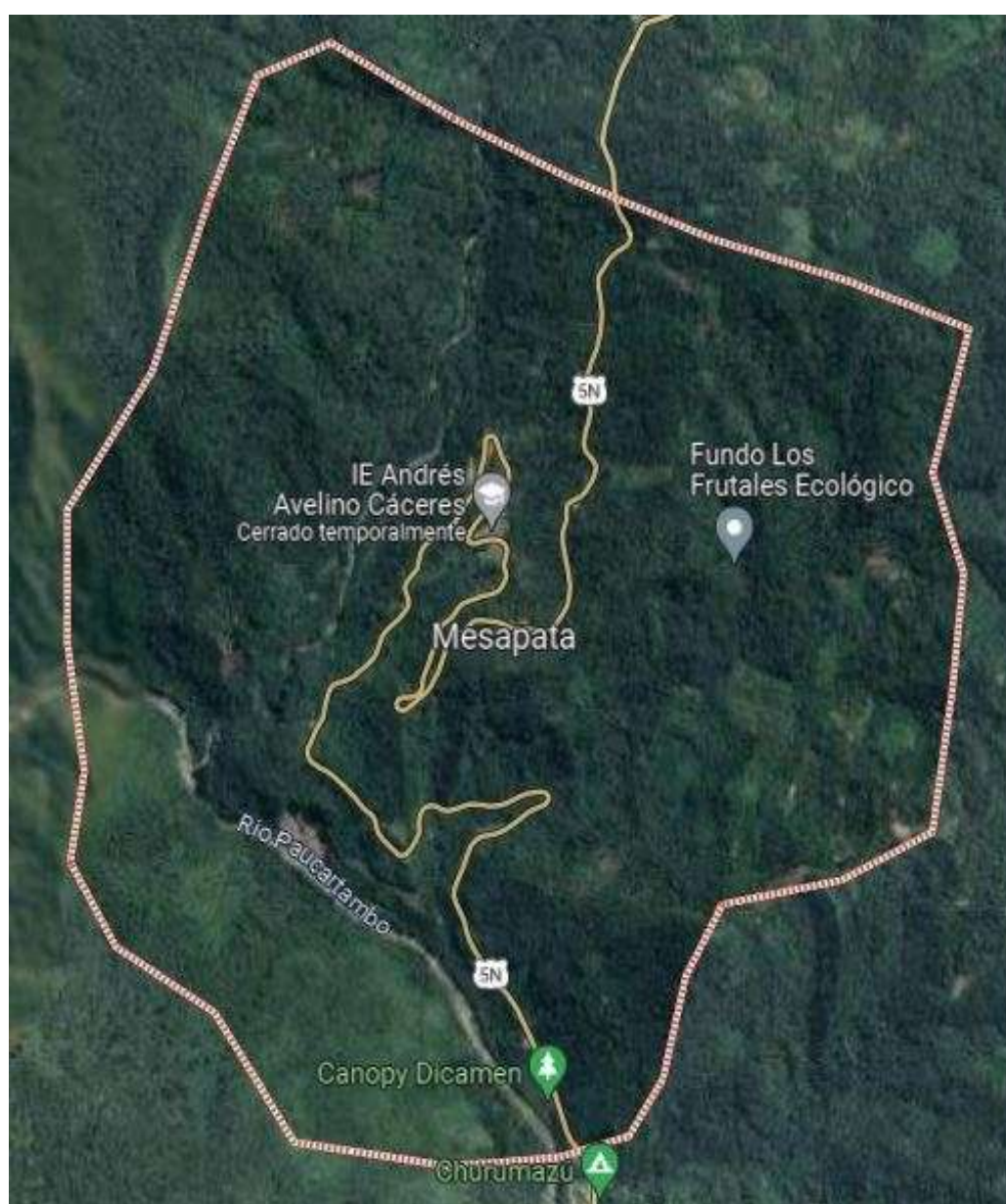
Anexo 3: Etiquetas para las muestras obtenidas en campo para determinar el contenido de carbono orgánico del suelo.

1.1 CARBONO ORGÁNICO	2.1 CARBONO ORGÁNICO	3.1 CARBONO ORGÁNICO	A.3 CARBONO ORGÁNICO	B.3 CARBONO ORGÁNICO	C.3 CARBONO ORGÁNICO
1.2 CARBONO ORGÁNICO	2.2 CARBONO ORGÁNICO	3.2 CARBONO ORGÁNICO	I.1 CARBONO ORGÁNICO	II.1 CARBONO ORGÁNICO	III.1 CARBONO ORGÁNICO
1.3 CARBONO ORGÁNICO	2.3 CARBONO ORGÁNICO	3.3 CARBONO ORGÁNICO	I.2 CARBONO ORGÁNICO	II.2 CARBONO ORGÁNICO	III.2 CARBONO ORGÁNICO
A.1 CARBONO ORGÁNICO	B.1 CARBONO ORGÁNICO	C.1 CARBONO ORGÁNICO	I.3 CARBONO ORGÁNICO	II.3 CARBONO ORGÁNICO	III.3 CARBONO ORGÁNICO
A.2 CARBONO ORGÁNICO	B.2 CARBONO ORGÁNICO	C.2 CARBONO ORGÁNICO			

Anexo 4: Etiquetas para las muestras obtenidas en campo para determinar la densidad aparente del suelo.

DA-1	DA-2	DA-3
DENSIDAD APARENTE	DENSIDAD APARENTE	DENSIDAD APARENTE

Anexo 5: Zona de intervención del estudio.



Anexo 6: Cálculos del contenido de carbono orgánico del suelo en 1.2 hectáreas de café con sombra de plátano.

Parcela	Profundidad (cm)	Carbono Orgánico (%)	Carbono Orgánico (t ha-1)
P1	1 - 10	1.98	9.50
	10 - 20	2.99	14.35
	20 - 30	1.74	8.35
P2	1 - 10	1.94	9.31
	10 - 20	2.66	12.77
	20 - 30	2.34	11.23
P3	1 - 10	1.49	7.15
	10 - 20	1.70	8.16
	20 - 30	3.51	16.85
P4	1 - 10	2.18	17.79
	10 - 20	1.33	10.85
	20 - 30	2.14	17.46
P5	1 - 10	1.17	9.55
	10 - 20	0.89	7.26
	20 - 30	2.66	21.71
P6	1 - 10	2.34	19.09
	10 - 20	1.09	8.89
	20 - 30	1.41	11.51
P7	1 - 10	0.89	12.28
	10 - 20	0.81	11.18
	20 - 30	0.93	12.83
P8	1 - 10	1.13	15.59
	10 - 20	1.01	13.94
	20 - 30	1.17	16.15
P9	1 - 10	0.32	4.42
	10 - 20	2.06	28.43
	20 - 30	0.57	7.87

Anexo 7: Cálculos de densidad aparente del suelo en 1.2 hectáreas de café con sombra de plátano.

Profundidad (cm)	Densidad Aparente (g/cm3)
1 - 10	1.20
10 - 20	1.02
20 - 30	1.15

Anexo 8: Análisis especial en suelo.

Lab	Claves	%C	DA gm/cm3	Tx (cm)	1-FG	COS (tC)/ha
2823	P1-1.1	1.98	1.20	10	0.4	9.50
2824	P1-1.2	2.99	1.20	10	0.4	14.35
2825	P1-1.3	1.74	1.20	10	0.4	8.35
2826	P2-2.1	1.94	1.20	10	0.4	9.31
2827	P2-2.2	2.66	1.20	10	0.4	12.77
2828	P2-2.3	2.34	1.20	10	0.4	11.23
2829	P3-3.1	1.49	1.20	10	0.4	7.15
2830	P3-3.2	1.70	1.20	10	0.4	8.16
2831	P3-3.3	3.51	1.20	10	0.4	16.85
2832	P4-A.1	2.18	1.02	20	0.4	17.79
2833	P4-A.2	1.33	1.02	20	0.4	10.85
2834	P4-A.3	2.14	1.02	20	0.4	17.46
2835	P5-B.1	1.17	1.02	20	0.4	9.55
2836	P5-B.2	0.89	1.02	20	0.4	7.26
2837	P5-B.3	2.66	1.02	20	0.4	21.71
2838	P6-C.1	2.34	1.02	20	0.4	19.09
2839	P6-C.2	1.09	1.02	20	0.4	8.89
2840	P6-C.3	1.41	1.02	20	0.4	11.51
2841	P7-I.1	0.89	1.15	30	0.4	12.28
2842	P7-I.2	0.81	1.15	30	0.4	11.18
2843	P7-I.3	0.93	1.15	30	0.4	12.83
2844	P8-II.1	1.13	1.15	30	0.4	15.59
2845	P8-II.2	1.01	1.15	30	0.4	13.94
2846	P8-II.3	1.17	1.15	30	0.4	16.15
2847	P9-III.1	0.32	1.15	30	0.4	4.42
2848	P9-III.2	2.06	1.15	30	0.4	28.43
2849	P9-III.3	0.57	1.15	30	0.4	7.87

Anexo 9: Resultado de las muestras enviadas al laboratorio para su análisis



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



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : OSMAR GARIT SABINO VILLANUEVA
PROCEDENCIA : PASCO/ OXAPAMPA/ OXAPAMPA/ MESAPATA
REFERENCIA : H.R. 79578
FACTURA : 9978
FECHA : 23/05/2023

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	C %
2823	1.1	1.98
2824	1.2	2.99
2825	1.3	1.74
2826	2.1	1.94
2827	2.2	2.66
2828	2.3	2.34
2829	3.1	1.49
2830	3.2	1.70
2831	3.3	3.51
2832	A.1	2.18
2833	A.2	1.33
2834	A.3	2.14
2835	B.1	1.17
2836	B.2	0.89
2837	B.3	2.66
2838	C.1	2.34
2839	C.2	1.09
2840	C.3	1.41

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	C %
2841	I.1	0.89
2842	I.2	0.81
2843	I.3	0.93
2844	II.1	1.13
2845	II.2	1.01
2846	II.3	1.17
2847	III.1	0.32
2848	III.2	2.06
2849	III.3	0.57



Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



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



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : OSMAR GARIT SABINO VILLANUEVA
PROCEDENCIA : PASCO/ PASCO/ OXAPAMPA/ MESAPATA
REFERENCIA : H.R. 79579
FACTURA : 9978
FECHA : 19/05/2023

Lab	Número Muestra	D.A. g/cc
	Claves	
2850	DA-1	1.20
2851	DA-2	1.02
2852	DA-3	1.15



Constantino Calderón Mendoza
Jefe del Laboratorio



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

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : OSMAR GARIT SABINO VILLANUEVA

Departamento : PASCO
Distrito : OXAPAMPA
Referencia : H.R. 79577-068C-23

Provincia : OXAPAMPA
Predio : MESAPATA
Fecha : 23/05/2023
Fact.: 9978

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables meq/100g					Suma de Cationes	Suma de Bases	%
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
4009		7.58	0.34	0.72	1.88	6.0	162	42	29	29	Fr Ar.	8.80	6.92	1.50	0.38	0.01	0.00	8.80	8.80	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franco ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso.
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Constantino Calderón Mendoza
Jefe del Laboratorio

Anexo 10: Panel fotográfico



Foto 1. Parcela en el sector de Mesapata



Foto 2. Parcela en el sector de Mesapata



Foto 3. Parcela en el sector de Mesapata



Foto 4. Parcela en el sector de Mesapata



Foto 5. Medición de la parcela



Foto 6. Delimitación de la parcela



Foto 7. Identificación del punto de muestreo



Foto 8. Muestreo en los puntos designados



Foto 9. Toma de muestras



Foto 10. Preparación de muestras en campo



Foto 11. Secado de muestras a temperatura ambiente



Foto 12. Secado de muestras a temperatura ambiente



Foto 13. Preparación de las muestras después del secado de muestras a temperatura ambiente



Foto 14. Pesado de las muestras después del secado a temperatura ambiente



Foto 15. Muestras pesadas para ser enviadas al laboratorio para su análisis



Foto 16. Supervisión en campo del asesor de tesis