UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

EFECTO DE RASGOS FUNCIONALES DE ESPECIES ARBÓREAS EN LA FIJACIÓN DE CARBONO Y CALIDAD DEL SUELO EN UN BOSQUE PREMONTANO EN TINGO MARÍA-PERÚ.

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

Bach. DAVIRAN VEGA ROMEL

Tingo María – Perú.

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María- Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 044-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 26 de Marzo de 2024, a horas 06:30 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

"EFECTO DE RASGOS FUNCIONALES DE ESPECIES ARBÓREAS EN LA FIJACIÓN DE CARBONO Y CALIDAD DEL SUELO EN UN BOSQUE PREMONTANO EN TINGO MARÍA - PERÚ"

DAVIRAN VEGA, Romel, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **"MUY BUENA".**

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

Tingo María, 03 de abril de 2024

Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
PRESIDENTE

Dr. NELINO FLORIDA ROFNER
MIEMBRO

Ing. M. Sc. SANDRO JUNIOR RUIZ CASTRE
MIEMBRO

Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE
ASESOR

Ing. M. Sc. LUIS BENIGNO ZÚÑIGA CERNADES
ASESOR

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 146 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

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

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFECTO DE RASGOS FUNCIONALES DE ESPECIES ARBÓREAS EN LA FIJACIÓN DE CARBONO Y CALIDAD DEL SUELO EN UN BOSQUE PREMONTANO EN TINGO MARÍA-PERÚ	DAVIRAN VEGA ROMEL	13 % Trece

Tingo María, 24 de abril de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTION DE LA INVESTIGACION

Dr. Tomas Menacho Malqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

EFECTO DE RASGOS FUNCIONALES DE ESPECIES ARBÓREAS EN LA FIJACIÓN DE CARBONO Y CALIDAD DEL SUELO EN UN BOSQUE PREMONTANO EN TINGO MARÍA-PERÚ

Autor	**:** Bach. Romel Daviran Vega
Asesores de Tesis	**:** Dr. Casiano Aguirre Escalante Ing. M.Sc**.** Luis Benigno Zúñiga Cernades
Programa de investigación	**:** Ciencias básicas
Línea de investigación	**:** Física y química de los suelos
Eje temático de investigación	**:** Prácticas y uso de manejo que mejoren la calidad del suelo
Lugar de ejecución	**:** Bosque Reservado Universidad Nacional Agraria de la Selva-BRUNAS
Duración	**:** 6 meses
Financiamiento	**:** S/. 9,727.10
Propio	**:** Si
FEDU	**:** No
Otros	**:** No

Tingo María –Perú, 2023

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISTA

(Resol. N.º 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos generales

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: FRNR-EPG-UNAS
Título de la tesis	: Efecto de Rasgos Funcionales de Especies Arbóreas en la Fijación de Carbono y Calidad del Suelo en un Bosque Premontano en Tingo María-Perú
Objetivo general	: Evaluar el efecto de rasgos funcionales de especies arbóreas en la fijación de carbono y calidad del suelo en un bosque premontano en Tingo María.
Autor	: Bach. Daviran Vega, Romel
Asesor (es)	: Dr. Aguirre Escalante, Casiano Ing. M.Sc. Zúñiga Cernades, Luis Benigno
Programa de investigación	: Ciencias básicas
Línea de investigación	: Física y química de los suelos
Eje temático	: Prácticas y uso de manejo que mejoren la calidad del suelo
Lugar de ejecución	: Bosque Reservado Universidad Nacional Agraria de la Selva-BRUNAS
Duración	: Fecha de inicio : Diciembre 2022 Fecha de término : Octubre 2023
Financiamiento	: FEDU : S/. 0,00 Propio : S/. 9,727.10 Otros : S/. 0,00

Tingo María, Perú, Mayo 2023.

Bach. Romel Daviran Vega
Tesista

Dr. Casiano, Aguirre Escalante
Asesor

DEDICATORIA

A Dios, por ser camino de Fe y mostrar que siempre hay luz al final del camino, a mi querida madre Isabel C. Vega y a mi padre León P. Daviran por ser ejemplos de humildad, amor y esperanza, y por enseñarme a valorar el trabajo en cada oportunidad que la vida me presenta, a mis hermanas Carliz y Edith por paciencia, esfuerzo y darme la confianza y oportunidad para superarme en este camino, a mi sobrina Isabel A. A Pozo por demostrar su cariño y confianza. Dedicarle también a cada uno de mis hermanos y familiares por sus consejos de vida y apoyo moral.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Casiano Aguirre Escalante, por haber compartido sus enseñanzas/conocimientos e inducirme a realizar este proyecto de Tesis. Además de inculcar valores como el respeto y honestidad.

Al, Ing. M.Sc. Ricardo M. Chávez Asencio, por su enseñanza y conocimientos compartidos, exigencia de culminar bien cada ciclo, ayudarme superarme en la etapa universitaria y por su amistad.

Al Dr. Nelino Florida Rofner, por el apoyo/asesoramiento brindado, enseñanza compartida y por transmitir el motivo a seguir el camino de la investigación afrontando cada reto que se presenta en el trayecto.

A mis amigos, Anais R. Chino, Junior R. Caldas Lipa, Jheper J. Martel Tucto, Jeanpiers A. Mora Calixto, Mishell N. Villar Santamaria, Cesar Casavilca, Antony Lino, Erick D. Torres, por ser el grupo de apoyo, y ser el circulo de amistad, confianza, alegrías, tristezas; por los consejos y conocimientos brindados en toda esta etapa universitaria.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva mi “Alma Mater”, a la plana docente de la Facultad Recursos Naturales Renovables, por impartir sus enseñanzas, dándome formación con capacidad científica, técnica, profesional, ética y humanística.

ÍNDICE GENERAL

Página

I. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Objetivo general 2
1.2. Objetivos específicos 2
II. REVISIÓN DE LITERATURA 3
2.1. Valía de los bosques del mundo 3
2.2. Los bosques tropicales 3
2.3. Bosque tropical Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - BRUNAS 4
2.4. Ecología, diversidad y rasgos funcionales 5
2.4.1. Ecología funcional 5
2.4.2. Diversidad funcional 5
2.4.3. Rasgos funcionales 6
2.5. Almacenamiento de carbono 6
2.5.1. El carbono 6
2.5.2. El dióxido de carbono 7
2.5.3. Carbono orgánico del suelo 8
2.5.4. Almacenamiento y/o secuestro de carbono 9
2.6. Índice de calidad del suelo 9
2.7. Estado de arte 11
2.7.1. Internacional 11
2.7.2. Nacional 11
2.7.3. Local 16
III. MATERIALES Y MÉTODOS 17
3.1. Lugar de ejecución 17
3.1.1. Localización política del área de estudio 17
3.1.2. Fisiografía del área en estudio 17
3.1.3. Zona de vida 19
3.1.4. Características climáticas 19
3.2. Materiales y métodos 21
3.2.1. materiales y equipos 21
3.2.2. Metodología 22

3.2.2.1. Determinación de rasgos funcionales de las especies arbóreas 22
3.2.2.2. Determinación de almacenamiento de carbono orgánico del suelo 24
3.2.2.3. Determinación de calidad del suelo a través de propiedades físicas y químicas del suelo 26
3.2.2.4. Determinación de la correlación de rasgos funcionales de especies arbóreas, COS, y propiedades físicas y químicas 28
3.3. Variables predeterminadas 28
3.3.1. Variables independientes 28
3.3.2. Variables dependientes 28
3.3.3. Variables intervinientes 28
3.4. Análisis estadísticos del conjunto de datos 29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 30
4.1. Rasgos funcionales de especies arbóreas 30
4.2. Almacenamiento de carbono orgánico del suelo 32
4.3. Calidad del suelo a través de las propiedades fisicoquímicas 36
4.4. Correlación de rasgos funcionales de especies arbóreas, COS, y propiedades físicas y químicas 39
4.4.1. Análisis de componentes principales y correlación de Pearson de rasgos funcionales de especies arbóreas versus carbono orgánico del suelo 39
4.4.2. Correlación de Pearson de COS versus propiedades físicas del suelo 40
4.4.3. Correlación de Pearson de COS versus propiedades químicas del suelo 41
V. CONCLUSIONES 43
VI. PROPUESTAS A FUTURO 44
VII. REFERENCIAS 45
VIII. ANEXOS 49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Página

1. Indicadores edáficos, rangos máximos y mínimos para dictaminar la calidad del suelo 10
2. Rangos interpretativos bajo el sistema SUSS 10
3. Sistema uso de tierra y su reserva de carbono en la biomasa aerea y suelo 12
4. Sistemas de suso de tierra y su reserva de carbono en el biomasa aérea y suelo 12
5. Carbono almacenado del suelo a un metro de profundidad, bajo el efecto de pendiente..... 14
6. Textura, densidad aparente, permeabilidad y humedad en dos sistemas de uso de tierra 14
7. Materia orgánica, pH, nitrógeno total, fosforo y potasio disponible de cuatro sistemas de uso de la tierra 15
8. Coordenadas UTM, área y perímetro de la PPM 1 18
9. Pendientes establecidas para cada subparcela de la PPM 1 19
10. Instrumento y/o equipos utilizados en el estudio 21
11. Metodología empleada para cada propiedad física evaluada 26
12. Metodología empleada para cada propiedad química evaluada (Bazán, 2017) 27
13. Promedios de rasgos funcionales de especies arbóreas 30
14. Carbono Orgánico del suelo promedio t/ha (COS) en subparcelas PPM 1 33
15. Promedios de las propiedades fisicoquímicas del suelo de la PPM 1 36
16. Resultado de Calidad del suelo, método SUSS 38
17. Análisis de varianza, niveles de carbono orgánico del suelo en subparcelas PPM 1 49
18. Análisis de varianza para los niveles de materia orgánica del suelo en las subparcelas PPM 1 49
19. Prueba de varianza para la densidad aparente del suelo en las subparcelas de la PPM 1 .. 49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Página

1. Mapa de localización/ubicación del proyecto de investigación. 17
2. Vista de curvas de nivel en modelo 3D del área de estudio. 18
3. Dinámica de las variaciones mensuales de precipitación entre 1998 al 2022. 20
4. Variación mensual de temperatura entre 1998 al 2022. 20
5. Dinámica de las variaciones mensuales de Humedad Relativa entre 2017 al 2022. 21
6. Método de medición de altura de árboles. 23
7. Disposición para toma de muestras. 24
8. Subdivisión de las parcelas. 25
9. Familias registradas en la PPM 1. 32
10. Diagrama de cajas de COS (t/ha) entre las subparcelas de la PPM 1. 35
11. Análisis de componentes principales de rasgos funcionales de las especies arbóreas 39
12. Correlación de Pearson de rasgos funcionales de especies arbóreas entre COS. 40
13. Correlación de Pearson de COS entre propiedades físicas del suelo. 41
14. Correlación de Pearson de COS entre propiedades químicas del suelo. 42
15. Prueba de normalidad de la base de datos (COS, MO y Dap). 50
16. Distancia desde la estación UNAS-Tingo María a la zona de estudio 50
17. Kits para muestro de suelos, densidad aparente. 51
18. Toma de una muestra de suelo en el cilindro metálico. 51
19. Extracción de muestras de suelo, con el uso del barreno. 52
20. Pesado y secado de muestras de suelo en los cilindros metálicos. 52
21. Preparación de reactivos (solución sal de Morth). 53
22. Proceso para determinar el contenido de materia orgánica. 53
23. Resultados de análisis químicos de las muestras de suelo. 54

RESUMEN

El estudio evaluó el efecto de rasgos funcionales de especies arbóreas en la fijación de carbono y calidad del suelo en un bosque premontano en Tingo María – Perú. Metodológicamente es de tipo no experimental, descriptivo-transversal, ajustada al diseño completamente al azar, análisis de componentes principales y correlación de Pearson, donde se determinaron rasgos funcionales: diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal (AB), diámetro de copa (DC), altura total (HT), densidad de madera (DM); además de, biomasa aérea (AGBest), biomasa arbórea (AGB), carbono arbóreo almacenado (CBt), carbono orgánico del suelo (COS) e índice de calidad del suelo, datos obtenidos en una parcela permanente de medición (PPM 1, 10 000 m^2), dividida en 25 subparcelas. Los resultados muestran variabilidad de los rasgos funcionales, siendo la DM con mayor contribución en el CBt (89.55%), la AGB y CBt estimado fue 195.91 y 97.95 t/ha, respectivamente. El COS por subparcela oscilaron desde 18.47 hasta 64.86 t/ha (C.V. de 16.30 %), con promedio de 40.70 t/ha. El índice de calidad del suelo de la PPM 1 está clasificado como “Sensible”. El DAP, AB y HT tiene correlación (p-valor<0.05) con AGBest, AGB y CBt, los rasgos funcionales tienen correlación débil con el COS. El COS tiene correlación (p-valor<0.05) con limo, arcilla, macroporosidad, permeabilidad, pH, MO y N. Concluyendo que, los rasgos funcionales de especies arbóreas influyen directamente en CBt e indirectamente COS y en índice de calidad del suelo.

Palabras claves: Suelo tropical, COS, rasgos funcionales arbóreas.

The Effect of the Functional Traits of Trees on the Carbon Fixation and Soil Quality in the Pre-Mountainous Forest in Tingo Maria, Peru

Abstract

In the study, the effect of the functional traits of tree species on the carbon fixation and the quality of the soil was studied in the pre-mountainous forest in Tingo Maria, Peru. In terms of methodology, the type was non-experimental, descriptive-transversal, fit to a completely randomized design, [with an] analysis of the principal components, and a Pearson correlation, where the [following] functional traits were determined: diameter at breast height (DBH; DAP in Spanish), base area (AB – acronym in Spanish), canopy diameter (DC – acronym in Spanish), total height (HT – acronym in Spanish), and wood density (DM – acronym in Spanish); as well as the aerial biomass (AGBest – acronym in Spanish), tree biomass (AGB), stored carbon in the tree (CBt – acronym in Spanish), organic carbon in the soil (COS – acronym in Spanish), and the quality of the soil. The data was obtained from a permanent measuring plot (PPM 1: 10,000 m^2) [that was] divided into twenty five subplots. The results revealed variability in the functional ranges, where the DM with the greatest contribution was in the CBt (89.55%); the estimated AGB and CBt were 195.91 and 97.95 t/ac, respectively. The COS by subplot oscillated from 18.47 to 64.86 t/ac (C.V. of 16.30 %), with an average of 40.70 t/ac. The soil quality index of PPM1 was classified as "sensitive." The DAP, AB, and HT were correlated with AGBest, AGB, and CBt (p-value<0.05); the functional traits had a weak correlation with the COS. The COS had a correlation with loam, clay, microporosity, permeability, pH, OM (MO in Spanish), and N (p-valor<0.05). It was concluded that the functional traits of the tree species directly influenced the CBt, and indirectly [influenced] the COS and the soil quality index.

Keywords: tropical soil, COS, functional tree traits

I. INTRODUCCIÓN

La fijación de carbono orgánico del suelo (COS) es uno de los elementos más relevantes del ciclo global del carbono (C) en la naturaleza, ocupando alrededor del 70 % de carbono orgánico en la biosfera (Vallejos, 2021). Las alteraciones de uso en los suelos son los principales factores que explican la deficiencia de fijación y/o almacenamiento de C, a consecuencia de actividades antrópicos, tales como la agricultura intensiva, el incremento demográfico y la extracción masiva de los recursos de origen natural. El COS se reduce a su nivel más bajo en los primeros 20 años, llevará cien años maximizar la cantidad de COS en la que está expuesto el mismo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO, 2014). Además, que, la escisión de los paisajes forestales ha propiciado un notable empobrecimiento florístico de las especies arbóreas a escala local y regional, y por ende alteraciones en las propiedades físicas y químicas del suelo, con variaciones climáticas, vulnerabilidad en el medio ambiente y precariedad social para las poblaciones humanas.

En el año 1990 al 2015 se estimó una pérdida de tierras forestales del 31.6% a 30.6%, relentelizado paulatinamente desde ese año (FAO, 2018), así mismo en el Perú se perdieron 2 636 585 hectáreas (ha) de bosques periodo 2001 al 2020, el 90% de la deforestación corresponde a la quema para la apertura de áreas agrícolas en pequeña escala (entre 5 a 30 hectáreas) (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2020). El valor de los bosques a nivel mundial es bastante conocido; así mismo, los bosques tropicales son considerados esenciales para la fijación de C, ayudan a evitar la contaminación por dióxido de carbono (CO_2) almacenando alrededor del 50 % en las plantas (Jiménez, 2021); el C son captados en la biomasa vegetal, hojarasca, madera muerta y suelo (Pan, Kauppi, Houghton, & Kurz, 2011). Balvanera, (2012) menciona que el 60 % de carbono son almacenados en la biomasa aérea y 30% en el suelo.

Los rasgos funcionales de especies arbóreas son características morfológicas, fisiológicas o fenológicas, que comprenden la interrelación e interacción entre las plantas y su entorno, y permite estabilidad y resiliencia en los ecosistemas forestales. De igual manera, el suelo actúa como fuente y/o reserva de C a consecuencia del uso y manejo que se le da. El secuestro de COS propone un medio adicional para compensar los procesos de degradación/deterioro, aumentando el nivel de calidad de esta. La retención del COS está en relación de factores definidos (limitantes o reductores); como es el origen de material parental, características geomorfológicas, porcentaje de inclinación de pendiente, orientación de ladera, y composición mineralógica. Estas características morfológicas se encuentran concomitante con las propiedades de textura, densidad aparente, permeabilidad, grado de erosión, fragmentos

rocos y profundidad. Con relación a un metro de profundidad el COS, es represento el 50% en los primeros 30 cm. (Paz & Etchevers, 2016).

Ante el panorama expuesto, el trabajo de investigación tiene como problema planteado la siguiente interrogante: ¿Cuál es el efecto de rasgos funcionales de especies arbóreas en la fijación de carbono y calidad del suelo en un bosque premontano en Tingo María? El trabajo de investigación se justifica evaluando el efecto de los rasgos funcionales de especies arbóreas en la fijación y/o almacenamiento de C, cuantificando el contenido de C arbóreo almacenado (obtenido de la biomasa aérea), COS y su influencia en la calidad del suelo.

Bajo este marco, la investigación se realizó con el propósito de contribuir al conocimiento científico analizando variables sobre manejo de especies arbóreas, manejo de uso de suelos, enfocada en la sostenibilidad de conservación ecosistémico del bosque premontano tropical integrado al secuestro de C en la biomasa arbórea y suelo, a propiedades físicas, y químicas del suelo u otros temas a fines.

La investigación logro contrastar parcialmente la hipótesis: “Si los rasgos funcionales de especies arbóreas inciden en la fijación de carbono y calidad del suelo en un bosque premontano tropical en Tingo María”. Para que la hipótesis planteada se pueda demostrar, es necesario que la investigación determine los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de rasgos funcionales de especies arbóreas en la fijación de carbono y calidad del suelo en un bosque premontano en Tingo María.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar los rasgos funcionales de especies arbóreas (Diámetro a la altura del pecho, área basal, diámetro de copa, altura total, densidad de madera), biomasa aérea, biomasa arbórea y carbono arbóreo almacenado.
- Determinar el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) y su influencia en el índice de calidad del suelo a través de sus propiedades físicas y químicas.
- Determinar la correlación de rasgos funcionales de especies arbóreas, COS, y propiedades físicas y químicas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Valía de los bosques del mundo

En los ecosistemas del mundo, los bosques ejercen un rol sustancial en ciclo del carbono (C), absorben un aproximado de la tercera parte de dióxido de carbono (CO_2) de la atmosfera, emitidas por las diferentes actividades del hombre (Kevin *et al*., 2003). Los bosques son parte fundamental de los servicios ecosistémicos que da solución a problemas ambientales muy importantes del mundo, pero que debido a que muchos de estos factores se encuentran relacionados a actividades antropogénicas los ecosistemas/bosques están en constante amenaza y por ende a la pérdida de biodiversidad y procesos que regulan al ecosistema (Chávez, 2018).

En el año 2010 según Chávez, (2018) se calculó que a nivel mundial hay 4.03 mil millones de hectáreas de bosques aproximadamente, cantidad que es inferior estimada en el año 1990 con un promedio de 4.17 mil millones, por lo que se concluye una pérdida de 12 a 15 millones de hectáreas de bosques anualmente, dicho fenómeno se debe a constantes cambios de los principales usos del suelo.

Años anteriores, diversos estudios evidencian variaciones bruscas en los climas y sus impactos que causan, y que en consecuencia los ecosistemas connaturales de los bosques tropicales son amenazados aumentando sus perturbaciones asociadas a las mismas. Tales impactos infieren directamente a la biodiversidad del ecosistema como. Los bosques se prevé que el 40% de especies están en riesgo de extinción. Por otro lado, la inestabilidad de los cambios climáticos tendrá consecuencia en el secuestro de C en los bosques tropicales, ya que múltiples estudios demuestran que el modelamiento de C de la biosfera evidencia deficiencia en el secuestro de C en los bosques, degradándose paulatinamente bajo escenarios de cambio climático (Vela, 2019).

Los temas de conocer y preservar nuestros bosques es de mucha relevancia ya que asegura a la gradación de los ecosistemas y supervivencia de especies forestales mejorando sus funciones relacionadas al medio ambiente (mitigación del cambio climático, protección de los suelos, almacenamiento de carbono (C), protección del recurso hídrico, y otros servicios ambientales) (Vela, 2019).

2.2. Los bosques tropicales

Generalmente, los bosques tropicales presentan árboles con sistemas complejos en su desarrollo debido a su abundante variedad de especies encontrados en ella; por ello los árboles tropicales encuentran estrategias de supervivencia, en relación con el suelo y el clima. Así mismo cuanto mayor cantidad de especies mayor será la diversidad presente, por lo que

esta diversidad está inmerso a factores como: el clima, tipo de suelo, competencia de desarrollo en especies arbóreas, claros dentro del bosque y capacidad regenerativa del bosque (Vela, 2019).

Los bosques tropicales, vista ecológicamente se define como zonas húmedas, con diversa vegetación y clima idónea, formando un ambiente ecosistémico saludable ya que acogen grandes diversidades de especies de plantas del mundo, obteniendo el 50% de especies descritas; así mismo, la región tropical de Sudamérica tiene un gran porcentaje de vegetación boscosa, con superficies dominantes como bosque tropical húmedo, con clima lluvioso (Díaz E. , 2018).

Por otro lado, los bosques tropicales se distribuyen en diferentes pisos altitudinales y con topografías altamente irregulares que van desde 0 a más 3500msnm; que influyen en la biología del suelo. Además, estos bosques presentan suelos complejos con abundantes entradas de nutrientes atmosféricos (Murga *et al*., 2021). Debido a que los bosques tropicales presentan gran dosel de árboles y a proporcionalidad de la superficie en la tierra, constituyen el 60% de C almacenados en la parte aérea de estas; con un 30% de almacenes de carbono en el suelo (Balvanera, 2012). La información sobre los bosques tropicales es insuficiente para demostrar estudios de almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa vegetal, COS y materia orgánica (MO) (Murga *et al*., 2021).

2.3. Bosque tropical Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - BRUNAS

La unidad académica del BRUNAS, a sido fundado el 31 de diciembre año de 1971 (Resolución N.º 1502 – UNASTM), cuyas áreas (217.22 ha) fue denominada intangible, con el fin de preservar y/o conservar los recursos naturales (suelos, agua, flora, fauna y su amplia de gama de diversidad biológica) (Puerta, 2007). Así mismo el BRUNAS presenta gran diversidad en especies forestales, fauna silvestre que son propia de la Selva alta tropical (Salazar, 2022).

Según Marcos (1996), citado por Puerta (2007) conforme con la clasificación de Malleux, fisiográficamente el BRUNAS muestra las siguientes características:

- **Colinas bajas**: Unidad fisiográfica que alcanzan altura relativa de 30 y 50 m aproximadamente, con pendiente que varía de 20, 40 y 70%, abarcan un área alrededor de 37.10 ha, representando el 17.08% del área total del BRUNAS. Al

principio estas áreas eran bastante disturbados, presentando en su mayor parte purmas y pastizales.

- **Colinas Altas:** Altitudes relativas que alcanzan 80 a 100 m, con pendientes que varias de 60 al 80%, y ocupan 85.15 ha representado el 39.20% del total. Cubierta por arboles jóvenes con abundantes arbustos. Es una zona con menos accesibilidad.
- **Montaña:** Altitudes relativas que superan los 100 m, tiene 94.97 ha y representan el 43.72% aproximadamente del área total. Zonas con mayor riesgo de erosión, no tienen accesos por falta trochas en la mayor parte de la montaña.

2.4. Ecología, diversidad y rasgos funcionales

2.4.1. Ecología funcional

La ecología funcional propone describir especies en diferentes planeamientos de vida, combinando rasgos funcionales fácilmente medibles con enfoques rentables, extendiéndola a otros niveles de organización biológica, para augurar respuestas de las especies a los cambios ambientales e inferir sus efectos sobre las comunidades, posibles efectos sobre la estructura de las especies y procesos de los ecosistemas. La ecología funcional tiene como objetivo comprender cómo varían los rasgos funcionales (Salgado, 2016). Un rasgo está en función a su funcionalidad e influye fuertemente en el organismo de una especie (Silva, 2018).

2.4.2. Diversidad funcional

La diversidad funcional (DF) en una región o comunidad lleva tácito la diversidad de formas y funciones de sus especies. La diversidad de sus integrantes puede exceder la diversidad en varios órdenes de magnitud. Esto significa que el costo real del proceso de degradación del ecosistema es mayor que el costo estimado utilizando los parámetros incluidos actualmente en el índice de diversidad. Cuando hablamos de plantas fácilmente podemos imaginar la morfología en su diversidad. Entre las plantas, la mayoría se manifiesta claramente en: Diferencias morfológicas, funcionalidad entre las hojas (has y envés) del mismo individuo (Orozco, Gamboa, & Barradas, 2009). En la perdida de alguno de sus componentes en biodiversidad podría tener multi efectos en el funcionamiento de los ecosistemas, por consiguiente, dañarían al suministro de servicios ambientales (Silva, 2018). En el término diversidad funcional, sugiere una estrecha relación entre sus características morfológicas y funcionales.

Diversos estudios florísticos y ecológicos son fundamentales para promover y aumentar el desarrollo del conocimiento con adecuada planificación y manejo en

la conservación de estas áreas remanentes, dando a entender que las conducciones de técnicas de levantamiento florístico son necesarias (Imaña *et al*., 2016).

Los componentes de diversidad funcional ocasionalmente son afectados por actividades humanas, pero también hay que notar que sin la intervención antrópica no habría efectos positivos sobre el funcionamiento y conservación de los ecosistemas y/o biodiversidad (Silva, 2018).

2.4.3. Rasgos funcionales

Es importante la investigación sobre rasgos funcionales en las montañas (bosques tropicales), ya que radica esencialmente en poder analizar las respuestas de los organismos a las variaciones impuestas por el ambiente y explicar ecológicamente la relación de las plantas en su entorno (biótico-abiótico), en ambientes donde existe abundante diversidad vegetativa relacionado con su alta nivel de arquitecturas, tamaños y características morfologías (Zelada & Reynel, 2019).

Los rasgos funcionales/caracteres funcionales (tratis), son rasgos morfológicos, fisiológicos y fenológicas que se pueden medir a nivel individual, partiendo del nivel celular hasta el orgánico, y que afectan el desarrollo, reproducción y subsistencia de un organismo y sus efectos en el organismo en el sistema ambiental. Los valores comunes detalles de una propiedad funcional en un lugar y momento determinados se denominan atributos. Los mejores rasgos son aquellos que contienen la mayor cantidad de información ambiental posible y se pueden medir de manera fácil y económica en una determinada población. La cifra de individuos representados en la población según el objetivo del trabajo de investigación (Silva, 2018).

Violle et al. (2007) indican que la caracterización de los rasgos funcionales son estructuras que modulan a las plantas, a fin de que su desarrollo no se vea restringido; siendo que las modulaciones mayormente son expresadas en el tallo y las hojas (Jiménez, 2021). Por otra parte, los rasgos funcionales “hojas” más estudiados de manera habitual son: área foliar normal y específica, fuerza tensil, contenido de materia seca, de nitrógeno y fosforo; de igual manera los más estudiados para el rasgo “tallo” son: altura total y de tronco del árbol, densidad madera (Zelada & Reynel, 2019).

2.5. Almacenamiento de carbono

2.5.1. El carbono

El carbono es el cuarto elemento químico que abunda más la Tierra, generalmente es la más común en las moléculas orgánicas de la que forma parte (glucosa,

proteínas, ácidos nucleicos) que, gracias a los mecanismos de respiración de las plantas y las desemejantes actividades de los microorganismos en el suelo, cada 20 años el C se renueva a la atmosfera (FAO, 2014). El C es un no metal, además reconocido como un compuesto orgánico altamente fundamental, que en el planeta tierra circula por la atmosfera, los océanos, suelo y en el subsuelo. Así mismo, estos son considerados almacenes, que funcionan como depósitos/reservorios de C. Además, el C se relaciona con los sistemas agrícolas dando sustentabilidad y afectando de manera parcial a las propiedades del suelo (físicas y químicas) que a su vez son involucrados con el rendimiento en varios de los cultivos (Rojas, 2017).

El C, es el elemento insustituible para el desarrollo fisiológico de las plantas; es obtenida y/o capturada de la atmosfera por medio del mecanismo químico realizado por la "fotosíntesis". Por consiguiente, en el proceso de ciclo de vida de las plantas o cuando mueren, todos sus tejidos ricos en C vuelven al suelo, que los organismos vivos se encargan de descomponerlos. En particular, el COS no es acumula de manera permanente, sino que se libera del suelo a causa de la respiración de los microorganismos aerobios, ya que estas también utilizan al C en su desarrollo (Huamancayo, 2013).

2.5.2. El dióxido de carbono

Se entiende que desde inicios del planeta Tierra hasta la actualidad, la molécula de dióxido de carbono (CO_2) siempre está presente, cumpliendo diferentes ciclos en la transformación del carbono (C); estando asociado en la conversión de carbono inorgánico a carbono orgánico, producto del metabolismo de las plantas a través de la fotosíntesis (Mondragón, 2021). En ciclo del C, la fijación CO_2 atmosférico comienza durante el proceso de la fotosíntesis, el proceso se encarga de que el CO_2 y el agua reaccionan químicamente y forman carbohidratos además que tienen la libertad de liberar oxígeno al medio ambiente; un gran porcentaje de carbohidratos producidos son absorbidos por las plantas, de esta manera proporciona energía; no obstante, en este proceso metabólico de las plantas tiene la cualidad de expulsar CO_2 a través de sus raíces. La razón de este ciclo del C, es que actúa con dos procesos, el bioquímico de corto plazo, y el geoquímico a largo plazo, por tal fenómeno natural es que el suelo tiene la característica muy importante en el trabajo de la absorción del CO_2 (Huamán *et al*., 2021).

Los bosques tropicales son el sustento de vida para los individuos, formando parte fundamental del ecosistema. Así mismo, a estos bosques se le considera crucial para el depósito de C que ayudan a evitar la contaminación por CO_2, almacenado unos 50 % de CO_2 en las plantas (Jiménez, 2021). A nivel mundial se estima que los bosques captan y

preservan C de manera que supera a otros ecosistemas, participando con el 90 % del flujo anual de C que está presente entre la superficie terrestre y la atmosfera, de modo que tiene gran importancia la función de los bosques en el intercambio de CO_2 que se da en las interrelaciones biosfera - atmósfera (Rojas, 2017). No obstante, las diferentes actividades del hombre favorecen en el secuestro de CO_2 (Vallejos, 2021), sin embargo, estas actividades también afectan de forma negativa, expulsando CO_2 a la atmosfera, y que estas se acumulan y aumentan los gases de efecto invernadero (GEI) (Jiménez, 2021).

2.5.3. Carbono orgánico del suelo

El suelo es caracterizado como medio/cuerpo natural donde se produce el desarrollo de las plantas, consiste también en la formación de capas u horizontes del suelo producto de la edafización y meteorización del material parental originario, además de materia orgánica (MO), aire y agua (FAO, 2008)**.** El resultado final del suelo es consecuencia de factores como el clima, la topografía, organismos (fauna, flora y humanidad), material parental, determinados en un periodo de tiempo (Fernández, 2020)**.** La calidad del suelo es una noción que surge para poder estimar de forma íntegra y/o parcial en la extensión de que este recurso cumple diferentes funciones en forma sustentable. Los suelos se pueden definir como la suficiencia para funcionar dentro de los límites ecológicos, sustentabilidad productiva biológica, conservando un ambiente optimo, y como un índice de calidad en la salud de la flora y fauna de éste (Acevedo, Sánchez, & Mendoza, 2021).

El suelo es un recurso natural indispensable, no renovable que controla los efectos negativos del cambio climático, mediante un importante papel estratégico y complejo que cumple en el ciclo del carbono en la tierra (Huamán *et al.*, 2021). Además, es una de las principales propiedades del suelo, que funciona como sumidero ya que almacena mayor porcentaje de C a diferencia de la atmosfera y la vegetación (Loayza *et al*., 2020), y como segundo reservorio de C más grande de la tierra, después del océano, compensando significativamente a las emisiones de CO_2 (Bolívar *et al*., 2021).

El suelo funciona como almacén donde se acumulan macro y micronutrientes esenciales que las plantas utilizan, producto de la humificación y mineralización de la materia orgánica; el sustrato sirve como fundamento en donde las raíces se desarrollan; así como también, los suelos albergan nutrientes derivados parcialmente según el contenido de carbono orgánico (FAO, 2014).

2.5.4. Almacenamiento y/o secuestro de carbono

El C llega al suelo y suelen almacenarse por largos periodos de tiempo que pueden ser de miles a millones de años (Burbano, 2018). Uno de los componentes fundamentales e importantes del ciclo global de C, es el almacenamiento de COS (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008), que ocupa un 70 % del carbono orgánico en la biosfera (Vallejos, 2021).

El COS tiene el grado de ser muy importante porque afecta de una forma casi completa a los atributos físicos del suelo, como: textura, densidad aparente, densidad real, porosidad, permeabilidad y humedad (gravimétrica, volumétrica). Además, el COS, es parte de la materia orgánica del suelo (MOS), que comprende un 58 % de C orgánico (Vallejos, 2021). El C orgánico se muestra en el suelo en forma de residuos orgánicos (restos vegetales, restos animales y microorganismos) que no alcanzan su descomposición en su totalidad, en forma de humus con complejos estados de composición que posteriormente pasaran a carbono elemental (Rojas, 2017). En condiciones naturales, el COS es el resultado equilibrado entre la incorporación de material orgánico fresco al suelo y la liberación de C en forma de CO_2 a la atmosfera, erosión y lixiviación (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008).

2.6. Índice de calidad del suelo

Los índices de calidad del suelo son definidos como la suficiencia de un suelo para su funcionamiento y así impulsar la productividad de los especímenes vegetales, animales y conservar/mantener la calidad del agua y el aire, ayuda a la evaluación utilizando indicadores obtenidos desde enfoques cualitativos o cuantitativos (Ramírez, y otros, 2022). Las propiedades fisicoquímicas del suelo, son indicadores que están inmersos y pueden afectar la capacidad de este en accionar una de sus funciones; los indicadores y/o propiedades físicas están asociados con el uso efectivo del agua, nutrientes y el uso de enmiendas químicas; los indicadores químicos se refieren a condiciones que afectan las interrelaciones suelo, planta y agua, la suficiencia amortiguadora del suelo y disponibilidad de nutrientes de las plantas y otros organismos y los indicadores biológicos son aquellos seres vivos o por procesos desarrollados por éstos que, con su presencia o abundancia, advierten cambios o estados de ciertas propiedades o procesos del suelo (Nuñez, Pérez, & Prado, 2023).

La calidad que presenta el suelo está estimada bajo sus indicadores físicos y químicos a través del Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS), cuyos parámetros edáficos y rangos de calidad del suelo es detallado en las siguientes tablas (SAGARPA, 2012).

Tabla 1. Indicadores edáficos, rangos máximos y mínimos para dictaminar la calidad del suelo

Indicador	Unidad	Rango deseable (d)	Valor de corte (c)
Materia orgánica (M.O.)	%	> 5	0.5
Densidad aparente (Dap)	g/cm^3	< 1.1	1.47
Conductividad eléctrica (CE)	dSm^{-1}	< 1	4.1
pH	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8.5
Fosforo disponible (P)	ppm	> 5.5	0
Magnesio intercambiable (Mg^{2+})	$Cmol^{(+)}/kg$	> 0.3	0
Calcio intercambiable ($Ca^{2+)}$	$Cmol^{(+)}/kg$	> 5	0
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	$Cmol^{(+)}/kg$	> 15	5
Nitrógeno total (N)	%	> 0.2	0.05

Fuente: SAGARPA (2012)

Tabla 2. Rangos interpretativos bajo el sistema SUSS

Calidad del suelo		Descripción
Bueno	(0.95<SUSS<1.0)	Las condiciones de la calidad del suelo son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola.
Aceptable	(0.80<SUSS<=0.95)	La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados.
Sensible	(0.65<SUSS<=0.80)	Los parámetros medidos ocasionalmente se alejan de los valores óptimos
Marginal	(0.45<SUSS<=0.65)	Los indicadores de calidad son distantes de los valores deseables.
Pobre	(0<SUSS<=0.45)	La calidad de los suelos para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.

Fuente: SAGARPA (2012)

2.7. Estado de arte

2.7.1. Internacional

Lozano, Palacios, & Aguirre, (2018) en "Modelos alométricos para estimar el almacenamiento de carbono de bosques montanos bajos en el sur del ecuador" evaluó la cuantificación de carbono, estableciendo una parcela permanente de medición (PPM) de aproximadamente de una 10 000 m^2 (ha), donde cuantificaron los árboles al nivel del pecho, determinando variables como: densidad altura e pecho (DAP) y altura total (HT). llegando a la conclusión de:

- En bosque montano bajo con 179 especies arbóreas en 52 familias cuantifican un promedio de 318.63 y 159,31 t/ha de biomasa y C respectivamente en vegetaciones arbóreas.
- Los modelos alométricos ajustados para predecir la biomasa en el estrato arbóreo del bosque montano bajo mostraron coeficientes de determinación (R ajustados) mayores al 80%. Las variables regresoras que mejor se ajustaron en la ecuación para la predicción de la biomasa aérea total fueron el DAP^2 y HT tanto en escala lineal como logarítmica.
- Al sur de Ecuador en el bosque montano bajo determino existencia de dos grupos de familias significativamente diferentes ($p<0,05$) de acuerdo al almacenamiento de carbono; siendo la familia Moraceae (74,83 t/ha; 37,42 t C/ha) y la especie *Pseudolmedia laevigata Trécul* (55,23 t ha^{-1}; 27,61 t C ha^{-1}) las que almacenan la mayor cantidad de biomasa y C respectivamente.

2.7.2. Nacional

Alegre & Arévalo, (2003) en "Reservas de carbono según el uso de tierra en dos sitios de la amazonia peruana" evaluó el almacenamiento de C en un alcance de diferentes sistemas de uso de la tierra que van desde foresta natural hasta sistemas intensivos de cultivos, pastos y sistemas agroforestales principalmente en suelos ácidos de los trópicos húmedos del Perú.

Reservas de C en la provincia de Alto Amazonas, distrito de Yurimaguas

El distrito esta una altura de 180 m.s.n.m. y con precipitaciones anuales de 2 200 mm y una temperatura promedio de 26ºC. El suelo es un Ultisol típico, silicio Iso-hipertérmico. La textura de los suelos son francos arenosos con porcentajes de arcilla (no > 20%) en los primeros 15 cm de profundidad. El nitrogeno (N) y la materia organica (MO) son

bajos con alta acidez y con bajos niveles de cationes y Fosforo (P) y alta saturación de Al. Mostrando los siguientes resultados:

Tabla 3. Sistema uso de tierra y su reserva de carbono en la biomasa aerea y suelo

SUT	Características	Reserva de Carbono (t/ha)					
		Árbol[a]	Sotobosque	Hojarasca	Raíz[b]	Suelo[c]	Total
Foresta	40-años de bosque ligeramente desmontado	290.00	3.63	3.93	23.95	38.76	**360.27**
Barbechos	Bosque secundario (15-años)	184.40	0.82	4.03	3.32	46.54	**239.11**
	Bosque secundario (5-años)	42.10	1.89	2.96	1.66	47.27	**95.88**
	Bosque secundario (3-años)	2.40	1.25	3.44	3.66	43.80	**54.55**

SUT= Sistema de Uso de Suelo. a= Palos parados, muertos y caídos. B= Raíces de 0 - 20 cm de profundidad c= Profundidad del suelo de 0 - 40 cm.

Reservas de C en la región de Ucayali, Pucallpa

La zona aproximadamente tiene una altitud de 250 m.s.n.m y con precipitaciones anuales que varian en un rango de 1 800 hasta 3 500 mm por año y una temperatura promedio de 25ºC.

Tabla 4. Sistemas de suso de tierra y su reserva de carbono en el biomasa aérea y suelo

SUT	Características	Reserva de Carbono (t/ha)					
		Árbol[a]	Sotobosque	Hojarasca	Raíz[b]	Suelo[c]	Total
Foresta	Bosque primario (no tocado)	160.10	0.83	0.73	2.61	76.81	**241.08**

	Bosque primario (extracción selectiva)	120.30	0.69	1.83	3.48	47.03	**173.33**
Barbechos	Bosque secundario (15 años)	121.00	2.21	2.85	1.04	68.33	**195.43**
	Bosque secundario (3 años)	13.20	1.83	5.90	0.28	19.63	**40.84**

SUT= Sistema de Uso de Suelo. a= Palos parados, muertos y caídos. B= Raíces de 0 - 20 cm de profundidad c= Profundidad del suelo de 0 - 40 cm.

Macedo, (2019) en "Influencia de la pendiente en el almacenamiento de carbono en el suelo en bosque primario de cerro escalera, Provincia y Región San Martín" evaluó el total de carbono almacenado en el suelo en bosque primario del área de conservación regional cordillera escalera (ACR-CE), bajo influencia de la pendiente del terreno, concluyendo que el carbono almacenado en el suelo es variable, a nivel de distintas profundidades y diferentes porcentajes de pendiente. Teniendo como resultado que en una profundidad de 00 - 10 cm, con pendiente del 15% obtuvo 22.526 t C/ha siendo esta que reporto la mayor cantidad bajo las mismas condiciones; en la profundidad de 10 – 30 cm reporto que con 50 % de pendiente obtuvo 24.652 t C/ha ; en la profundidad de 30 – 60 cm reporto que con pendiente del 30% obtuvo 23.884 t C/ha y en la profundidad de 60 – 100 cm con pendiente 30% obtuvo 32.040 t C/ha .Además el total de carbono acumulado en el suelo a 1 m de profundidad, fue mayor en una pendiente de 30%, obteniendo 92.206 t C/ha .También se concluyó que al realizar la comparación de almacenamiento de carbono en el suelo por tratamiento, en pendiente de 30% se obtuvo 24.182 t C/ha llegando superar al resto. También se realizó la comparación de carbono almacenado por número de repeticiones, concluyendo que la R1 obtuvo 28.268 t C/ha superando a los R2, R3, R4 y R5. Y por último en la comparación por profundidades (00-10, 10-30, 30-60 y 60-100 cm), la primera profundidad obtuvo la mayor cantidad de carbono almacenado con 26.708 t Cha^{-1}. En la siguiente tabla se muestran los resultados generales del proyecto.

Tabla 5. Carbono almacenado del suelo a un metro de profundidad, bajo el efecto de pendiente**.**

Profundidad del suelo (cm)	Carbono almacenado (t/ha) por Pendiente			
	0%	15%	30%	50%
00 -10	22.204	22.526	18.118	16.558
10 - 30	20.298	21.762	18.164	24.652
30 - 60	18.578	22.136	23.884	17.132
60 - 100	11.286	19.724	32.04	19.988
Total	72.366	86.148	92.206	78.33

Fuente: (Macedo, 2019)

Blas, (2021) en "Evaluación de la calidad de suelo mediante indicadores, según el tipo de uso en San Alejandro Irazola – Ucayali" trabajo en una zona con gran parte de bosque tropical húmedo, de selva baja con altitud de 160 a 400 msnm, terrenos ondulados, montañosas, terrazas bajas y humedales en cubierta vegetal. Y con temperatura promedio de 26.8°C, máxima de 27.0°C y mínima de 26.6°C; la humedad relativa media es del 78,9%; precipitación media anual es de 2510,10 mm/año (estación San Alejandro), con precipitaciones lluviosas más altas en los meses de noviembre a marzo y menos lluviosa en los de abril a octubre. Una pendiente plana o casi plana con una pendiente de 0 a 8 grados, por lo que durante la temporada de lluvias provoca inundación del área. Obteniendo como resultados de las propiedades fisicoquímicos del suelo mostrados en las siguientes tablas:

Tabla 6. Textura, densidad aparente, permeabilidad y humedad en dos sistemas de uso de tierra

Sistemas de estudio	Atributos físicos del suelo				
	Textura	Dap (g/cm^3)	Permeabilidad (cm/h)	Humedad (%)	Profundidad de muestreo (cm)
Bosque	Franco	1.1	35.1	26	20
Bosque segundario	Franco arcilloso limoso	1.5	43	22	

Dap= densidad aparente

Tabla 7. Materia orgánica, pH, nitrógeno total, fosforo y potasio disponible de cuatro sistemas de uso de la tierra

Sistemas de estudio	Atributos químicos del suelo					
	MO (%)	pH	Nitrógeno total (%)	Fosforo ($mg.kg^{-1}$)	potasio ($Cmol^{(+)}/kg$)	Profundidad de muestreo (cm)
Bosque	1.63	5.99	0.07	7.3	0	20
Bosque segundario	1.48	7.06	0.07	8.42	0.21	

MO = materia orgánica

Murga *et al*., (2021) elaboro un artículo basado en revisiones bibliográficas en el tema de "Gradiente altitudinal y su influencia en las características edafoclimáticas de los bosques tropicales" donde encontró información sobre los gradientes de elevación crean restricciones ambientales que afectan el crecimiento y desarrollo de las especies de plantas, variaciones edafoclimáticas en gradientes altitudinales, y cuanto influye los bosques tropicales. En la información recabada se buscaron artículos de investigación para áreas geográficas entre las latitudes 27º N y 27º S donde el gradiente de elevación se vio afectado desde 0 m a 5000 m. Así mismo, esta información está sistematizada y organizada en temas de clima, propiedades y comportamiento fisicoquímico y biológico del suelo. especies forestales. Se encuentra que la temperatura media anual del aire (TMA) disminuye con el aumento de la altitud; la precipitación anual (AP) muestra un máximo aluvial en elevaciones medias. El pH del suelo va descendiendo hasta los 3000 m y aumenta por encima de esta altitud; por el contrario, se observa el aumento de materia orgánica del suelo, carbono orgánico, carbono total (TC), nitrógeno total (NT) y relación C/N a 3000 m; los valores caen por encima de esta altura. Los niveles de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y aluminio (Al) en el suelo disminuyeron con el aumento de la altitud debido a los efectos de la baja temperatura y la humedad del suelo (HS). Llegando a la conclusión de que: Los bosques tropicales se definen por las propiedades del suelo, así como por los factores y elementos climáticos que interactúan para imponer restricciones espaciales y temporales a las especies forestales, de las cuales hay poca evidencia cuando se estudian a escala local. El factor climático más importante en los bosques tropicales es el gradiente altitudinal, el cual varía desde 0 m hasta más de 3500 m, provocando cambios significativos en elementos climáticos como temperatura y precipitación, así como en propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como pH, nutrientes, contenido

de carbono y microorganismos. Así, alteran las respuestas fisiológicas de las especies forestales, afectando su estructura poblacional. Es necesario analizar y considerar la influencia del clima del suelo y la altitud en el manejo forestal; Se necesita mayor investigación para comprender mejor las interacciones entre los bosques tropicales y el medio ambiente con fines de conservación y uso de la tierra.

2.7.3. Local

Condor, (2019) en "Carbono orgánico del suelo en diferentes unidades fisiográficas del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) Tingo María – Perú" evaluó el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo en diferentes unidades fisiográficas en el BRUNAS, cuyos resultados promedios para Montaña, Colina alta clase 1 y 2, Colina baja clase 1 y 2; es de 3.99, 3.36, 3.74, 3.34, 3.39 % para materia orgánica; 1.48, 1.57, 1.48, 1.50, 1.55 g/cm3 para densidad aparente; y 101.28, 91.04, 95.64, 85.75, 90.88 t/ha para COS, respectivamente. Donde concluyo que las tazas de almacenamiento de COS en las unidades fisiográficas del BRUNAS no difieren estadísticamente entre sí.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Localización política del área de estudio

El presente estudio fue ejecutado dentro del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), que está a una distancia de 1.63 km de la ciudad de Tingo María. El área de estudio políticamente está ubicada en el distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, y departamento Huánuco. Con coordenadas centroides Universal Transversal de Mercator (UTM) 390760-E, 8970880-N con altitud promedio de 748 msnm.

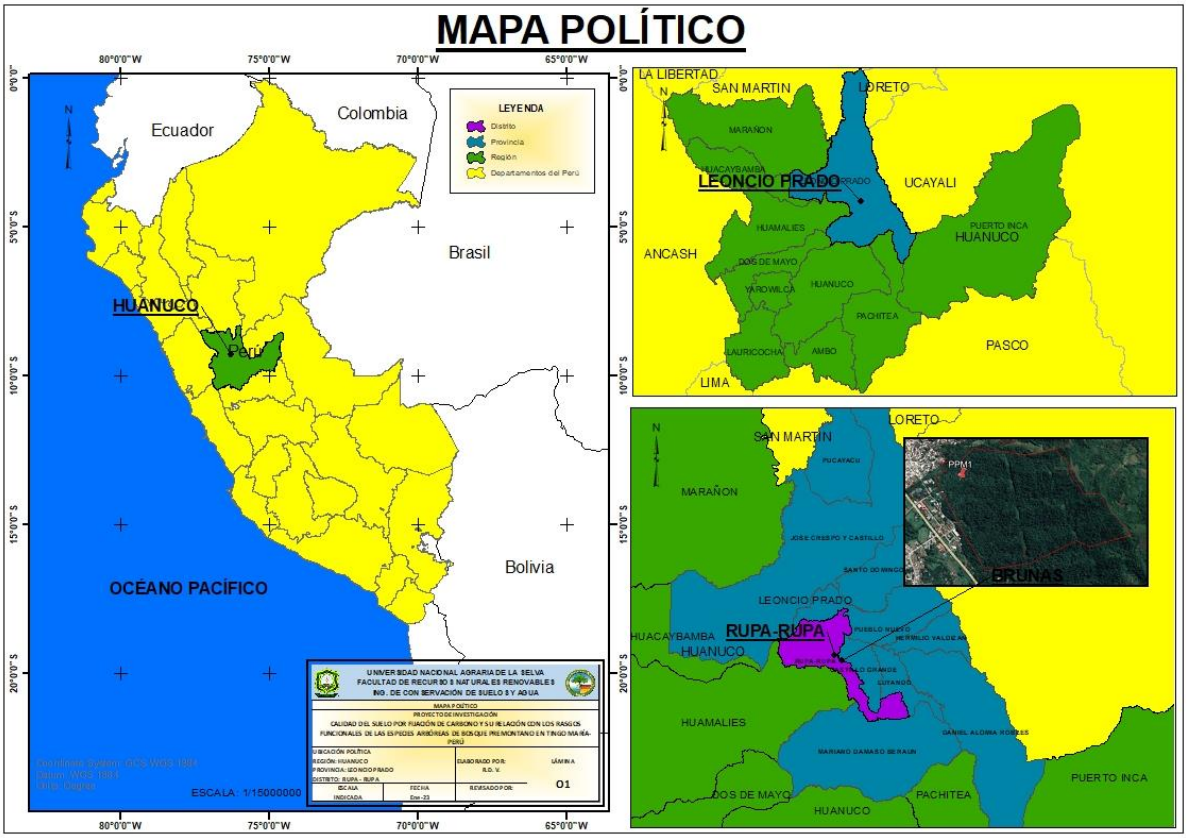

Figura 1. Mapa de localización/ubicación del proyecto de investigación.

3.1.2. Fisiografía del área en estudio

- **Límites de la parcela permanente de medición**

La parcela permanente de medición (PPM 1) está inclinado de Norte a Sur; su establecimiento se realizó sobre 10 000 m^2 (1ha), con subdivisión en 25 subparcelas cuadráticas de dimensión 20x20 m (figura 8), con las siguientes coordenadas UTM de los vértices del área de estudio, (Díaz E. , 2018).

Tabla 8. Coordenadas UTM, área y perímetro de la PPM 1

Vértice	Este	Norte	Área (ha)	Perímetro (m)
P1	391065.00	8970746.00	1	400
P2	391002.00	8970644.00		
P3	391073.00	8970608.00		
P4	391138.00	8970708.00		

- **Vista 3D del relieve y pendiente de la PPM 1**

La vista 3D del relieve del área de estudio, fue procesado con ayuda del software Surfer 13, con niveles de altitudes que varían entre 720 a 775 msnm, con dirección de flujo que indican mayor porcentaje de humedad que va en dirección a los vértices P2 y P3 (figura 2); además, se calculó la pendiente de la PPM 1 utilizando un eclímetro, encontrando mayor porcentaje en las subparcelas 12, 23, 24, 17, 25, con 71.00%, 68.30%, 68.30%, 67.30% y 55.90% respectivamente (5), el resto de las subparcelas (20) fluctúan entre 7.00% a 53.90% (tabla 9).

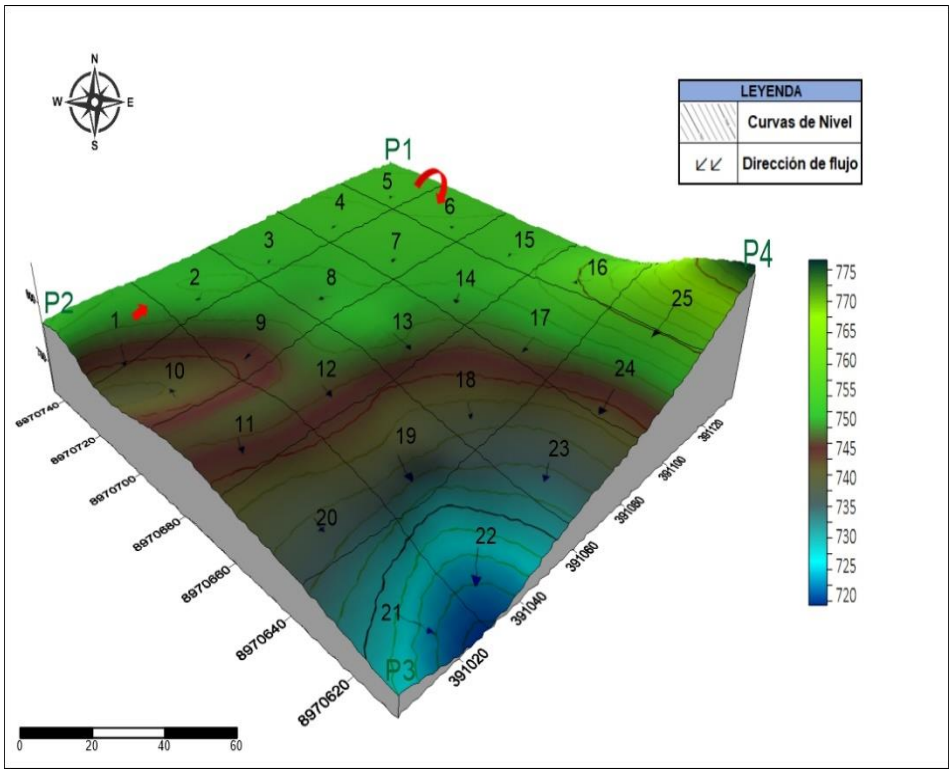

Figura 2. Vista de curvas de nivel en modelo 3D del área de estudio.

Tabla 9. Pendientes establecidas para cada subparcela de la PPM 1

Subparcelas	Pendiente (%)
12	71.00
23	68.30
24	68.30
17	67.30
25	55.90
22	53.90
18	53.40
16	48.50
1	48.50
2	47.25
4	46.00
15	46.00
5	45.50
10	45.00
14	44.50
6	44.10
3	43.60
21	43.35
13	33.95
9	28.20
19	26.30
20	23.30
8	14.90
7	14.40
11	7.00
Promedio	43.54

3.1.3. Zona de vida

El área de estudio, según la formación vegetales del mundo y el diagrama bioclimático (Holdridge, 1987), el BRUNAS se encuentra clasificado como Bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-PT), zona que se caracteriza por contar con un conjunto de colinas bajas, altas, depresiones, laderas y montañas (Salazar, 2022).

3.1.4. Características climáticas

El clima muestra variaciones mensuales de precipitación (PP) y temperatura (T) entre los años 1998 al 2022 (**Figura 3 y 4**) y variaciones mensuales de humedad relativa (%HR) procesados del año 2017 al 2022 (**Figura 5**). La variación diaria promedio registrada en todos esos años, resulto; para PP más bajo en los meses de junio, julio, agosto y setiembre, con registros de 142.17, 137.28, 111.0.5 y 165.48mm respectivamente, con

precipitación anual de 3340,35 mm; para la temperatura los meses más bajos fue en junio y julio con registros de 24.72 y 24.54ºC respectivamente; y para %HR más bajos fue en los meses julio, agosto, setiembre y octubre, con datos registrados de 81.41, 80.23, 79.37 y 81.68% respectivamente.

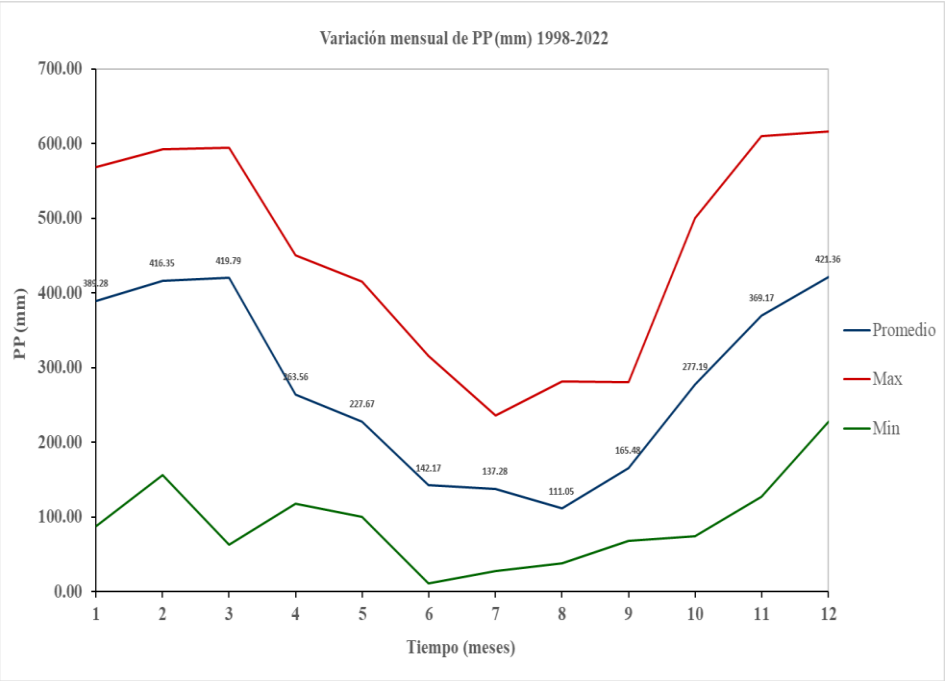

Figura 3. Dinámica de las variaciones mensuales de precipitación entre 1998 al 2022.

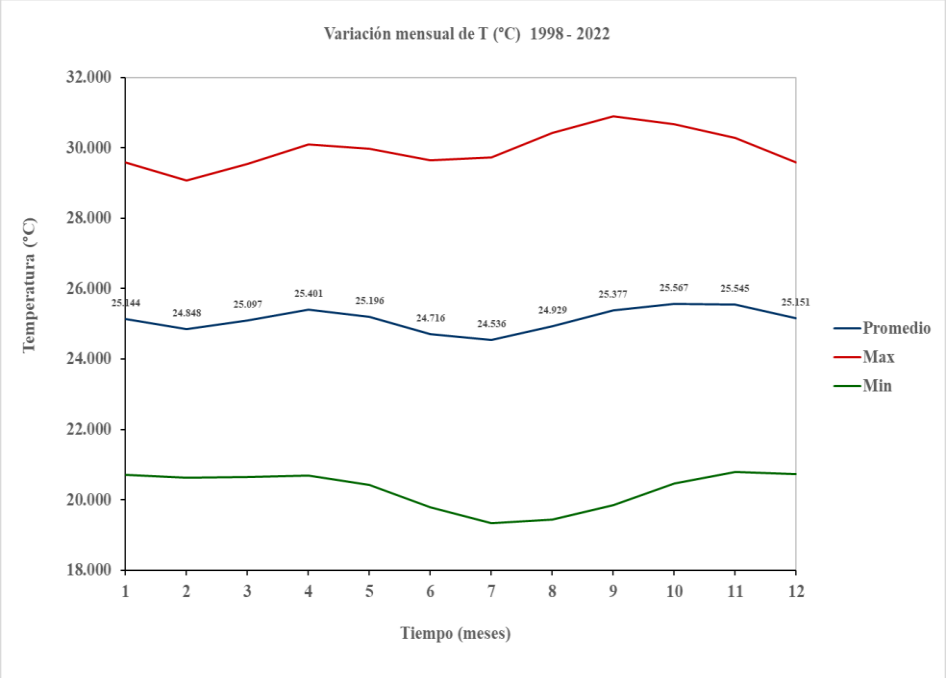

Figura 4. Variación mensual de temperatura entre 1998 al 2022.

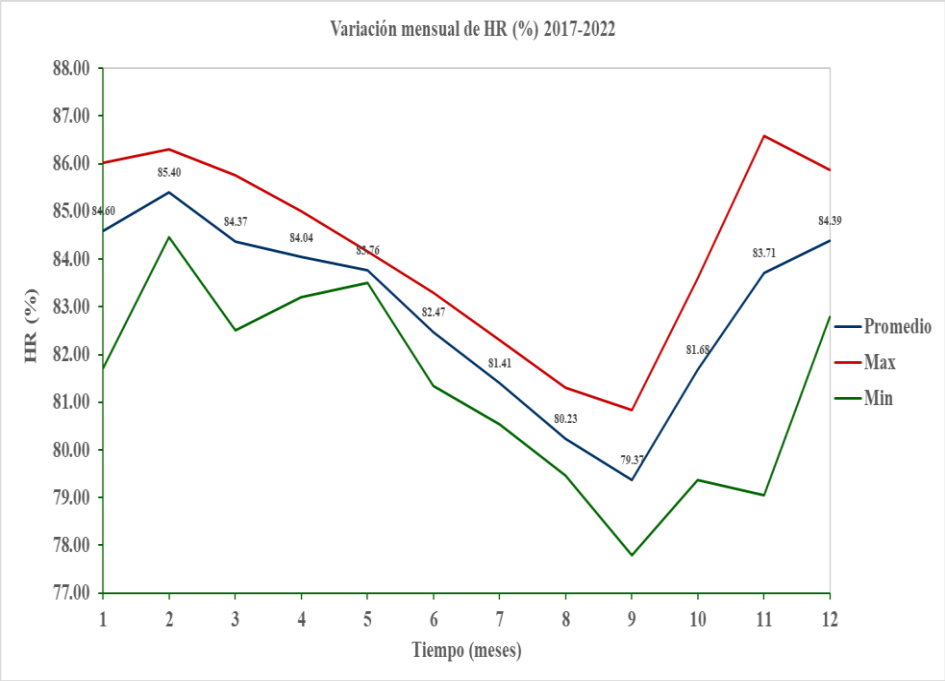

Figura 5. Dinámica de las variaciones mensuales de Humedad Relativa entre 2017 al 2022.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. materiales y equipos

Los instrumentos más relevantes que se utilizaron en este estudio se muestran a continuación:

Tabla 10. Instrumento y/o equipos utilizados en el estudio

Parámetros a evaluados	Instrumento/equipos	Marca
Materia orgánica	Balanza analítica	Suunto
	Titulador	Rotulador Brand
Potencial de Hidrogeno	Potenciómetro	Hanna, Kintel, Isolap
Propiedades físicas	Cilindros metálicos	Eijkelkamp
	Permeámetro	Eijkelkamp
	Estufa controladora 105 ±5ºc	Memmer
Altura de árbol	Clinómetro	Hope

Coordenadas geográficas (determinación del área y ubicación de parcelas)	GPS (Global Positioning System)	GARMIN
Inclinación del suelo (Pendiente)	Eclímetro	Scientific Satellite - Magnetic Angle LOCATOR

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Determinación de rasgos funcionales de las especies arbóreas

Para determinar los rasgos funcionales de las especies arbóreas se evaluaron cinco rasgos: Diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal (AB), diámetro de la copa (DC), altura total (HT), densidad de madera (DM); así mismo se calcularon: la biomasa aérea (AGBest), biomasa arbórea (AGB) y carbono arbóreo almacenado (CBt). La obtención de composición florística de las especies arbóreas se obtuvo a partir del inventario de árboles, con DAP mayores a 10 cm. La identificación de las especies forestales de la PPM 1 fue realizado por el Herbario Selva Central Oxapampa (HOXA) del Jardín Botánico Missouri (Soto, 2016).

Para la determinación del DAP en cada subparcela, se utilizó una cinta diamétrica y para calcular en AB se utilizó la siguiente ecuación:

$$AB = (0.7854xDAP^2) \qquad (1)$$

Donde:

DAP = diámetro altura de pecho (en metros)

0.7854 = constante

La determinación del diámetro de copa (DC), se midió tomando en cuenta dos direcciones Norte a Sur y Este a Oeste, para los cuales se trazó líneas perpendiculares con una cinta métrica teniendo en cuenta la proyección de copa. Para el cálculo de DC se utilizó la siguiente ecuación:

$$DC = (d1 + d2)/2 \qquad (2)$$

Donde:

d1 = diámetro mayor de copa

d2 = diámetro menor de copa

Para calcular la altura total (HT), fue tomada empleando un clinómetro y una cinta métrica para establecer la distancia entre el árbol y el observador (15 o 20 m), y para calcular la altura de los árboles se utilizó siguiente formula (Dauber, 1999).

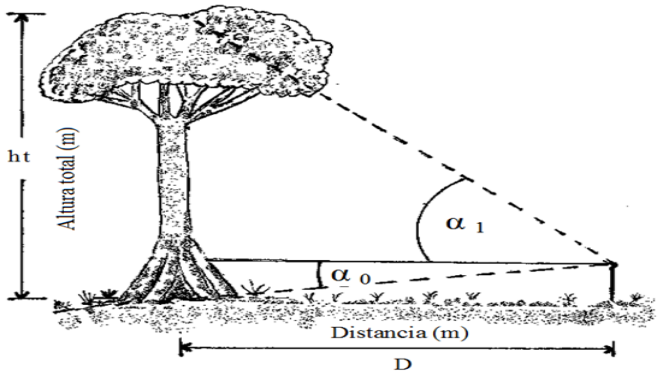

Figura 6. Método de medición de altura de árboles.

Fuente IBIF (2008).

$$HT = [d\ (\alpha 1 - \alpha 1))/100\%] \qquad (3)$$

Donde:

HT = Altura total

α 0 = Inclinación al pie del árbol (%)

α 1 = Inclinación altura total del árbol (%)

d = Distancia

Para obtener DM se utilizó de la base de datos de (Soto, 2016); seguidamente, para calcular el CBt se empleó la siguientes formulas (Chave, *et al*., 2014):

$$(AGB)est = 0.0673 * (Pi\ Di^2\ Hi)^{0.976} \qquad (4)$$

Donde:

(AGB)est = Biomasa aérea (kg/ha)

Pi = Densidad de madera (g/cm3)

Di = Diámetro a la altura de pecho

Hi = Altura

$$AGB = (AGB)est/1000 \qquad (5)$$

Donde:

AGB = Biomasa arbórea (t/ha)

$$CBt = AGB * FC \quad (6)$$

Donde:

CBt = Contenido de carbono arbóreo almacenado (t/ha). Brown & Lugo (1992).

FC =Factor de carbono en biomasa (0.5) (Grupo Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático – IPCC, 2006).

3.2.2.2. Determinación de almacenamiento de carbono orgánico del suelo

El modelo de muestro y el orden de división (figura 7 y 8), se realizó en cada unidad experimental siguiendo las pautas recomendadas por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2014). A continuación, se evaluaron los indicadores, materia orgánica (MO) y densidad aparente del suelo (Dap), para ello se tomó 5 muestras en cada subparcela (con un total de 125 muestras por variable); así mismo, se tomó en cada subparcela una muestra compuesta con tres repeticiones (de 3 submuestras) para los análisis de las propiedades físicas y químicas (con un total de 25 muestras); las muestras fueron recolectadas a una profundidad de 30 cm. Una vez tomadas y codificadas las muestras, fueron llevadas al laboratorio donde se comenzó el proceso de secado y tamizado para su posterior análisis. Los análisis se realizaron en el laboratorio de recursos hídricos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua (EPICSA) y en el laboratorio de suelos de la facultad de Agronomía. Los parámetros evaluados y su respectiva metodología en cada subparcela se visualizan en la tabla 11 y 12.

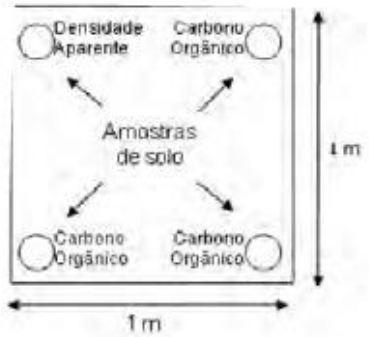

Figura 7. Disposición para toma de muestras.

Fuente (ICRAF, 2009)

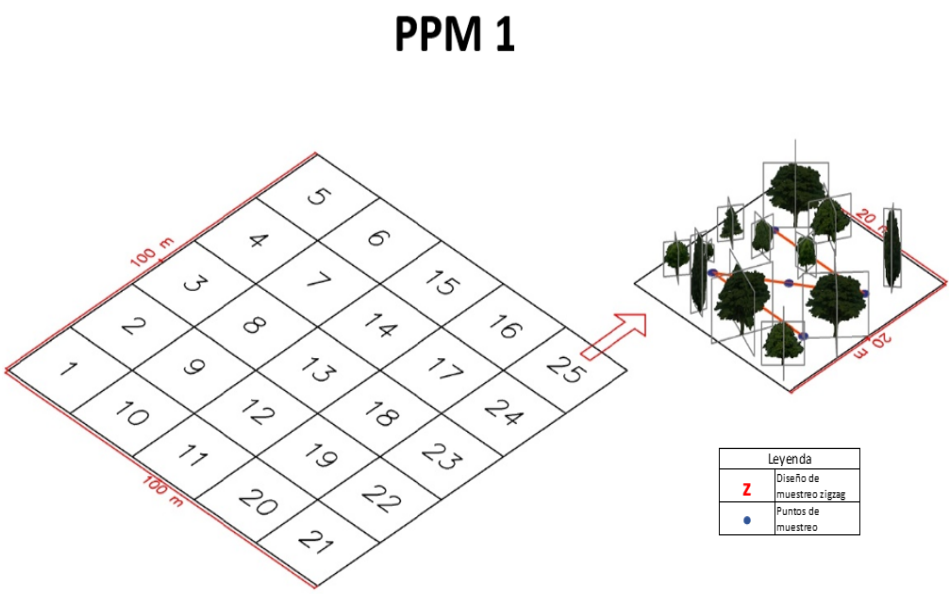

Figura 8. Subdivisión de las parcelas.

- **Determinación de materia orgánica del suelo**

La determinación de materia orgánica (MO) fácilmente oxidable en muestras de suelo se realizó empleando el método de Walkley & Black (1934) /digestión húmeda. Se pesó 0.50±0.01 g de la muestra de suelo, se añadió 10 ml de solución de dicromato de potasio (K2Cr2O7 - 1 N), se agitó por un tiempo aproximado de 30 a 60 segundos. A continuación, se agregó 10 ml de ácido sulfúrico (H2SO4 al 96%). Dejar que enfriase por unos 30 min. Luego se añadió agua destilada hasta el tope de un matraz (100 ml). se dejó reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Seguidamente se añade 2 o 3 gotas de difenilamina, lo que permitió realizar la lectura de titulación (sulfato ferroso 0.5 N) del exceso de sal de Morth. Paralelamente se desarrolló una muestra en blanco que funcionó como testigo. Y por último se anotó el gasto para expresar el resultado como Carbono orgánico en el suelo.

- **Determinación de densidad aparente del suelo**

Para cuantificar el indicador de la densidad aparente del suelo (Dap), se pesaron y se codificaron los cilindros metálicos (5x5 cm), luego extrajo las muestras inalteradas de suelo. Posteriormente se desecó la muestra por calentamiento en la estufa a 105ºC durante 24 horas. Se pesó la muestra de suelo (en seco). La Dap viene concluida por la interrelación entre el peso seco obtenido y el volumen total correspondiente, representado mediante la siguiente ecuación (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2009).

$$Dap = mss/Vt \qquad (7)$$

Donde:

Dap = densidad aparente

Mss = masa del suelo (en seco)

Vt = volumen total del cilindro

- **Calculo para la determinación de carbono orgánico del suelo**

El COS fue determinado por la fórmula empleada y sugeridas por (ICRAF, 2009), lo que permitió cuantificar la proporción de carbono almacenado/fijado en las diferentes subparcelas en t/ha.:

$$\boldsymbol{COS} = \%CO \ x \ Dap \ x \ Ps \qquad (8)$$

Donde:

COS = Carbono (t/ha)

%CO = 0.58 x %MO

Dap = Densidad aparente (g/cm^3)

Ps = profundidad de muestreo (cm)

3.2.2.3. Determinación de calidad del suelo a través de propiedades físicas y químicas del suelo

En las siguientes tablas se describen los indicadores/parámetros y la metodología para la determinación de los parámetros:

Tabla 11. Metodología empleada para cada propiedad física evaluada

Propiedades físicas del suelo		
Indicadores físicos	Unidad	Metodología empleada
Textura	%	Hidrómetro de Bouyoucos (USDA, 1999)
Densidad aparente (Dap)	g/cm^3	Cilindro metálico (5*5 cm) (USDA, 1999)
Densidad real (Dr)	g/cm^3	Picnómetro y/o fiola
Porosidad Total (Pt)	%	Indirecto (USDA, 1999)
Macroporosidad	%	Indirecto (Diferencia)
Microporosidad	%	Indirecto (Bodman y Mahmud)
Permeabilidad (K)	cm/hr o m/día	Carga constante (Villón, 2016)

Tabla 12. Metodología empleada para cada propiedad química evaluada **(Bazán, 2017)**

Propiedades químicas del suelo		
Indicadores químicos	Unidad	Metodología empleada
pH	pH	Potenciómetro
Nitrógeno total (N)	%	Indirecto (MO%)
Fosforo disponible (P)	ppm	Olsen modificado
potasio disponible (K)	$Cmol^{(+)}/Kg$	Acetato de amonio
Calcio cambiable (Ca^{2+})	$Cmol^{(+)}/Kg$	Acetato de amonio
Magnesio cambiable (Mg^{2+})	$Cmol^{(+)}/Kg$	Acetato de amonio
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m^{-1}	Conductímetro
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	$Cmol^{(+)}/Kg$	Acetato de amonio

- **Cálculo de los índices de calidad en el suelo (ICS)**

Para la determinación de la calidad del suelo de la PPM 1, se empleó el método SUSS (SAGARPA, 2012). Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

$$Rnj = 1 - [(Vrj - dj)/(cj - dj)] \quad (9)$$

Donde:

Rn = Resultado normalizado

Vr = Valor del indicado.

d = Valor deseable del indicador

c = Valor de corte del indicador

j = Cada muestra de suelo

$$P = (\sum_{i}^{n} = 1\ Rnj)/rn \quad (10)$$

Donde:

Rn = Valor del parámetro normalizado

rn = Numero de muestras analizadas

j = Es cada muestra de suelo

$$SUSS = (\sum_{i}^{n} = 1Pi)/n \quad (11)$$

Donde:

P = Promedio de los parámetros normalizados

i = Indicador analizado

n = Números total de indicadores analizados

La normalización (Rn) de los indicadores es calculada mediante la formula mostrada; en ello se usaron los datos reales calculados de cada indicador, valores deseables (d) y de corte (c) (Tabla 1). Así mismo el promedio de los indicadores calculados por la formula final SUSS, están interpretados según en rango de el mismo (Tabla 2).

3.2.2.4. Determinación de la correlación de rasgos funcionales de especies arbóreas, COS, y propiedades físicas y químicas

Para el análisis del efecto de los rasgos funcionales de especies arbóreas en la fijación de carbono, se aplicó el análisis de componentes principales (PCA) a las variables de las especies arbóreas, que permite la reducción, retención de variables cuantitativos y transformarlas (componentes principales), la visualización es sistematizada y a la vez correlacionada. Por otro lado, para examinar las variables del conjunto de datos (Rasgos funcionales de especies arbóreas, COS, propiedades físicas y químicas) y contrastar la existencia de correlación, se aplicó la prueba r de Pearson (relación paramétrica con rangos de -1 a +1), propuestos por Hernández *et al.*, (2014).

3.3. Variables predeterminadas

3.3.1. Variables independientes

- Rasgos funcionales de las especies arbóreas

3.3.2. Variables dependientes

- Carbono orgánico en el suelo
- Propiedades físicas del suelo
- Propiedades químicas del suelo

3.3.3. Variables intervinientes

- Pendiente
- Clima

3.4. Análisis estadísticos del conjunto de datos

El conjunto de datos obtenidos se procesó aplicando la estadística descriptiva, con un diseño experimental completamente al azar (DCA). Los tipos de pruebas que se realizaron se discriminaron según la hipótesis a la que correspondan en esta investigación. Para evaluar el efecto de rasgos funcionales de especies arbóreas en la fijación de carbono y calidad del suelo en un bosque premontano en Tingo María, se aplicó la comparación múltiple de medias con las pruebas de Duncan, (1955) con un nivel de certeza del 95 % en un inicio de las unidades exploratorias, en los sistemas de manejo de especies arbóreas.

Las figuras diagrama de cajas, en barras o líneas de tendencia detallan los resultados medios de los parámetros determinados. Así mismo, estos datos están procesados mediante el software libre R-Studio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rasgos funcionales de especies arbóreas

La **Tabla 13** muestra las medidas de los rasgos funcionales de especies arbóreas con valores promedios en densidad de madera (DM), diámetro altura de pecho (DAP), área basal (AB), altura total (HT), diámetro de copa (DC) y biomasa aérea (AGBest); de igual manera se muestra la biomasa arbórea (AGB) y carbono arbóreo almacenado (CBt) en total.

Tabla 13. Promedios de rasgos funcionales de especies arbóreas

PPM 1	N.º de Individuos	DM (g/cm^3)	DAP (cm)	AB (m^2)	HT (m)	DC (m)	AGBest (kg/ha)	AGB (t/ha)	CBt (t/ha)
1	22	0.53	22.15	0.05	21.49	8.54	413.81	9.10	4.55
2	16	0.53	22.12	0.05	18.58	9.81	440.29	7.04	3.52
3	26	0.51	21.46	0.05	14.76	7.95	249.12	6.48	3.24
4	30	0.50	18.49	0.03	20.11	5.93	258.28	7.75	3.87
5	27	0.51	23.03	0.05	15.29	6.40	302.26	8.16	4.08
6	28	0.56	18.99	0.03	17.61	7.49	265.13	7.42	3.71
7	20	0.49	20.90	0.04	15.53	7.33	225.03	4.50	2.25
8	26	0.54	21.67	0.05	16.74	7.15	340.27	8.85	4.42
9	30	0.52	20.15	0.04	12.84	6.27	207.08	6.21	3.11
10	21	0.56	20.69	0.04	16.98	6.84	312.21	6.56	3.28
11	31	0.64	22.73	0.05	20.10	9.56	479.04	14.85	7.43
12	25	0.65	17.60	0.03	17.09	5.95	241.49	6.04	3.02
13	25	0.58	19.07	0.03	18.25	5.74	223.33	5.58	2.79
14	25	0.63	20.49	0.04	15.67	4.29	277.54	6.94	3.47
15	28	0.61	18.91	0.03	18.54	4.82	283.97	7.95	3.98
16	21	0.52	20.15	0.04	21.49	5.93	299.63	6.29	3.15
17	15	0.50	24.62	0.06	16.36	7.43	315.96	4.74	2.37
18	13	0.62	23.46	0.06	21.70	6.25	660.48	8.59	4.29
19	32	0.63	19.48	0.04	18.11	6.15	290.44	9.29	4.65
20	29	0.63	19.01	0.03	19.59	5.96	293.90	8.52	4.26
21	32	0.64	18.50	0.03	19.92	5.35	298.11	9.54	4.77
22	35	0.59	22.21	0.05	19.66	5.45	430.23	15.06	7.53
23	29	0.56	21.96	0.04	18.50	5.23	344.15	9.98	4.99
24	21	0.46	21.43	0.04	24.94	5.92	393.33	8.26	4.13

25	19	0.61	15.63	0.02	12.65	4.45	115.85	2.20	1.10
							Total	195.91	97.95

DM=densidad de madera, DAP= diámetro a la altura del pecho, AB= área basal HT= altura total, DC= diámetro de copa, AGBest= biomasa aérea, AGB= biomasa arbórea y CBt= Carbono arbóreo almacenado

Los valores para CBt en las subparcelas 22, 11, 23, 21 y 19 presentan los más altos con 7.53, 7.43, 4.99, 4.77 y 4.65 t/ha respectivamente; y el resto de los valores asilan entre 1.10 a 4.55 t/ha C almacenado, se observa que a mayor DM y número de especie mayor es el almacenamiento de C en la biomasa arbóreo. El inventario de las especies arbóreas está inmersos a un total de 626 individuos en 111 especies y 37 familias; así mismo, se calculó un promedio 97.95 t/ha de carbono almacenado en 195.91 t/ha de biomasa aérea, cuya información son similares a los datos reportados por (Díaz, 2018), en la PPM 1 registra un promedio 84.59 t/ha de carbono en 169.17 t/ha de biomasa aérea. A mejor desarrollo de los rasgos funcionales mayor C almacenado en la biomasa aérea, habiendo encontrado una relación directa entre CBt y DM (Soto, 2016).

El DAP, AB, HT y DC son los rasgos funcionales morfológicos de las especies arbóreas. El rasgo funcional DM es un atributo físico de cada individuo, cuanto mayor densidad presenta sugiere mayor fijación de C en la biomasa vegetal. La AGBest resulta del producto del volumen de cada individuo (DAP) por la DM.

Lozano, Palacios, & Aguirre, (2018), reportan que, en los árboles en un bosque montano bajo almacena en promedio 159,31 t/ha de C en 179 especies arbóreas; además, menciona que los rasgos funcionales que se ajustan mejor a la ecuación para determinar carbono aéreo dependen del diámetro a la altura del pecho, altura total y cantidad y/o dispersión de individuos (especies arbóreas) en los bosques. La deforestación y/o desgaste forestal reducen la cantidad de carbono en el suelo, por ende, conlleva a que la superficie queda expuesta, favoreciendo la erosión y oxidación de los componentes orgánicos presentes en el suelo.

En los ecosistemas boscosos, la cuantificación de la biomasa es inherente para estimar la dinámica de fijación y/o almacenamiento de carbono. Según Pan *et al*., (2011) el 56 % de carbono son almacenados en la biomasa aérea y 32% en el suelo en bosques tropicales, lo que concuerda Balvanera, (2012) que el 60 % de carbono son almacenados en la biomasa aérea y 30% en el suelo.

Por otro lado, el C almacenado en la biomasa aérea no solo es afectado por los rasgos funcionales morfológicos (DM, DAP, HT y DC), sino que tienen una estrecha relación con los rasgos funcionales fisiológicos y su comportamiento fenológico (Silva, 2018).

En la **Figura 9** se observa las familias más predominantes en la parcela PPM 1 con, Fabaceae, Euphorbiaceae, Urticaceae, Moraceae Salicaceae, Myristicaceae y Rubiaceae, representan un 68.85 % aproximadamente y almacenan 19.20; 8.50; 9.11; 6.10, 6.80 y 8.04 t/ha de C en la biomasa arbóreo respectivamente. Lozano, Palacios, & Aguirre, (2018) concluye que la familia Moraceae registra mayor cantidad de biomasa y C.

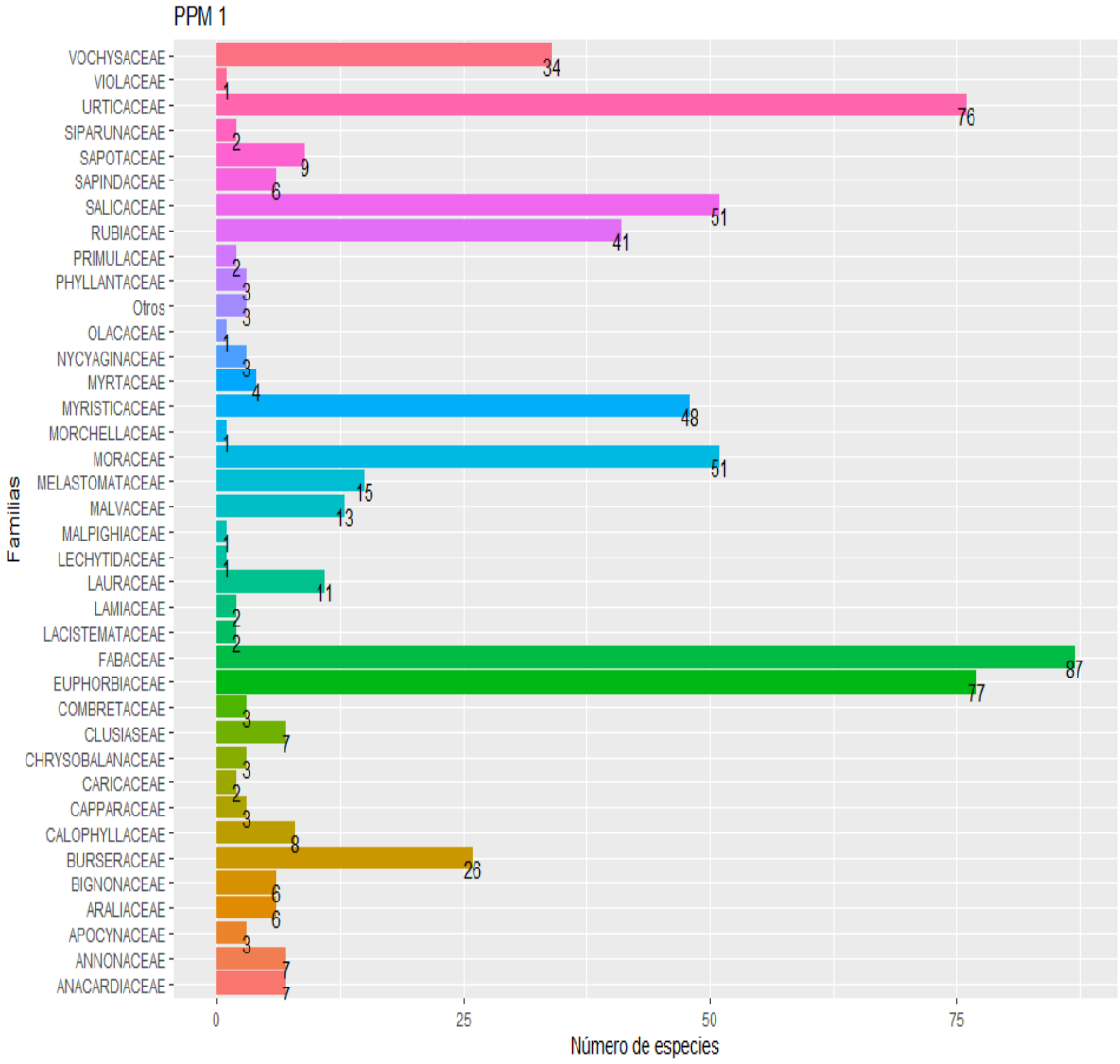

Figura 9. Familias registradas en la PPM 1.

4.2. Almacenamiento de carbono orgánico del suelo

En la **Tabla 14** se visualiza la prueba de medias (Duncan) con un 95% de certeza, se comprobó la existencia de conformidad explicativa entre los grupos de datos. En la PPM 1 del BRUNAS la fijación de COS infieren estadísticamente entre si.

Tabla 14. Carbono Orgánico del suelo promedio t/ha (COS) en subparcelas PPM 1

Subparcelas	Dap (g/cm^3)	MO (%)	COS (t/ha)	Subconjuntos homogéneos
15	0.94±0.04	3.95±0.35	64.86±5.83	a
17	0.87±0.04	4.19±0.70	63.14±10.07	ab
9	0.96±0.08	3.43±0.15	57.40±5.71	abc
6	0.93±0.05	3.4±0.21	55.19±5.05	bcd
25	0.97±0.04	3.01±0.35	50.72±5.71	cde
8	1.00±0.07	2.87±0.20	50.17±4.70	cde
16	0.99±0.02	2.82±0.31	48.46±5.78	cdef
5	0.97±0.04	2.84±0.32	47.89±4.30	defg
3	0.99±0.03	2.76±0.22	47.59±4.14	defg
22	0.92±0.08	2.89±0.51	46.21±8.18	defg
14	0.88±0.12	2.84±0.34	43.35±5.06	efg
1	1.01±0.02	2.36±0.01	41.61±1.55	efgh
23	0.96±0.04	2.48±0.55	41.21±8.34	efgh
24	0.94±0.05	2.54±0.23	41.14±2.60	efgh
10	0.98±0.03	2.35±0.31	39.99±5.94	fgh
7	1.00±0.06	2.22±0.32	38.92±7.24	fgh
2	0.86±0.02	2.56±0.15	38.52±1.82	gh
18	0.98±0.03	1.91±0.34	32.51±5.76	hi
21	1.01±0.02	1.85±0.29	32.39±4.61	hi
20	0.93±0.04	1.67±0.18	26.99±2.63	ij
19	0.95±0.07	1.49±0.32	24.40±4.17	ij
11	1.00±0.03	1.37±0.50	23.88±8.88	ij
4	1.08±0.07	1.15±0.56	21.84±11.71	j
13	0.92±0.06	1.32±0.90	20.64±13.52	j
12	0.98±0.01	1.08±0.38	18.47±6.61	j
Promedio Gral.	0.96	2.45	40.70	
C.V (%)	5.45	15.98	16.30	***

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente entre si (Duncan ≥ 0.05), Dap=densidad aparente, MO=materia orgánica y COS=carbono orgánico del suelo

Los resultados de las subparcelas 15, 17, 09, 06 y 25 almacenan: 64.86, 63.14, 57,40, 55.19 y 50.72 t/ha de carbono orgánico respectivamente, siendo estas los que

alcanzaron los mayores resultados. Además, se observa que en las subparcelas 12, 13, 4, 11, 19 y 20 son clasificados en dos grupos con menos rangos de fijación de carbono en el suelo, con promedios de 18.47, 20.64, 21.84, 23.88, 24.40 y 26.99 t/ha respectivamente. Esto se debe a que en la subparcela 12 se tiene el más alto valor en pendiente (71%), observándose alto grado de erosión superficial, las subparcelas 13 y 19 también son áreas con incidencia de erosión y esto afecta a las subparcelas 11 y 20 que están ubicadas en las faldas de estas subparcelas. Y la subparcela 4 tiene características de estar disturbada por factores antrópicos. A la vez, a mayor concentración de humedad presentes en la parte baja de la PPM 1 (Figura 2) que sugiere mayor pérdida de sustancias solubles producto de la lixiviación.

Los resultados alcanzados de COS oscilan entre de 18.47 a 64.86 t/ha con un promedio de 40.70 t/ha, no son similares a los resultados que presenta Condor, (2019), en las mismas condiciones climáticas, fisiográficas y en el mismo lugar de estudio (BRUNAS), bajo las especies arbóreas similares, presentando resultados de COS que varía de 85.75 a 90.88 t/ha con un promedio de 88.32 t/ha.

Por otro lado, el valor promedio de COS de la presente investigación es mayor a los reportados por (Blas, 2021), quien obtuvo valor de 20.80 t/ha de COS (20 cm de profundidad), en suelos de bosques tropical húmedos, pero en selva baja con altitud 160 a 400 msnm, precipitación de 2510.1 mm/año, Temperatura 26.8 ºC y humedad relativa de 78.9 %.

Por su parte, Macedo, (2019) al estudiar la variación de COS bajo influencia de la pendiente en un bosque primario en la región San Martin, con una temperatura promedio24 ºC, y altitud de 1400 a 2000 msnm, encontraron que la cantidad de COS a los primeros 30 cm de profundidad fue de 42.50 t/ha en pendiente 00%, 44.29 t/ha en pendiente 15%; 36.28 t/ha en pendiente de 30% y 41.21 t/ha en pendiente de 50%de. La variación fue gradual y se asemejan a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

Alegre & Arévalo, (2003) evaluaron los valores de COS (t/ha) a 0.40 cm de profundidad para suelos en bosques primarios de 40 años es de 38.76 t/ha, ubicado aproximadamente a una altitud de 180 msnm, con registros anuales de precipitación de 2200 mm y temperatura promedio de 26ºC, en el distrito de Yurimaguas; y 76.81 y 47.03 t/ha en bosques primario no alterado y con extracción masiva respectivamente, ubicado a 250 msnm, con precipitaciones anuales que varía de 1800 – 3500 mm y con temperatura promedio de 25ºC, en la región de Pucallpa.

La correlación según lo mencionado por Díaz *et al*., (2016), la cantidad de COS almacenado depende de la diversidad de especies arbóreas, mientras más diverso es el

sistema conlleva a mayor la captura de C; influenciado por las condiciones del suelo, clima y sus rasgos funcionales en especial DAP y DC. También sugiere que a mayor porcentaje de enraizamiento tiende a ver mayor espacio poroso lo que implica que el C se pierde por lixiviación, por ende, menor el almacenamiento de COS.

En la **Figura 10**, se esclarecen gráficamente los niveles promedios de COS.

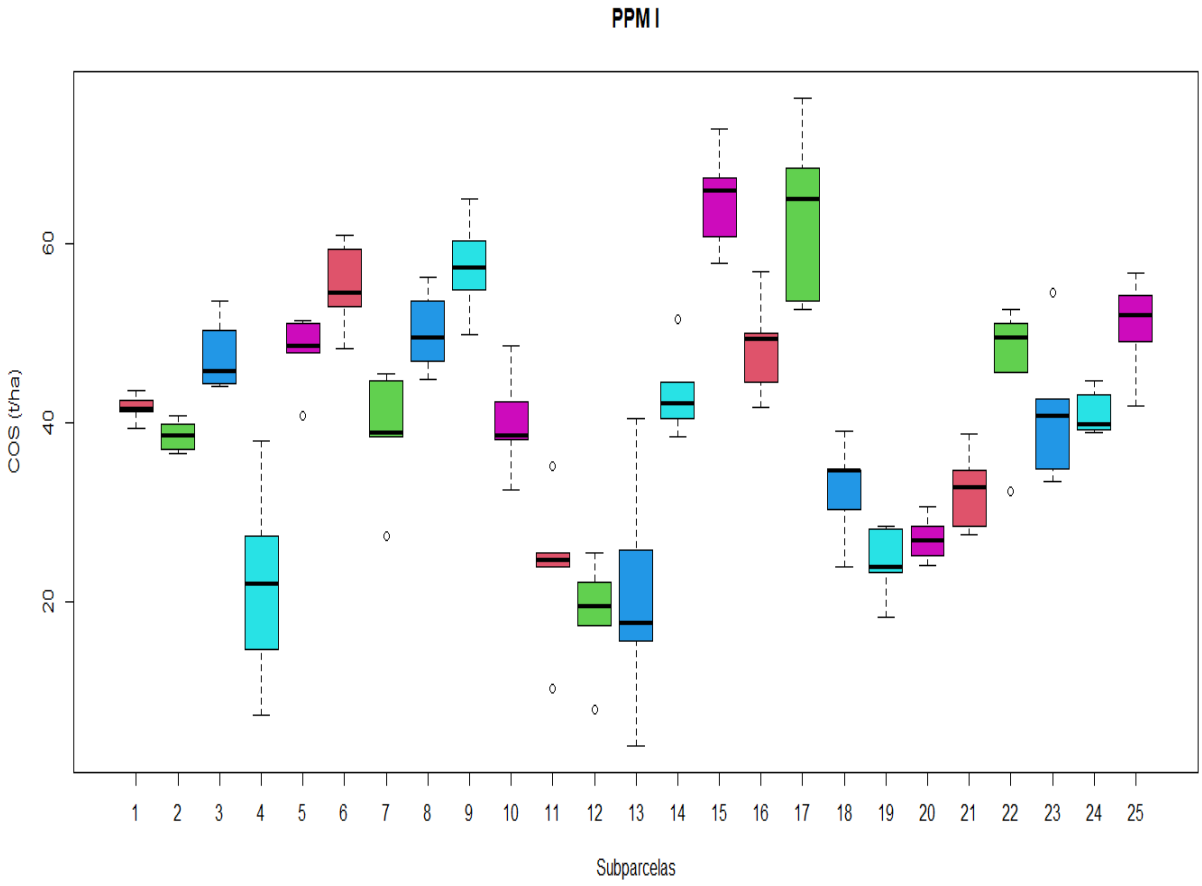

Figura 10. Diagrama de cajas de COS (t/ha) entre las subparcelas de la PPM 1.

En la figura se observa igualdad de dispersión de los valores de COS en las subparcelas 1, 2, 4, 8, 9, y 20 lo que significa que en conjunto de datos es distribuido de manera más asimétrico entre los cuantiles, además hay subparcelas (5, 7, 11, 12, 14, 22 y 23) donde existe datos atípicos cuyas medidas son tres veces mayores a la distancia entre cuartil 1 al 3. Los datos atípicos de COS registrados se deben a los cambios bruscos de pendiente y a la irregularidad topográfica del área de estudio donde se encuentra establecido la PPM 1. Marcos (1996) de acuerdo con la clasificación de Malleux, la PPM 1 esta agrupado en la unidad fisiográfica “Colina alta”, cuyos pendientes oscilan entre 60 y 80%.

4.3. Calidad del suelo a través de las propiedades fisicoquímicas

En la **Tabla 15** se sintetiza la estadística descriptiva del estado actual del suelo concernientes a los parámetros físicos y químicos en la parcela permanente PPM 1.

Tabla 15. Promedios de las propiedades fisicoquímicas del suelo de la PPM 1

Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados			
			Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Físicos	Arena	%	31.00	28.24	34.24	4.49
	Limo	%	20.88	17.00	24.00	10.1
	Arcilla	%	48.12	43.76	51.76	4.44
	Dap	g/cm^3	0.96	0.86	1.08	5.45
	Dr	g/cm^3	2.61	2.56	2.67	1.69
	Pt	%	63.15	59.67	66.16	2.55
	Macroporosidad	%	27.86	24.56	30.83	5.85
	Microporosidad	%	35.29	33.44	36.54	2.63
	K	cm/hr	0.082	0.041	0.145	31.44
	K	m/día	0.020	0.010	0.035	31.44
Químicas	pH	pH	4.24	3.97	4.58	4.34
	MO	%	2.45	1.08	4.19	15.98
	N	%	0.12	0.05	0.21	15.98
	P	ppm	4.88	0.49	8.65	36.02
	K^+	$Cmol^{(+)}/Kg$	60.14	32.69	89.75	28.98
	Ca^{+2}	$Cmol^{(+)}/Kg$	2.60	2.01	3.20	13.21
	Mg^{+2}	$Cmol^{(+)}/Kg$	0.35	0.26	0.49	14.67
	CE	dS/m	0.14	0.08	0.19	28.18
	CIC	$Cmol^{(+)}/Kg$	9.02	7.16	10.06	11.72

Dap= Densidad aparente, Dr= Densidad real, Pt= Porosidad total, K= Permeabilidad, C.V. = Coeficiente de variación

En la PPM 1 los valores de arena, limo y arcilla resultaron de 31.00, 20.88 y 48.12% respectivamente, clasificado texturalmente por el método USDA, (1999) como suelo "Arcilloso".

La Dap varia en intervalos de 0.86 a 1.08 g/cm3 por subparcelas y promedio general de 0.96 g/cm3, estos valores se deben al abundante enraizamiento encontrados en los

primeros 30 cm de la capa del suelo, propios de las especies arbóreas en selvas tropicales Según (Villón, 2016), los rangos de Dap en suelos arcillosos varia de 1.00 a 1.37 g/cm3. Para un Dap ideal en estos suelos deben ser menores a 1.10 g/cm3, y con rango de 1.39 a 1.47 g/cm3 el desarrollo de las raíces pueden ser afectados (Departamento de agricultura de los Estados Unidos USDA, 1999); así mismo, nuestros resultados mostrados no son ajenos a los de Torres, (2023) que encontró una densidad mínima de 0.80 cm3 por las zonas montañosas del distrito de Luyando; de igual manera Quintero, Muñoz, & Castillo, (2022), reportaron que para bosque de pino tienen un intervalo Dap de 0.61 a 0.81 g/cm3; para bosque mesófilo de montaña un intervalo de 0.44 a 0.74 g/cm3. Por otro parte, Díaz et al., (2016) menciona que la Dap es un enlace importante en la reserva/almacenamiento de COS.

La Pt, macro y microporosidad resulto con promedio de 63.15, 27.86 y 35.29% respectivamente. Martínez, Fuentes, & Acevedo, (2008) menciona que la Dap, y el espacio poroso están correlacionados con el aumento de almacenamiento de COS, de manera que, mejora la dispersión de los agregados, como resultado habrá mayor presencia de actividad microbiana, lo que significa que la tasa de descomposición de los residuos vegetales es más acelerada/eficaz.

La permeabilidad (K) en la PPM 1, es de 0.0819 cm/hr, según Nuñez, Pérez, & Prado, (2023) este resultado es propio de suelos arcilloso clasificado como “lento a muy lento”, pero por las altas precipitaciones propias de la zona desfavorece la concentración y retención de las propiedades químicas, elementos bases tales como N, P, K, Mg y Ca.

El pH en el suelo de la PPM 1 resulto 4.24 (ácidos), lo que es propio de suelos en climas de bosques premontanos tropicales. Cuando el pH del suelo es ácido el contenido de MO ayuda a aumentar este indicador acercándole a la neutralidad (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008).

Los resultados obtenidos llegan a un promedio de 2.45 de MO (%), según Alegre & Arévalo, (2003) la MO resulta un rango medio por el nivel de acides que presenta el suelo, con baja tasa de descomposición y posiblemente a la poca actividad microbiana; así mismo, la MO está directamente relacionado con el almacenamiento de COS y Dap, lo que indica que a mayor porcentaje de MO mejora la Dap y habrá más contenido de COS.

Por otro lado, el contenido de N está en función a la MO, resultando un promedio de 0.12%. El N en el proceso de nitrificación libera en ion H^+ con carga positiva, influenciado en disminución del pH (FAO, 2014). Para muchos el pH es un factor que determina la fertilidad, no obstante, este elemento químico contribuye en la tasa de intemperismo/humificación, que

pueden afectar al crecimiento poblacional de los microorganismos, en consecuencia, la calidad del suelo es afectado, como también el desarrollo de especies arbóreas. El pH óptimo para el crecimiento de los árboles es de 5.2 a 7.0, en el cual no presentan toxicidad, conservando los micro y macronutrientes del suelo (Saavedra *et al*., 2021).

Por otra parte, Martínez, Fuentes, & Acevedo, (2008) menciona que la CIC constante deriva de la fracción de arcilla, este indicador químico tiene la capacidad de absorber cationes lo que implica que está directamente vinculada a la fertilidad del suelo.

Según Saavedra *et al*., (2021) la calidad de un suelo se basa generalmente en las propiedades físicas y químicas (Dap, K, textura, Pt, pH, MO y P).

Por otro lado, en la **Tabla 16** se observa los resultados del valor de Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS), demostrando que la PPM 1 está clasificado cono "Sensible", interpretándose que los indicadores fisicoquímicos se apartan circunstancialmente de los rangos óptimos que alcanza un suelo con valor índice de calidad.

Tabla 16. Resultado de Calidad del suelo, método SUSS

Sistema de Uso	Indicadores del suelo	Unidad	Análisis de muestras (PPM 1)	Rangos SUSS		Rn
				Deseable	Corte	
Bosque Primario	MO	%	2.45	5	0.5	0.43
	Dap	g/cm^3	0.96	1.1	1.47	1.38
	CE	dSm^{-1}	0.14	1	4.1	1.28
	pH	pH	4.24	7	5	-0.38
	P disponible	ppm	4.88	5.5	0	0.89
	Mg cambiables	$Cmol^{(+)}/Kg$	0.4	0.3	0	1.17
	Ca cambiables	$Cmol^{(+)}/Kg$	2.6	5	0	0.52
	CIC	$Cmol^{(+)}/Kg$	9.02	15	5	0.40
	N total	%	0.12	0.2	0.05	0.47
Valor calculado (SUSS)						0.68
Clase de Índice de Calidad del Suelo (ICS)						**Sensible**

Dap= Densidad aparente, Rn=resultado normalizado

4.4. Correlación de rasgos funcionales de especies arbóreas, COS, y propiedades físicas y químicas.

4.4.1. Análisis de componentes principales y correlación de Pearson de rasgos funcionales de especies arbóreas versus carbono orgánico del suelo

En la **Figura 11** se observa dos dimensiones, que vienen a ser los componentes principales (PCA); la dimensión uno representa 70% y la dimensión 2 representa el 12. 9 % y cada uno explica el porcentaje de toda la varianza del modelo, ambas dimensiones representan 82.9 % (Elevado/muy bueno). Los puntos dispersos en la figura son la distribución de cada individuo que interactúan en todas las subparcelas. Por encima del promedio la DM alcanza mayor contribución (89.55 %), seguido de AB (16.13 %) y DAP (15.88 %), seguido de área basal (AB) y del diámetro a la altura del pecho (DAP); además, se observa una asociación directa de la biomasa aérea (AGBest), biomasa arbórea (AGB) ante la fijación del contenido de carbono arbóreo almacenado (CBt). De igual manera encontramos que los rasgos funcionales, altura total (HT) y diámetro de copa (DC) tienen menor contribución, inferiores a lo que presenta la dimensión uno.

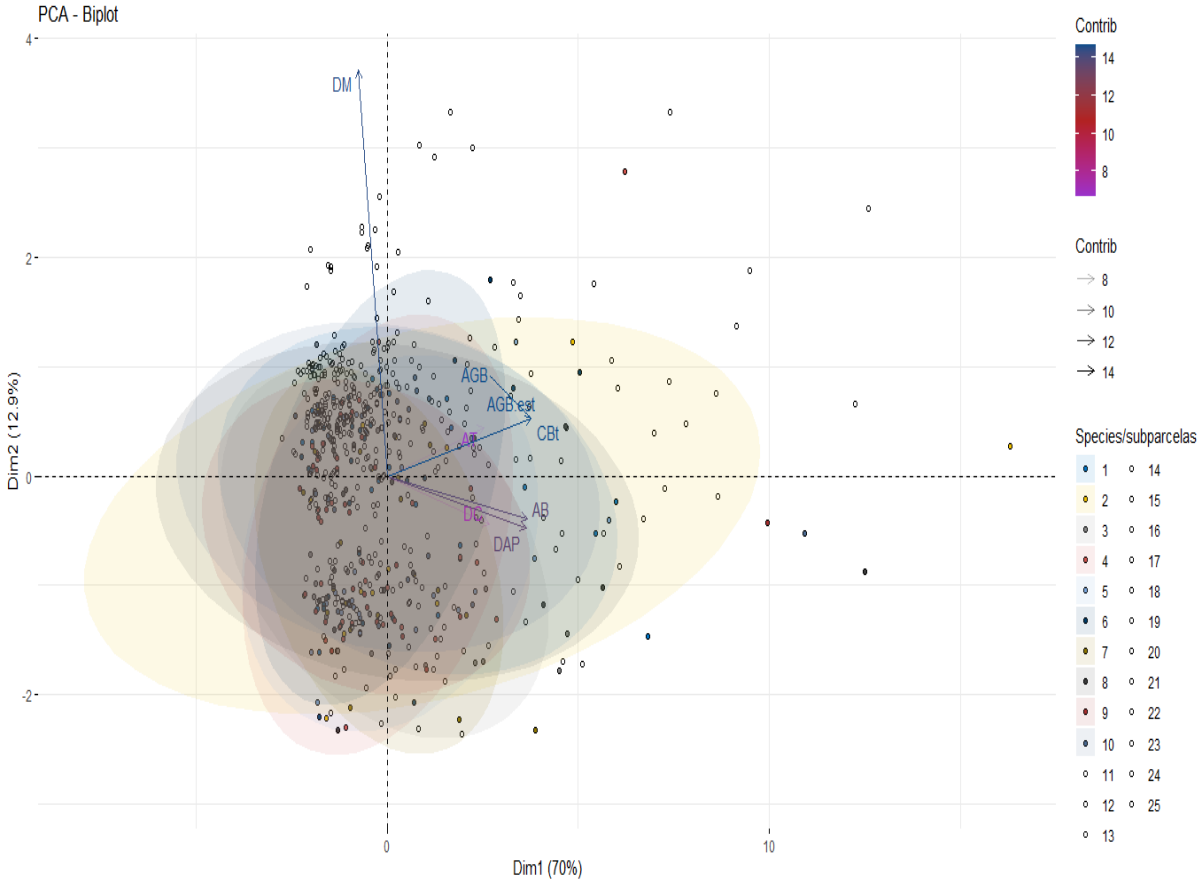

Figura 11. Análisis de componentes principales de rasgos funcionales de las especies arbóreas

DM=densidad de madera, DAP=diámetro a la altura del pecho, AB= área basal, HT=altura total, DC=diámetro de copa, AGBest=biomasa aérea, AGB=biomasa arbórea y CBt=carbono arbóreo almacenado.

Por otro lado, en la **Figura 12** se visualiza la correlación que existe entre los rasgos funcionales de especies arbóreas en la biomasa y contenido de carbono aéreo. El DAP presenta correlación positiva muy fuerte ante AB, positiva media con DC, AGBest y AGB; el AB presenta correlación positiva media ante DC y AGBest y AGB; la HT presenta correlación positiva media ante AGBest y AG; el AGBest tiene correlación positiva perfecta ante AGB; así mismo, el CBt tiene una correlación positiva perfecta con AGB, AGBest, positiva media con HT, AB y DAP. En la figura también se aprecia que el carbono almacenado en el suelo (COS), tiene correlación débil con los rasgos funcionales de especies arbóreas, pues posiblemente se debe que el C sea almacenado en el suelo, intervienen otras variables como: el clima, topografía, tasa de descomposición y drenaje. El nivel de confianza/certeza en las correlaciones existentes esta entre 95 a 99 %.

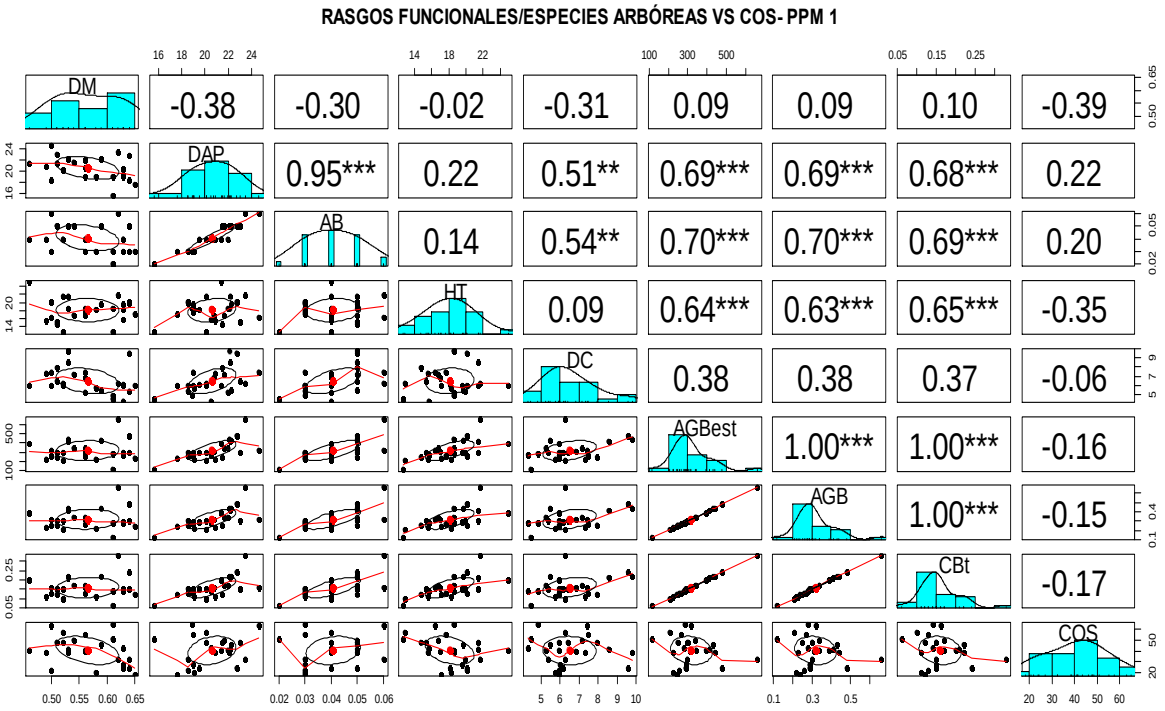

Figura 12. Correlación de Pearson de rasgos funcionales de especies arbóreas entre COS.

DM=densidad de madera, DAP=diámetro a la altura del pecho, AB= área basal, HT=altura total, DC=diámetro de copa, AGBest=biomasa aérea, AGB=biomasa arbórea y CBt=carbono arbóreo almacenado.

4.4.2. Correlación de Pearson de COS versus propiedades físicas del suelo

En la **Figura 13** el este tipo de suelo evaluado, el COS presenta correlación positiva débil con la arcilla y correlación positiva media con limo, macroporosidad y permeabilidad (K), con un nivel de certeza del 95 al 99 % respectivamente; así mismo, se puede visualizar que la arena tiene correlación positiva media con la densidad aparente (Dap), al mismo tiempo presenta correlación negativa débil y media con la porosidad total y

microporosidad respectivamente; el limo tiene correlación negativa considerable con la arcilla, positiva débil con la macroporosidad, negativa media con microporosidad y positiva considerable con la permeabilidad; la arcilla tiene correlación positiva muy fuerte con la microporosidad y negativa considerable con la permeabilidad; la densidad aparente tiene correlación positiva media con la densidad real, negativa media y negativa muy fuerte con la macroporosidad y porosidad total respectivamente; la porosidad total tiene correlación positiva considerable con la macroporosidad; y la microporosidad tiene correlación negativa considerable con la permeabilidad.

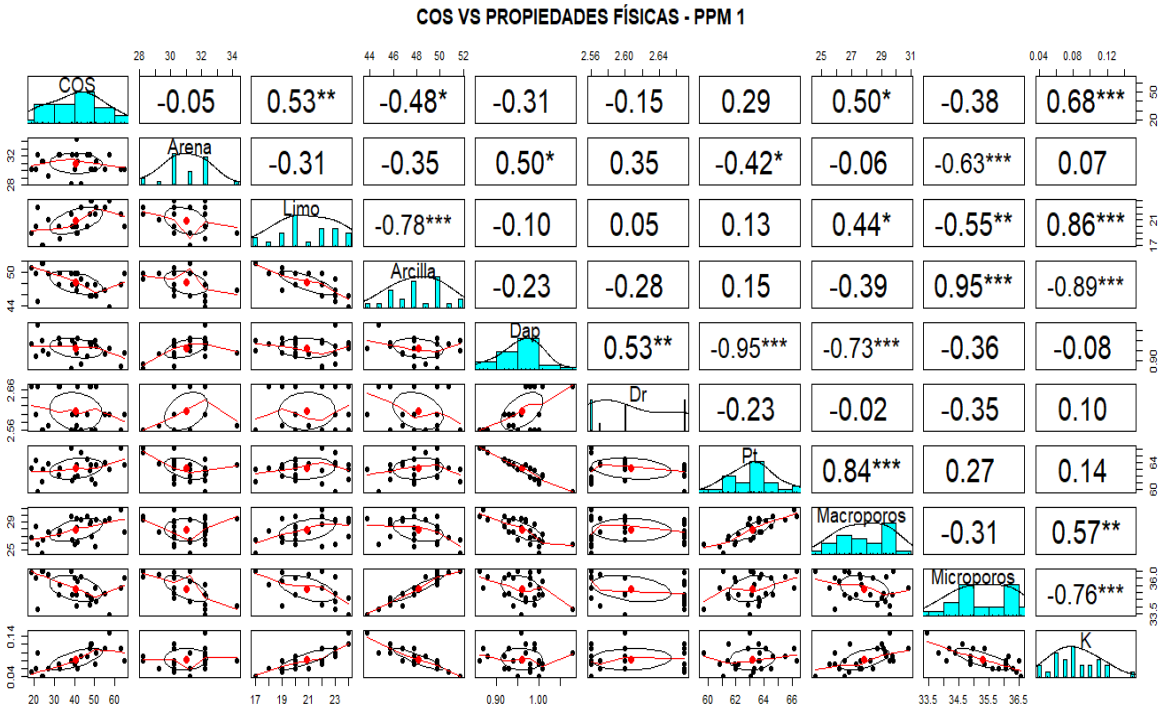

Figura 13. Correlación de Pearson de COS entre propiedades físicas del suelo.

COS= carbono orgánico del suelo, Dap= densidad aparente, Dr=densidad real, Pt=porosidad total, K=permeabilidad.

4.4.3. Correlación de Pearson de COS versus propiedades químicas del suelo

En la **Figura 14** se observa que el COS tiene correlación negativa media con el pH, correlación positiva muy fuerte con el contenido de materia orgánica y nitrógeno total, ambos con un vinel de certeza del 99 %; de igual manera se encuentra correlación negativa media del pH con la materia orgánica, nitrógeno y fosforo; la materia orgánica tiene correlación positiva perfecta con el nitrógeno total; el fosforo y el potasio tienen correlación positiva media; y el calcio y magnesio tienen correlación positiva débil.

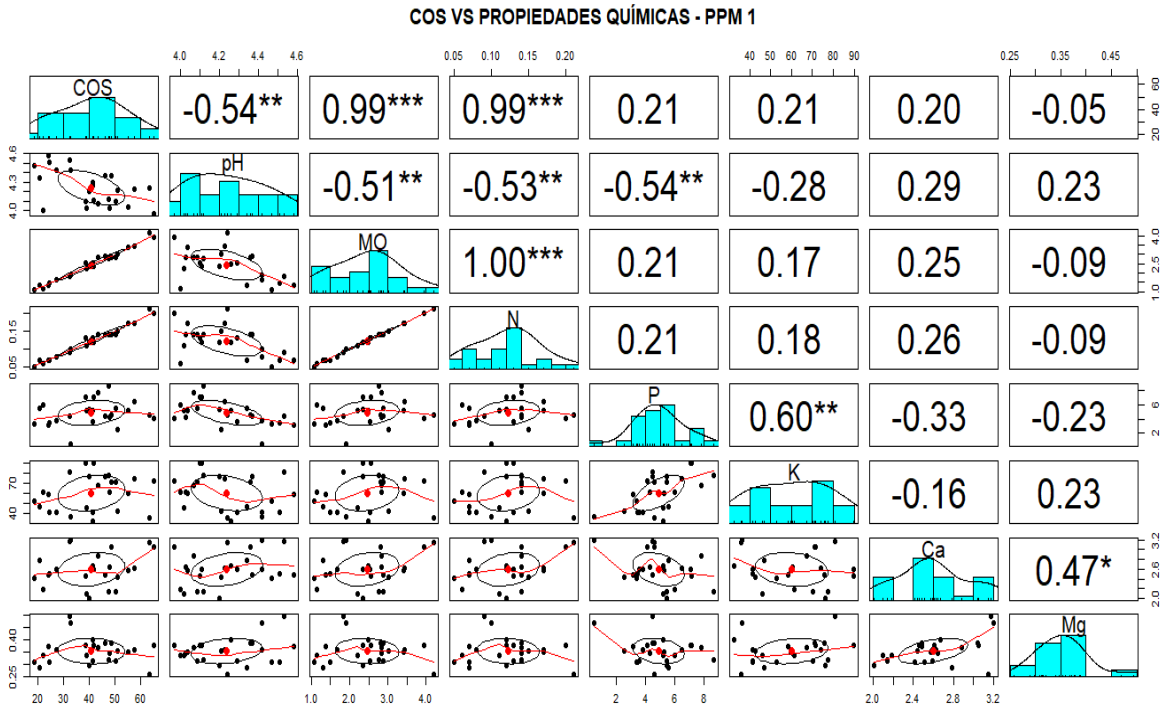

Figura 14. Correlación de Pearson de COS entre propiedades químicas del suelo.

COS=carbono orgánico del suelo

V. CONCLUSIONES

1. Se determino los promedios de los rasgos funcionales DAP, AB, DC, HT y DM para cada individuo, siendo la DM y número de individuos los que conllevan a mayor contenido de CBt. Las familias de especies arbóreas más predominantes en la PPM 1 son: Fabaceae, Euphorbiaceae, Urticaceae, Moraceae Salicaceae, Myristicaceae y Rubiaceae, representan el 68. 85%.
2. Se determino el COS (CV de 16.30%), siendo mayor en las subparcelas 15, 17, 9, 6 y 25 mostrando que existe diferencias estadísticas del resto de los grupos. Basados en clase textural el suelo resulto "Arcilloso", tiene un Dap y porosidad ideal, permeabilidad clasificada entre "lento a muy lento", pH muy bajo, MO y N media y el P, K^{+}, Ca^{+2}, Mg^{+2}, CE y CIC muy bajos. El índice de calidad del suelo de la PPM 1 está clasificada como "Sensible", resultado basado en los rangos interpretativos/descriptivos propuestos por el método SUSS.
3. El DAP, AB y HT se correlaciono positivamente con, AGBest y AGB CBt (p-valor < 0.05); así mismo, la mayor contribución del contenido de C arbóreo es la DM (89.55 %) seguido de AB (16.13 %) y DAP (15.88 %), el COS tiene correlación débil con los rasgos funcionales. El COS tiene correlación positiva con el limo, macroporosidad, K, y correlación negativa con la arcilla; de igual forma tiene correlación negativa con el pH y correlación positiva con MO y el N (p-valor < 0.05).

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Concientizar a la población e instituciones sobre la importancia del secuestro del carbono en la biomasa aérea y en el suelo, enriqueciendo conocimientos que las vías de manejos forestales y suelos conllevan hacia el desarrollo sostenible a nivel local, regional, nacional y mundial, demás permite coadyuvar en el cambio climático y el medio ambiente.
2. En proyectos de reforestación o forestación en bosques tropicales, se recomienda distribuir las especies arbóreas pertenecientes a las familias Fabaceae, Euphorbiaceae, Urticaceae, Moraceae Salicaceae, Myristicaceae y Rubiaceae, siendo estas las que predominan el área (mejor resiliencia).
3. En sistemas de manejo y/o conservación del recurso suelo, tener como referencia los resultados de las subparcelas 15, 17, 9, 6 y 25 (mayor COS), emplearlos en proyectos como la agroforestería, para así conservar y mejorar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), aumentado su calidad en sus propiedades físicas y químicas y tener un mejor desarrollo de sus cultivos agrícolas aumentado la producción y lo más importante conservar y preservar el recurso suelo, que se viene degradando por un mal desempeño agrícola.
4. Tener como referencia estos resultados para continuar con otras investigaciones relacionadas a en la fijación de carbono en la biomasa aérea y COS.

VII. REFERENCIAS

Acevedo, I., Sánchez, A., & Mendoza, B. (2021). Evalución del nivel de degradacion del suelo en dos sistemas productivos en la depresion de quíbor. lI. Calidad del suelo. *Bioagro, 33*(2), 127-134. doi:http://www.doi.org/10.51372/bioagro332.6

Alegre, J., & Arévalo, L. (2003). Reservas de Carbono según el uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana. *ICRAF/INIA*, [En linea] . Obtenido de https://www.fao.org/3/y4435s/y4435s0a.htm#TopOfPage

Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas, 21*(1-2), 136-147. Obtenido de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54026849011

Bazán, R. (2017). *Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego.* Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina, Instituto Nacional de Innovación Agraria.

Blas, V. (2021). *Evaluación de la calidad de suelo mediante indicadores, según el tipo de uso en San Alejandro Irazola - Ucayali.* [Tesis de maestria, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.14292/1999

Bolívar, A., Camacho, C. A., Ordoñez, N., Gutiérrez, J., Alvarez, G., Guevara, M., . . . Vargas, R. (2021). Estimación de carbono orgánico del suelo en Colombia, una herramienta de gestión del territorio. *Ecosistemas, 30*(1). doi:https://doi.org/10.7818/ECOS.2019

Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas, 35*(1), 82-96. doi:http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85.

Cano, O., Vela, G., Acevedo, O. A., & Valera, M. Á. (2021). Concentraciones de carbono orgánico en el arbolado y suelos del área natural protegida El Faro en Tlalmanalco, Estado de México. *Terra Latinoamericana, 38*(4). doi:https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.757

Chávez, J. P. (2018). *Captura y almacenamiento de carbono de los bosques estacionalmente secos de la costa norte (Lambayeque), como mitigación frente al cambio climático.* [Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio La Molina. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12996/3346

Condor, J. J. (2019). *Carbono orgánico del suelo en diferentes unidades fisiográficas del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) Tingo María – Perú.* [Tesis de maestria, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Obtenido de http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2057

Díaz , E. (2018). *Analisis estructural del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva mediante parcelas permanentes de medición.* [Tesis de maestria, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Obtenido de http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1359

Díaz, P., Fachin , G., Tello , S., & Arévalo, L. (2016). Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable (RINDERESU), 1*(2), 57 - 67. Obtenido de http://www.rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/22/06

FAO. (2008). *Base referencial mundial del suelo. Un marco conceptual para la clasificación, correlación y comunicacion internacional.* Roma. Obtenido de https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/es/

FAO. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe.* Union Europea: L-2995 Luxembourg, 176 pp. doi:10.2788/37334

FAO. (2018). El estado de los bosques del mundo.

Fernández, F. (2020). *Desarrollo del modelo para determinar el stock de carbono organico del suelo con base en reflectancia difusa. Caso: Carimagua - Meta.* Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Agronomia.

Huamán, M. L., Espinoza, F., Barrial, A., & Ponce, Y. (2021). Influencia de la altitud y características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria, 12*(1), 83 - 90. doi:http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.010

Huamancayo, G. G. (2013). *Carbono almacenado en tres sistemas ganaderos en el distrito de Jesé Crespo y Castillo, Aucayacu.* [Tesis de ingeniero, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Obtenido de http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/822

ICRAF. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. *Centro Mundial Agroflorestal*.

Imaña, J., Serpa, M. J., Cervantes, R., & Otacilio, A. (2016). Abundancia, peso específico y diversidad funcional de un fragmento del bosque estacional semi deciduo de la Región Central del Brasil. *Revista forestal mesoamericana kurú, 14*(34), 37 - 44. doi:https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.3000

IPCC. (2006). Grupo Internacional de Expertos sobre el cambio climático.

Jiménez, A. (2021). La diversidad mejora el almacenamiento de corbono en los bosques tropicales. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento, 5*(3), 316-323. doi:https://doi.org/10.26820/recimundo/5.(3).sep.2021.316-323

Kevin, P., Jandl, R., Kohl, J., & Lavigne, M. (2003). El papel de los bosques en ciclo, la captura y el almacenamiento de carbono. *Recuperado de, 1*(1). Obtenido de http://iufro-archive. boku. ac. at/iufro/taskforce/tfcs/issue1_march31_Spanisch. pdf.

Loayza, N. V., Sevilla, V., Olivera, C., Guevara, M., Olmedo, G., Vargas, R., . . . Jiménez, W. (2020). Mapeo digital de carbono orgánico en suelos de Ecuador. *Ecosistemas, 29*(2), 1852. doi:https://doi.org/10.7818/ECOS.1852

Lozano, D. C., Palacios, B. G., & Aguirre, Z. H. (2018). Modelos alométricos para estimar el almacenamiento de carbono de bosques montanos bajos en el sur del ecuador. *Ciencia florestal, 28*(3), 1328-1339. doi:https://doi.org/10.5902/1980509833464

Macedo, W. (2019). *Influencia de la pendiente en el almacenamiento de carbono en el suelo en bosque primario de cerro escalera, provincia y región San Martín.* [Tesis de maestria, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Unas. Obtenido de http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1869

Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegtal, 8*(1), 68-96. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006

MINAM. (2014). Guia para el muestreo de suelos. *Resolucion Ministerial Nº 059-2015*.

Mondragón, F. (2021). Ciclos de dióxido de carbono en la formación y utilización de combustibles fósiles y su efecto en el cambio climático. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exacta, Físicas y Naturales, 45*(176), 833-849. doi:https://doi.org/10.18257/raccefyn.1364

Murga, H., Coronado, M. F., Abanto, C., & De Almeida, F. (2021). Gradiente altitudinal y su influencia en las características edafoclimaticas de los bosques tropicales. *Madera y bosques, 27*(3), e2732271. doi:https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732271

Nuñez, J. L., Pérez, J., & Prado, J. V. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc, 14*(6). doi:https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148

Orozco, S., Gamboa, A., & Barradas, V. (2009). *La diversidad funcional del ecosistema.* Universidad Nacional Autónoma de México.

Pan, Y., Kauppi, P., Houghton, R. A., & Kurz, W. A. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science, 333*(988 - 993). doi:10.1126/science.1201609

Paz, F., & Etchevers, J. (2016). Distribución a profundidad del carbono orgánico en los suelos de México. *Terra Latinoam, 34*(3), 339-355.

Puerta, R. H. (2007). *Modelo digital de elevación del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.* [Tesis de maestria, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Obtenido de http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1908

Quintero, S. D., Muñoz, A., & Castillo, V. M. (2022). Estimación de carbono en las raíces en bosques de la Sierra de Manantlán, México. *Madera y Bosques, 28*(2). doi:https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822431

Ramírez, A. R., Guerrero, A., Zavala, J., García, E., Sánchez, R., & Rincón, J. A. (2022). Evaluación de la calidad de suelo de Tabasco, México, con métodos convencionales, espectroscopia de infrarrojo cercano y quimiometría. *Terra Latinoam, 41*, 1-12. doi:https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1616

Rojas, R. M. (2017). *Efecto de los sistemas silvopastoriles sobre el almacenamiento de carbono orgánico del suelo en el distrito de José Crespo y Castillo.* [Tesis de ingeniero Zootecnista, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Obtenido de http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1114

Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales.* World Agroforestry Centre (ICRAF). Consórcio iniciativa amazonica (IA).

Saavedra, L., Alvarado, D., Martinez, T., & Hernández, P. (2021). Propiedades físicas y químicas del suelo urbano del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. *Terra Latinoam, 38*(3), 529 - 540. doi:https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.644

SAGARPA. (2012). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo. FAO y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México.

Salazar, R. (2022). *Rasgos funcionales de la vegetación arbórea de un bosque de colina y su relación con los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento.* [Tesis de maestria, Univesidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Obtenido de http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2131

Salgado, B. (2016). *La Ecología Funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad:protocolos y aplicaciones.* Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Silva, A. C. (2018). *Diversidad funcional a través de una gradiente de uso de suelo en la cuenca de Lucre - Provincia de Quispicanchi.* [Tesis para Biologo, Universidad Nacional de San Antonio Abab del Cusco]. Repositorio UNSAAC. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12918/4943

Soto, L. E. (2016). *Biomasa Aérea y Composición Florística en Dos parcelas permanentes de medición (PPM) en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María.* [Tesis de ingeniero, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS.

USDA. (1999). *Guía para la evaluación y calidad y salud del suelo.*

Vallejos, L. L. (2021). *Mapa de carbono orgánico del suelo (COS 0-30) del centro sur de la provincia de Buenos Aires.* (Tesis de grado, Universidad Nacional del Sur. Departamento de Agronomia). Obtenido de https://repositoriodigital.uns.edu.ar/xmlui/handle/123456789/5815

Vela, A. W. (2019). *Rasgos funcionales asociados al servicio ecosistémico de mitigación del cambio climático en árboles de colinas altas del bosque reservado.* [Tesis de maestria, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Obtenido de http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1722

Vela, F. (2019). *Composición florística y estructura de bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en parcela permanente de medición.* [Tesis de maestria, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Obtenido de http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1658

Villón, M. (2016). *Drenaje agrícola.* Centro de Información Tecnológica (CIT).

Zanne, A. E., Lopez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., . . . Chave, J. (2009). *Global Wood Density Database.* Obtenido de http://datadryad.org/handle/10255/dryad.235,27jun2016

Zelada, H., & Reynel, C. (2019). Estimación de rasgos funcionales en dos especies arbóreas de. *Revista forestal del Perú, 34*(2), 132-143. doi:http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v34i2.1323

VIII. ANEXOS

Tabla 17. Análisis de varianza, niveles de carbono orgánico del suelo en subparcelas PPM 1

Fuente de variación (F.V.)	Grados de libertad (G.L.)	Suma de cuadrados (S.C.)	Cuadrado medio (C.M.)	F calculada (Fcal)	F de tablas (Ftab)
Tratamientos	24	20490.3	853.76	19.392	< 0.001 ***
Error	100	4402.6	44.03		
Total	124	24892.9			
Promedio	40.70				
C.V (%)	16.30				

*** = Altamente significativo, C.V.=coeficiente de variación

Tabla 18. Análisis de varianza para los niveles de materia orgánica del suelo en las subparcelas PPM 1

Fuente de variación (F.V.)	Grados de libertad (G.L.)	Suma de cuadrados (S.C.)	Cuadrado medio (C.M.)	F calculada (Fcal)	F de tablas (Ftab)
Tratamientos	24	83.219	3.4675	22.548	<0.001 ***
Error	100	15.378	0.1538		
Total	124	98.597			
Promedio	2.45				
C.V (%)	15.98				

*** = Altamente significativo, C.V.=coeficiente de variación

Tabla 19. Prueba de varianza para la densidad aparente del suelo en las subparcelas de la PPM 1

Fuente de variación (F.V.)	Grados de libertad (G.L.)	Suma de cuadrados (S.C.)	Cuadrado medio (C.M.)	F calculada (Fcal)	F de tablas (Ftab)
Tratamientos	24	0.2793	0.0116374	4.2387	>0.001 ***
Error	100	0.27455	0.0027455		
Total	124	0.55385			
Promedio	0.96				
C.V (%)	5.45				

*** = Altamente significativo, C.V.=coeficiente de variación

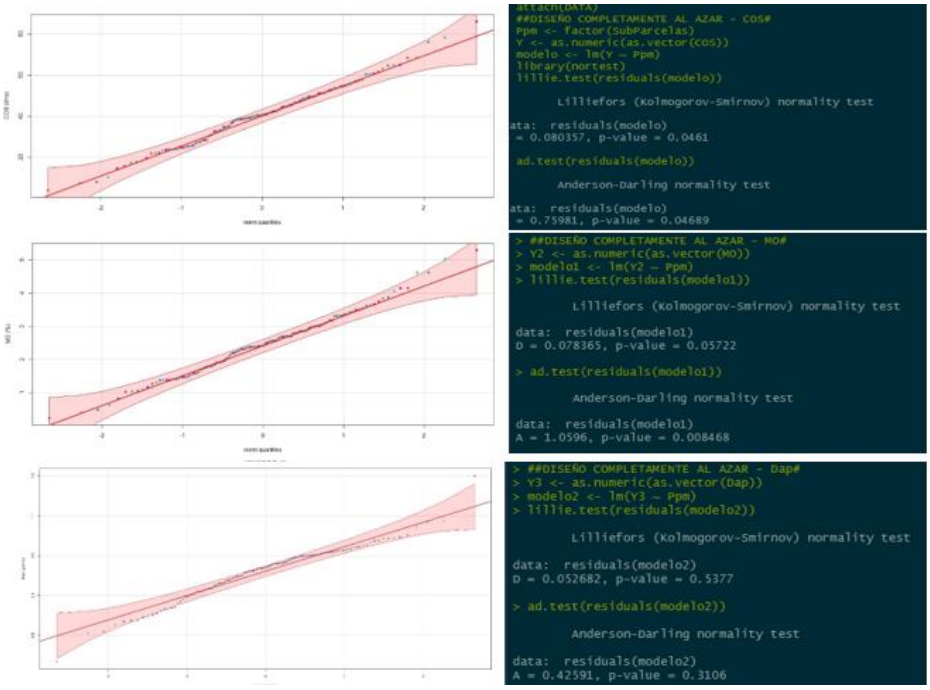

Figura 15. Prueba de normalidad de la base de datos (COS, MO y Dap).

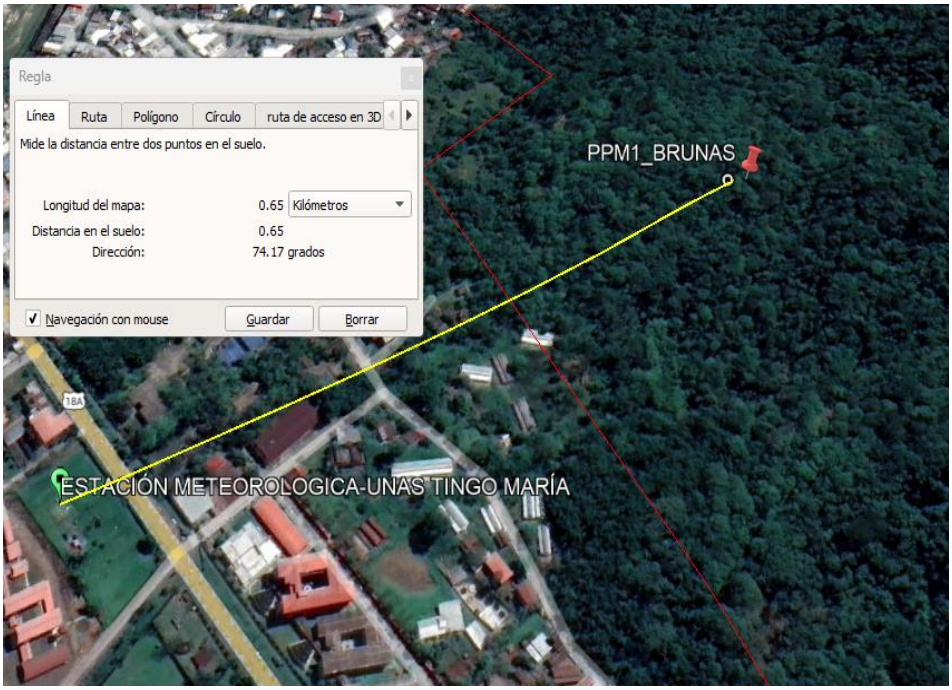

Figura 16. Distancia desde la estación UNAS-Tingo María a la zona de estudio

Fuente: imagen obtenida del programa espacial Google Earth Pro

Figura 17. Kits para muestro de suelos, densidad aparente.

Figura 18. Toma de una muestra de suelo en el cilindro metálico.

Figura 19. Extracción de muestras de suelo, con el uso del barreno.

Figura 20. Pesado y secado de muestras de suelo en los cilindros metálicos.

Figura 21. Preparación de reactivos (solución sal de Morth).

Figura 22. Proceso para determinar el contenido de materia orgánica.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

LASAE

ANALISIS DE SUELOS

1. DATOS

SOLICITANTE:	DAVIRAN VEGA ROMEL	MUESTREADO POR:	DAVIRAND VEGA ROMEL
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	17/07/2023
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	17/07/2023
DISTRITO:	RUPA RUPA	FECHA DE REPORTE:	20/07/2023
LUGAR:	PARCELA PERMANENTE 1 BRUNAS	RECIBO O FACTURA:	23018885
CULTIVO:	ESPECIES ARBOREAS	OBSERVACION:	----

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

N°	DATOS		ANALISIS MECANICO				pH	CE	M.O.	N	C	P	K	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidos Cambiables	Saturación de Aluminio
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural		dS/m				disponible												
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	%	%		1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm		CAMBIABLES Cmol(+)/kg							%	%	%
1	S1072	S1	38	28	34	Franco Arcilloso	3.77	0.191	4.761	0.238	2.761	7.080	89.711	—	2.606	0.376	0.185	0.094	5.843	0.610	9.713	33.565	66.435	60.154
2	S1073	S3	38	29	33	Franco Arcilloso	3.61	0.193	4.108	0.205	2.393	9.646	77.466	—	2.142	0.321	0.156	0.089	5.280	0.960	8.947	30.259	69.741	59.011
3	S1074	S5	34	42	24	Arcilloso	3.82	0.128	2.935	0.147	1.702	4.279	60.723	—	2.643	0.346	0.131	0.082	6.420	0.440	10.062	31.826	68.174	63.802
4	S1075	S7	38	30	32	Franco Arcilloso	3.88	0.133	3.717	0.186	2.156	5.185	46.980	—	2.093	0.339	0.116	0.080	4.838	0.050	7.515	34.960	65.040	64.374
5	S1076	S12	38	42	20	Arcilloso	3.92	0.105	2.087	0.104	1.210	3.373	52.727	—	2.416	0.308	0.131	0.086	7.028	0.030	9.997	29.407	70.593	70.293
6	S1077	S14	43	28	29	Franco Arcilloso	3.70	0.162	3.195	0.160	1.853	17.791	67.470	—	2.880	0.368	0.172	0.083	6.225	0.050	9.778	36.825	64.175	63.664
7	S1078	S18	34	42	24	Arcilloso	5.06	0.029	1.304	0.065	0.757	0.489	36.484	—	3.200	0.470	0.082	0.083	3.000	0.330	7.164	53.519	46.481	41.875
8	S1079	S21	38	34	28	Franco Arcilloso	3.94	0.135	2.739	0.137	1.589	4.444	80.964	—	3.174	0.494	0.246	0.079	5.310	0.420	9.722	41.064	58.936	54.616
9	S1080	S23	44	28	28	Franco Arcilloso	4.06	0.100	2.904	0.149	1.627	5.185	132.692	—	2.667	0.400	0.394	0.088	5.363	0.250	9.161	38.736	61.264	58.535
10	S1081	S25	43	30	27	Franco Arcilloso	4.23	0.075	1.761	0.088	1.021	2.549	42.731	—	2.441	0.353	0.103	0.087	4.726	0.300	8.008	37.250	62.750	59.003

Los Resultados presentados son válidos unicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA

ING. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA
Jefe del Laboratorio de Analisis de Suelos, Agua y Ecotoxicologia

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA · FACULTAD DE AGRONOMIA · Laboratorio de Análisis de Suelos · Tingo María

analisisdesuelosunas@hotmail.com
Carretera Central Km 1.21 - Tingo Maria - CELULAR 944407531

Escaneado con CamScanner

Figura 23. Resultados de análisis químicos de las muestras de suelo.