



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Estimación del carbono y propiedades fisicoquímicos en
profundidades de suelos y niveles altitudinales de sistemas
silvopastoriles en Picota, San Martín**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental**

AUTORES:

Pinedo Gastelo, Bruno Alexander (orcid.org/0000-0002-1507-6660)
Torres Garcia, Jose Carlos (orcid.org/0000-0002-6280-7067)

ASESOR:

Dr. Vallejos Torres, Geomar (orcid.org/0000-0001-7084-977X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TARAPOTO – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, VALLEJOS TORRES GEOMAR, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TARAPOTO, asesor de Tesis titulada: "Estimación del carbono y propiedades fisicoquímicos en profundidades de suelos y niveles altitudinales de sistemas silvopastoriles en Picota, San Martín", cuyos autores son TORRES GARCIA JOSE CARLOS, PINEDO GASTELO BRUNO ALEXANDER, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TARAPOTO, 22 de Julio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
VALLEJOS TORRES GEOMAR DNI: 01162440 ORCID: 0000-0001-7084-977X	Firmado electrónicamente por: GVALLEJOST el 22- 07-2024 19:41:16

Código documento Trilce: TRI - 0830913



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, TORRES GARCIA JOSE CARLOS, PINEDO GASTELO BRUNO ALEXANDER estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TARAPOTO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Estimación del carbono y propiedades físicoquímicos en profundidades de suelos y niveles altitudinales de sistemas silvopastoriles en Picota, San Martín", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
BRUNO ALEXANDER PINEDO GASTELO DNI: 73139754 ORCID: 0000-0002-1507-6660	Firmado electrónicamente por: BPINEDOGA23 el 22-07-2024 22:13:11
JOSE CARLOS TORRES GARCIA DNI: 70992798 ORCID: 0000-0002-6280-7067	Firmado electrónicamente por: JTORRESGA1 el 22-07-2024 22:03:39

Código documento Trilce: TRI - 0830911

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos. A mis padres por ser mi soporte y apoyo desde inicio a fin de la carrera profesional. A mi hermana por sus consejos y motivaciones para seguir adelante en el proceso de estudio. A mi familia y amigos por su apoyo incondicional, confianza y hacer que este sueño y meta se me cumpla.

“Pinedo Gastelo, Bruno Alexander”

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia. Principalmente, a mis padres José y Belta por ser mi fuente de inspiración, motivación y brindarme todo su apoyo para alcanzar mis metas, a mi hermana Jaclyn por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

“Torres García, José Carlos”

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ayudarme y guiarme a cumplir con todos mis objetivos y metas, a mis padres por su apoyo incondicional y ser pieza fundamental en este proceso de estudios dándome fuerzas para seguir adelante y ser un gran profesional. A mis docentes, por las enseñanzas dadas en toda mi formación universitaria. A mis amigos, familiares y compañeros de trabajo por su apoyo día tras día de este proceso formativo. Agradezco a mi mejor amigo que a pesar de las dificultades que puedo haber en este proceso siempre me brindo su apoyo y fuerzas para no rendirme y poder culminar satisfactoriamente.

“Pinedo Gastelo, Bruno Alexander”

Quiero expresar mi agradecimiento a nuestro docente el Dr. Geomar Vallejo Torres, por su contribución a este trabajo de tesis, su orientación experta, profundo conocimiento y dedicación. Por último, agradezco eternamente a mis padres con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

“Torres García, José Carlos”

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	iv
Declaratoria de autenticidad del asesor	ii
Declaratoria de originalidad del autor.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	viii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. METODOLOGÍA.....	08
III. RESULTADOS.....	12
IV. DISCUSIÓN.....	19
V. CONCLUSIONES	22
VII. RECOMENDACIONES.....	23
REFERENCIAS.....	24
ANEXOS.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Análisis de varianza (ANVA) para el contenido de carbono Orgánico del Suelo.....	14
Tabla 2 Análisis de varianza (ANVA) para el contenido de materia orgánica (%)	15
Tabla 3 Análisis de varianza (ANVA) para el contenido de arena (%)	17
Tabla 4 Análisis de varianza (ANVA) para el contenido de limo (%).....	18
Tabla 5 Análisis de varianza (ANVA) para el contenido de arcilla (%).....	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Prueba de Tukey ($p < 0.05$) del contenido de carbono orgánico del suelo	15
Figura 2. Prueba de Tukey ($p < 0.05$) del contenido de materia orgánica (%).....	16
Figura 3. Prueba de Tukey ($p < 0.05$) del contenido de arena (%).....	17
Figura 4. Prueba de Tukey ($p < 0.05$) del contenido limo (%).....	18
Figura 5. Prueba de Tukey ($p < 0.05$) del contenido arcilla (%).....	19
Figura 5. Prueba de Tukey ($p < 0.05$) del contenido arcilla (%).....	20

RESUMEN

Se estimó el carbono y propiedades fisicoquímicos en profundidades de suelos y niveles altitudinales de sistemas silvopastoriles en Picota, San Martín. La selección se realizó en Sistema silvopastoril en dos niveles altitudinales y profundidades de suelos. La muestra estuvo conformada por subparcelas dentro de cada bosque en dos niveles altitudinales (300-400 msnm y 800-1 000 msnm) y cinco profundidades, siendo estas de 0-15 y 15-30 cm. Esta investigación fue de carácter básica, descriptivo y correlacional con un enfoque cuantitativo. Se estudiaron el carbono orgánico y principales propiedades físico-químico de suelos sistemas silvopastoriles establecidos en dos niveles altitudinales. Los análisis fueron medidos por el software R Studio para tener mayor precisión y calidad científica. Al mismo tiempo pruebas de ANOVA y Tukey a un nivel de 0.05. El mayor contenido de COS se presentó en suelos con profundidad de 0-15 cm con un valor superior a 30 t C ha^{-1} ; mientras que la altitud de 800-1000 presentó mayores valores de COS superior a 50 t C ha^{-1} . La materia orgánica y el limo mostraron diferencias significativas en los horizontes estudiados. En tanto se encontró significancia inversa negativa entre el contenido de materia orgánica y el contenido de limo. Se concluyó que los sistemas silvopastoriles muestran diferencias significativas a nivel de profundidades y niveles altitudinales; mientras que el limo, materia orgánica solo a nivel de profundidades de suelo.

Palabras clave: Horizontes, silvopastoriles, arena, limo, arcilla.

ABSTRACT

Carbon and physicochemical properties were estimated in soil depths and altitudinal levels of silvopastoral systems in Picota, San Martín. The selection was carried out in a silvopastoral system at two altitudinal levels and soil depths. The sample was made up of subplots within each forest at two altitudinal levels (300-400 meters above sea level and 800-1 000 meters above sea level) and five depths, these being 0-15 and 15-30 cm. This research was basic, descriptive and correlational in nature with a quantitative approach. The organic carbon and main physical-chemical properties of soils in silvopastoral systems established at two altitudinal levels were studied. The analyzes were measured by R Studio software to have greater precision and scientific quality. At the same time ANOVA and Tukey tests at a level of 0.05. The highest SOC content occurred in soils with a depth of 0-15 cm with a value greater than 30 t C ha^{-1} ; while the altitude of 800-1000 presented higher values of SOC greater than 50 t C ha^{-1} . Organic matter and silt showed significant differences in the studied horizons. Meanwhile, a negative inverse significance was found between the organic matter content and the silt content. It was concluded that silvopastoral systems show significant differences at depth and altitudinal levels; while silt, organic matter only at soil depth level.

Keywords: Horizons, silvopastoral, sand, silt, clay.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día el cambio climático viene generando efectos negativos severos con el calentamiento global y afectación a los cultivos agrícolas y ecosistemas agroforestales. Probablemente sea consecuencia del anhídrido carbónico (CO²), el elemento más resaltante presente en la atmósfera (Phillips et al., 2017). En los últimos tiempos, se ha visualizado el incremento acelerado del clima nacional y mundial; tal es así que se indica que se incrementó en 1 °C, generando cambios ecológicos y perjudicando a la salud del suelo; esto ha provocado el desbalance del crecimiento de los cultivos a través de los cambios morfológicos, aparición de plagas y enfermedades, sequías, inundaciones, pérdida de la biodiversidad y afectaciones al ecosistema (Phillips et al., 2017).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) se consideran como el uso importante de la tierra y brindan una amplia gama de servicios ecosistémicos, incluido el secuestro de carbono (C) del suelo (Pagiola et al. 2007). Los pastos asociados a árboles forestales brindan sombra al ganado; siendo esta de gran impacto ecológico en tiempos de sequía y verano (Rusch et al. 2014). Asimismo, los SSP brindan insumos como leña. Frutos, servicios ecosistémicos, humedad, etc (Ballantyne et al. 2012). La retención de carbono y la salud ecosistémica emitida por los SSP permitirá minimizar las emisiones de dióxido de carbono (Aryal et al., 2019).

La agricultura con tecnología de regeneración es de vital importancia para la mitigación del cambio climático (Drever et al., 2021; Roe et al., 2021). Un mayor uso de árboles en la agricultura (es decir, "agroforestería"), como a través de cortavientos, cultivos en callejones o silvopastos (Fargione et al., 2018), es una forma prometedora de aumentar la cantidad de carbono (C) sobre el paisaje, así como generar otros servicios ecosistémicos como sombra para el ganado reducción del estrés por frío y viento, así como una mayor fertilidad del suelo (Torralba et al., 2016), biodiversidad, calidad del agua (Salceda et al., 2023) y hábitat de vida silvestre.

En este contexto, es primordial realizar estimaciones precisas del almacenamiento de C en los bosques tropicales. Porque los programas como REDD+ pueden compensar recursos económicos para los países en desarrollo que minimizan su carbono (Sills et

al., 2017); por lo tanto, descifrar contenidos de C en los SSP es clave en términos políticos y económicos, no solo ecológicos, a la hora de diseñar políticas efectivas.

Por consiguiente, se planteó como problema, ¿Cuál es el contenido de carbono y propiedades físico-químico en profundidades de suelos y niveles altitudinales en sistemas silvopastoriles en Picota, San Martín?; los específicos: ¿Cuál es el contenido de carbono y materia orgánica en dos niveles altitudinales y profundidades de suelos de sistemas silvopastoriles?; ¿Cuál es el contenido de arena, limo y arcilla en profundidades de suelos y niveles altitudinales en sistemas silvopastoriles?; además de ¿Cuál es la correlación entre el carbono y contenidos de arena, limo y arcilla profundidades de suelos y niveles altitudinales en sistemas silvopastoriles?

Este estudio se justificó teóricamente en dar a conocer los niveles de C retenidos en los sistemas silvopastoriles de la provincia de Picota; que a su vez son claves en términos políticos y económicos, no solo ecológicos, a la hora de diseñar políticas efectivas. Se conoce que los bosques varían desde 250 a 500 m s.n.m. y albergan una diversidad de árboles importantes para los estudios de biodiversidad y almacenamiento de carbono. Como justificación teórica, la presente propuesta buscó desarrollar nuevos conocimientos de las reservas de carbono almacenado en suelos de dos SSP ubicados en dos niveles altitudinales de la provincia de Picota; de tal manera genere un indicador de medida ambiental y a la vez tomar medidas de protección a dichos usos de suelos y dentro de la Justificación metodológica, este estudio se ha tenido en cuenta metodologías validadas y publicadas en revistas de alto nivel de impacto sean estas Cuartiles 3, 2 y 1; al mismo tiempo, se cuenta con el asesor especialista en el tema. Cuenta con una publicación en la revista *The Journal of Agricultural Science*, asimismo se busca que esta investigación contribuya con metodologías apropiadas para dar pase a programas de medición y aplicación de bonos de carbono en la región San Martín que muy bien podría adaptarse para otros sistemas y bosques de la amazonia peruana.

Por consiguiente, el objetivo general fue estimar el carbono y propiedades físico-químico en profundidades de suelos y niveles altitudinales de sistemas silvopastoriles de Picota, San Martín: (1) Determinar el contenido de carbono y materia orgánica en dos niveles altitudinales y profundidades de suelos de sistemas silvopastoriles de Picota, San Martín; así como (2) Determinar el contenido de arena, limo y arcilla en

profundidades de suelos y niveles altitudinales en sistemas silvopastoriles de Picota, San Martín y (3) Analizar la correlación entre el carbono y contenidos de arena, limo y arcilla profundidades de suelos y niveles altitudinales en sistemas silvopastoriles de Picota, San Martín.

En tanto, la Hipótesis general: Existe diferencias significativas del carbono y propiedades físico-químico en profundidades de suelos y niveles altitudinales de sistemas silvopastoriles de Picota, San Martín; por lo cual, se tendrá como Hipótesis específicas: (1) Existe diferencias significativas del contenido de carbono y materia orgánica en dos niveles altitudinales y profundidades de suelos de sistemas silvopastoriles de Picota, San Martín; así como (2) Existe diferencias significativas del contenido de arena, limo y arcilla en profundidades de suelos y niveles altitudinales en sistemas silvopastoriles de Picota, San Martín; y (3) Existe diferencias significativas en la correlación entre el carbono y contenidos de arena, limo y arcilla profundidades de suelos y niveles altitudinales en sistemas silvopastoriles de Picota, San Martín.

Tomando como antecedentes estudios previos, se presenta el estudio en dos niveles: Para el dominio Internacional, según Greene et al. (2023) examinaron el C y las implicaciones económicas de agregar diferentes sistemas silvopastoriles a los pastos existentes en áreas históricamente boscosas del este de los Estados Unidos (EE. UU.). Evaluaron nueve sistemas distintos, combinando árboles de sombra y animales de ganado para dos escenarios de mercado: uno basado en la demanda actual y otro que supone una mayor demanda de productos de sistemas silvopastoriles. En su estudio midieron el almacenamiento de C (biomasa) y la economía (tasas internas de retorno (TIR) con y sin pagos de C). Encontraron que los silvopastos tienen la capacidad potencial de mitigación porque varían ampliamente ($0.5\text{--}6,5 \text{ tCO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), debido a las diferencias entre especies en las tasas de acumulación de C. Además, si bien algunos sistemas son rentables sin ningún precio para el C (por ejemplo, la silvopastura basada en forraje ofrece una TIR de 6 a 14 % a 10 años sin un precio para el C), probablemente serían necesarios pagos más altos por el C para desencadenar una amplia inversión en madera y Silvopastura a base de nueces. Los autores concluyeron que en todo el este de EE. UU., los ecosistemas con pastos ofrecen muchas ventajas; siendo la más importante la mitigación del cambio climático;

al mismo tiempo que generan rentabilidad económica y ambiental al agricultor y la población en conjunta

Kogge et al. (2021) midieron tipos de suelos de una llanura tropical húmeda. Las características fisicoquímicas y textura del suelo analizado se obtuvo a través de métodos estándar. Los suelos analizados en su totalidad tuvieron una característica ácida con pH que oscilan entre 4.5 y 6.2. El H^+ y el Al^{3+} intercambiables variaron de 0.5 a 2.3 y de 0.2 a 3.3 $cmol\ c\ kg^{-1}$, respectivamente. Los niveles de COS mostraron mayores concentraciones en la superficie y se redujeron con la profundidad. Por lo tanto, el COS se correlacionó significativamente con la densidad aparente (BD) ($r = -0.648$), capacidad de retención de agua ($r = 0.580$), intercambiable Al^{3+} ($r = 0.707$) e intercambiable H^+ ($r = 0.456$). La correlación entre SOC y Al^{3+} intercambiable fue de 0,931. Los contenidos de COS se correlacionaron significativamente con los atributos de color del suelo de Munsell, lo que explica entre el 40 y el 57 % de la variación del SOC. Los autores concluyeron que la variación en las existencias de COS a lo largo de un perfil parece estar controlada por la profundidad del horizonte genético, mientras que el tipo de uso de la tierra influye en las variaciones de las existencias de COS a lo largo de los horizontes genéticos superficiales. Asimismo, Aryal et al. (2022) evaluaron las reservas de carbono superficiales y subterráneas en seis usos diferentes de la tierra en México. Midieron la biomasa arbórea y contenidos de carbono. También calcularon índices de diversidad de árboles para cada uso de suelo y su similitud con los bosques primarios nativos. Las reservas de COS mostraron una respuesta diferencial al gradiente de uso de la tierra dependiendo de la región de estudio. Los sistemas silvopastoriles y los remanentes de bosques almacenaron entre un 27 % y un 163 % más de carbono en comparación con los pastizales abiertos. Los autores demostraron la importancia de promover sistemas silvopastoriles apropiados y conservar los remanentes de bosques dentro de paisajes dominados por el ganado como una estrategia de mitigación de carbono basada en la tierra.

Vásquez, (2020) Analizó cuatro sistemas de pastos con árboles (SSP) y un ecosistema sin sombra evaluaron biomasa y diversidad de flora, análisis de la nutrición del suelo en época seca y lluviosa bajo dos profundidades. El mayor stock de C y CO^2 se presentó en el SSP con Pona (179 y 658 t/ha) mientras que Aliso (108 y 396.46 t/ha). El autor concluyó que el sistema que mostró una mayor retención de carbono fue el SSP con Pona y el más bajo fue el SSP con Aliso.

Hoosbeek et al. (2018) identificaron tres áreas distintas asociadas con el impacto de la deposición de hojarasca de árboles: (1) pastizales abiertos: sin deposición de hojarasca de árboles; (2) copa de los árboles: hojarasca de árboles por encima y por debajo del suelo; y (3) cono de hojarasca: deposición de hojarasca de árboles sobre el suelo. Además, se consideró el efecto de las especies arbóreas *Guazuma ulmifolia* y *Crescentia alata*. La presencia de árboles, en comparación con los pastos, provocó mayores contenidos de C, N y P en la capa superficial del suelo. En el subsuelo el contenido de C también fue mayor debido a la presencia de árboles. Los resultados indicaron que los árboles mejoran el secuestro de C del suelo en estos sistemas silvopastoriles. Analizaron que el ciclo de nutrientes se vio favorecido por la presencia de árboles, pero con una clara diferenciación entre especies. *C. alata* (Jícara) mejoró las formas disponibles y estabilizadas de N orgánico, mientras que *G. ulmifolia* (Guácimo) mejoró el P disponible en el suelo y estabilizó el P orgánico.

Como antecedentes en el contexto nacional, tenemos a Huamán-Carrión et al. (2021) analizaron la influencia de los niveles altitudinales en la retención de COS *Stipa*, *Festuca* y *Calamagrostis*, y su correlación con las principales propiedades fisicoquímicas de los suelos en Apurímac, Perú. Los autores colectaron suelos de niveles altitudinales que van desde 4 000 a 4 410 m s.n.m. Sus resultados testados indican que no existe significancia en el almacenamiento de COS de las especies estudiadas, obtuvieron 364.33 t ha⁻¹. La correlación de COS y altitud, textura del suelo, T° y MO fueron de 0.84; 0.72; -0.30; -0.56; -0.82 y 0.91, respectivamente. Llegaron a una conclusión que, al incrementarse las altitudes, los contenidos de carbono se incrementan; viéndose influenciados por las características del suelo; mientras que a menores grados de temperatura favorecen la retención de C como consecuente de la materia orgánica.

Clemente-Arenas (2021) analizó la potencialidad del almacenamiento de C en ecosistemas con café en la selva de Perú. Las reservas de carbono fueron medidas teniendo en cuenta el tiempo y el espacio capturado en la atmósfera (Mg/ha/año). Obtuvieron resultados importantes donde evidencian que los sistemas agroforestales de Huánuco retienen C en un valor promedio de 344.24 Mg. ha⁻¹ en agroforestería con *T. cacao* "cacao" y otras especies forestales de más de 16 años y el segundo con 288.98 Mg. ha⁻¹ en agroforestería con *B. excelsa* Bonpl. "castaña", *P. sericea* Tul.

“umari”, *C. cateniformis* Ducke “tornillo” y *S. multijuga* Rich. “pashaco” con edad desconocida. Los autores concluyeron que la agroforestería; es decir, los cultivos agrícolas como *T. cacao* asociado a árboles de sombra representan la mejor opción en la retención de C después de los bosques secundarios.

Relevancia teórica del estudio, Según reportes los mayores contenidos de C y N del suelo inducidos por los árboles pueden deberse a la mayor productividad primaria neta y producción de hojarasca de los sistemas con árboles en comparación con la vegetación de pastos únicamente, porque los sistemas de múltiples estratos tienen una mayor absorción de recursos y capacidad fotosintética (Chapin et al. 2012). Trabajando en SPS en el distrito de Matagalpa en el centro de Nicaragua, Casals et al. (2014) también observaron que los contenidos de C y N del suelo eran mayores debajo de los árboles en comparación con los pastos abiertos.

Por lo tanto, se considera al suelo como un medio natural importantísimo para contrarrestar los efectos del cambio en el clima, debido al rol en el ciclo de carbono en la tierra (Burbano, 2018); grandes investigaciones desarrolladas en el tema se llevaron a cabo en el sistema suelo de ecosistemas forestales y boscosos y escasos estudios en bosques de protección como los andes tropicales comparado entre la selva amazonia y el área costero (Loayza et al., 2020). Se ha advertido que las prácticas agrícolas, como la quema, escasa rotación de cultivos, etc. modifican y revierten la retención de carbono del suelo, con impactos negativos en el ambiente por el despegue del CO₂ a la atmósfera y esto podría conducir a efectos negativos en el planeta.

Tal es así que se ha indicado consecutivamente que el cambio climático son ocurrencias que suceden en la atmósfera, por los fenómenos fotosintéticos promovido por el carbono, una proporción de dicho carbono al llegar al suelo puede estabilizar por etapas prolongados hasta miles de años. A la luz de esta consideración, los suelos con baja o alta proporción coadyuvan a las prácticas de reducir la modificación climática (Agencia Europea del Medio Ambiente [AEMA], 2015).

La biomasa aérea es la principal fuente de aumento de C en los sistemas agroforestales, especialmente los silvopastoriles (Shi et al., 2018). Sin embargo, un metaanálisis global encontró que la conversión de pastos o pastizales en silvopastos

aumentó el C del suelo en los 30 cm superiores en un 10 % en promedio (De Stefano y Jacobson, 2018). Investigaciones adicionales sobre el cambio de C en el suelo por especies de silvopastos ayudarían a aclarar todo el potencial de mitigación.

II. METODOLOGÍA

Tipo y diseño de investigación: Esta investigación será básica y de carácter descriptivo y correlacional, ya que se describirá la conducta de las variables estudiadas. El enfoque fue cuantitativo, debido que se tomaron muestras de suelo al largo de cuatro perfiles y se realizaron los análisis correspondientes del carbono (Hernández et al., 2014). Su propósito es buscar y establecer nuevos conocimientos en campo que servirán para analizar los niveles de carbono de suelos en bosques de Picota.

Diseño de investigación: El estudio estará constituido por un diseño no experimental, dado a que no pretende manipular variables establecidas (Ato et al., 2013); siendo estas variables el estudio de carbono crítico, saturado y carbono orgánico de los suelos mediada por las características fisicoquímicas de los suelos en los sistemas silvopastoriles de la provincia de Picota. Las muestras serán colectadas en su forma natural dependiendo de los estratos silvopastoriles y trasladadas al laboratorio de suelos del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT). Será descriptiva y correlacional ya que se generará información en función a los análisis de suelos y reservas de carbono a lo largo de los dos bosques de protección.

Variables y operacionalización: La variable Independiente consiste en el sistema silvopastoril en dos niveles altitudinales (300-400 y 800-1000 msnm); horizontes de suelos (0-15; 15-30 cm). Se adjunta tabla de variables en Anexos 1. Asimismo, en cuanto a la **definición conceptual se indica que la** biomasa vegetal ubicada en la superficie terrestre genera influencia potencial en la presencia del carbono en diferentes ecosistemas altitudinales (Eisfelder et al., 2017), debido a la biomasa y el impacto de la microfauna que descomponen en distintos niveles y por ende reteniendo carbono (Torres et al., 2019). La **definición operacional muestra que el** análisis del estudio ha considerado metodologías e información relevante de fuentes científicas de gran impacto; en tal sentido se pretende descifrar los contenidos de carbono en bosques de dos niveles altitudinales en subparcelas de 250 m² en 5 hectáreas con una **escala de medición Ordinal**.

En cuanto a la **variable dependiente** se consideró al carbono orgánico y principales propiedades físico-químico de suelos sistemas silvopastoriles establecidos en dos niveles altitudinales y la **definición conceptual** son los contenidos de carbono en un ecosistema está influenciado por diversos compartimentos; llámase biomasa superficial, sobre el suelo y netamente en el suelo influenciado por la presencia de microfauna (Moore et al., 2018); con una **definición operacional** enfocado a las subparcelas a estratificarse en los bosques se medirán los contenidos de carbono debajo del suelo que serán trasladados y analizados en el ICT (Solis et al., 2020), con **escala de medición** Ordinal.

Población, muestra y muestreo: La población se consideró a dos bosques ubicados en dos niveles altitudinales con un área no menor de 5 has; en dicho bosque se estratificaron subparcelas para los análisis, siguiendo la metodología de Solis et al. (2020). Para la toma de muestras se consideró a dos bosques con diferente cobertura vegetal, diferentes especies, diferente eco clima en cada zona de estudio. Considerándose una muestra conformada por subparcelas dentro de cada bosque en dos niveles altitudinales (300-400 msnm y 800-1 000 msnm) y cinco profundidades, siendo estas de 0-15 y 15-30 cm; como lo indica el método de Nautiyal et al. (2019). Asimismo, una muestra de 12 muestras de suelo para cada indicador mencionado en el estudio. De cada perfil vertical del suelo se extrajo una muestra para los análisis respectivos; tomándose seis muestras por bosque.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Para este estudio se propuso los fundamentos científicos de revistas de alto factor de impacto en estudios de carbono (Solis, et al. 2020) y otros autores actuales.

Instrumentos de recolección de datos: Para esta investigación se emplearon formatos realizadas en una hoja de Excel elaborado en base a artículos científicos modelos encontrados para el trópico. Al mismo tiempo que se utilizó una hoja de Excel para el registro de los datos para analizar estadísticamente los datos recogidos en cada escenario de estudio. Se midió el COS por Walkley, Black (1934). Asimismo, los formatos se presentan en Anexos.

Procedimientos

Identificación y selección de las parcelas: Para este estudio se han identificado los sistemas silvopastoriles y áreas deforestadas en el Centro Poblado de Santo Tomas, Provincia de Picota; ubicado a una altitud entre 300 a 1 000 msnm. Asimismo, la evaluación de los sistemas vegetales para el estudio se realizó con el apoyo de un guía con conocimientos de los bosques (Anexo 3 y 4).

Diseño de subparcelas: Los dos sistemas vegetales propuestos en el estudio fueron seleccionados teniendo en cuenta a la pendiente del suelo, edad del ecosistema; a la vez deberá pastos permanentes en asociación de árboles de sombra. Las subparcelas estuvieron establecidas con distanciamiento mínima de 100 m una del otro; para medir la distancia se hará uso de una wincha y se registrará en el cuaderno de apuntes. El estudio estuvo enmarcado en la metodología propuesto por Yu *et al.* (2019).

Carbono en bosques: Se dio inicio con la estratificación de las subparcelas; para ello se establecerán en sistemas silvopastoriles de dos niveles altitudinales (300-400 y 800-1 000 msnm) en cada sistema se colectaron suelos de dos horizontes siendo este de 0-15 y de 15-30 cm (Anexo 5 y 6).

$$\text{COS} = \text{Ps} * \text{Da} * \text{CO}$$

Para determinar la DA se empleó un cilindro de 5,6 por 5.1 cm indicados por Blake y Hartge (1986) el análisis se realizó en g cm^{-3} (Anexo 7). Para ello se emplearon la fórmula:

$$\text{DA: } \text{Wd}/\text{V}$$

Cálculo de las propiedades físico – químicas: Se midió por el método de textura hidrómetro, el pH y la conductividad eléctrica se midieron mediante un potenciómetro de suspensión en una solución suelo-agua 1:2,5, los carbonatos (CaCO_3). El carbono inorgánico- del suelo se determinaron mediante el método volumétrico de gas, MOS por Walkley y Black, capacidad de intercambio catiónico (CIC) por acidez potencial + suma de bases tal como se indica en la publicación de Vallejos-Torres *et al.* (2023) (Anexo 8).

Método de Análisis de datos: Los análisis fueron medidos por el software SPSS ver 23 para tener mayor precisión y calidad científica. Se aplicó la normalidad de datos por la prueba de Shapiro-Wilk ($P < 0.05$). Al mismo tiempo, pruebas de ANOVA y Tukey para determinar la significancia entre variables, a un nivel de 0.05. Se correlaciono variables mediables en el estudio.

Aspectos éticos: Este estudio estuvo respaldado por publicaciones científicas de los cuartiles 1, 2 y 3 indexadas en SCOPUS y teniendo en cuenta las NORMAS ISO y los lineamientos estructurados por la Universidad César Vallejo y RVI N°081-2024-VI-UCV.

III. RESULTADOS

Se presentan los resultados a partir de suelos colectadas en sistemas silvopastoriles (SSP), a fin de desarrollar un diagnóstico de la calidad de suelos y contenido de carbono.

Contenido de carbono y materia orgánica en dos niveles altitudinales y profundidades de suelos de sistemas silvopastoriles

La Tabla 1 muestra el análisis de varianza (ANVA) al indicador COS (COS-t C ha⁻¹) en un sistema silvopastoril en dos horizontes (0-15 y 15-30), hubo significancia solo en el factor B (horizontes), con un coeficiente de correlación de 62% y un coeficiente de variabilidad de 15.95%, en los demás factores e interacción no hubo significancia. Sin embargo, los más altos valores de carbono orgánico se encontraron en la profundidad de 0-15 cm; mientras que la altitud de 800-1000 presentó mayores valores de COS. En tanto, esto es corroborado en la prueba de Tukey, donde el COS presentó diferencias significativas para los horizontes estudiados en la altitud de 800-1000 msnm (Figura 1).

Tabla 1 Contenido de carbono orgánico del suelo

Factor de variación	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	Factor corrección	p-valor
Modelo	13.28	3	4.43	4.42	0.0413*
Factor A: Altitud (m s.n.m.)	0.02	1	0.02	0.02	0.8851N. S
Factor B: Horizontes	12.66	1	12.66	12.64	0.0075**
Altitud*Horizontes	0.59	1	0.59	0.59	0.4637N. S
Error	8.01	8	1		
Total	21.29	11			

** : Altamente Significativo * : Significativo

N.S: No Significativo

R²= 62% C.V= 15.95%

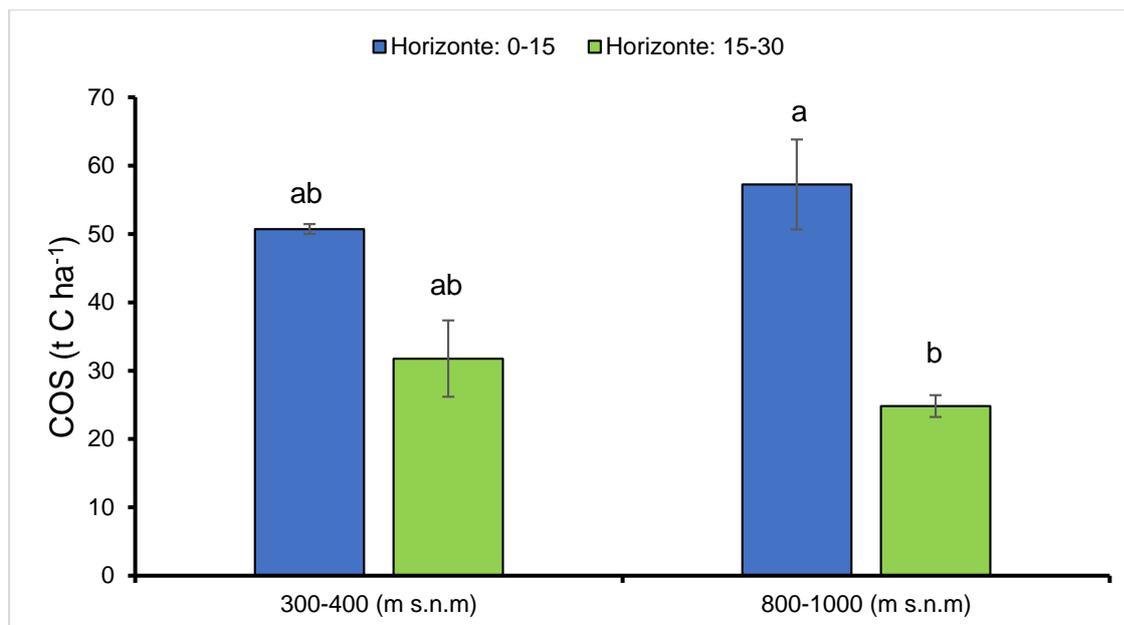


Figura 1 Prueba de Tukey ($p < 0.05$) del contenido de carbono orgánico del suelo

La Tabla 2 muestra ANVA al indicador materia orgánica (%) en el mismo tipo de sistema silvopastoril con dos horizontes (0-15 y 15-30), en este indicador hubo significancia en el factor B (horizontes) dejando sin efecto significativo el factor A y la interacción (AxB), con un coeficiente de correlación de 54% y un coeficiente de variabilidad de 17%. Estos resultados se vieron comprobados en la prueba de Tukey la cual no tuvo diferencias significativas (Figura 2).

Tabla 2 Contenido de materia orgánica (%)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.62	3	0.21	3.11	0.0884N. S
Factor A: Altitud (m s.n.m.)	0.000001	1	0.000001	0.00001	0.9969N. S
Factor B: Horizontes	0.61	1	0.61	9.28	0.0159*
Altitud*Horizontes	0.004	1	0.004	0.07	0.8023N. S
Error	0.53	8	0.07		
Total	1.15	11			

** : Altamente Significativo * : Significativo

N.S: No Significativo

$R^2 = 54\%$ C.V = 16.69%

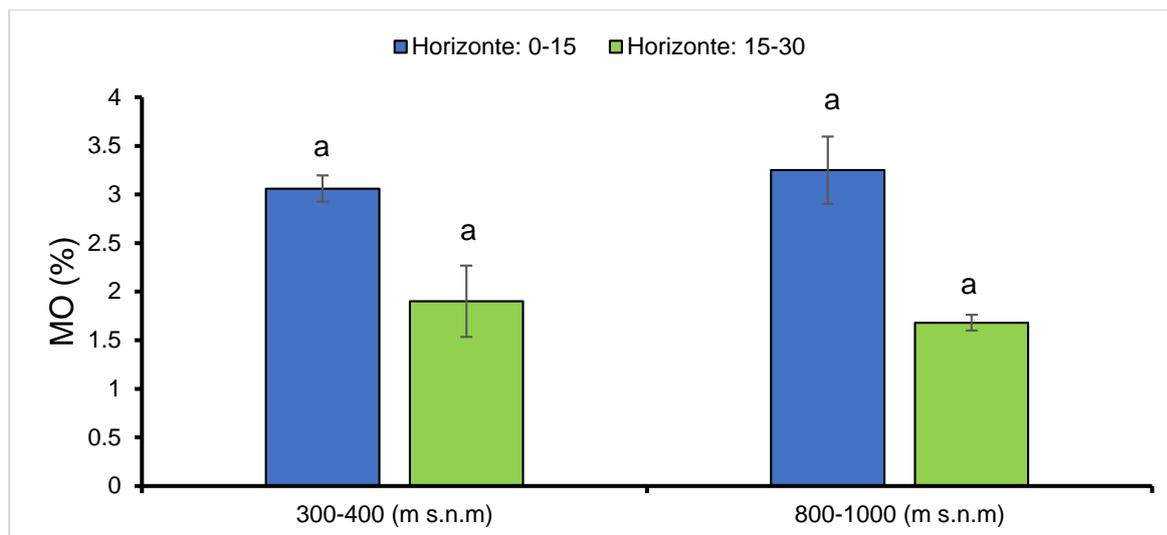


Figura 2 Prueba de Tukey ($p < 0.05$) del contenido de materia orgánica (%)

Contenido de arena, limo y arcilla en profundidades de suelos y niveles altitudinales en sistemas silvopastoriles

Otro parámetro evaluado fue el contenido de arena, la Tabla 3 muestra el ANVA de este indicador en el tipo silvopastoril a dos horizontes (0-15 y 15-30), hubo significancia en el factor A (altitud), sin embargo, en el factor B (horizontes) y la interacción de ambos no se mostró esta significancia, con un coeficiente de correlación de 72% y un coeficiente de variabilidad de 4%. El principal resultado se dio en el horizonte 0-15 y a una altitud de 300-400 m s.n.m. (Figura 3).

Tabla 3 Contenido de arena (%)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.44	3	0.48	6.93	0.0129*
Factor A: Altitud (m s.n.m.)	1.27	1	1.27	18.41	0.0026**
Factor B: Horizontes	0.14	1	0.14	2.08	0.1875N. S
Altitud*Horizontes	0.02	1	0.02	0.3	0.5962N. S
Error	0.55	8	0.07		
Total	1.99	11			

** : Altamente Significativo * : Significativo

N.S: No Significativo

$R^2 = 72\%$ C.V = 3.78%

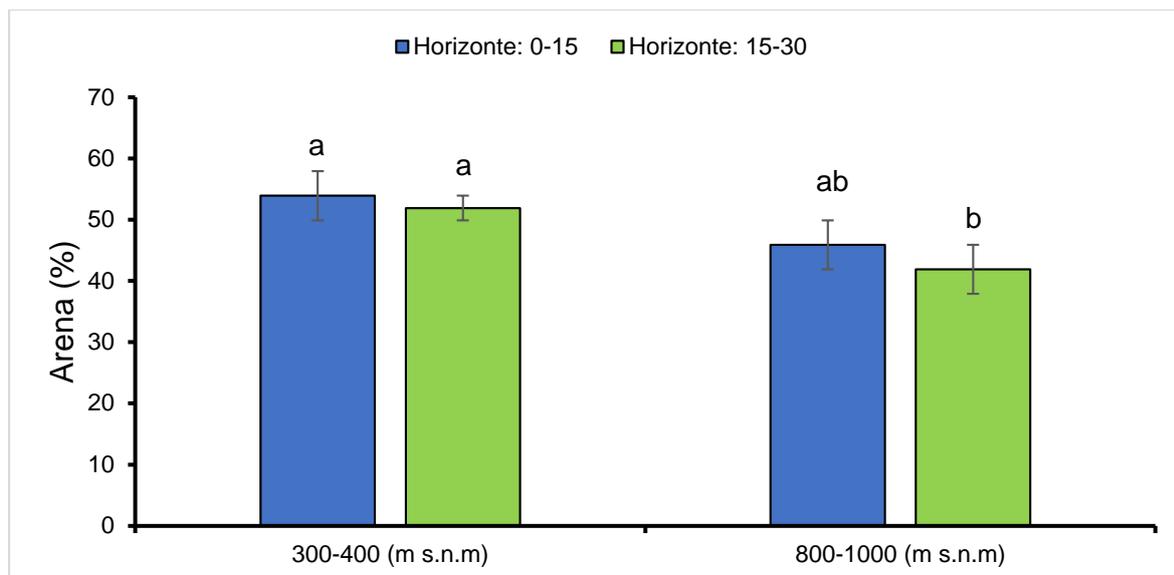


Figura 3 Prueba de Tukey ($p < 0.05$) del contenido de arena (%)

La Tabla 4 muestra el ANVA de la cantidad de limo en un sistema silvopastoril a dos horizontes (0.15 y 15-30), se tuvo resultados significativos en el factor B (horizontes), sin embargo, en el factor A y la interacción de ambos factores no hubo diferencia estadística, con un coeficiente de correlación de 72% y un coeficiente de variabilidad de 7%, el mejor tratamiento fue en un horizonte de 15-30 a una altitud de 800-1000 m s.n.m. (Figura 4)

Tabla 4 Contenido de limo (%)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.64	3	0.55	6.98	0.0127*
Factor A: Altitud (m s.n.m.)	0.18	1	0.18	2.29	0.1684N. S
Factor B: Horizontes	1.46	1	1.46	18.63	0.0026**
Altitud*Horizontes	0.0008	1	0.0008	0.01	0.9198N. S
Error	0.63	8	0.08		
Total	2.27	11			

** : Altamente Significativo * : Significativo

N.S: No Significativo

$R^2 = 72\%$ C.V = 6.58%

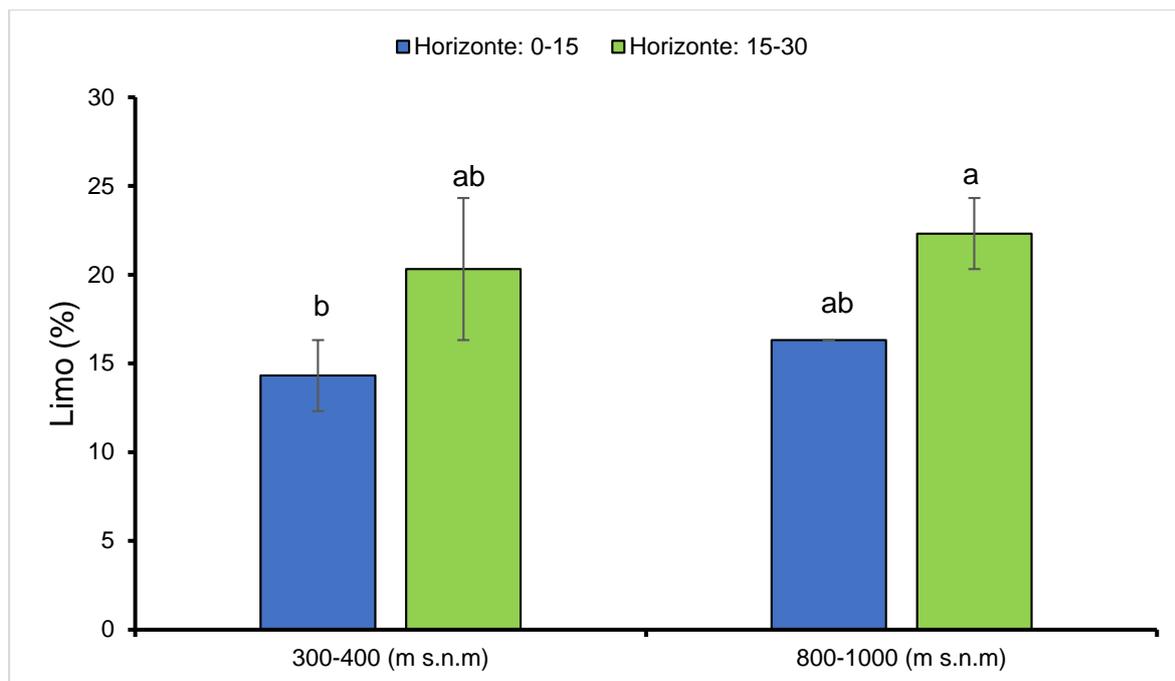


Figura 4 Prueba de Tukey ($p < 0.05$) del contenido limo (%)

La Tabla 5 muestra el ANVA de la cantidad de arcilla en un sistema silvopastoril a dos horizontes (0.15 y 15-30), se tuvo resultados significativos en el factor A (altitud), sin embargo, en el factor B y la interacción de ambos factores no hubo diferencia estadística, con un coeficiente de correlación de 60% y un coeficiente de variabilidad de 6%, no hubo diferencias significativas en la prueba de Tukey (Figura 4)

Tabla 5 Contenido de arcilla (%)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.36	3	0.45	3.98	0.0524N. S
Factor A: Altitud (m s.n.m.)	1.14	1	1.14	9.98	0.0134*
Factor B: Horizontes	0.2	1	0.2	1.73	0.225N. S
Altitud*Horizontes	0.03	1	0.03	0.24	0.6368N. S
Error	0.91	8	0.11		
Total	2.28	11			

** : Altamente Significativo * : Significativo

N.S: No Significativo

$R^2 = 60\%$ C.V = 5.87%

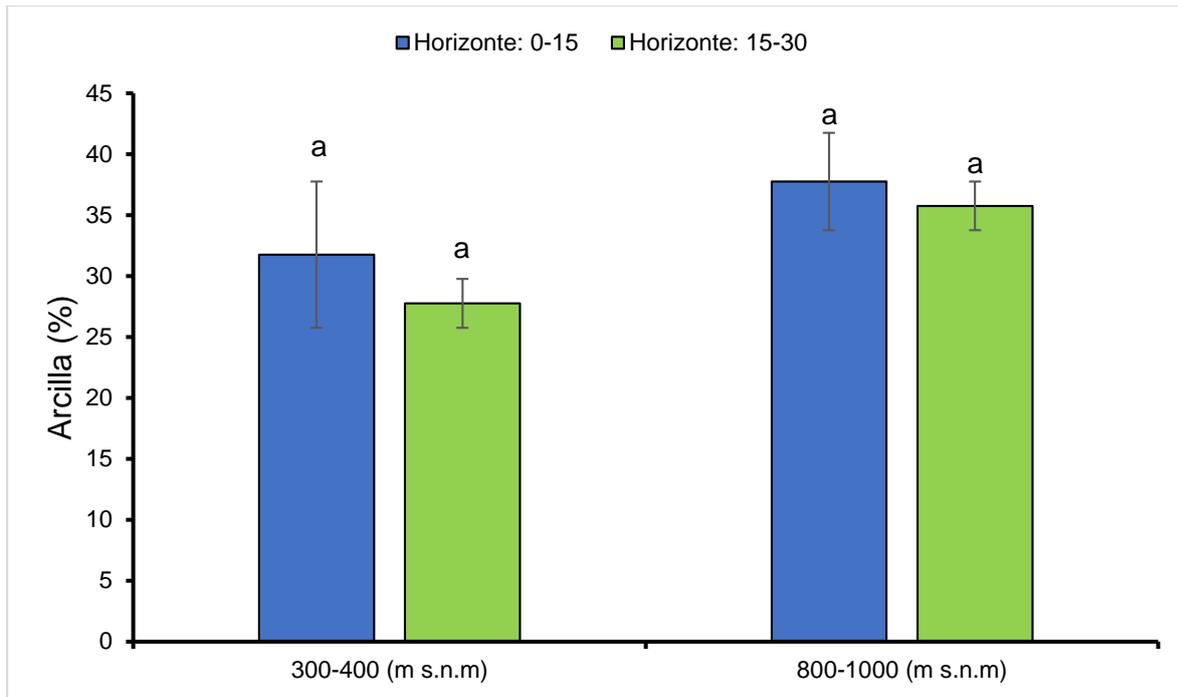


Figura 5 Prueba de Tukey ($p < 0.05$) del contenido arcilla (%)

Correlación entre el carbono y contenidos de arena, limo y arcilla profundidades de suelos y niveles altitudinales en sistemas silvopastoriles

La Figura 6 muestra la prueba de correlación de Pearson entre los parámetros evaluados, en donde se aprecia que hay significancia inversa negativa entre la MO y el limo, además, en los demás indicadores no se aprecia significancia.

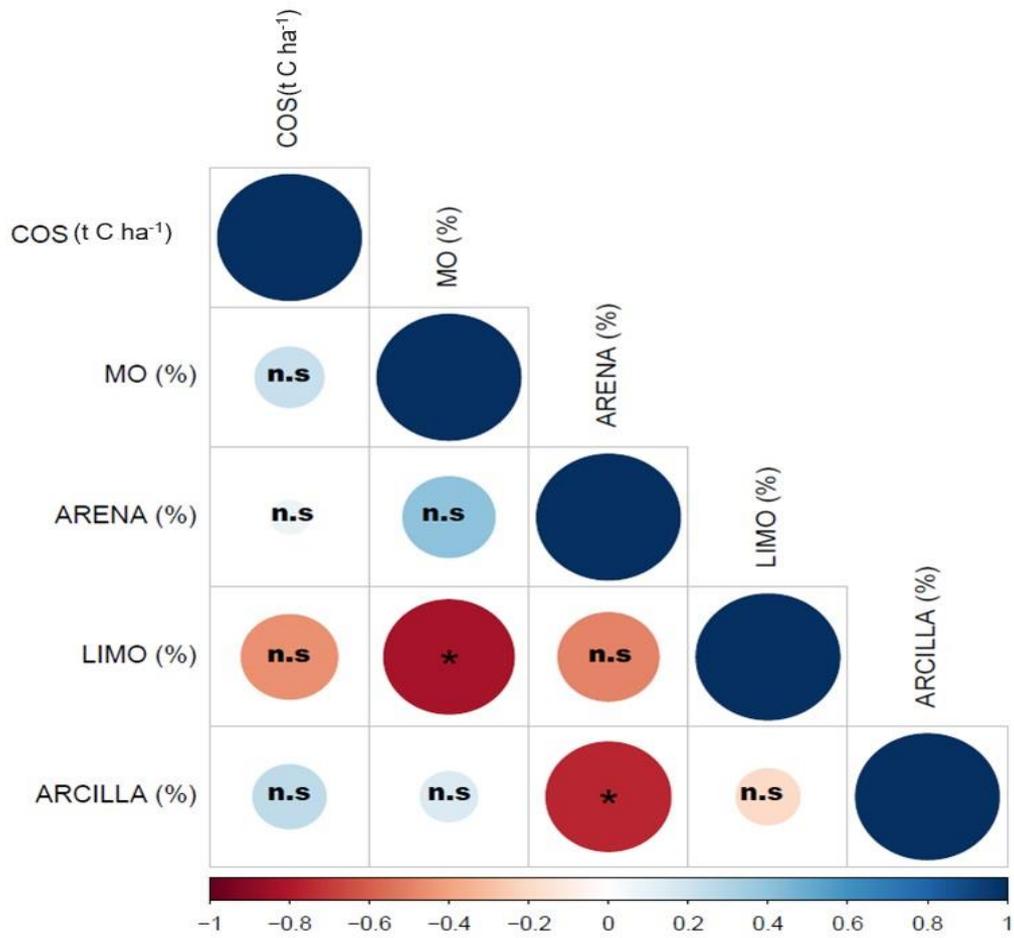


Figura 6 Prueba de correlación de Pearson entre los parámetros evaluados

IV. DISCUSIÓN

Contenido de carbono y materia orgánica en dos niveles altitudinales y profundidades de suelos de sistemas silvopastoriles

En nuestro estudio los más altos valores de COS se encontraron a 0-15 cm; estos resultados son corroborados por Vallejos-Torres. (2023) quienes encontraron un mayor contenido de COS entre 0 y 15 cm de profundidad del suelo, que en suelos más profundos en un bosque secundario de Moyobamba; al mismo tiempo, que en elevaciones más altas la reserva de COS tuvo un valor promedio de 69.19 t ha^{-1} ; muy cercano a lo encontrado en nuestro estudio ($57.24 \text{ t C ha}^{-1}$). Resultados similares lo presentó Contreras-Santos, (2020) donde hicieron una presentación de resultados en silvopastoriles del indicador de carbono con promedio de $65,1 \text{ t ha}^{-1}$, comparado con áreas de pastizales sin árboles, encontrándose C de $38,3 \text{ t ha}^{-1}$.

En tanto, estos resultados representan la relevancia de establecer sistemas de pastos con árboles de sombra para promover el almacenamiento de carbono con presencia de alta materia orgánica al suelo. Asimismo, Stefano y Jacobson (2017) y Priano et al. (2017) reportan que pastizales con diferentes tipos de árboles almacena mayor reserva de carbono tanto en árboles como en los suelos. Dollinger y Shibu (2018) también estudio la representatividad de los sistemas silvopastoriles en el almacenamiento de carbono similar a los anteriores reportes.

Rojas et al. (2009) encontró un almacenamiento de carbono en suelos conformado por sistemas silvopastoriles en pastos de *Brachiaria brizantha*, correspondiente a $121,2 \text{ t ha}^{-1}$ de C, respectivamente, en la superficie del suelo (0-20 cm). Ibrahim et al. (2007), al evaluar suelos con diferentes cultivos y usos en Colombia, Costa Rica y Nicaragua, encontraron que las pasturas sin árboles no muestran significancia en el carbono; en tanto, pastos mejorados y asociados a árboles agroforestales presentan altas capacidades de secuestro de carbono. Recomendando en tanto el establecimiento de pasturas asociados árboles; sean estas arboles forestales o arbustivas.

La MO del suelo no mostró significancia entre condiciones tanto de altitudes como de profundidades de suelos, encontrándose contenidos de MO muy próximos a lo mostrado por Lezcano et al. (2024) quienes obtuvieron valores en profundidades de 0-10 cm de 2-2.5 %; mientras que de 10-20 cm fue de 0.9-1.3%

Los valores en porcentajes de MO, fueron expuestos por Glaztle (2016) quien mostro un contenido de MO en un sistema de algarrobo de 3,3% y descendió a 2,4% en sitios sin árboles de algarrobo. En tanto, las gramíneas que se emplearon en los sistemas de pastos son de metabolismo C4, lo que permite generar alta capacidad de integrarse en la MO.

Asimismo, Lezcano no encontró significancia en los sistemas arbóreos con la MO en el suelo. Hurtado-Naranjo, et al. (2023) encontraron valores de MO entre 2,2% a un máximo y una media de 7,34%. En el estudio realizado por Pazmiño (2020) mostraron un sitio con promedios de MO de 14,51% entre una profundidad de 0-30 cm. Concluyendo que la profundidad es un indicador muy importante en la cuantificación de materia orgánica. Esto es debido a que a mayores profundidades existen menos disponibilidad de nutrientes y microorganismos que descomponen los residuos agrícolas.

Contenido de arena, limo y arcilla en profundidades de suelos y niveles altitudinales en sistemas silvopastoriles

La rena solo mostro diferencias significativa para las profundidades de suelos entre los 800-1000 msnm; en tanto para la altitud de 300-400 msnm no mostro diferencias significativas. El limo si presentó diferencias significativas en las dos profundidades para ambos niveles altitudinales; siendo la altitud de 800-1000 quien presento mayores valores. En tanto, para el contenido de arcilla no mostro diferencias significativas en las profundidades de suelo; tampoco en los niveles altitudinales. Nuestros resultados indican que se encontraron valores de 52.92; 17.32 y 29.76% en contenidos de arena, limo y arcilla para los niveles de 300-400 msnm; mientras que se encontraron valores de 43.92; 19.32 y 36.76% en las altitudes de 800 -1 1000 msnm. Mientras que Huamán-Carrión et al. (2021) encontraron valores distintos entre un gradiente altitudinal a 0-20 cm de profundidad, siendo valores de: 35.3 % de arena; 41.1 % de limo y 23.6 % de arcilla.

Yáñez et al. (2023) indicaron que la textura es considerada como una característica de las propiedades físicas estables. En su estudio de textura clasificaron a los suelos como franca, con promedios de 40.9 % de arena, 40.3 % de limo y 18.8 % de arcilla en un horizonte de 0-5 cm, entanto a una profundidad de 5-30 cm mostraron valores de 38.3, 42.1 y 19.6 % para arena, limo y arcilla respectivamente. Encontrando diferencias significativas en el contenido de arena; en tanto, los promedios a distintas profundidades evidenciaron diferencias en el horizonte de 5-30 cm; al respecto, la reforestación tuvo contenidos de 39 % y el bosque de pino 45.5 %.

En pastizales y cultivos agrícolas, no mostraron diferencias significativas, encontrando promedios de 41.8 y 42.2 %, respectivamente (Yáñez et al., 2023). Novillo et al. (2018) encontraron diferencias en las características físico-químicos en bosque nativo y sistemas de monocultivos.

Correlación entre el carbono y contenidos de arena, limo y arcilla profundidades de suelos y niveles altitudinales en sistemas silvopastoriles

Las correlaciones entre COS, arena, limo, arcilla y materia orgánica evidenciaron que existe diferencias significativas inversa negativa. Es decir, a medida que se reduce los niveles de arena, limo y arcilla el contenido de COS se incrementa (Huamán-Carrión et al., 2021).

Los resultados de la correlación evidencian que altos niveles de arena existe menor acumulación de CO en los suelos de los pastos estudiados; resultados cercanos lo presentó Ćirić et al. (2013) y Angon (2021), quienes aseveran que un alto contenido de COS presenta bajo nivel de arena y altas fracciones de limo y arcilla (Ledo et al., 2020). Paz et al. (2014), indicaron que correlaciones del suelo con el carbono se mantiene estable.

Estructuras de suelos con presencia de materia orgánica media a alta presentan mejor performance como indicador de la calidad del suelo (Lopes et al., 2016). Por lo tanto, existe una relación débil entre la materia orgánica y el carbono orgánico del suelo débil; en tanto, a mayor concentración de materia orgánica existe mayor acumulación de COS en el suelo (Huaman-Carrion et al., 2021).

V. CONCLUSIONES

- Los sembríos de pastos sin árboles no aportan no aportan capacidad para retener carbono en los suelos; contrariamente pasturas con plantas si muestran mayores almacenamientos y potencialidades de secuestro de carbono. Los pastos por su característica fotosintética brindan mayor capacidad de ser consumidas por los vacunos.
- Los horizontes de suelos son clave para cuantificar la materia orgánica; esto es debido a que a mayores profundidades existen menos disponibilidad de nutrientes y microorganismos que descomponen los residuos agrícolas.
- La rena solo mostro diferencias significativa para las profundidades de suelos entre los 800-1 000 msnm; en tanto para la altitud de 300-400 msnm no mostro diferencias significativas. El limo si presentó diferencias significativas en las dos profundidades para ambos niveles altitudinales; siendo la altitud de 800-1 000 quien presento mayores valores. En tanto, para el contenido de arcilla no mostro diferencias significativas en las profundidades de suelo; tampoco en los niveles altitudinales.
- La correlación entre niveles COS y arena, limo, arcilla y materia orgánica mostraron que que hay significancia inversa negativa. A medida que disminuye la arena, limo y arcilla el nivel de COS se eleva. Por lo tanto, la relación del suelo y COS se mantiene estable.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda asociar los ecosistemas de pastos con árboles ya que presentan mayores capacidades de almacenamiento del stock de carbono.
- Si bien es cierto no se obtuvieron diferencias en los horizontes de los suelos de sistemas silvopastoriles; sin embargo, es propicio incluir otros ecosistemas como los bosques para realizar comparación, fundamentalmente en la textura, la cual interviene directamente en los contenidos de COS.
- Realizar más estudios a mayores profundidades de suelos ya que este parámetro es un factor para considerar al cuantificar la distribución vertical de la materia orgánica y COS.
- Los niveles de correlación entre el COS y textura y MO deben ser asociadas con otros indicadores como la temperatura, densidad aparente, humedad del suelo y mayores niveles altitudinales en ecosistemas de pastos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, H y IBRAHIM, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas* 10 (39-40):109-116. Disponible en https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6950/Como_monitorear_el_secuestro.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANGON, D, 2021. Influence of trees and associated variables on soil organic carbon: a review. *Journal of Ecology and Environment*, 45, 5.

ARYAL, DR, et al., 2019. Reservas de carbono y diversidad de árboles en sistemas silvopastoriles arbóreos dispersos en Chiapas, México. *Sistema Agroforestal* 93, 213–227. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0310-y>

ATO, M., LÓPEZ, J. y BENAVENTE, A. 2013. Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Anales de psicología*, 29(3), 1038-1059. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>

BALLANTYNE AP, et al., 2012. Aumento en la absorción neta de dióxido de carbono observada por la tierra y los océanos durante los últimos 50 años. *Naturaleza* 488:70–72

BLAKE, G.R y HARTGE, K. 1986. Bulk density. In Klute, A. (ed.) *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. 363-375. Disponible en: [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=498675](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=498675)

CAIRO-CAIRO, Pedro, et al., 2024. Lenia. Efecto de las coberturas en algunas propiedades del suelo. Finca La Morrocuya, Barinas, Venezuela. *Pastos y Forrajes* [online]. 2017, vol.40, n.2 [citado 4-06-22], pp. 127-134. Disponible en:

<http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942017000200006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 2078-8452.

CASALS P, et al., 2014. C orgánico del suelo y contenido de nutrientes debajo de árboles con diferentes características funcionales en silvopastos tropicales estacionalmente secos. *Suelo vegetal* 374:643–659

CHAPIN, F.S, MATSON P.A y VITOUSEK, P.M, 2012. Principios de la ecología del ecosistema terrestre, 2ª ed. *Springer, Nueva York*

Ćirić, V, et al., 2013. Effects of land use conversion on soil aggregate stability and organic carbon in different soils. *Agrociencia*, 47(6), 539-552.

CONTRERAS-SANTOS, José Luis, et al., 2020. Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe colombiano. *Agronomía Costarricense*, 44(1), 29-41. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.15517/rac.v44i1.39999>

DE STEFANO A y JACOBSON MG, 2018. Secuestro de carbono en el suelo en sistemas agroforestales: un metanálisis. *Agrofor. Sistema*. 92, 285–299. doi: 10.1007/s10457-017-0147-9

DREVER, CR, et al., 2021. Soluciones climáticas naturales para Canadá. *Ciencia. Adv.* 7:eabd6034. doi: 10.1126/sciadv.abd6034

EISFELDER, C., et al. 2017. Above-ground biomass estimation based on NPP time-series " A novel approach for biomass estimation in semi-arid Kazakhstan. *Ecological Indicators* [en línea], vol. 72, pp. 13-22. [Consulta: 28/05/2020]. ISSN 1470-160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2016.07.042. Disponible en: Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X16304411>

FARGIONE, JE, et al., 2018. Soluciones climáticas naturales para los Estados Unidos. *Ciencia. Adv.* 4:eaat1869. doi: 10.1126/sciadv.aat1869 17

GLATZLE A, 2016. Sistemas productivos en el Chaco Central Paraguayo. [internet] 2006. (Consultado 17 de octubre de 2016). Disponible en: http://www.chaconet.com.py/inttas/projects/pdf/a_glatzle_sistemas_productivos.pdf

GREENE H, et al., 2023. El silvopasto ofrece mitigación del cambio climático y potencial de ganancias para los agricultores del este de Estados Unidos. Frente. *Sostener. Sistema de alimentación*. 7:1158459. doi: 10.3389/fsufs.2023.1158459

HERNÁNDEZ, R, FERNANDEZ, C. y BAPTISTA, P, 2014. Summary for Policymakers, *Science Basis*, 53. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

HOOSBEEK, MR, REMME, RP y RUSCH, GM, 2018. Los árboles mejoran el secuestro de carbono en el suelo y el ciclo de nutrientes en un sistema silvopastoril en el suroeste de Nicaragua. *Sistema Agroforestal* 92, 263–273. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0049-2>

HUAMAN-CARRION, Mary L, et al., 2021. Influencia de la altitud y características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria* [online]. 2021, vol.12, n.1 [citado 2024-06-22], pp.83-90. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.010>.

HURTADO-NARANJO, Michelle Alexandra, ALULEMA DEL SALTO, Rafael Alberto, y PALACIOS CABRERA, Teresa Alejandra, 2023. Captura de carbono orgánico en zonas con distinto nivel de intervención en páramos de Sayaro. FIGEMPA: *Investigación y Desarrollo*, 16(2), 79-92. <https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4323>

IBRAHIM, M, et al., 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27-36.

LEDO, A, et al., 2020. Changes in soil organic carbon in perennial crops. *Global change biology*, 26(7), 4158-4168.

LEZCANO DÍAZ, Maura Isabel, et al., 2020. Vera de. Contenido de materia orgánica en suelos de sistemas silvopastoriles establecidos en el Chaco Central paraguayo. *Rev. Soc. cient. Parag.* 25(2): 131-143. Disponible en: <https://doi.org/10.32480/rscp.2020.25.2.131>

LOPES, Ercilia, CAIRO, P, COLÁS, A. y RODRÍGUEZ, A, 2016. Relaciones entre las propiedades indicadoras de calidad, en dos subtipos de suelo pardos, en la provincia de Villa Clara. *Centro Agrícola.* 43 (1):21-28

MOORE, S, et al., 2018. Forest biomass, productivity and carbon cycling along a rainfall gradient in West Africa. *Global Change Biology* , 24(2), e496-e510. DOI: 10.1111/gcb.13907 Disponible en: <https://doi.org/10.1111/gcb.13907>

NAUTIYAL, P, et al., 2019. Role of glomalin in soil carbon storage and its variation across land uses in temperate Himalayan regime. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, ISSN 1878-8181, Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101311>

NOVILLO, E, et al., 2018. Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios* 23(2):177-187. Doi: 10.21897/rta.v23i2.1301. Disponible en: <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>

PAGIOLA S, et al., 2007. Pago por los servicios ambientales de las prácticas silvopastoriles en Nicaragua. *Economía Económica* 64:374–385

PAZ, F, COVALEDA, S, y ETCHEVERS B, J.D, 2014. Organic Carbon Distribution on Different Particle Sizes of Soil: Simple Linear Kinetic Model. *Terra Latinoamericana*, 32(2), 127-142.

Pazmiño, G, 2020. Influencia de la intervención en los suelos del páramo de Navag-Chimborazo en el contenido de materia orgánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

PRIANO, ME, 2017. Afforested sites in a temperate grassland region: influence on soil properties and methane uptake. *Agroforestry Systems* 92(2):311-320. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0104-7>.

ROE, S, et al., 2021. Medidas terrestres para mitigar el cambio climático: potencial y viabilidad por país. *Globo. Chang. Biol.* 27, 6025–6058. doi: 10.1111/gcb.15873

Rojas, MJ, et al., 2009. Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria* 10(2):214-223.

RUSCH, GM, et al., 2014. Determinantes de la producción primaria de pastizales en sistemas silvopastoriles estacionalmente secos en Centroamérica. *Sistema Agrofor* 88:517–526

SALCEDA, M, et al., 2023. Amortiguadores agroforestales sobre la reducción de nitrógeno en el agua subterránea en una ladera pastoreada. *Agrosist. Geociencias. Reinar.* 6:e20370. doi: 10.1002/agg2.20370

SHI, L, et al., 2018. Sistemas agroforestales: metaanálisis de las reservas de carbono del suelo, procesos de secuestro y potenciales futuros. *Degradación de la tierra. Desarrollo.* 29, 3886–3897. doi: 10.1002/ldr.3136 18

SOLIS, R., et al. 2020. Carbon stocks and the use of shade trees in different coffee growing systems in the Peruvian Amazon. *The Journal of Agricultural Science*, 158(6), 450-460. doi:10.1017/S002185962000074X

STEFANO, A y JACOBSON, MG. 2017. Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. *Agroforest Syst* 92(2):285-299. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0147-9>

TORRALBA, M, et al., 2016. ¿Mejoran los sistemas agroforestales europeos la biodiversidad y los servicios ecosistémicos? Un metaanálisis. *Agrícola. Ecosistema. Reinar.* 230, 150–161. doi: 10.1016/j.agee.2016.06.002

TORRES, B., et al. 2019. Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: case study in an Evergreen Andean Amazon forest, Ecuador. *Agroforestry Systems* [en línea], [Consulta: 28/05/2020]. ISSN 1572-9680. DOI 10.1007/s10457-018-00342-8.

VALLEJOS-TORRES, Geomar et al., 2023. Soil organic carbon balance across contrasting plant cover ecosystems in the Peruvian Amazon. *Chil. j. agric. res.* [online]. 2023, vol.83, n.5, pp.553-564. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-58392023000500553>.

VASQUEZ, Héctor V. et al. 2020. Análisis de cuatro sistemas silvopastoriles en Perú: Caracterización física y nutricional de pasturas, composición florística, reserva de carbono y CO₂. *Scientia Agropecuaria* [online]. 2020, vol.11, n.2 [citado 2023-10-26], pp.167-176. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.03>.

WALKLEY, A, y BLACK, I.A, 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37 (1): 29-37.

YÁÑEZ, M.I, CANTÚ, I. y GARZA, F, 2023. Efecto en las propiedades fisicoquímicas de un Regosol con cambios de uso de suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol. 14 (79). DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1359>

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Sistema silvopastoril	La biomasa vegetal presente en el sistema suelo es de gran importancia en la variabilidad del carbono a lo largo de un gradiente altitudinal ecosistémico (Eisfelder et al., 2017).	Se considerarán subparcelas de 400 m ² y se aplicará metodologías validadas y publicados en artículos de alto valor de impacto.		300-400	
				Sistema silvopastoril	800-1 000	Ordinal
				Profundidades	0-15 15-30	Ordinal
DEPENDIENTE	Carbono debajo del suelo	La reserva de carbono orgánico en el suelo está determinada por la biomasa aérea, hojarasca, biomasa herbácea y en los perfiles del suelo (Moore et al., 2018; Shukla y Chakravarty, 2018).	Se evaluarán el COS a partir del muestreo en perfiles del suelo	Carbono	Carbono orgánico Carbono Inorgánico	Ordinal
	Propiedades físico-químico			Carbono debajo del suelo	Arena Limo Arcilla	Ordinal

Anexo 2. Fichas de validación de instrumento.

Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

I. **ASPECTOS DE VALIDACION**
MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
ACTUALIDAD	instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación ilegal inherente a la variable: contenido de carbono					X
ORGANIZACIÓN	los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respeto a la variable, de manera que permitan hacer inferencia en la función de la hipótesis, problema y objetivos e la investigación.					X
SUFICIENTE	los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde a la variable, dimensiones y indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio contenido de carbono					X
CONSISTENCIA	la información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	los ítems del instrumentó expresa la relación con los indicadores de cada dimensión de la variable contenido de carbono					X
METODOLOGIA	la relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.				X	
PERTINECIA	la redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
PUNTAJE TOTAL						

(nota: tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41 Excelente", sin embargo, un puntaje menos a anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

II. **OPINION DE APLICABILIDAD**

El instrumento es valido

Promedio de valoración: 44

Tarapoto 18 de mayo del 2024



Dr. Antonio Chuaqui
 INGENIERO AMBIENTAL
 CIP 133414

Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

I. ASPECTOS DE VALIDACION
MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

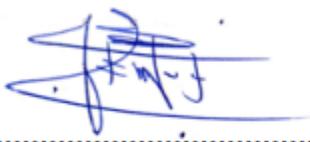
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
ACTUALIDAD	instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación ilegal inherente a la variable: contenido de carbono					X
ORGANIZACIÓN	los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respeto a la variable, de manera que permitan hacer inferencia en la función de la hipótesis, problema y objetivos e la investigación.				X	
SUFICIENTE	los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde a la variable, dimensiones y indicadores.				X	
INTENCIONALIDAD	los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio contenido de carbono					X
CONSISTENCIA	la información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.				X	
COHERENCIA	los ítems del instrumentó expresa la relación con los indicadores de cada dimensión de la variable contenido de carbono					X
METODOLOGIA	la relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
PERTINECIA	la redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
PUNTAJE TOTAL						

(nota: tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41 Excelente", sin embargo, un puntaje menos a anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

II. OPINION DE APLICABILIDAD

El instrumento es valido
Promedio de valoración: 42

Tarapoto 18 de mayo del 2024



.....
 Ing. M. Sc. Harry Saavedra Alva

DNI: 43248273

CIP: 31911

Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

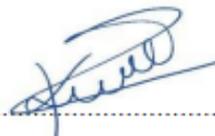
I. ASPECTOS DE VALIDACION
MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					x
ACTUALIDAD	Instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación legal inherente a la variable: contenido de carbono					x
ORGANIZACIÓN	los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respeto a la variable, de manera que permitan hacer inferencia en la función de la hipótesis, problema y objetivos e la investigación.				x	
SUFICIENTE	los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde a la variable, dimensiones y indicadores.					x
INTENCIONALIDAD	los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio contenido de carbono				x	
CONSISTENCIA	la información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.				x	
COHERENCIA	los ítems del instrumento expresa la relación con los indicadores de cada dimensión de la variable contenido de carbono					x
METODOLOGIA	la relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					x
PERTINECIA	la redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					x
PUNTAJE TOTAL		41				

(nota: tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41 Excelente*, sin embargo, un puntaje menos a anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

II. OPINION DE APLICABILIDAD
El instrumento es valido
Promedio de valoración: Instrumento aplicable

Tarapoto 18 de mayo del 2024


.....
Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz

DNI: 41807923

Anexo 3. Validación resumida de los instrumentos por favorable de estudio

Tabla 1. Variable: Sistema silvopastoril y profundidades de suelo

Nº	Especialista	Especialidad	Calificación
1	Andi Lozano Chung	Ambiental	44
2	Harry Saavedra Alva	Agrónomo	42
3	Karina M. Ordoñez Ruiz	Ambiental	41

Tabla 2. Variable: Contenidos de carbono y estructura del suelo

Nº	Especialista	Especialidad	Calificación
1	Andi Lozano Chung	Ambiental	44
2	Harry Saavedra Alva	Agrónomo	42
3	Karina M. Ordoñez Ruiz	Ambiental	41

Anexo 4. Sistema silvopastoril (SSP), altitud de 800 – 1000 msnm.



Anexo 4. Sistema silvopastoril (SSP), altitud de 300 - 400 msnm.



Anexo 5. Colecta de muestras de suelo en SSP.



Anexo 6. Preparación de muestras de suelo para los análisis de carbono y caracterización



Anexo 7. colecta de suelos en sistemas de pastos



Anexo 8. Base de datos para carbono orgánico en suelos y materia orgánica

Subparcelas	Altitud (m. s.n.m)	Horizontes	COS (t C ha ⁻¹)	MO (%)
Sistema silvopastoril	300-400	0-15	50.54	3.20
	300-400	0-15	50.11	2.93
	300-400	0-15	51.53	3.05
	Promedio		50.73	3.06
	300-400	15-30	50.81	0.80
	300-400	15-30	19.21	3.00
	300-400	15-30	25.27	1.90
	Promedio		31.76	1.90
	800-1 000	0-15	65.05	2.21
	800-1 000	0-15	34.80	4.29
	800-1 000	0-15	71.87	3.25
	Promedio		57.24	3.25
	800-1 000	15-30	26.68	1.76
	800-1 000	15-30	23.96	1.60
	800-1 000	15-30	23.87	1.68
	Promedio		24.84	1.68

Anexo 9. Base de datos para arena, limo y arcilla

Subparcelas	Altitud (m. s.n.m)	Horizontes	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Sistema silvopastoril	300-400	0-15	49.92	12.32	37.76
	300-400	0-15	57.92	16.32	25.76
	300-400	0-15	53.92	14.32	31.76
	Promedio		53.92	14.32	31.76
	300-400	15-30	49.92	24.32	25.76
	300-400	15-30	53.92	16.32	29.76
	300-400	15-30	51.92	20.32	27.76
	Promedio		51.92	20.32	27.76
	800-1 000	0-15	41.92	16.32	41.76
	800-1 000	0-15	49.92	16.32	33.76
	800-1 000	0-15	45.92	16.32	37.76
	Promedio		45.92	16.32	37.76
	800-1 000	15-30	45.92	20.32	33.76
	800-1 000	15-30	37.92	24.32	37.76
	800-1 000	15-30	41.92	22.32	35.76
	Promedio		41.92	22.32	35.76