



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Evaluación del stock de carbono en bosques forestales de Picota,
Región San Martín, Perú

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Santa Cruz Gonzalez, Noe Dario (orcid.org/0000-0003-0303-1323)

Flores Saboya, Jessica (orcid.org/0000-0001-6428-8187)

ASESOR:

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistema de Gestión Ambiental

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TARAPOTO- PERÚ

2023

DEDICATORIA

Con gran amor, a mis padres Osvildo Santa cruz y Lidia Gonzales, y a mis hermanas Gabi y Luz Mery por el apoyo incondicional que me brindan, siendo el motor y motivo para seguir adelante dándome siempre las fuerzas necesarias que necesito para ser un gran profesional.

Santa Cruz González, Noe Darío

Ante todo, dedico a ti mi Dios por dar la fortaleza, la oportunidad de vivir, y por cuidar a mi hermosa familia hasta el día de hoy.

A mis padres Luis y María quienes con su amor, paciencia, fuerza y consejos me han permitido llegar a cumplir mi meta soñada, gracias por inculcarme ser una mejor persona y confiar en mí, sin importar que te podría fallar, pero el amor de padres es INCONDICIONAL.

A mi hermana Susi Flores, y sobrino Jesús André Flores por su cariño, apoyo emocionalmente, y consejo que me han brindado durante mi proceso profesional.

Flores Saboya, Jessica

AGRADECIMIENTO

A Dios que me dio la inteligencia y sabiduría para realizar este logro muy importante en mi vida. De igual modo a mis padres Osvildo y Lidia por siempre ser mi motor y motivo para poder cumplir mis sueños de ser un gran profesional.

Al Dr. Geomar Vallejos Torres por el excelente asesoramiento brindando el transcurso del proyecto.

A la universidad César Vallejo por brindarme la enseñanza y formación profesional.

Santa Cruz González, Noe Darío

Agradezco a dios eterno por haberme guiado y me ha dado la fortaleza a seguir adelante.

A mi madre María saboya, mi padre Luis Flores y a mi hermana Susi Flores Saboya, por ser mi motivación para salir adelante, por sus comprensión y apoyo incondicional tanto económicamente y emocionalmente a lo largo de mi estudio profesional.

Del mismo modo al ingeniero Geomar Vallejos Torres, por el asesoramiento de mi proyecto de tesis.

A los ingenieros de la universidad César Vallejo y amigos que me brindaron sus conocimientos y experiencias en mi formación profesional.

Flores Saboya, Jessica

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
I. INTRODUCCIÓN	9
II. MARCO TEÓRICO	13
III. METODOLOGÍA	19
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	19
3.2. Variables y operacionalización.....	20
3.3. Población, muestra y muestreo.....	21
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	22
3.6. Método de Análisis de datos.....	26
3.7. Aspectos éticos.....	26
IV. RESULTADOS	27
4.1. Contenido de carbono en la biomasa aérea de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) en Picota, San Martín.....	27
4.2. Carbono en el subsuelo de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) en la provincia de Picota.....	30
V. DISCUSIÓN	34
5.1. Contenido de carbono en la biomasa aérea de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) en Picota, San Martín.....	34
5.2. Carbono en el subsuelo de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) en la provincia de Picota.....	35
VI. CONCLUSIONES	36
VII. RECOMENDACIONES	37
ANEXOS	43

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variable: Bosque primario y bosque intervenido	23
Tabla 2. Variable: Stock de carbono en la biomasa aérea, herbácea y hojarasca y carbono orgánico en suelos.	23
Tabla 3. Análisis de varianza para el carbono aéreo en diferente cobertura vegetal	27
Tabla 4. Prueba de Duncan de los promedios del carbono aéreo en diferente cobertura vegetal.	27
Tabla 5. Análisis de varianza para el carbono del carbono en biomasa herbáceo en diferente cobertura vegetal.....	28
Tabla 6. Prueba de Duncan de los promedios del carbono en biomasa herbáceo en diferente cobertura vegetal.....	28
Tabla 7. Análisis de varianza para el carbono en hojarasca en diferente cobertura vegetal	28
Tabla 8. Prueba de Duncan de los promedios del carbono en hojarasca en diferente cobertura vegetal.....	28
Tabla 9. Análisis de varianza para el carbono en materia muerta en diferente cobertura vegetal.	29
Tabla 10. Prueba de Duncan de los promedios del carbono en materia muerta en diferente cobertura vegetal.....	29
Tabla 11. Análisis de varianza para el carbono orgánico del suelo en diferente cobertura vegetal y profundidades de suelo.	30
Tabla 12. Análisis de varianza para el carbono total en diferente cobertura vegetal y profundidades de suelo.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
FIGURA 1. Prueba de Duncan para el contenido de carbono orgánico del suelo en los compartimentos sobre el suelo y debajo del suelo en un bosque primario e intervenido	31
FIGURA 2. Prueba de Duncan para el carbono total en los compartimentos sobre el suelo y debajo del suelo en un bosque primario e intervenido.	32
FIGURA 3. Coeficientes de correlación entre el contenido de carbono sobre la superficie y debajo del suelo en un bosque primario y bosque intervenido	33

RESUMEN

El estudio planteó medir concentraciones de carbono en diferentes compartimientos en bosques de quinilla en la provincia de Picota, Perú. La presente investigación tuvo lugar en el bosque Ojos de Agua, ubicada en la localidad de Pucacaca, provincia de Picota, región San Martín; entre los meses de febrero a junio de 2023. Los bosques de ojos de agua están ubicados entre los 300 a 600 m.s.n.m. Para este estudio se consideró a especies forestales de dos bosques tropicales secos de Picota con aproximadamente 5 hectáreas de las cuales se estratificaron en tres subparcelas para cada tipo de vegetación natural establecida en la zona. Como variables se consideraron el carbono en la biomasa herbácea, hojarasca, biomasa aérea y carbono orgánico del suelo; mediante un diseño no experimental. El contenido de carbono aéreo, herbáceo, hojarasca y carbono en materia muerta, indican que el bosque primario mostró mayores contenidos de carbono con promedios de 90.89; 0.77; 2.44 y 2.18 t. ha⁻¹. Los resultados indican que existe diferencias significativas en los contenidos de carbono aéreo, herbáceo, hojarasca y carbono en materia muerta con promedios de 90.89; 0.77; 2.44 y 2.18 t. ha⁻¹ respectivamente. El mayor contenido de carbono orgánico en suelo se presentó en el bosque primario a una profundidad de 0-15 cm con un promedio de 80.25 t. ha⁻¹, el contenido de carbono total se presentó en el bosque primario a una profundidad de 0-15 cm con un promedio de 176.54 t. ha⁻¹. Se concluyó que las existencias de carbono en bosques primarios e intervenidos sigue en el orden siguiente: Carbono aéreo > COS > carbono en hojarasca > carbono en materia muerta > carbono herbáceo.

Palabras Clave: Bosque primario, intacto, carbono aéreo, bosque de protección, amazonia peruana.

ABSTRACT

The study proposed to measure carbon concentrations in different compartments in quinilla forests in the province of Picota, Peru. This research took place in the Ojos de Agua Forest, located in the town of Pucacaca, Picota province, San Martín region; between the months of February to June 2023. The forests of water eyes are located between 300 to 600 meters above sea level. For this study, forest species from two dry tropical forests of Picota with approximately 5 hectares were considered, of which they were stratified into three subplots for each type of natural vegetation established in the area. As variables, the carbon in the herbaceous biomass, leaf litter, aerial biomass and soil organic carbon were considered; using a non-experimental design. The aerial, herbaceous, leaf litter and carbon content in dead matter indicate that the primary forest showed higher carbon contents with averages of 90.89; 0.77; 2.44 and 2.18 t. ha⁻¹. The results indicate that there are significant differences in the aerial, herbaceous, litter and carbon contents in dead matter with averages of 90.89; 0.77; 2.44 and 2.18 t. ha⁻¹ respectively. The highest soil organic carbon content occurred in the primary forest at a depth of 0-15 cm with an average of 80.25 t. ha⁻¹, the total carbon content occurred in the primary forest at a depth of 0-15 cm with an average of 176.54 t. ha⁻¹. The authors concluded that carbon stocks in intact, primary forests follow in the following order: Aerial carbon > SOC > litter carbon > dead matter carbon > herbaceous carbon.

KeyWords: Primary Forest, intact, aerial carbon, protection forest, Peruvian Amazon.

I. INTRODUCCIÓN

La acumulación de carbono forestal es crucial para amortiguar la variación climática en curso, ya que los árboles grandes individuales almacenan una parte sustancial del carbono total en los árboles vivos. A nivel mundial, los bosques almacenan alrededor de 862 Gt de carbono en la vegetación viva, muerta y en el suelo; de los cuales el 42 % se almacena en la biomasa viva (superficial y subterránea; Pan et al., 2011). A nivel mundial, los bosques eliminaron el equivalente a aproximadamente el 30 % de las emisiones de combustibles fósiles anualmente entre 2009 y 2018 (Friedlingstein et al., 2019) y el 44 % de eso proviene de los bosques templados. Se ha considerado al suelo como uno de los sumideros de carbono más importante en el planeta tierra. El suelo es un ente fundamental; considerado el segundo sumidero de carbono en la naturaleza, seguido por los océanos (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015).

El mayor almacenamiento de carbono generalmente se realiza en los suelos; consagrándose como un ente de gran potencial para ser estudiado en todos los ámbitos del planeta tierra (Ayala et al., 2018). Razón por la cual es necesario determinar el potencial del carbono y sus variaciones de éste debido a las propiedades del suelo y condiciones de altitud de recurso de cobertura vegetal. Asimismo, conocer las características físicas químicas, los componentes boscosos y vegetativos distribuidas a lo largo de la gradiente altitudinal en el planeta tierra. Otro de los factores importantes se ha considerado las acciones deficientes desorientadas en la agricultura (Docampo, 2010). Por tal motivo es de mucha relevancia mantener la potencialidad de los suelos y su rol en el almacenamiento de carbono (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015).

La quinilla (*Manilkara bidentata*) es una clase de árbol forestal que pertenece a la familia Sapotaceae utilizada en la selva peruana por su madera.

Además del cambio climático, esta especie está muy amenazada por el establecimiento de pastizales y agricultura extensiva, lo que lleva a su erosión genética a través de la pérdida sustancial de árboles y la disponibilidad de semillas (Reynel et al., 2003). La pérdida de mayores extensiones de estos bosques puede causar la extinción instantánea de muchas especies con división restringida. Por tal motivo es importante desarrollar con urgencia alternativas ambientalmente adecuadas para prevenir el desastre ecológico de perder estos bosques, junto con su biodiversidad, para siempre. Poco a poco se ha ido perdiendo todos estos beneficios de los bosques de quinilla, es por ello que es necesario implementar estrategias de conservación que conecten las reservas de bosques en la amazonia peruana y en especial en la región San Martín. Por lo tanto, en el presente estudio se pretende evaluar el stock de carbono en suelos de bosques forestales en Picota, Región San Martín, Perú.

Existen reportes de altos contenidos de reservas de carbono en bosque y medios agroforestales. En un estudio realizado en sistemas agroforestales (SAF) con café en la región San Martín, se indica que el suelo aporta la mayor reserva de carbono con 67, 82 y 96 % de la reserva total de carbono. Por lo tanto, la agroforestería desempeña roles fundamentales en el amortiguamiento de carbono, promoviendo la perpetuación de la flora vegetal y cultivos agrícolas en la Amazonía peruana (Solis et al., 2021).

Se ha planteado como formulación del problema de investigación principal lo siguiente:
¿Cuál es el contenido de almacenamiento de carbono en un bosque primario y un intervenido en la provincia de Picota, región San Martín?

Siendo los problemas específicos lo siguiente:

- 1) ¿Cuál de los dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) muestra mayor almacenamiento de carbono en la biomasa aérea en bosques secos de Picota? y 2) ¿Cuál de los dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) muestra mayor almacenamiento de carbono en el subsuelo en bosques secos de Picota?

La investigación planteó como justificación lo siguiente:

Los bosques cumplen una función relevante en el almacenamiento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Interactuando como almacenadores de carbono (C) con una proporción de 2 000 millones de toneladas de CO₂ cada año. Al mismo tiempo que los bosques contribuyen a la conservación de una alimentación saludable y segura, evitándonos ser desplazados por acciones climáticas adversas promoviendo decaimiento en la producción agrícola a lo largo del universo.

Las especies forestales tropicales como *Manilkara bidentata* son ampliamente utilizada en Perú, especialmente en la amazonia peruana. En San Martín se ha considerado como una especie vulnerable debido a la tala y explotación indiscriminada; poniendo en riesgo los bosques de quinilla que aún se vienen conservando. Además, estos bosques se convierten en importantes fuentes sumideros de carbono. Existe una necesidad urgente de determinar el contenido de carbono que almacena estos bosques con la finalidad de fortalecer su conservación y propiciar bonos de carbono a las organizaciones y entidades que se esfuerzan día a día por conservar y proteger estos bosques.

El estudio tuvo el objetivo principal siguiente:

Evaluar el almacenamiento de carbono en un bosque primario y otro intervenido en la provincia de Picota, región San Martín. Incluyendo los objetivos específicos adjuntos: 1) Medir el contenido de carbono en la biomasa aérea de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) en Picota, San Martín, 2) Determinar el carbono en el subsuelo de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) en la provincia de Picota.

Se ha planteado como hipótesis de investigación principal a: Existe mayor almacenamiento de carbono en un bosque primario respecto a un bosque intervenido en Picota, San Martín. Siendo las hipótesis específicas lo siguiente: 1) Existe mayor almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de en un bosque primario respecto a un intervenido en la provincia de Picota, 2) Existe mayor almacenamiento de carbono

en subsuelos de un bosque primario respecto a un intervenido en la provincia de Picota.

II. MARCO TEÓRICO

A continuación, se detallan el resumen de cada antecedente obtenido de diferentes fuentes científicas enmarcados en el tema de estudio.

Clemente (2021) en el trabajo de investigación “Captura de carbono en agroforestería (SAF) en el Perú”, analizó la captura de carbono orgánico del suelo (COS) en agroforestería en Huánuco y Loreto, Perú. En la metodología el autor evaluó la edad del cultivo, flujo anual de carbono, carbono total, carbono del suelo y carbono aéreo en plantaciones de *Inga sp*, *Guazuma crinita*, *Coffea arabica*, *Bertholletia excelsa* + *Cedrelinga cateniformis* + *Guazuma sp.* + *Cordia ucayaliensis* + *Simarouba amara* + *Virola sp* y *Theobroma cacao* con información relevante publicadas entre el 2011 al 2019. El trabajo lo realizó bajo revisión sistemática en base a artículo científicos publicados en diferentes bases de datos de revistas especializadas. En su resultado muestra valores de 344.24 Mg/ha de COS en SAF con cacao y 288.98 Mg/ha en SAF con castaña, umari, tornillo y Pashaco. El autor concluyó que el almacenamiento de carbono en SAF podría representar una medida favorable para la mitigación del carbono en el Perú, un país tropical y con un territorio mayormente amazónico.

Medina et al. (2020) en el estudio “Valoración económica del stock de carbono en la puna seca del suroeste del Perú”, distribuyó áreas de muestreo para determinar la biomasa contenida en vegetales de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (Arequipa, Perú), realizado en el 2017. Para el estudio consideraron nueve puntos de muestreo donde determinaron el carbono almacenado, por la metodología de calorimétrico. Las muestras extraídas fueron de parcelas de Pajonal, Tolar, Bofedal y Yaretal y secadas hasta alcanzar un peso seco constante; conocido como biomasa. Los autores aplicaron el precio de mercado voluntario de USD 6.39 por tonelada de CO₂ equivalente, estimado a partir de la evaluación de la rentabilidad social de proyectos de inversión pública. Los autores concluyeron que el valor económico

permitirá una toma de decisiones para una buena gestión ambiental, contabilidad nacional, entre otros.

Dilas-Jiménez y Huamán (2020) evaluaron el stock de carbono almacenado en un bosque de neblina primario, en San Ignacio, Cajamarca, Perú. El estudio consistió en identificar un área de 1 ha, donde se estratificaron un total de 5 parcelas de 400 m² conteniendo cada una a 4 subparcelas de 1 m² para la medición del stock de carbono almacenado; 1 subparcela circular de 1 m² cuya finalidad fue medir el contenido de CO₂ en el suelo. Las evaluaciones en campo emplearon formatos de biomasa de sotobosque, hojarasca y muestreo de suelos. La información lograda de los pesos húmedos in situ, al igual que los pesos secos y otros datos obtenidos en laboratorio fueron vaciados en un formato Excel elaborados por el equipo, en seguida fueron sistematizados estadísticamente. Como resultado logrado en el estudio, notaron que el carbono en el sotobosque fue de 10.64 t C ha⁻¹, en la hojarasca fue de 6.72 t C ha⁻¹ y en el suelo fue de 108.97 t C ha⁻¹. Los autores concluyeron que en dicho bosque estudiado son sustanciales para el almacenamiento de carbono, superior a los bosques amazónicos que presentan elevada biomasa arbórea.

Sarcca (2017) en el trabajo de investigación “Valoración económica del almacenaje de carbono en el bosque pichu, Arequipa. El autor estableció dentro de su objetivo la construcción de ecuaciones alométricas para la especie de *Polylepis rugulosa*; cuya finalidad fue evaluar el nivel de carbono retenido en el bosque de dicha especie y su medición económica de servicios ecosistémicos. Las actividades en campo fueron desarrolladas en base a la destrucción de 18 árboles en 43 parcelas instaladas; asimismo, establecieron 40 parcelas para extraer muestras de suelo. Determinaron el modelo potencial: $B = 0.16496 [A + D] 2.667785$ explica mejor la relación entre biomasa y variables dasométricas de los árboles, al mismo tiempo que determinó que el bosque presenta almacenamiento de carbono de 140 485.436 Tc, con un valor económico del servicio ecosistémico es de 5 326 259.87 €. El autor concluyó la importancia de ejecutar proyectos de conservación y gestión sostenible del bosque, cuya finalidad sea conservar las reservas de carbono.

Zhang et al. (2022) en el trabajo de investigación “La acumulación de proteína del suelo relacionada con la glomalina beneficia el secuestro de carbono en el suelo” evaluó la contribución de GRSP al mejoramiento de las propiedades del suelo en un área costera tropical para cuatro prácticas de restauración diferentes: una tierra estéril, una *Eucalyptus exserta* bosque plantado, bosque mixto latifoliado y bosque natural secundario. Como resultados obtuvo que las prácticas de restauración de la vegetación aumentaron el GRSP extraíble y el GRSP total en 3.9-12.3 y 1.9-4.6 veces, respectivamente, en comparación con tierra estéril. Los autores concluyen indicando que, entre estas áreas de bosques artificiales, una práctica de bosques mixtos con especies de árboles nativos proporciona una estrategia prometedora para la restauración de tierras muy erosionadas, mejorando la agregación del suelo y el secuestro de COS.

Jandl et al. (2021) compararon los sumideros de carbono establecido en el suelo de bosques de coníferas. Los suelos fueron muestreados en sitios del Inventario Forestal de Austria. Los datos lo estratificaron según la geología (lecho rocoso calcáreo o silíceo), la orientación de las laderas y el tipo de bosque (bosque de coníferas o mixto, caducifolio). Esta información les permitió determinar los stocks de carbono orgánico del suelo. Además, obtuvieron los resultados de la simulación de un modelo basado en el crecimiento forestal y su relación con el carbono del suelo. Las simulaciones lo realizaron con el simulador de crecimiento forestal CÂLDIS y el modelo de carbono del suelo Yasso07. La simulación bajo un escenario de fuerte calentamiento mostró un aumento en las reservas de carbono de los suelos cuando las coníferas son reemplazadas por especies de árboles de hoja caduca. En la simulación de 150 años, la mayoría de los sitios forestales serán aptos para bosques caducifolios. Los autores concluyeron las diferencias en las reservas de carbono están impulsadas por las tasas de crecimiento específicas de la especie y la asignación de fotosintatos al tejido superficial o subterráneo.

Mildrexler et al. (2020) examinaron la proporción de árboles de gran diámetro en las tierras del Bosque Nacional al este de la cresta de las Montañas Cascade en Oregon

y Washington, su contribución al almacenamiento general de carbono sobre el suelo (AGC), y la posible reducción de las reservas de carbono como resultado de una explotación generalizada. Analizaron los datos del inventario forestal recopilados en 3335 parcelas y descubrieron que árboles de gran diámetro y altura considerable cumplen un rol importante en las existencias de carbono acumulado de estos bosques. Estimaron la biomasa de ramas, cortezas y follaje utilizando modelos alométricos específicos de especies, sustituyendo ecuaciones por especies similares. El AGC del árbol (kg) aumenta considerablemente con el DAP entre las cinco especies de árboles dominantes. Los árboles grandes representaron del 2.0 al 3.7% de todos los tallos ($DAP \geq 1$ o 2.54 cm) entre cinco especies de árboles; pero contenía del 33 al 46 % del total de AGC almacenado por cada especie. Combinados en las cinco especies dominantes, los árboles grandes representaron el 3 % de los 636,520 árboles que se encuentran en las parcelas del inventario, pero almacenaron el 42 % del total de AGC. Los autores concluyeron que sería prudente continuar protegiendo los ecosistemas con árboles grandes por sus reservas de carbono, y también por sus cobeneficios de hábitat para biodiversidad, resiliencia a la sequía y los incendios, y amortiguación del microclima en situaciones climáticas extremas futuras.

Li et al. (2016) evaluaron la densidad del carbono orgánico del suelo (COS) de los bosques en diferentes regiones geográficas, tipos de bosques y tipos de suelo e investigar la variación espacial del COS en los bosques del este de China. La estimación del COS de los bosques se basó en 348 perfiles de suelo, que se recolectaron de 116 sitios forestales en el este de China durante 2008 - 2011. El contenido medio de COS fue de 17.5 g C kg^{-1} , lo que conduce a una densidad media de SOC de 12.4 kg C m^{-2} . La densidad de COS promedio en el horizonte orgánico y el horizonte mineral fue de 5.47 y 6.91 kg C m^{-2} , respectivamente, con una densidad de COS de 44.2 % que dominaba en el horizonte orgánico. La densidad media del COS forestal en el noreste, medio oriente y sureste de China fue de 13.5, 9.95 y 13.3 kg C m^{-1} respectivamente. La distribución del COS varió entre regiones, tipos de bosque y tipos de suelo en el este de China. Los autores concluyeron que los factores influyentes

cambiaron con la profundidad, la precipitación y la temperatura que dominan en el horizonte orgánico y la textura del suelo que domina en el horizonte mineral.

Fundamento teórico de la problemática de investigación

Los bosques templados son la categoría más grande de sumideros de tierra en el país, compensando constantemente alrededor del 14 % de las emisiones de CO₂ de la nación (EPA, 2020). Las proyecciones indican que los sistemas ecológicos tienen un importante potencial adicional de mitigación climática, con la acumulación de carbono forestal como componente central de un marco de soluciones climáticas naturales (Moomaw et al., 2019; Cook -Patton et al., 2020).

Asimismo, los suelos forestales son un importante sumidero de carbono terrestre que contiene más de la mitad de C que se encuentra en la biomasa de los árboles forestales (Scharlemann et al., 2014) y desempeñan un papel fundamental en el ciclo global del carbono (Lal, 2004; Mishra et al., 2019). El papel de los suelos forestales como fuente o sumidero se ha vuelto vital al evaluar modificaciones de los niveles de CO₂ atmosférico, principalmente debido al creciente interés de disminuir el carbono y por ende el efecto invernadero (Sayer et al., 2019).

Se sabe que las operaciones de manejo forestal afectan las ganancias y pérdidas de carbono al cambiar el nivel de aportes a las reservas de carbono del suelo, las tasas de descomposición microbiana, las condiciones ambientales cambiantes, como la temperatura y la humedad, y la calidad de la basura (Vesterdal y Leifeld, 2007)

Los bosques existentes actualmente almacenan aproximadamente el 45 % del carbono orgánico en la tierra en su biomasa y suelos (Bonan, 2008). Juntos, los bosques antiguos y en regeneración existentes absorben cerca de 2 gigatoneladas de carbono (Gt C) anualmente, contribuyendo fundamentalmente al almacenamiento de C de los suelos (Pugh et al., 2019). Un análisis reciente sugirió que plantar árboles en 900 millones de hectáreas adicionales podría capturar 205 Gt C (Bastin et al., 2019),

que es aproximadamente un tercio de las emisiones antropogénicas totales hasta el momento ($\sim 600 \text{ Gt C}$). Sin embargo, llevaría más de 100 años alcanzar este potencial de almacenamiento de C, suponiendo una tasa típica de asignación de C a la madera de $2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Bonan, 2008). Además, es probable que esta cifra sobrestime tanto el potencial de captura de carbono forestal (Lewis et al., 2019) como la disponibilidad de tierra y agua adecuadas para la reforestación.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El estudio planteó medir concentraciones de carbono en diferentes compartimientos en bosques de quinilla, aplicando métodos numéricos y la estadística para generar conocimientos científicos (Hernández, et al., 2014, p.152).

3.1.2. Diseño de investigación

Se estableció un diseño no experimental; ya que no se manipularán las variables a medir y se tomó tal como se encontró en su entorno natural con el fin de analizarlos posteriormente. Asimismo, es de carácter descriptivo como lo plantea (Hernández, et al., 2014).

La presente investigación tuvo lugar en el bosque Ojos de Agua, ubicada en la localidad de Pucacaca, provincia de Picota, región San Martín; entre los meses de febrero a julio de 2023. Los bosques de ojos de agua están ubicados entre los 300 a 600 m.s.n.m. El bosque seco de Picota pertenece a un clima semi seco templado cálido, donde existe heterogénea en la altitud, con temperaturas que van desde 26.7 °C a 42.8 °C y la humedad de la misma manera variando de 37 % a 68 %. Asimismo, el estudio presenta dos bosques; siendo este bosque primario ubicado a 388 m.s.n.m; 337984 E y 9243045 N y el bosque intervenido ubicado a 363 msnm; 338253 E y 9242983 N.

3.2. Variables y operacionalización

Variable Independiente: Bosque primario y bosque intervenido; profundidades de suelos (0-15; 15-30). Según la tabla de operacionalización de variables (Anexo 2) se detalla a continuación lo siguiente:

Definición conceptual: 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), debido a un elevado almacenamiento de biomasa, representando un potencial en retención de carbono (Torres et al., 2019).

Definición operacional: En el presente estudio se consideró aspectos técnicos y metodologías validados y publicados en artículos de alto valor de impacto; por tal motivo, se planteó como objetivos medir el stock de carbono en la superficie del suelo y biomasa aérea de dos bosques en Picota, San Martín. Se establecieron subparcelas de 300 m² en 5 hectáreas, se aplicó metodologías validados y publicados en artículos de alto valor de impacto; por tal motivo, se planteó como objetivo determinar el stock de carbono en bosques de Picota, San Martín.

Escala de medición: Hectáreas (ha) y m²

Variable Dependiente: Carbono en la biomasa herbácea, hojarasca, biomasa aérea y carbono orgánico del suelo

Definición conceptual: El almacenamiento de carbono orgánico en el suelo está determinado por muchos factores y compartimentos como la biomasa aérea, hojarasca, biomasa herbácea y en los perfiles del suelo (Moore et al., 2018; Shukla y Chakravarty, 2018).

Definición operacional: En las parcelas establecidas se evaluaron carbono de la biomasa herbácea y hojarasca en base a la cantidad de maleza presente por m²; esto se logró a partir de los pesos frescos y secos en estufa; para determinar el carbono

aéreo se considera una cinta diamétrica y un clinómetro para medir porcentajes de ángulos y distancias, finalmente el COS se midió a partir del muestreo en perfiles del suelo y estos fueron enviados a la Universidad Agraria La Molina para los análisis respectivos (Solis et al., 2020).

Escala de medición: Toneladas por hectárea (t/ha)

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población

Para este estudio se consideró a especies forestales de dos bosques tropicales secos de Picota con aproximadamente 5 hectáreas de las cuales se estratificaron en tres subparcelas para cada tipo de vegetación natural establecida en la zona, siguiendo la metodología de Solis et al. (2020), bosques dominada por árboles de quinilla y otras especies muy utilizada en la Amazonía peruana por su madera y a la vez amenazada por el establecimiento extensivo de la agricultura y los pastizales (Vallejos-Torres et al., 2020).

Criterios de inclusión

En el muestreo se consideró a dos bosques en diferente estado de conservación; siendo estas en estado intacto, es decir bosques que no hayan sido intervenidos por la mano del hombre y un segundo tipo de bosque aquellos que hayan sido afectadas con intervención intermedia por los hombres; todo ello dentro de la provincia de Picota, Región San Martín.

Criterios de exclusión

Otros bosques de protección establecidas dentro de la provincia de Picota.

3.3.2 Muestra

La muestra estuvo constituida por tres repeticiones en cada subparcela por bosque; haciendo un total de cuatro sitios de muestreo en el estudio de las cuales se colectaron muestras de biomasa en hojarasca, materia herbácea y biomasa en los árboles;

asimismo, para las muestras de suelo se consideraron al azar de los bosques en dos profundidades: superficie (0–15 cm) y subsuperficie (15–30 cm), siguiendo la metodología de Nautiyal et al. (2019).

3.3.3. Muestreo

El muestreo se dio inicio con la colecta de 12 muestras de materia herbácea, hojarasca y biomasa en árboles de los dos bosques. De las profundidades de los suelos se tomaron 12 muestras de suelos para los análisis de carbono; considerándose seis muestras por cada tipo de bosque.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Las metodologías fueron sustentadas en base a publicaciones científicas de alto factor de impacto en almacenamiento de carbono en bosques forestales tales como: Friedlingstein, et al. 2019; Solis, et al. 2020; Mildrexler, et al. 2020 y Zhang, et al. 2022.

Instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección se sustenta en el uso de formatos para toma de datos en base al planteamiento de artículos científicos publicados en diversas bases de datos. Asimismo, se utilizaron modelos alométricos para estimar la biomasa aérea basado en el DAP medido. Se estimó la retención de COS según la metodología de Walkley, Black (1934). Teniendo como producto a la densidad aparente y contenido de carbono en porcentaje obtenido en el laboratorio; siguiendo la metodología de Andrade y Ibrahim (2003).

Validez de los instrumentos

Los formatos y herramientas empleados en este estudio fueron analizados y validados por expertos en el tema tratado; siendo los expertos profesionales de las carreras de ingeniería ambiental y agrícola (Ver Anexo 1). Se adjunta la lista de expertos indicados que validaron los instrumentos:

Tabla 1. Variable: Bosque primario y bosque intervenido

Nº	Especialista	Especialidad	Calificación
1	Dr. Andi Lozano Chung	Ambiental	43
2	M.Sc. Harry Saavedra Alva	Agrónomo	44
3	Dr. Karla Mendoza López	Ambiental	41

Tabla 2. Variable: Stock de carbono en la biomasa aérea, herbácea y hojarasca y carbono orgánico en suelos.

Nº	Especialista	Especialidad	Calificación
1	Dr. Andi Lozano Chung	Ambiental	43
2	M.Sc. Harry Saavedra Alva	Agrónomo	44
3	Dr. Karla Mendoza López	Ambiental	41

Con los resultados aceptados, aprobados y validados se procedió a realizar el estudio con 12 muestras de suelos colectados.

Confiabilidad

La confiabilidad permitió medir el grado de fiabilidad, a través del software R Studio y el Alfa de Cronbach, cuyo fin sea validar los formatos de base de datos con una distribución normal de datos.

3.5. Procedimientos

Contenido de carbono en la biomasa aérea de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido)

Se dio inicio con la identificación y selección de las subparcelas; para ello se identificaron dos tipos de bosque (primario e intervenido) en cada tipo de bosque se hicieron tres calicatas y se midieron la altura de los árboles haciendo uso del clinómetro

de Suunto y a la vez el diámetro de cada árbol a 1.30 cm del suelo con la ayuda de una cinta diamétrica. Asimismo, se tomaron muestras de materia herbácea, hojarasca. A continuación, se detalla los procedimientos de evaluación de los indicadores,

Biomasa de árboles en pie

Para este análisis se empleó el modelo propuesto por Chave et al. (2014), indicados en anexos 2.

La biomasa total se determinó de los árboles medidos y registrados (BTAV) de la parcela de 4 m x 25 m, es decir:

$$BAVT \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = BTAV * 0.1$$

$$BAVT \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = \text{biomasa de árboles vivos}$$

$$BTAV = \text{biomasa total de las parcelas de 4 m x 25 m}$$

0,1= factor de conversión cuando la parcela es de 4 m x 25 m.

Biomasa herbácea (t ha⁻¹)

Se usó la metodología desarrollada por el ICRAF (Arévalo et al. 2003). Se tomaron cuadrantes de 1 x 1 m, dentro de las subparcelas de 4 x 25 m. Para ello se extrajo todas las malezas presentes en dicha área para su peso inicial como fresco y de este, el peso fresco de una submuestra de valor arbitrario, enviada a laboratorio para secado.

$$BAH \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [(PSM / PFM) \times PFT] \times 0.01$$

Donde:

BAH, corresponde a la biomasa herbácea; PSM, es el peso seco de muestra (g); PFM, es el peso fresco de muestra (g), PFT , el peso total (g) y 0,01 el factor de conversión

Biomasa de la hojarasca (t ha⁻¹)

Se empleó la metodología desarrollada por el ICRAF (Arévalo et al. 2003). Para cada parcela, dentro de los cuadrantes de 1 x 1 m, se tomó sus cuadrantes de 0,5 x 0,5 m se pesó la hojarasca acumulada (por 0,25 m²), y de esta, una submuestra de valor

arbitrario fue enviada a laboratorio para el secado. Se muestreo hojarasca por 400 g, esto se llevó a la estufa y se secó a 70°C por 24 horas.

$$Bh \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [(PSM / PFM) \times PFT] \times 0,04$$

Carbono en el subsuelo de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido)

Se dio inicio con la identificación y selección de las subparcelas; para ello se establecieron dos tipos de bosque (primario e intervenido) en cada tipo de bosque se hicieron tres calicatas y se tomaron muestras de suelos de dos profundidades siendo estas de 0-15 cm y de 15 a 30 cm.

Estimación de carbono orgánico del suelo

Se estimó la retención de COS con el método de Walkley, Black (1934) en la UNALM. Teniendo como producto a la densidad aparente y contenido de carbono en porcentaje obtenido en el laboratorio; siguiendo la metodología de Andrade y Ibrahim (2003).

$$COS = Ps * Da * CO$$

Donde:

COS (t ha⁻¹), es el carbono orgánico del suelo; Ps, los horizontes del suelo; la Da la densidad aparente (g cm⁻³) y el CO es el carbono orgánico en suelos (%)

Para determinar la densidad aparente se utilizó el método del cilindro de 5,5 cm de diámetro y 5 cm de altura propuesto por Blake y Hartge. (1986) para calcular la densidad aparente (DA) del suelo en g cm⁻³, se determinó empleando la siguiente fórmula:

$$DA: Wd/V$$

donde DA es la densidad aparente (g/cm³), Wd es el peso de la muestra de suelo secada al horno (g) y V es el volumen del suelo muestreado (cm³).

3.6. Método de Análisis de datos

Se comprobó la normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro Wilk. Para estudiar el efecto de los factores (cobertura y profundidad) y su interacción, los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Duncan con una probabilidad de error del 5%. Adicionalmente se evaluó la relación entre los datos mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Todos los análisis fueron realizados empleando el lenguaje de programación R versión 4.0.2

3.7. Aspectos éticos

Para esta investigación empleamos informaciones de gran impacto publicados en fuentes indizadas en la base de datos de SCOPUS; extraído a partir de reportes científicos publicados y teniendo en cuenta las NORMAS ISO y los lineamientos estructurados por la Universidad César Vallejo y RVI N°062-2023-VI-UCV - articulación líneas investigación UCV – RSU.

IV. RESULTADOS

4.1. Contenido de carbono en la biomasa aérea de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) en Picota, San Martín.

El análisis de varianza para el carbono aéreo, herbáceo, hojarasca y carbono en materia muerta, evidencian diferencia significativa en los tipos de cobertura vegetal (Tabla 3, 5, 7 y 9).

Tabla 3. Análisis de varianza para el carbono aéreo en diferente cobertura vegetal

	GL	SC	CM	Fc	p-value
Cobertura vegetal	1	3929.5	2	44.824	<0.001*
residuo	8	701.3	5		
total	11	4686.1	1		

Interpretación de p: *= Significativo.

La prueba de Duncan realizada al carbono aéreo, herbáceo, hojarasca y carbono en materia muerta, indican que el bosque primario mostró mayores contenidos de carbono con promedios de 90.89; 0.77; 2.44 y 2.18 t. ha⁻¹ respectivamente; evidenciando diferencias significativas para todas las variables mencionadas (Tabla 4, 6, 8 y 10).

Tabla 4. Prueba de Duncan de los promedios del carbono aéreo en diferente cobertura vegetal.

Bosque primario (t/ha)	Bosque intervenido (t/ha)
90.893a±7.2 (a)	56.21b±3.11 (b)

Tabla 5. Análisis de varianza para el carbono del carbono en biomasa herbáceo en diferente cobertura vegetal.

	GL	SC	CM	Fc	p-value
Cobertura vegetal	1	0.952	5	38.273	<0.001*
Residuo	8	0.199	4		
Total	11	1.170	1		

Interpretación de p: *= Significativo.

Tabla 6. Prueba de Duncan de los promedios del carbono en biomasa herbáceo en diferente cobertura vegetal.

Bosque primario (t/ha)	Bosque intervenido (t/ha)
0.77a±0.144 (a)	0.283b±0.105 (b)

Tabla 7. Análisis de varianza para el carbono en hojarasca en diferente cobertura vegetal

	GL	SC	CM	Fc	p-value
Cobertura vegetal	1	2.421	5	29.399	<0.001*
Residuo	8	0.659	4		
Total	11	3.091	1		

Interpretación de p: *= Significativo

Tabla 8. Prueba de Duncan de los promedios del carbono en hojarasca en diferente cobertura vegetal.

Bosque primario (t/ha)	Bosque intervenido (t/ha)
2.437a±0.181 (a)	1.497b±0.263 (b)

Tabla 9. Análisis de varianza para el carbono en materia muerta en diferente cobertura vegetal.

	GL	SC	CM	Fc	p-value
Cobertura vegetal	1	3.318	5	153.316	<0.001*
Residuo	8	0.173	2		
Total	11	3.579	1		

Interpretación de p: *= Significativo

Tabla 10. Prueba de Duncan de los promedios del carbono en materia muerta en diferente cobertura vegetal.

Bosque primario (t/ha)	Bosque intervenido (t/ha)
2.18a±0.058 (a)	1.233b±0.151 (b)

4.2. Carbono en el subsuelo de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) en la provincia de Picota.

Carbono orgánico del suelo

El análisis de varianza evidencia diferencia significativa en el contenido de carbono orgánico en suelo en las diferentes coberturas vegetales, profundidad del suelo y la interacción entre ambos factores (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de varianza para el carbono orgánico del suelo en diferente cobertura vegetal y profundidades de suelo.

	GL	SC	CM	Fc	p-value
Cobertura vegetal	1	313	4	13.303	<0.001*
Profundidad	1	2687.7	3	114.219	<0.001*
Cobertura*profundidad	1	426.4	5	18.12	<0.001*
Residuo	8	188.2	2		
Total	11	3615.4	1		

Interpretación de p: *= Significativo; n.s.= No Significativo

Según la prueba de Duncan, muestra que el mayor contenido de carbono orgánico en suelo se presentó en el bosque primario a una profundidad de 0-15 cm con un promedio de 80.25 t. ha⁻¹; seguido del bosque intervenido a una profundidad de 0-15 cm con un promedio de 58.12 t. ha⁻¹, mostrando diferencias significativas entre ambos bosques (Figura 1).

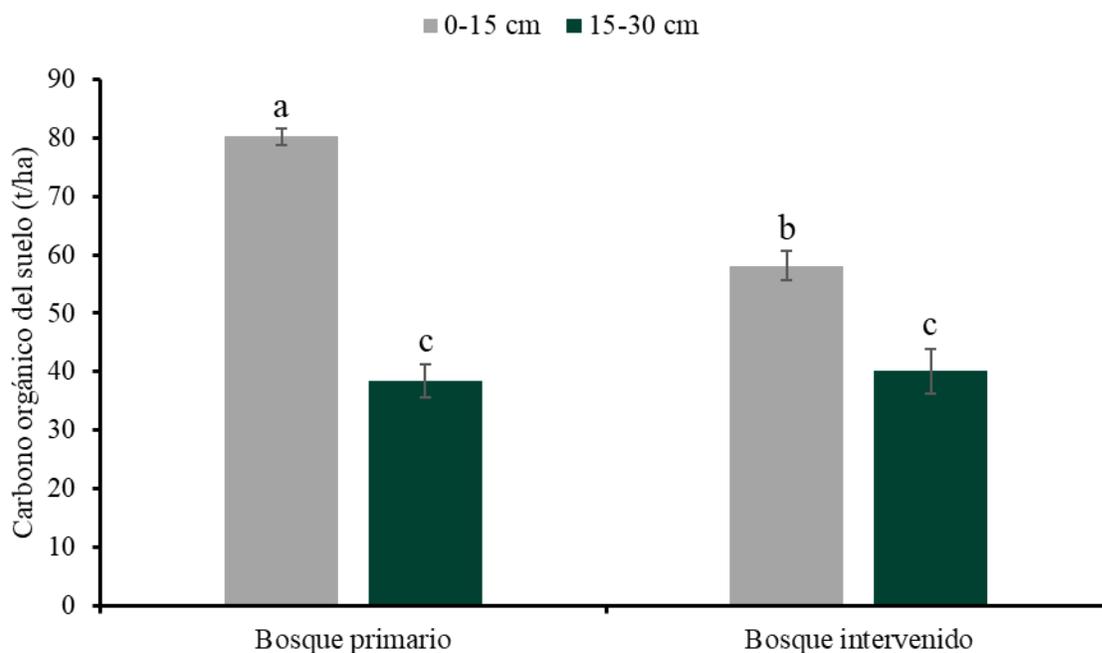


Figura 1. Prueba de Duncan para el contenido de carbono orgánico del suelo en los compartimentos sobre el suelo y debajo del suelo en un bosque primario e intervenido

Carbono total

El análisis de varianza evidencia diferencia significativa en el contenido de carbono total en las diferentes coberturas vegetales y profundidad del suelo (Tabla 12).

Tabla 12. Análisis de varianza para el carbono total en diferente cobertura vegetal y profundidades de suelo.

	GL	SC	CM	Fc	p-value
Cobertura vegetal	1	7694.7	5	101.263	<0.001*
Profundidad	1	2164.6	3	28.487	<0.001*
Cobertura*profundidad	1	109.7	2	1.444	0.264 n.s.
Residuo	8	607.9	4		
Total	11	10577	1		

Interpretación de p: *= Significativo; n.s.= No Significativo

Según la prueba de Duncan, muestra que el mayor contenido de carbono total se presentó en el bosque primario a una profundidad de 0-15 cm con un promedio de 176.54 t. ha⁻¹; seguido del bosque primario a una profundidad de 15-30 cm con un promedio de 143.63 t. ha⁻¹, mostrando diferencias significativas entre ambos bosques; asimismo, se muestra diferencias significativas en las profundidades de suelo (Figura 2).

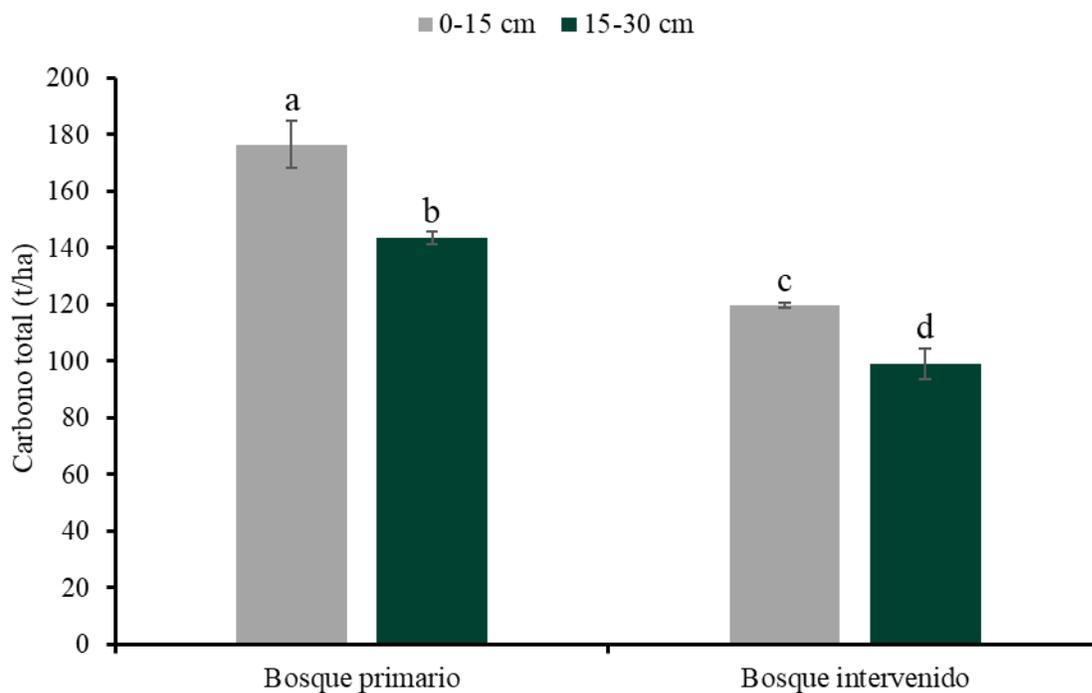


Figura 2. Prueba de Duncan para el carbono total en los compartimentos sobre el suelo y debajo del suelo en un bosque primario e intervenido.

La figura 3 muestra una correlación de seis variables estudiadas; existiendo correlación significativa entre varios pares de variables; tal es así entre el C herbáceo y C aéreo con una correlación positiva alta ($\rho=0.8232093$), que implica que cuando aumenta el C herbáceo, aumenta el C aéreo; el C en la hojarasca y C aéreo con una correlación positiva alta ($\rho=0.7498303$), que implica que cuando aumenta el C hojarasca, aumenta el C aéreo; El C en la materia muerta y C aéreo con una correlación positiva alta ($\rho=0.8785676$), que implica que cuando aumenta el C en la

materia muerta, aumenta el C aéreo; el C en la hojarasca y C herbáceo con una correlación positiva alta ($\rho=0.7220504$), que implica que cuando aumenta el C hojarasca, aumenta el C herbáceo y el C en la materia muerta y C herbáceo con una correlación positiva alta ($\rho=0.8939939$), que implica que cuando aumenta el C en la materia muerta, aumenta el C herbáceo.

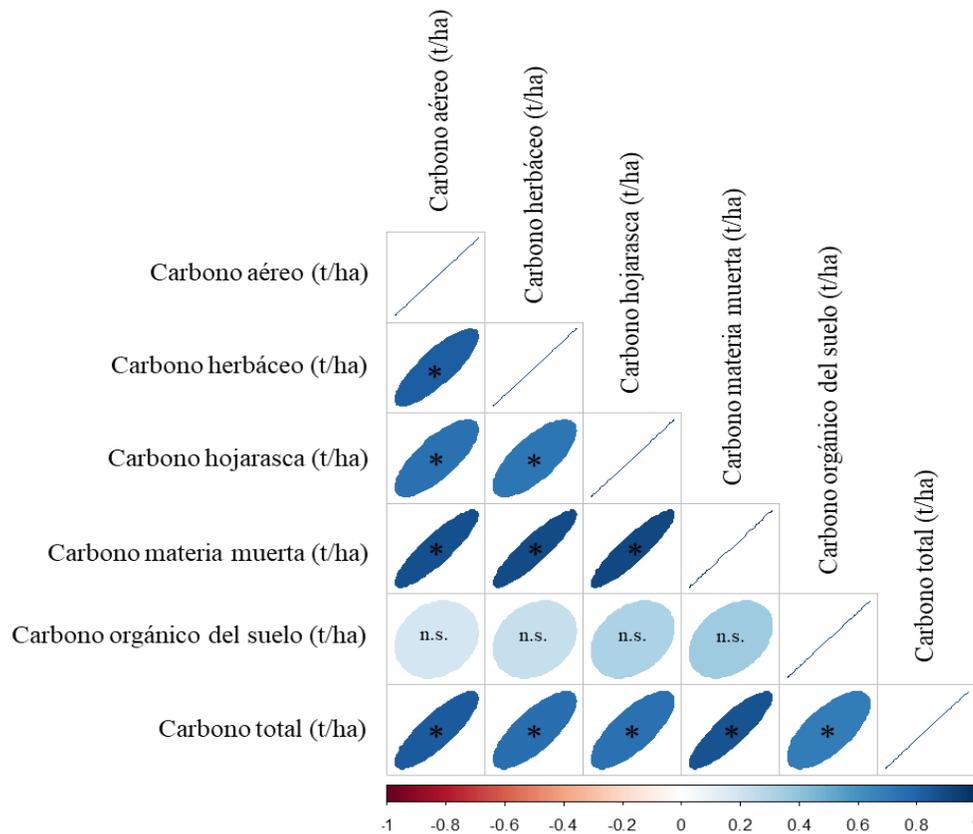


Figura 3. Coeficientes de correlación entre el contenido de carbono sobre la superficie y debajo del suelo en un bosque primario y bosque intervenido

V. DISCUSIÓN

5.1 Contenido de carbono en la biomasa aérea de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) en Picota, San Martín.

Los hallazgos de Shrestha y Lal (2010) indicaron que el 81 % del carbono se acumula en la biomasa de los árboles, como la biomasa aérea, las raíces y la hojarasca, y que el 19 % restante del carbono se acumula en el suelo en un ecosistema forestal. Mientras que Retana-Chinchilla, (2019) reveló que la biomasa aérea concentra el 46,35 % del carbono total. La capacidad media de almacenamiento de carbono de diferentes depósitos de carbono varió de 2,1 t C/ha en hojarasca a 156,6 t C/ha en el carbono aéreo. La capacidad total de almacenamiento de carbono (t C/ha) disminuyeron en el siguiente orden: carbono aéreo (AGC) > carbono orgánico del suelo (COS) > carbono subterráneo (BGC) > carbono herbáceo (HC) > carbono en hojarasca (LC). El componente AGC tuvo el contenido de C más alto en los sistemas agroforestales de café (Niguse et al., 2022).

La biomasa aérea y por tanto, el contenido de carbono almacenado en los bosques del del Pacífico, tiende a incrementarse con la edad de estos ecosistemas forestales (datos similares a los registrados para otros bosques tropicales "Ulate (2011) y Yquise, Pocomucha y Ytavclerh (2012)"; los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan mayor acumulación de carbono, esto debido a que los árboles, al crecer, absorben carbono de la atmósfera y lo fijan en su madera (FONAM, 2005). Esta teoría también es apoyada por reportes de IPCC (2007), quienes detallan que el almacenamiento de carbono por parte de los árboles no es uniforme a lo largo de su vida, sino que está en relación directa con su crecimiento, dado que aproximadamente el 50 % de la biomasa está formado por carbono.

5.2 Carbono en el subsuelo de dos bosques (Bosque primario, bosque intervenido) en la provincia de Picota.

Se conoce que el suelo concentra los mayores depósitos de carbono terrestre, aproximadamente el 75 % del carbono en los bosques. En nuestro estudio el mayor contenido de carbono se encontró en el bosque primario. Estudios anteriores indicaron que las formaciones vegetales tienen un efecto profundo en las reservas de carbono del suelo (Koga et al., 2020). Boulmane et al. (2010) encontraron que la densidad de un rodal de plantas puede no tener un efecto significativo sobre el potencial de secuestro de carbono en la biomasa, pero ciertamente tiene un efecto significativo sobre el secuestro de carbono en los suelos y más precisamente en la capa de 0 a 15 cm (entre 52,7 t ha⁻¹ y 33,2 t ha⁻¹). El tipo de vegetación juega un papel crucial en la determinación de la distribución espacial del COS, ya que la composición de especies de árboles puede controlar la cantidad y composición de los aportes de materia orgánica, especialmente en las capas superiores del suelo (Díaz-Pinés et al., 2011). Las propiedades de la vegetación aérea, como la edad del rodal, el índice de área foliar, la biomasa aérea, la altura media de los árboles, el diámetro de los árboles, la densidad del rodal, el área basal de los árboles y la profundidad de la hojarasca son todas propiedades de la vegetación que tienen un efecto potencial en las reservas de COS (Li et al., 2010).

Los estudios de experimentos de campo indicaron diferencias significativas en las existencias de COS bajo diferentes árboles forestados en el mismo sustrato de suelo, lo que puede deberse a la cantidad de hojarasca, la descomposición de las raíces muertas y la composición elemental de la biomasa individual (Ahirwal et al., 2020). La descomposición de la hojarasca libera los nutrientes ligados al suelo, lo que aumenta la concentración de COS de los suelos mineros con el tiempo (Kumari et al., 2019). (Ahirwal y Maiti, 2018) afirmaron que el aumento de la concentración de COS se debe a la acumulación de hojarasca y su posterior descomposición en humus.

VI. CONCLUSIONES

- Los contenidos de carbono aéreo, herbáceo, hojarasca y carbono en materia muerta, indican que el bosque primario mostró mayores contenidos de carbono con promedios de 90.89; 0.77; 2.44 y 2.18 t. ha⁻¹ respectivamente; evidenciando diferencias significativas para todas las variables mencionadas.
- El mayor contenido de carbono orgánico en el suelo se presentó en el bosque primario a una profundidad de 0-15 cm con un promedio de 80.25 t. ha⁻¹ con diferencias significativas tanto en los bosques como en las profundidades del suelo.
- El estudio mostró que existe una correlación de seis variables estudiadas; existiendo correlación significativa entre varios pares de variables; implica que cuando aumenta el C herbáceo, aumenta el C aéreo; cuando aumenta el C hojarasca, aumenta el C aéreo; cuando aumenta el C en la materia muerta, aumenta el C aéreo; cuando aumenta el C hojarasca, aumenta el C herbáceo cuando aumenta el C en la materia muerta, aumenta el C herbáceo.
- Las existencias de carbono en bosques primarios e intervenidos muestra mayor relevancia en el almacenamiento de carbono en el orden siguiente: Carbono aéreo > COS > carbono en hojarasca > carbono en materia muerta > carbono herbáceo.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de biomasa arbórea en función a los diámetros de los árboles y altura de los árboles.
- Realizar las variaciones de carbono a largo de profundidades mayores en suelos de diferentes bosques de la región San Martín.
- Compartir la información de los contenidos de carbono orgánico en bosques primario e intervenido mediante charlas, capacitaciones y concientización social con la finalidad de proteger los bosques.
- Las autoridades a buscar alternativas de protección y conservación de las especies de quinilla y estoraque que predominan en los bosques secos del Huallaga Central.

REFERENCIAS

ANDRADE, Hernán, IBRAHIM, Muhammad, 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/handle/11554/6950>

ARÉVALO, Luis., ALEGRE Julio., PALM, CH, 2003. *Manual de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú*. Ministerio de Agricultura. Pucallpa. Perú. 24 p. disponible en <https://www.worldcat.org/es/title/manual-determinacion-de-las-reservas-totales-de-carbono-en-los-diferentes-sistemas-de-uso-de-la-tierra-en-peru/oclc/417781291>.

AYALA NINO, Fernando; MAYA DELGADO, Yolanda, TROYO DIEGUEZ, Enrique. Almacenamiento y flujo de carbono en suelos áridos como servicio ambiental: Un ejemplo en el noroeste de México. *Terra Latinoamericana*. vol.36, n.2 pp.93-104. Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.334>

BERNSTEIN Lenny, 2007. Cambio climático Informe de síntesis, (En línea). Publicado por el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Disponible en URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf.

BONAN, Gordon, 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. [Los bosques y el cambio climático: forzamientos, retroalimentaciones y los beneficios climáticos de los bosques]. *Science*. 320, 1444-1449. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18556546/>.

CLEMENTE-ARENAS, Edith, 2021. Captura de carbono en sistemas agroforestales en el Perú. *Revista Forestal del Perú*, 36 (2): 180 – 196. Disponible en <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v36i2.1797>.

DILAS-JIMÉNEZ, Josué Otoniel, 2020. Captura de carbono por un bosque montano de neblina del Perú. *Revista de investigación científica Alpha centauri*, 1, 13–25. Disponible en: <https://doi.org/10.47422/ac.v1i3.16>.

DOCAMPO, Roberto, 2010. La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. Serie Actividades de Difusión N° 687. Las Brujas: INIA -Estación Experimental “Wilson Ferreira Aldunate”. 81 - 88p. disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>.

EISFELDER, Christina, 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. ISSN 1470-160X. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X16304411>.

FRANCOIS BASTIAN, Jean, 2019. The global tree restoration potential. [El potencial global de restauración de árboles]. *Science*. 365, 76–79. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31273120/>.

KOGA, Nobuhisa, 2020. Assessing changes in soil carbon stocks after land use conversion from forest land to agricultural land in Japan. Artículo de investigación publicado en *Science Direct*. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114487>.

LI, ingheng, 2010. Soil organic carbon stock is closely related to aboveground vegetation properties in cold-temperate mountainous forests. *Geoderma* 154 (3), 407–415. disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.023>.

LOPEZ-SANGIL, Luis, 2019. Tropical forest soil carbon stocks do not increase despite 15 years of doubled litter inputs,” *Scientific Reports*, vol. 9, Article ID 18030. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-54487-2#article-info>.

MEDINA, César E; MEDINA, Yasmy, BOCARDO, Edwin, 2020. Valoración económica del secuestro y almacenamiento de carbono en la puna seca del suroeste del Perú. *Bosque (Valdivia)* [online]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. ISSN 0717-9200. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002020000200165>.

MILDREXLER, David.J., 2020. Large Trees Dominate Carbon Storage in Forests East of the Cascade Crest in the United States Pacific Northwest. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 594274. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.594274>.

M. PUGH, Thomas A., 2019. Role of forest regrowth in global carbon sink dynamics. [El papel de la regeneración de los bosques en la dinámica global de los sumideros de carbono]. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116, 4382-4387. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1810512116>.

MISHRA, Shruti, 2019. Interaction of abiotic factor on soil CO₂ efflux in three forest communities in tropical deciduous forest from India” *Environmental Monitoring Assessment*, vol. 191, p. 796. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7689-4>.

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

NAUTIYAL, Prachi., 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>.

RETANA-CHINCHILLA, Luis, 2019. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en un bosque primario intervenido de la zona protectora "El Rodeo", Costa Rica. Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. [online] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692019000300341.

RUIZ-BLANDON, Bayron Alexander, 2019. Almacenamiento de carbono y caracterización lignocelulósica de plantaciones comerciales de *Tectona grandis* L.f. en México. Colombia Forestal, 22(2), 15-29. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v22n2/0120-0739-cofo-22-02-00015.pdf>.

SARCCA HUISA, Yasmeli Ruth, 2017. *Valoración Económica del Servicio Ecosistémico de Secuestro y Almacenamiento de Carbono en el Bosque de Polylepsis del Pichu Pichu* [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Disponible en: <https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/1918?mode=simple>.

SCHARLEMANN, Jorn, et al., 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool," Carbon Management. *Revista Taylor y Francis Online* vol. 5, no. 1, pp. 81–91. Disponible en <https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>

SHUKLA, Gopal y CHAKRAVARTY, Sumit, 2018. Biomass, primary nutrient and carbon stock in a Sub-Himalayan Forest of West Bengal, India. *Journal of Forest and Environmental Science*, 34(1), 12-23. DOI: 10.7747/JFES.2018.34.1.12, disponible en <https://doi.org/10.7747/JFES.2018.34.1.12>.

TORRES, Bolier., 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], en la revista Springer link [Consulta: 28/05/2020].

ISSN 1572-9680. DOI 10.1007/s10457-018-00342-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-018-00342-8>.

ULATE QUESADA, Carmen Amelia, 2011. *Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según la zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica* [en línea]. Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3005>.

Vallejos-Torres, G., Ríos-Ramírez, O., Saavedra, H., Gaona-Jimenez, N., Mesén-Sequeira, F., Marín, C. (2021). Vegetative propagation of *Manilkara bidentata* (A.DC.) A.Chev. using mini-tunnels in the Peruvian Amazon region. *Forest Systems*, Volume 30, Issue 2, eRC01. <https://doi.org/10.5424/fs/2021302-17971>

YAN LIU, Suyan Li et al., 2016. Variations of forest soil organic carbon and its influencing factors in east China. *Annals of Forest Science* 73, 501–511 (2016). Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0543-8>.

VELDMAN, Joseph, 2019. Comment on The global tree restoration potential. *Science*, 366. Disponible en <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaz0388>.

VESTERDAL, L, LEIFELD, J, 2007. Land-use change and management effects on soil carbon sequestration: forestry and agricultura. University of Copenhagen, Hørsholm, 639. Disponible en: http://www.bfw.ac.at/010/pdf/Act_639/L-VESTERDAL.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. Informe de instrumento de investigación científica



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:					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					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.					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: 43

Tarapoto 04 de Abril del 2023



Dr. Aníbal Cotazo Chunga
 INGENIERO AMBIENTAL
 CV 199414



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:					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					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.					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 21 de marzo del 2023

El instrumento es validado por



M. Sc. Harry Saavedra Alva
D.N.I. **43248273**



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:				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					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.					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:

Tarapoto 04 de Abril del 2023

El instrumento es válido


Dra. Karla L. Mendoza López
D.N.I: 44 598700

ANEXO 2. Matriz de operacionalización de variables

	VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Tipos de bosques	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 consideraron subparcelas de 300 m ² y se aplicó metodologías validados y publicados en artículos de alto valor de impacto; por tal motivo, se planteó como objetivo en suelos determinar el stock de carbono en el suelo de dos bosques en Picota, San Martín	Bosque primario con árboles de quinilla	Bosque primario	ha, m ²
	Profundidades de suelos			Bosque intervenido sin árboles de quinilla	Suelo de 0-15 cm	
DEPENDIENTE	Carbono sobre el 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 evaluaron carbono de la biomasa herbácea y hojarasca en base a la cantidad de maleza presente por m ² ; carbono aéreo se consideró una cinta diamétrica y un clinómetro, finalmente el COS se midió a partir del muestreo en perfiles del suelo	Carbono sobre el suelo	Carbono en malezas Carbono en hojarasca Carbono aéreo	t/ha
	Carbono debajo del suelo			Carbono debajo del suelo	Carbono de 0-15 cm de suelo Carbono de 15-30 cm de suelo	t/ha

ANEXO 3. Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar la biomasa aérea e bosques de quinilla.

Grupo de especies	Modelo barométrico	r ²	DBH range (cm)	References
Bosque húmedo tropical	$AGB = \exp(-1,7689 + 2,377 \times \ln(DBH))$	0,96	$2 \leq DBH < 5$	Nascimento and Laurance (2002)
Bosque húmedo tropical	$AGB = 0,0673 \times (\rho \times DBH^2 \times H)^{0,976}$		$DBH \geq 5$	Chave et al. (2014)

AGB, biomasa aérea; Y, biomasa de raíces; DAP, diámetro a la altura del pecho; H, altura; ρ , densidad de la madera

ANEXO 4. Identificación de parcelas y evaluación dasométrica de árboles de quinilla



Nota. (A) Bosque Ojos de Agua y (B) Medición del DAP en árboles de quinilla.

ANEXO 5. Identificación de parcelas y evaluación dasométrica de árboles de quinilla



Nota. (A) Colecta de muestras de hojarasca y herbácea y (B) Apertura de calicatas para muestras de suelo.

ANEXO 6. Identificación de parcelas y evaluación dasométrica de árboles de quinilla



Nota. (A) Muestras de suelos para análisis de carbono y (B) Secado de hojarasca y materia herbácea.



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: "Evaluación del stock de carbono en bosques forestales de Picota, Región San Martín, Perú", cuyos autores son FLORES SABOYA JESSICA, SANTA CRUZ GONZALES NOE DARIO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 21.00%, 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, 18 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
VALLEJOS TORRES GEOMAR DNI: 01162440 ORCID: 0000-0001-7084-977X	Firmado electrónicamente por: GVALLEJOST el 18- 07-2023 19:50:43

Código documento Trilce: TRI - 0599698