



Biomasa del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín

Biomass of the natural forest of the Biodiversity Center of the National University of San Martín

Luis Alberto, Ordóñez-Sánchez ^{1*}

Karina Milagros, Ordóñez-Ruiz ²

Jorge Max Navarro-Reátegui ¹

Victor Hugo, Ordóñez-Sánchez ¹

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.

²Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Huanta, Perú.

***Autor de correspondencia:** laordonez@unsm.edu.pe

Recibido: 15/10/2023 **Aceptado:** 18/01/2024 **Publicado:** 25/01/2024

Resumen: Conocer la biomasa del bosque natural permite dimensionar su valor ecológico y económico; además, enfoca prospección clara de adecuada convivencia. El objetivo del presente estudio fue calcular el almacenamiento de carbono de la biomasa, la situación del suelo y tipos de microorganismos descomponedores orgánicos del bosque natural en el Cerro Escalera. Se seccionaron tres lotes, al azar, en el interior del bosque de 136 hectáreas, del Centro de Biodiversidad, administrado por la Universidad nacional de San Martín, con latitud Sur -6.4607; longitud Oeste -76.2896; altitud 963 msnm. Muestra de mantillo se analizó en el laboratorio de microbiología de suelos de la Universidad Nacional de San Martín, para determinar la existencia y conteo de bacterias y hongos. La metodología fue con diluciones y siembra, en placas Petri, conteniendo medio de cultivo TSA (triptona soya agar) para bacterias; y, medio PDA (papa dextrosa agar) para hongos. Resultados, la biomasa seca del bosque natural, pesa 127849 kg ha⁻¹ y almacena 58 t ha⁻¹ de carbono orgánico. El suelo muestra bajo contenido nutricional de nitrógeno (0,03 %), fósforo (2,95 ppm) y potasio (53,9 ppm). El mantillo ostenta 13 833 333 unidades formadoras de colonias (ufc) de bacterias por gramo de mantillo y 120 000 unidades formadoras de colonias (ufc) de hongos por gramo de mantillo. Conclusión, la biomasa del bosque almacena 58 t ha⁻¹ de carbono orgánico, proveniente de 128 t ha⁻¹ de biomasa.

Palabras clave: almacenamiento de carbono; bosque natural; microorganismos descomponedores; suelo del bosque

Abstract: To know the biomass of the natural forest allows us to measure its ecological and economic value; Furthermore, it focuses on pristine prospecting for adequate coexistence. This investigation aims to quantify the biomass of the natural forest in Cerro Escalera, Tarapoto. Three plots were sectioned, at random, inside the forest, with average data of South latitude -6.4607; West longitude -76.2896; altitude 963 meters above sea level. The mulch was analyzed in the soil microbiology laboratory of the National University of San Martín, to determine the existence and count bacteria and fungi. The methodology of this study includes dilutions and sowing, in Petri dishes, containing TSA (tryptone soy agar) culture medium for bacteria; and, PDA (potato dextrose agar) medium for fungi. Results, the dry biomass of the natural forest weighs 127849 kg ha⁻¹. Dried herbs 39 kg ha⁻¹; leaf litter 5303 kg ha⁻¹; mulch 5665 kg ha⁻¹; roots 12994 kg ha⁻¹; trees 102745 kg ha⁻¹; bushes 1103 kg ha⁻¹. Mulch boasts 13,833,333 colony-forming units (cfu) of bacteria per gram of mulch and 120,000 colony-forming units (cfu) of fungi per gram of mulch. Conclusion, the forest biomass weighs 128 t ha⁻¹, while storing 58 t ha⁻¹ of organic carbon.

Keywords: natural forest; decomposer microorganisms; carbon storage; natural forest floor



1. Introducción

El bosque tropical es un sistema armónico cíclico, conformado por biomasa vegetal, animal, microorganismos, aire, suelo, agua, material inorgánico, que, existe desde tiempos inmemoriales sin la presencia humana. Cada esfuerzo de investigación siempre será insuficiente para adentrarnos en sus complejos e intrincados procesos. El estudio de la biomasa aérea de los bosques (AGB) es irrefutable, pues interesa como indicador fundamental de la productividad, la biodiversidad y la acumulación de carbono de los ecosistemas forestales (Ma et al., 2024). En Grecia, se valoró la biomasa aérea ha^{-1} , que va desde 16,10 a 205,27 Mg ha^{-1} (media 61,91 Mg ha^{-1}) (Ispikoudis et al., 2024). Mientras en Pakistán, la biomasa va entre 150 y 286 mg ha^{-1} en el sitio A y 99 y 376 mg ha^{-1} en el sitio B (Muhammad et al., 2024). Las existencias de carbono fueron más elevadas en el ecosistema de bosque húmedo-montano (778,25 ton/ha), pendiente moderada (1019,5 ton/ha), elevación más baja (614,50 ton/ha), orientación suroeste (800,1 ton/ha) y áreas de exclusión (993,2 ton/ha) (Kassaye et al., 2024). Las existencias de carbono de la biomasa de los árboles son 211 (SD = 163) Mg C ha^{-1} o 218 (SD = 169) Mg C ha^{-1} (Carter & Buma, 2024).

Las complejidades estructurales en el índice de área basal, amparadas por la abundancia a nivel de género, influyen ciertamente en las existencias totales de biomasa, que fue modulada por la edad de los árboles y las perturbaciones (Ralhan et al., 2024). La apreciación de su biomasa es necesaria para el seguimiento y la contabilidad de las reservas de carbono forestal (Liu et al., 2024). La biomasa aérea representa la mayor parte de la biomasa total, y la biomasa subterránea se estima a partir de la biomasa aérea del bosque. El carbono constituye aproximadamente el 50 % de la biomasa seca de los ecosistemas forestales (Egeta, 2024). Los modelos de este estudio son adecuados para la estimación de la biomasa y demuestran que es posible realizar cálculos a escala fina para los diferentes componentes de la biomasa (Hernando et al., 2019). El diámetro del árbol, la cobertura basal total y la altura surgieron como los predictores más fuertes de la biomasa y el stock de C (Kumar et al., 2024). La comunidad microbiana en el pastizal y los bosques de diferentes edades de la masa forestal utiliza diferentes sustratos de carbono como recurso alimenticio, lo que es una consecuencia directa de la modificación en el aporte de hojarasca después de la conversión de un pastizal a bosque (Speckert et al., 2024). Por su parte, la abundancia de lombrices de tierra estaba relacionada negativamente con el aumento de la compactación del suelo, el peso de la hojarasca, el pH del suelo y la altura del sotobosque, mientras que estaba asociada positivamente con el aumento del sotobosque y la cobertura del dosel (Azhar et al., 2024). En cambio, las especies de árboles tropicales exhibieron mayores concentraciones de N en la hojarasca, pero menores concentraciones de P en la hojarasca que las especies de árboles extra tropicales (Ma et al., 2024). El suelo es el mayor depósito de carbono activo terrestre, actúa como filtro y reservorio de agua, y es la base de la producción de alimentos y el fundamento de la biodiversidad y múltiples actividades humanas (Bogunović & Filipović, 2023). En Portugal, la aplicación de mantillos de residuos forestales ha demostrado ser eficaz para reducir los volúmenes de escorrentía en un 50 % y la erosión del suelo en un 90 % en áreas quemadas, cuando la cobertura de aplicación es de aproximadamente el 70 % de la cobertura del suelo (Prats et al., 2023). Diferentes mecanismos pueden impulsar la dinámica de SWR debajo de fragmentos de mantillo, piedras y parches de suelo desnudo (Martins et al., 2024). El acolchado orgánico podría mantener el desarrollo de las bacterias del suelo, lo que establece una base teórica para mejorar el entorno microbiológico de los suelos forestales urbanos (Zhou et al., 2024).

El objetivo del presente estudio fue calcular el almacenamiento de carbono de la biomasa, la situación del suelo y tipos de microorganismos descomponedores orgánicos del bosque natural en el Cerro Escalera.

2. Materiales y métodos

2.1. Almacenamiento de carbono de la biomasa

El bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín, Tarapoto (CBD), de 136 hectáreas, se encuentra referencialmente a -6.46 de latitud Sur; -76.29 de longitud Oeste; 963 msnm de altitud. Se seccionaron tres lotes, al azar, en el interior del bosque: Lote 1 (L1) a -6.46084 de latitud Sur; -76.28999 de longitud Oeste; 949 msnm de altitud. Lote 2 (L2) a -6.4606 de latitud Sur; -76.2895 de longitud Oeste; 965 msnm de altitud. Lote 3 (L3) a -6.4607 de latitud Sur; -76.2892 de longitud Oeste; 976 msnm de altitud. El tipo de investigación realizado fue básico, de nivel descriptivo diseño no experimental explicativo.

La población tomada en cuenta estaba referida a la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) de árboles y arbustos en cien metros cuadrados seccionados al azar. Para la estimación de carbono almacenado en biomasa vegetal total y carbono en el suelo se utilizó la siguiente metodología, siendo:

- Carbono en la biomasa vegetal total (CBV)

$$\text{CBV (t ha}^{-1}\text{)} = \text{BVT} \cdot 0.45$$

Donde:

CBV = Carbono en la biomasa vegetal (t ha⁻¹)

BVT = Biomasa vegetal total

0.45 = Constante

- Carbono en el suelo (CS) (Pocomucha et al., 2016)

$$\text{CS (t ha}^{-1}\text{)} = (\text{PVs} \cdot \% \text{C}) / 100$$

Donde:

CS = Carbono en el suelo (t ha⁻¹)

PVs = Peso del volumen de suelo

%C = Resultados de carbono (%) analizados en el laboratorio

100 = Factor de conversión

La metodología de evaluación que se utilizó fue desarrollada por el ICRAF siguiendo los procedimientos del Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra. Esta metodología se basa en la determinación de la biomasa total mediante el uso de ecuaciones alométricas si son árboles y en la toma de muestras en forma disturbativa del sotobosque, cultivos, pastos etc. así como la hojarasca (Lapeyre et al., 2004). Las mediciones de árboles y arbustos se hicieron a todos los individuos en 100 metros cuadrados, midiendo sus diámetros a la altura del pecho (DAP), a 1.30 metros del suelo, con forcípula. Con estas informaciones se determinaron sus pesos y biomásas, empleando la siguiente fórmula $BA = 0.1184 \cdot \text{DAP}^2 \cdot 53$. Con estos pesos frescos se determinaron los pesos secos (32 % del peso fresco). Con los pesos secos se determinaron las capturas de carbonos de estas biomásas (45 % del peso seco, aunque otros autores indican que sería el 50 %) (Ordóñez-Ruiz & Ordóñez-Sánchez, 2022). Entonces, las muestras fueron los árboles y arbustos existentes en 100 metros cuadrados del bosque natural (tres partes seleccionadas al azar, según coordenadas geográficas). Las hierbas, hojarasca y mantillos existentes en un metro cuadrado, del centro de los cien metros cuadrados. El muestreo de las tres áreas del bosque fue por conveniencia, seleccionando al azar.

2.2. Situación del suelo

En la parte céntrica del metro cuadrado se hizo calicata de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²), con profundidad del suelo existente en campo. Se hizo medición de la profundidad del suelo con regla graduada, se extrajo y se realizó conteo del número de lombrices, también se extrajo las raíces. Las lombrices y las raíces fueron pesadas en fresco; luego, llevadas al laboratorio de suelos para el secado en estufa, a 75 °C por 24 horas, obteniendo luego el peso seco. Además, se cogió un kilogramo de suelo como muestra que, fue llevada al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de San Martín. La cantidad de suelo utilizado para análisis de rutina es 0.25 kg de suelo, pero es preferible llevar 0.5 kg al laboratorio, empacado en una bolsa plástica debidamente identificada con tinta permanente, o en un recipiente hermético (Mendoza & Espinoza, 2017).

2.3. Tipos de microorganismos descomponedores orgánicos del bosque natural en el Cerro Escalera

Una muestra (100 gramos) de mantillo por lote estudiado (3), se trasladó al laboratorio de microbiología de suelos de la UNSM-T, para determinar la presencia y poblaciones de microorganismos. Se realizó el conteo de bacterias y hongos encontrados, a efectos de conocer los microorganismos participantes en la descomposición de la materia orgánica. La metodología utilizada para la determinación del número de microorganismos en una muestra de mantillo, fue la de diluciones y siembra, en placas de petri conteniendo medio de cultivo TSA (triptona soya agar) para bacterias; y, medio PDA (papa dextrosa agar) para hongos. Se describe en detalle el método GSPM, después se muestra la reproducibilidad del método GSPM y su comparación frente a otros métodos de conteo de bacterias (experimento 1); usando como modelo el crecimiento hasta fase estacionaria de *Pseudomonas putida* KT2440 en medio líquido (Corral-Lugo et al., 2012).

Las variables de estudio fueron los recursos naturales existentes de biomasa dentro del bosque natural. En la presente investigación, las técnicas fueron la observación y el análisis documental. Los instrumentos empleados fueron la observación de campo y la ficha de investigación, donde se registraron las informaciones de campo. El análisis estadístico fue descriptivo y correlacional.

3. Resultados

3.1. Almacenamiento de carbono de la biomasa

3.1.1. Número de hierbas en el bosque

En el bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, existen 20000 individuos de hierbas en promedio por hectárea; que varían entre 10000 y 30000 individuos ha⁻¹ (Tabla 1).

Tabla 1. Número de hierbas por hectárea, en el bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Nº hierbas ha
1	30000
2	20000
3	30000
4	10000
5	10000
Promedio	20000

3.1.2. Peso seco (kg) de las hierbas del bosque

Las 20000 hierbas secas del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, pesan en promedio 39 kilogramos por hectárea (kg ha⁻¹); que varían entre 7 kg ha⁻¹ y 86 kg ha⁻¹ (Tabla 2).

Tabla 2. Peso seco de hierbas por hectárea, en el bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Peso seco (kg) de hierbas ha
1	14
2	7
3	58
4	29
5	86
Promedio	39

3.1.3. Peso seco (kg) de hojarascas del bosque

Las hojarascas secas del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, pesan en promedio 5303 kilogramos (kg) por hectárea; que varían entre 2585 kg ha⁻¹ y 9598 kg ha⁻¹ (Tabla 3).

Tabla 3. Peso seco de la hojarasca por hectárea, en el bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Peso seco (kg) hojarasca ha
1	5830
2	2585
3	3403
4	9598
5	5099
Promedio	5303

3.1.4. Peso seco (kg) del mantillo del bosque

El mantillo seco del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, pesa en promedio 5665 kilogramos (kg) por hectárea; que varía entre 2734 kg ha⁻¹ y 14574 kg ha⁻¹ (Tabla 4).

Tabla 4. Peso seco del mantillo por hectárea, en el bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Peso seco (kg) mantillo ha
1	3650
2	4173
3	14574
4	3194
5	2734
Promedio	5665

3.1.5. Peso seco (kg) de raíces del bosque

Las raíces secas del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, pesan en promedio 12994 kilogramos (kg) por hectárea; que varía entre 5259 kg ha⁻¹ y 24080 kg ha⁻¹ (Tabla 5).

Tabla 5. Peso seco de raíces por hectárea, en el bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Peso seco (kg) raíces ha
1	24080
2	10108
3	9470
4	16051
5	5259
Promedio	12994

3.1.6. Número de lombrices en el suelo del bosque

Los huertos agroforestales, las plantaciones de árboles de caucho y las plantaciones maduras de palma aceitera tenían una mayor abundancia de lombrices que aquellos en bosques de tierras bajas talados (Azhar et al., 2024). Existen 184000 lombrices por hectárea en promedio, en el suelo del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto; que varían entre 40000 lombrices ha⁻¹ y 360000 lombrices ha⁻¹. La abundancia de lombrices en bosques de tierras bajas no talados y plantaciones jóvenes de palma aceitera fue menor que en bosques de tierras bajas talados (Azhar et al., 2024) (Tabla 6).

Tabla 6. Número de lombrices en el suelo por hectárea, en el bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Peso seco (kg) raíces ha
1	24080
2	10108
3	9470
4	16051
5	5259
Promedio	12994

3.1.7. Peso seco de lombrices en el suelo del bosque

El vermi compostaje es la tecnología más avanzada que permite mejorar el estado de fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas (Kale & Karmegam, 2010). Las 184000 lombrices por hectárea en el suelo del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, pesan en promedio 40 kg; que, varían entre 9 kg ha⁻¹ y 64 kg ha⁻¹. El peso general de las lombrices fue mayor en plantaciones de árboles de caucho, huertos agroforestales, plantaciones maduras de palma aceitera y bosques de tierras bajas no talados que, en bosques de tierras bajas talados, mientras que las plantaciones jóvenes de palma aceitera exhibieron un menor peso de lombrices que los bosques de tierras bajas talados (Azhar et al., 2024) (Tabla 7).

Tabla 7. Peso seco de lombrices en el suelo por hectárea, en el bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Peso seco lombrices del suelo ha kg
1	64
2	64
3	38
4	26
5	9
Promedio	40

3.1.8. Número de árboles del bosque

Los bosques tropicales albergan más de la mitad de la biodiversidad del planeta (Barlow et al., 2018; Pillay et al., 2022). Sin embargo, estos bosques se encuentran entre los ecosistemas más amenazados por su conversión en tierras agrícolas (Fragoso-Medina et al., 2024). En el bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto existen 1138 árboles por hectárea en promedio; que varían entre 813 árboles ha⁻¹ y 1300 árboles ha⁻¹ (Tabla 8).

Tabla 8. Número de árboles por hectárea, en el bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Nº árboles ha
1	813
2	-
3	-
4	1300
5	1300
Promedio	1138

3.1.9. Peso seco de árboles del bosque

La densidad de la masa afecta negativamente a las plantas grandes tanto en los bosques naturales como en las plantaciones. La diversidad de especies afecta positivamente a las plantas grandes en las plantaciones, pero no en los bosques naturales (Yang et al., 2022). Un árbol del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, tiene peso seco en promedio 88 kg; que, van de 68 kg a 107 kg; mientras que, los árboles de una hectárea ostentan peso seco en promedio 102745 kg; que varían entre 55354 kg y 139735 kg (Tabla 9).

Tabla 9. Peso seco (PS) de árboles por hectárea, en el bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Peso seco por árbol	Peso seco de árboles ha
1	68	55354
2	-	-
3	-	-
4	107	139735
5	87	113147
Promedio	88	102745

3.1.10. Número de arbustos del bosque

En el bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto existen 3963 arbustos por hectárea en promedio; que varían entre 1800 arbustos ha⁻¹ y 8000 arbustos ha⁻¹ (Tabla 10).

Tabla 10. Número de arbustos por hectárea, en el bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Nº arbustos ha
1	2088
2	-
3	-
4	8000
5	1800
Promedio	3963

3.1.11. Peso seco de arbustos del bosque

Un arbusto del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, tiene peso seco en promedio 0,5 kg, que varía de 0,07 kg a 0,8 kg; mientras que, los arbustos de una hectárea ostentan peso seco en promedio 1103 kg; que varían entre 521 kg y 1419 kg (Tabla 11).

Tabla 11. Peso seco (PS) de arbustos por hectárea, en el bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Peso seco por árbol	Peso seco de árboles ha
1	0,7	1419
2	-	-
3	-	-
4	0,7	521
5	0,8	1369
Promedio	0,5	1103

3.1.12. Biomasa seca del bosque

La biomasa seca del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, pesa en promedio 127849 kg ha⁻¹. Las hierbas pesan 39 kg ha⁻¹ (0,03 %); las hojarascas pesan 5303 kg ha⁻¹ (4,2 %); el mantillo pesa 5665 kg ha⁻¹ (4,4 %); las raíces pesan 12994 kg ha⁻¹ (10,2 %); los árboles pesan 102745 kg ha⁻¹ (80,4 %); los arbustos pesan 1103 kg ha⁻¹ (0,9 %) (Tabla 12).

Tabla 12. Biomasa seca por hectárea, del bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Elementos	Peso seco biomasa ha kg	%
Hierbas	39	0,03
Hojarascas	5303	4,2
Mantillo	5665	4,4
Raíces	12994	10,2
Árboles	102745	80,4

Arbustos	1103	0,9
Total	127849	100

3.1.13. Almacenamiento de carbono en el bosque

La biomasa del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, almacena en promedio 57532 kg de carbono. Las hierbas almacenan 18 kg ha⁻¹ de carbono; las hojarascas almacenan 2386 kg ha⁻¹ de carbono; el mantillo pesa 2549 kg ha⁻¹ de carbono; las raíces almacenan 5847 kg ha⁻¹ de carbono; los árboles almacenan 46235 kg ha⁻¹ de carbono; los arbustos pesan 496 kg ha⁻¹ de carbono (Tabla 13).

Tabla 13. Biomasa seca por hectárea, del bosque del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Elementos	Peso seco de biomasa ha kg	Peso de carbono en la biomasa ha kg
Hierbas	39	18
Hojarascas	5303	2386
Mantillo	5665	2549
Raíces	12994	5847
Árboles	102745	46235
Arbustos	1103	496
Total	127849	57532

3.2. Situación del suelo

3.2.1. Pendiente del terreno

La pendiente promedio del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, es 19 %; que varía entre 10,58 % y 48,38 %; aunque se avizoran pendientes diferentes, más pronunciadas, en taludes aledaños a pequeñas fuentes naturales de agua; y, en notorias fallas geológicas. “La inclinación de la pendiente es una cuantificación decisiva en los ecosistemas forestales de montaña y para las medidas de manejo forestal sostenible, que no se puede desatender para ilustrarse de la dinámica de la flora afín con la topografía” (Singh, 2018). “Ni la riqueza de especies de árboles ni de arbustos se vio influenciada por la elevación, la orientación o la pendiente” (Cheng et al., 2023). Wang et al., consideran el efecto de anclaje de las raíces gruesas al valorar los efectos mecánicos de los árboles sobre la estabilidad de la pendiente (Wang et al., 2020). La parte aproximada céntrica del bosque del CBD tiene altitud promedio 963 msnm, latitud Sur - 6° 46', longitud Oeste -76°29' (Tabla 14).

Tabla 14. Pendientes varias del terreno del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Pendientes %	Altitud msnm	Latitud Sur	Longitud Oeste
1	13	949	-6.46	-76.29
2	11	-	-	-
3	12	-	-	-
4	11	965	-6.46	-76.29
5	48	976	-6.46	-76.29
Promedio	19	963	-6.46	-76.29

3.2.2. Peso del suelo agrícola

El peso promedio del suelo agrícola del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, es de 2237 t/ha; que varía entre 1330 t ha⁻¹ y 3105 t ha⁻¹. La profundidad promedio del suelo del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, es de 0,16 m; que varía entre 0,1 m y 0,23 m. La densidad aparente promedio del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, es de 1,40 t m³; que varía entre 1,3 t m³ y 1,6 t m³. Los aumentos en la compactación del suelo y el peso de la hojarasca se asociaron con una disminución del peso de las lombrices (Azhar et al., 2024) (Tabla 15).

Tabla 15. Profundidad, densidad aparente y peso del suelo del Centro de biodiversidad de la UNSM-T

Puntos	Profundidad del suelo m	Densidad aparente t/m ³	Peso del suelo ha t
1	0,14	1,61	2254

2	0,23	1,35	3105
3	0,21	1,35	2835
4	0,12	1,35	1620
5	0,10	1,33	1330
Promedio	0,16	1,40	2237

El 80 % de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) tiene clase textural franco arcilloso; mientras que, el 20 % tiene clase textural arena. El 53 % de dichos suelos contiene arena (que van de 42 % al 87 %). El 28 % contiene arcilla (que van de 9 % a 36 %). El 19 % contiene limo (que van de 4 a 28 %) (Tabla 16).

Tabla 16. Clase textural y proporciones de partículas de los suelos del CBD de la UNSM T, 2024

N° muestra	Análisis mecánico			Clase Textural
	% Arena	% Arcilla	% Limo	
L1M1	87	9	4	Arena
L1M2	48	32	20	F Arcilloso
L1M3	47	33	21	F Arcilloso
L2M1	43	30	28	F Arcilloso
L3M1	42	36	22	F Arcilloso
Promedio	53	28	19	F arcilloso

3.2.3. Potencial hidrógeno (pH) de los suelos del bosque natural del CBD de la UNSM T

El potencial hidrógeno (pH) de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es 3,4 que, va de 3,1 a 3,7 siendo extremadamente ácido (Tabla 17).

Tabla 17. Potencial hidrógeno (pH) de los suelos del CBD de la UNSM T, 2024

N° muestra	Potencial hidrógeno pH
L1M1	3,1
L1M2	3,3
L1M3	3,7
L2M1	3,3
L3M1	3,7
Promedio	3,4

3.2.4. Conductividad eléctrica CE $\mu\text{S}/\text{cm}$

La conductividad eléctrica CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es 300 $\mu\text{S cm}^{-1}$ que, va de 189 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 460 $\mu\text{S cm}^{-1}$, conteniendo muy baja cantidad de sales (Tabla 18).

Tabla 18. Conductividad eléctrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de los suelos del CBD de la UNSM T, 2024

N° muestra	Conductividad eléctrica CE $\mu\text{S}/\text{cm}$
L1M1	190
L1M2	189
L1M3	460
L2M1	198
L3M1	460
Promedio	300

3.2.5. Materia orgánica

La materia orgánica de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 0,8 % que, va de 0,4 % a 0,96 %, considerado como de bajo contenido (Tabla 19).

Tabla 19. Materia orgánica % de los suelos del CBD de la UNSM T, 2024

N° muestra	Materia orgánica %
------------	--------------------

L1M1	0,96
L1M2	1,41
L1M3	0,45
L2M1	0,76
L3M1	0,41
Promedio	0,80

3.2.6. Nitrógeno, fósforo, potasio

El nitrógeno de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 0,03 % que, va de 0,02 % a 0,06 %, considerado como de bajo contenido. El fósforo de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 2,95 ppm que, va de 2,3 ppm a 3,2 ppm, considerado como de bajo contenido. El potasio de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 54 ppm que, va de 41 ppm a 61 ppm, considerado como de bajo contenido (Tabla 20).

Tabla 20. Nitrógeno, fósforo, potasio de los suelos del CBD de la UNSM T, 2024

N° muestra	Nitrógeno N %	Fósforo (P ₂ O ₅) ppm	Potasio (K ₂ O) ppm
L1M1	0,04	2,3	41,1
L1M2	0,06	3,1	56,3
L1M3	0,02	2,96	51,3
L2M1	0,03	3,1	61,2
L3M1	0,02	3,2	59,6
Promedio	0,03	2,95	54

3.2.7. Capacidad de intercambio catiónico CIC me/100g

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es 5,8 me/100g que, va de 3,8 me/100g a 6,9 me/100g, considerada con capacidad moderada para retener nutrientes (Tabla 21).

Tabla 21. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos del CBD de la UNSM T, 2024

N° muestra	CIC me/100g
L1M1	3,8
L1M2	6,1
L1M3	5,4
L2M1	6,8
L3M1	6,9
Promedio	5,8

3.2.8. Cationes cambiables (meq/100g)

El catión cambiabile calcio (Ca) (meq/100g) de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 3,3 meq/100g que, va de 1,1 meq/100g a 4,6 meq/100g, considerado como muy bajo. El catión cambiabile magnesio (Mg) (meq/100g) de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 0,2 meq/100g que, va de 0,1 meq/100g a 0,2 meq/100g, considerado como muy bajo. El catión cambiabile Potasio (K) (meq/100g) de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 0,1 meq/100g que, va de 0,1 meq/100g a 0,2 meq/100g, considerado como muy bajo. El catión cambiabile Sodio (Na) (meq/100g) de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 0,1 meq/100g, considerado como muy bajo. El catión cambiabile Aluminio (Al) (meq/100g) de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 2,1 meq/100g que, va de 1,96 meq/100g a 2,4 meq/100g, considerado como alto. La suma de cationes cambiables Aluminio más hidrógeno (Al³⁺+H⁺) (meq/100g) de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 3,2 meq/100g que, va de 3,1 meq/100g a 3,3 meq/100g, considerado como muy alto (Tabla 22).

Tabla 22. Cationes Cambiables (meq/100g) de los suelos del CBD de la UNSM T, 2024

N° muestra	Cationes cambiables (meq/100g)					
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹	Na ⁺¹	Al ⁺³	Al ⁺³ +H ⁺¹

L1M1	1,1	0,1	0,1	0,1	2,4	3,1
L1M2	3,6	0,2	0,1	0,1	2,1	3,1
L1M3	3,0	0,2	0,1	0,1	1,96	3,2
L2M1	4,1	0,2	0,2	0,1	2,3	3,1
L3M1	4,6	0,1	0,2	0,1	1,98	3,3
Promedio	3,3	0,2	0,1	0,1	2,1	3,2

3.2.9. Saturación de bases y ácidos intercambiables

La saturación de bases de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 61 % que, va de 38 % a 71 %, indica que, el 61 % de los sitios de intercambio catiónico en los coloides del suelo está ocupado por cationes básicos que, mayormente incluyen calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+) y sodio (Na^+). Los ácidos intercambiables de los suelos del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) promedio es de 57 % que, va de 46 % a 82 %, indica que, el 57 % de los sitios de intercambio catiónico de los coloides del suelo están ocupados por cationes ácidos, principalmente hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{3+}); también indica una alta acidez; lo cual, puede tener efectos negativos en la disponibilidad de nutrientes y en la salud de las plantas (Tabla 23).

N° muestra	Saturación de bases y ácidos intercambiables %	
	Saturación de bases	Ácidos intercambiables
L1M1	38	82
L1M2	65	51
L1M3	64	60
L2M1	67	46
L3M1	71	47
Promedio	61	57

3.3. Tipos de microorganismos descomponedores orgánicos del bosque natural en el Cerro Escalera. Bacterias y hongos en el mantillo del bosque como descomponedores

El mantillo del bosque natural del Centro de biodiversidad (CBD) ostenta 13 833333 unidades formadoras de colonias (ufc) de bacterias por gramo de mantillo. “El número de bacterias se encuentra dentro del rango de lo esperado, al tratarse de un área de reserva. Se encontró un mayor número en la muestra del área L3, aunque en todas las muestras no se observó mayor diversidad”, versión presencial del doctor Ríos-Ruiz, Winston, responsable del laboratorio de microbiología agrícola de la Universidad Nacional de San Martín; y, 120000 unidades formadoras de colonias (ufc) de hongos por gramo de mantillo que, “es un rango dentro de lo esperado, observándose un mayor número en la muestra del área L3”, añade el doctor Ríos-Ruiz, Winston. La presencia de bacterias y hongos en el mantillo del bosque, hace presumir que, cumplen función de descomponedores en el desarrollo de sus vidas. Según el especialista doctor Ríos-Ruiz, un mayor número de bacterias y hongos se hallan en la muestra del área L3; pero, ese sector L3 ostenta el menor porcentaje (0,4 %) de materia orgánica, en comparación al sector L2 (0,8 %) y al sector L1 (0,96 %); tiene mayor pendiente (48 %); L2 (11 %) y L1 (13 %); menor peso de capa arable del suelo por hectárea (1330 t); L2 pesa 1620 t y L1 pesa 2731 t; menor número de hierbas en el suelo por hectárea (10 000); L2 tiene 10 000 y L1 tiene 26 667; menor peso del mantillo por hectárea (2 734 k); L2 pesa 3 194 k y L1 pesa 7 466 k; menor peso de raíces del suelo por hectárea (5 259 k); L2 pesa 16 051 k y L1 pesa 14 553 k; menor número de lombrices en el suelo por hectárea (40 000); L2 tiene 120 000 lombrices y L1 tiene 253 333 lombrices (tabla 24). En similares circunstancias, la colonización de las bacterias en la rizósfera se evaluó en 16 plantas por tratamiento (96 muestras) y estuvo en el rango de 106 a 107, excepto para *P. putida* KT2440 que colonizó en el orden de 105 UFC/ml a la variedad de maíz explorada (Corral-Lugo et al., 2012).

Tabla 24. Número de bacterias y hongos (unidades formadoras de colonias por gramo de suelo) existentes en el mantillo como descomponedores

Muestra de suelo lotes	Bacterias (ufc/g de suelo)		Hongos (ufc/g de suelo)	
L1	1,63 x 10 ⁷	16300000	1,10 x 10 ⁵	110000
L2	3,20 x 10 ⁶	3200000	1,00 x 10 ⁵	100000
L3	2,20 x 10 ⁷	22000000	1,50 x 10 ⁵	150000
Promedio		13833333		120000

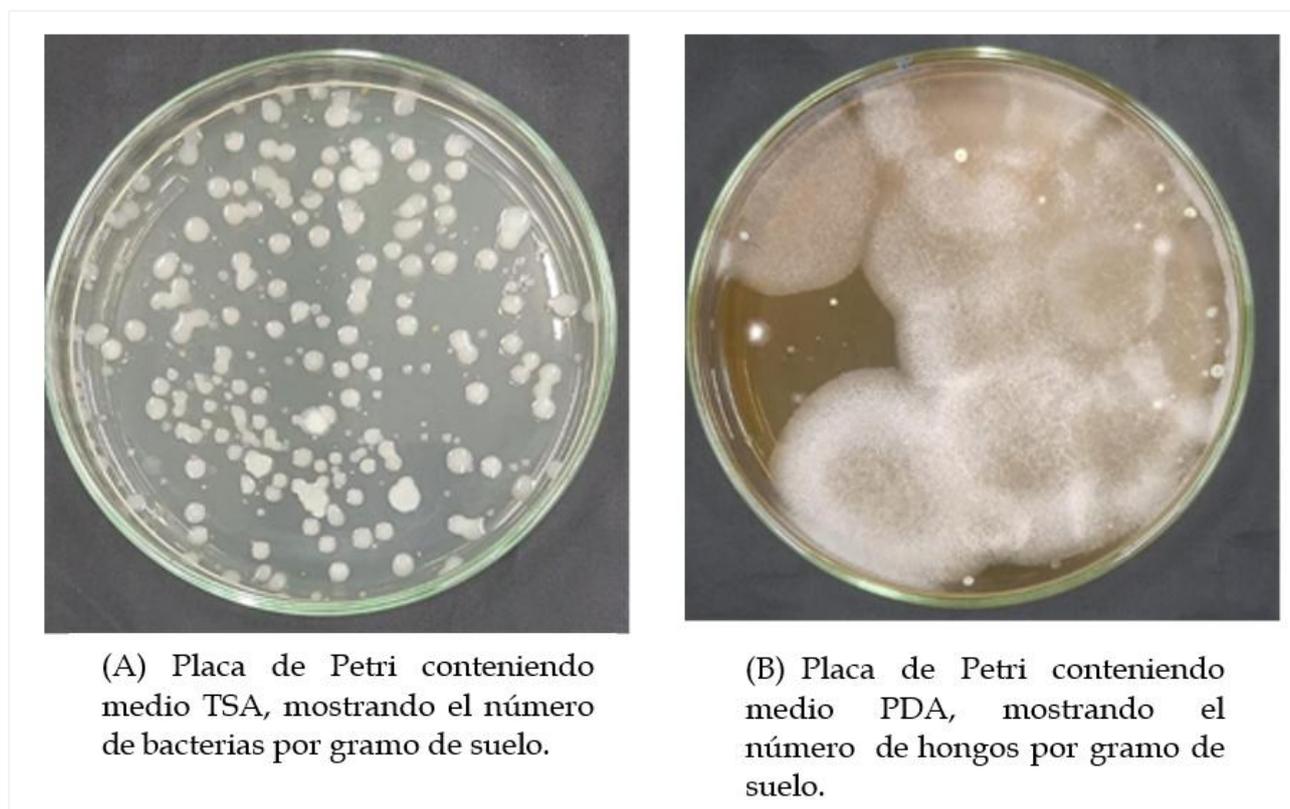
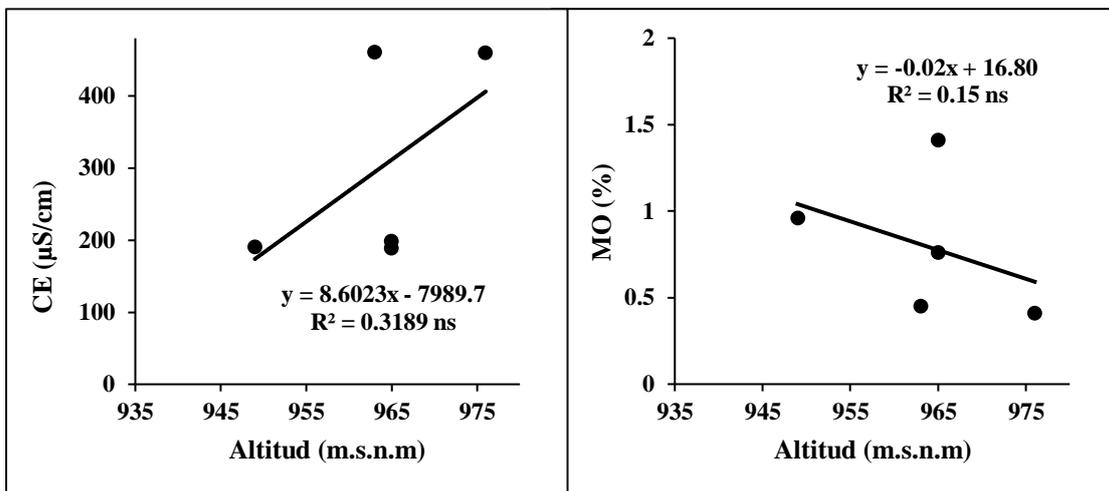
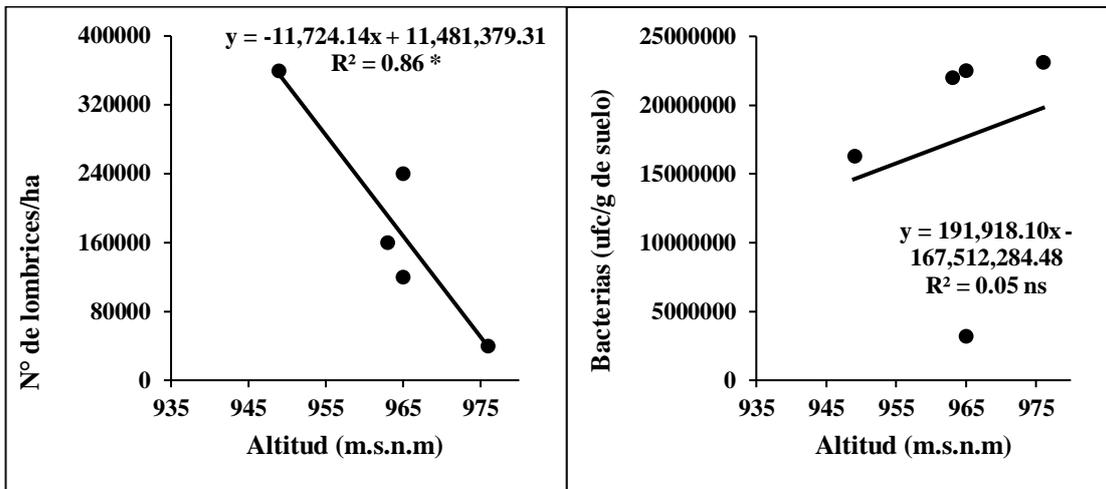
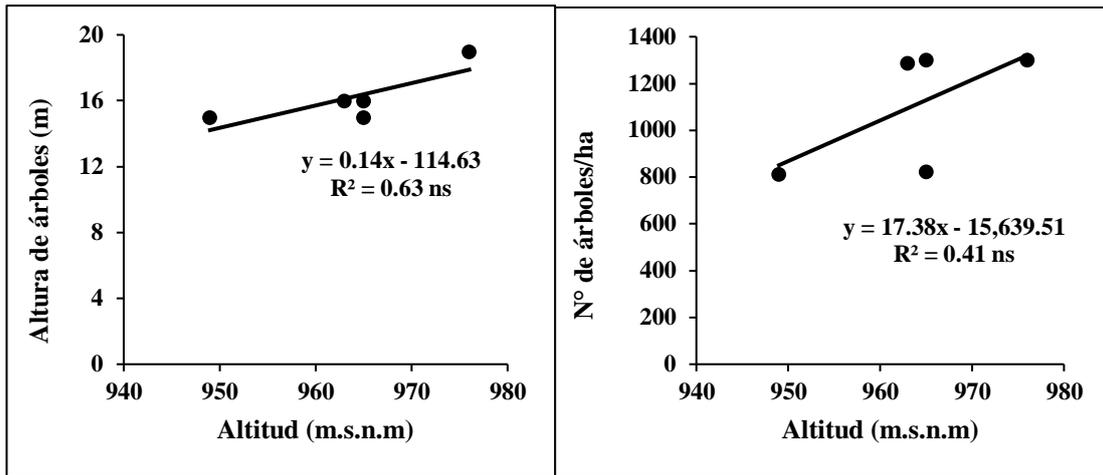


Figura 1. Unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (ufc), de bacterias (A) y hongos (B), existentes en el mantillo del CBD de la UNSM-T, como descomponedores.

3.3.1. Correlación de la altitud con número de árboles por hectárea, altura del árbol, lombrices, pH, CE, N, P, K, CIC, bacterias y hongos del suelo

Según análisis de regresión lineal, no existe significancia estadística entre la altura de árboles y altitud sobre el nivel del mar (msnm) (Figura A) del terreno. R^2 del 63% del modelo de regresión lineal hace entender que, existe 63% de diferenciación en altura de los árboles en relación con la altitud. La altura de los árboles muestra cierta dependencia con la altitud; a mayor altitud, es posible mayor altura de árboles, existiendo variación casi imperceptible. Al ser no significativa, la cantidad de árboles que existe en una hectárea no guarda relación con la altitud (msnm) (Figura B); pero, la cantidad de árboles existente en una hectárea solo pudiera ser explicada en un 41% por influencia de la altitud, siendo la relación positiva según su línea de tendencia; lo mismo sucede, con bacterias y hongos, de muy bajo R^2 0,05 % (Figura D) y 38 % (Figura I) respectivamente; pero para las lombrices hay diferencia significativa con R^2 86 % (Figura C); pues, la cantidad de lombrices encontrada en el bosque del Centro de biodiversidad es explicada mayormente por la altitud; pero, establece una relación negativa, porque a mayor altitud se encontró menor número de lombrices. En la conductividad eléctrica (CE) del suelo, la relación es no significativa con R^2 con 31,9 %; porque, la altitud no interfiere mucho con la CE (Figura E). La materia orgánica del suelo (MO) muestra tendencia negativa no significativa, porque a mayor altitud el contenido de microorganismos disminuye, también la cantidad de lombrices (figura C). El pH tiene relación positiva con 57 % de influenciada de la altitud (Figura G). El nitrógeno (N) del suelo tiene tendencia negativa (R^2 12 %), porque a mayor altitud existe menor nitrógeno, debido a reducida cantidad de microorganismos descomponedores existentes en la materia orgánica por factores como la temperatura (Figura H). El fósforo (P) es un elemento de lenta asimilación bajo condiciones de bosque primario biodiverso natural con aumento de concentración influenciados por la altitud (R^2 de 87%), quizá escorrentía y/o microorganismos (Figura J). El potasio muestra no significancia estadística, porque sus valores sean posiblemente iguales; aunque, según su R^2 de 76 %, la altitud influye en la concentración de potasio, a mayor altitud hay incremento de potasio (Figura K). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad del suelo de retener cationes, por consiguiente, disponibilidad de nutrientes. A mayor altitud la CIC (R^2 de 84 %), se incrementa; pero, tiene rango bajo, menor a 10, indicando que, a menores altitudes la CIC podría incrementarse, guardando relación con la materia orgánica (Figura L).



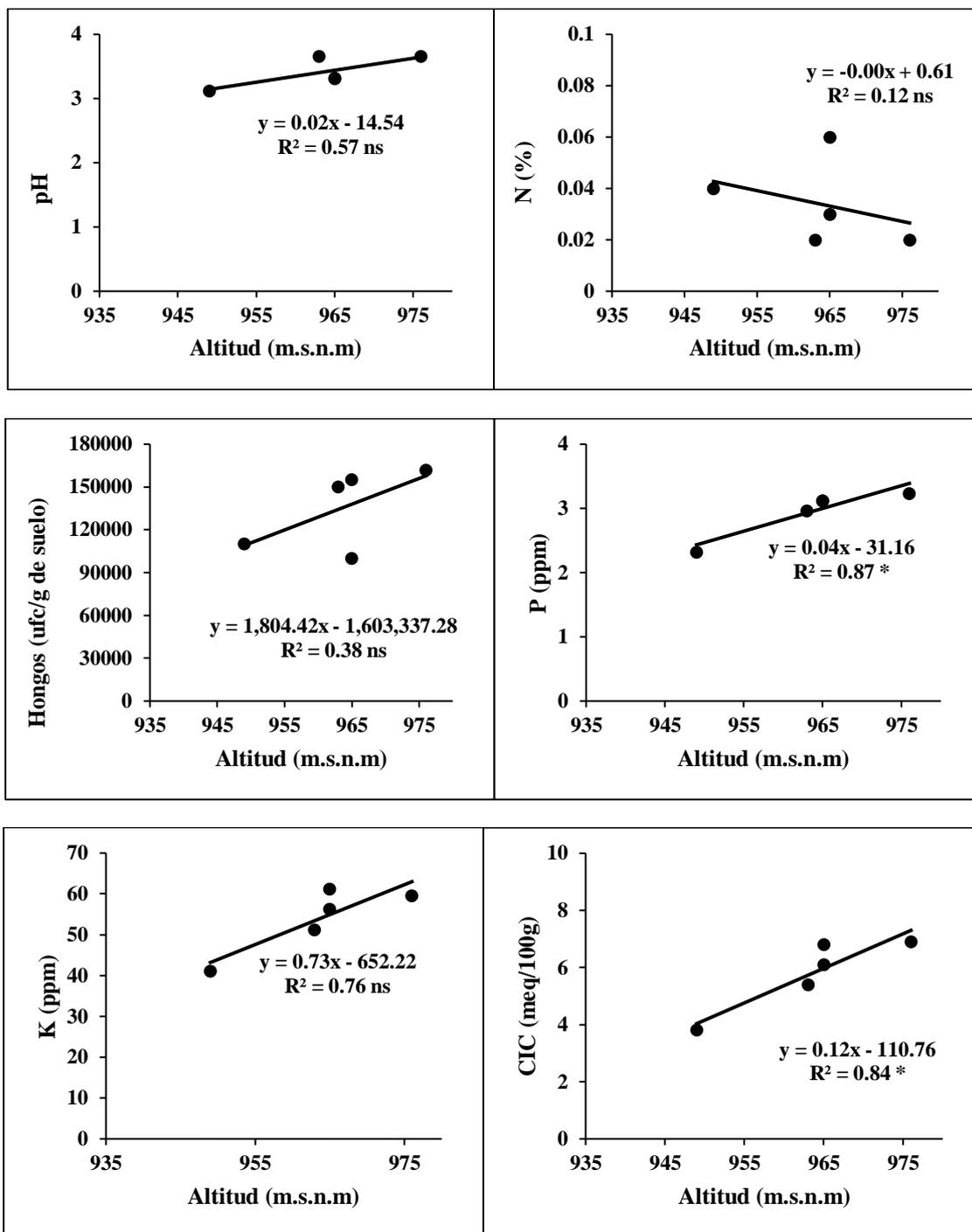


Figura 2. Correlación de la altitud con número de árboles por hectárea, altura del árbol, lombrices, pH, CE, N, P, K, CIC, bacterias y hongos del suelo.

4. Conclusiones

La biomasa seca del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, pesa alrededor de 13 t ha⁻¹. Las raíces (10 %) y los árboles (80 %) son los componentes de mayor peso. En consecuencia, la biomasa del bosque natural del Centro de biodiversidad de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, almacena alrededor de 58 t de carbono ha⁻¹. Los altos valores registrados para el bosque con paca de terrazas altas, en cuanto a la biomasa aérea, stock de carbono aéreo y cantidad de carbono equivalente. Podría deberse a la composición florística y al aporte del componente árboles grandes.

Agradecimientos

Se agradece a las autoridades de la Universidad nacional de San Martín Tarapoto, por las facilidades brindadas en la realización de la investigación; también, a profesionales y estudiantes participantes.

Financiamiento

El presente trabajo no tuvo financiamiento alguno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de ninguna índole durante el desarrollo del estudio y su publicación.

Contribución de autores

Ordóñez-Sánchez, L. A., Ordóñez-Ruiz, K. M., Navarro-Reátegui, J. M. y Ordóñez-Sánchez, V. H.: conceptualización, análisis formal, metodología, investigación, curación de datos, escritura (preparación del borrador final), redacción (revisión y edición).

Referencias bibliográficas

- Azhar, B., van der Meer, P., Sterenborg, R. F., Yahya, M. S., Razi, N., Burhanuddin, M., Rookmaker, J., Sahimi, N. S., van der Pal, W., Nobilly, F., Azam, S. A. M., Ubachs, M., Syakir, M. I., Zaki, W. M. W., Zulkipli, N. A., & Oon, A. (2024). Resilience underground: Understanding earthworm biomass responses to land use changes in the tropics. *Biological Conservation*, 299, 110800. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110800>
- Bogunović, I., & Filipović, V. (2023). Mulch as a nature-based solution to halt and reverse land degradation in agricultural areas. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 34, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100488>
- Carter, T. A., & Buma, B. (2024). The distribution of tree biomass carbon within the Pacific Coastal Temperate Rainforest, a disproportionately carbon dense forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 54(9), 956-977. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2024-0015>
- Cheng, Z., Aakala, T., & Larjavaara, M. (2023). Elevation, aspect, and slope influence woody vegetation structure and composition but not species richness in a human-influenced landscape in northwestern Yunnan, China. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1187724>
- Corral-Lugo, A., Morales-García, Y. E., Pazos-Rojas, L. A., Ramírez-Valverde, A., Martínez-Contreras, R. D., & Muñoz-Rojas, J. (2012). Cuantificación de bacterias cultivables mediante el método de "Goteo en Placa por Sellado (o estampado) Masivo". *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(2), 147-156. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/37416/40417>
- Egeta, D. (2024). The contribution of tropical forests to climate change mitigation. Biomass estimation techniques a necessary tool in their assessment. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 12(2), 81-89. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2024.120200081>
- Fragoso-Medina, M. del C., Navarrete-Segueda, A., Ceccon, E., & Martínez-Ramos, M. (2024). Effects of the forests-agriculture conversion on the availability and diversity of forest products in a neotropical rainforest region. *Trees, Forests and People*, 15, 100481. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100481>
- Hernando, A., Puerto, L., Mola-Yudego, B., Manzanera, J., García-Abril, A., Maltamo, M., & Valbuena, R. (2019). Estimation of forest biomass components using airborne LiDAR and multispectral sensors. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 12(2), 207-213. <https://doi.org/10.3832/ifer2735-012>
- Ispikoudis, S., Zianis, D., Tziolas, E., Damianidis, C., Rapti, D., Tsiros, E., Michalakakis, D., & Karteris, A. (2024). Assessment of Forest Biomass and Carbon Storage in Habitat 9340 *Quercus ilex* L. to Support Management Decisions for Climate Change Mitigation. *Sustainability*, 16(4), 1403. <https://doi.org/10.3390/su16041403>
- Kale, R. D., & Karmegam, N. (2010). The Role of Earthworms in Tropics with Emphasis on Indian Ecosystems. *Applied and Environmental Soil Science*, 2010, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2010/414356>
- Kassaye, M., Derebe, Y., Kibrie, W., Debebe, F., Emiru, E., Gedamu, B., & Tamir, M. (2024). The effects of environmental variability and forest management on natural forest carbon stock in northwestern Ethiopia. *Ecology and Evolution*, 14(6). <https://doi.org/10.1002/ece3.11476>

- Kumar, P., Kumar, A., Patil, M., Hussain, S., & Singh, A. N. (2024). Factors influencing tree biomass and carbon stock in the Western Himalayas, India. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1328694>
- Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L. (2004). Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea, en diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 3(1,2), 36-44. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162004000100006&script=sci_abstract
- Liu, H., Dong, X., Zhang, Y., Qu, H., Ren, Y., Zhang, B., & Gao, T. (2024). Estimation of biomass in various components of *Pinus koraiensis* based on Bayesian methods. *Frontiers in Forests and Global Change*, 7. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1350888>
- Ma, B., Wang, Y., Ge, J., & Xie, Z. (2024). Patterns and controls of leaf litter nitrogen and phosphorus of broad-leaved tree species across and within the tropics and the extra-tropics. *Agricultural and Forest Meteorology*, 358, 110249. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110249>
- Martins, M. A. S., Prats, S. A., Keizer, J. J., & Verheijen, F. G. A. (2024). Post-fire soil water repellency under stones and forest residue mulch versus of bare soil. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 72(4), 413-421. <https://doi.org/10.2478/johh-2024-0024>
- Mendoza, R. B., & Espinoza, A. (2017). Guía Técnica para el Muestreo de Suelos. *Ministerio del Ambiente*, 72. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Muhammad, B., Rehman, A. U. R., Mumtaz, F., Qun, Y., & Zhongkui, J. (2024). Estimation of above-ground biomass in dry temperate forests using Sentinel-2 data and random forest: a case study of the Swat area of Pakistan. *Frontiers in Environmental Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1448648>
- Ordóñez-Ruiz, K. M., & Ordóñez-Sánchez, L. A. (2022). Almacenamiento de biomasa y carbono en huertas urbanas de Yantaló, Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 1(2), e352. <https://doi.org/10.51252/reacae.v1i2.352>
- Pocomucha, V. S., Alegre, J., & Abregú, L. (2016). Análisis Socio Económico Y Carbono Almacenado En Sistemas Agroforestales De Cacao (*Theobroma cacao* L.) EN HUÁNUCO. *Ecología Aplicada*, 15(2), 107. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.750>
- Prats, S. A., Serpa, D., Santos, L., & Keizer, J. J. (2023). Effects of forest residue mulching on organic matter and nutrient exports after wildfire in North-Central Portugal. *Science of The Total Environment*, 885, 163825. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163825>
- Ralhan, D., Rodrigo, R., Keith, H., Stegehuis, A. I., Pavlin, J., Jiang, Y., Rydval, M., Nogueira, J., Fruleux, A., Svitok, M., Mikoláš, M., Kozák, D., Dušátko, M., Janda, P., Chaskovsky, O., Roibu, C.-C., & Svoboda, M. (2024). Tree structure and diversity shape the biomass of primary temperate mountain forests. *Forest Ecosystems*, 11, 100215. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100215>
- Singh, S. (2018). Understanding the role of slope aspect in shaping the vegetation attributes and soil properties in Montane ecosystems. *Tropical Ecology*, 59(3), 417-430. www.tropecol.com
- Speckert, T. C., Huguet, A., & Wiesenberger, G. L. B. (2024). Afforestation induced shift in the microbial community explains enhanced decomposition of subsoil organic matter. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-870>
- Wang, S., Zhao, M., Meng, X., Chen, G., Zeng, R., Yang, Q., Liu, Y., & Wang, B. (2020). Evaluation of the Effects of Forest on Slope Stability and Its Implications for Forest Management: A Case Study of Bailong River Basin, China. *Sustainability*, 12(16), 6655. <https://doi.org/10.3390/su12166655>
- Yang, B.-Y., Ali, A., Xu, M.-S., Guan, M.-S., Li, Y., Zhang, X.-N., He, X.-M., & Yang, X.-D. (2022). Large plants enhance aboveground biomass in arid natural forest and plantation along differential abiotic and biotic conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.999793>
- Zhou, W., Sun, X., Li, S., Qu, B., & Zhang, J. (2024). How Organic Mulching Influences the Soil Bacterial Community Structure and Function in Urban Forests. *Microorganisms*, 12(3), 520. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030520>