

RAFAEL R

ARTÍCULO FINAL-scnr.docx

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:431752641

Fecha de entrega

19 feb 2025, 11:20 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

12 mar 2025, 11:51 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

ARTÍCULO FINAL-scnr.docx

Tamaño de archivo

346.4 KB

15 Páginas

4,994 Palabras

27,744 Caracteres

18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 17% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.uap.edu.pe	3%
2	Internet	repositorio.upeu.edu.pe	2%
3	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	2%
4	Internet	hdl.handle.net	<1%
5	Internet	www.coursehero.com	<1%
6	Trabajos entregados	Infile on 2024-12-29	<1%
7	Trabajos entregados	Saint Dominic School on 2025-01-28	<1%
8	Internet	openarchive.icomos.org	<1%
9	Trabajos entregados	Universidad de Oviedo on 2025-01-22	<1%
10	Internet	repositorio.inia.gob.pe	<1%
11	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%

12	Internet	docplayer.es	<1%
13	Internet	repositorio.unapiquitos.edu.pe	<1%
14	Internet	cetis154.edu.mx	<1%
15	Trabajos entregados	Universidad Argentina John F. Kennedy on 2024-07-10	<1%
16	Internet	archive.org	<1%
17	Internet	www.slideshare.net	<1%
18	Trabajos entregados	University of Birmingham on 2018-06-29	<1%
19	Internet	agris.fao.org	<1%
20	Internet	cprcuencasmineras.es	<1%
21	Trabajos entregados	Universidad Carlos III de Madrid - EUR on 2024-06-06	<1%
22	Internet	fr.slideshare.net	<1%
23	Internet	repositorio.upagu.edu.pe	<1%
24	Internet	ria.utn.edu.ar	<1%
25	Internet	www.avizora.com	<1%

26	Publicación	Susan Clayton, Ahmet Kiliç. "Proenvironmental concern and behavior in Turkey: ..."	<1%
27	Publicación	Theron, Liesl, and Kate L. Collier. "Experiences of female partners of masculine-id..."	<1%
28	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-12-07	<1%
29	Trabajos entregados	Universidad del Rosario on 2024-05-25	<1%
30	Internet	americanae.aecid.es	<1%
31	Internet	burjcdigital.urjc.es	<1%
32	Internet	climatenetwork.org	<1%
33	Internet	core.ac.uk	<1%
34	Internet	dspace.sti.ufcg.edu.br:8080	<1%
35	Internet	onlinelibrary.wiley.com	<1%
36	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
37	Internet	ri2020.eu	<1%

Ecuaciones Alométricas para la Estimación de Captura de Carbono de las Especies Forestales *Alnus Acuminata* y *Eucalyptus Globulus* en la Zona Centro Oriental del País (Huánuco, Ambo – Huácar – Raccha, Chinchán) – Perú.

Rafael Bravo Benites

<https://orcid.org/0000-0003-4134-7601>

rafaelbravo@upeu.edu.pe

Universidad Peruana Unión

Lima, Perú

RESUMEN.

El presente estudio evaluó la capacidad de captura de carbono de *Eucalyptus globulus* y *Alnus acuminata*, especies forestales ubicadas en el Centro Poblado San Pedro de Raccha, Huánuco, Perú, mediante ecuaciones alométricas. Este enfoque no destructivo permitió estimar la Biomasa y el carbono almacenado en estas plantaciones, con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático y aportar herramientas para la Gestión Forestal Sostenible.

Se analizaron 13 ecuaciones alométricas previamente publicadas, seleccionándose las que mostraron un mejor ajuste estadístico: la ecuación 2 de [19] presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.8976 para *Eucalyptus globulus* y de 0.9631 para *Alnus acuminata*. Los resultados indicaron que *Alnus acuminata* presentó una Biomasa promedio mayor (3.1237 tM.S./ha) y mayor captura de carbono (1.5618tC/ha) en comparación con *Eucalyptus globulus* (1.5951 tM.S./ha y 0.7975 tC/ha).

Adicionalmente, se realizó una valoración económica de la captura de carbono, mostrando un potencial de 1,339.41 € para ambas especies, según precios del mercado de carbono (65 €/tCO₂e). Este análisis refuerza la relevancia de *Alnus acuminata* como una especie clave en la captura de carbono y subraya la importancia de fomentar políticas de reforestación y conservación basadas en su potencial ecológico y económico.

Los hallazgos contribuyen al diseño de estrategias de mitigación del cambio climático y al manejo Sostenible de plantaciones forestales, resaltando el rol fundamental de la integración entre Ciencia Ambiental y Economía.

Palabras clave: Ecología Forestal, ecuaciones alométricas, captura de carbono, Biomasa, cambio climático, manejo sostenible.

Allometric Equations for the estimation of Carbon Capture of the Forest Species *Alnus Acuminata* and *eucalyptus globulus* in the Central Eastern Zone Of the Country (Huánuco, Ambo – Huácar – Raccha, Chinchán) – Perú.

ABSTRACT.

This study evaluated the carbon sequestration capacity of *Eucalyptus globulus* and *Alnus acuminata*, forest species located in the Centro Poblado San Pedro de Raccha,

19 Huánuco, Peru, using allometric equations. This non-destructive approach made it possible to estimate the biomass and carbon stored in these plantations, with the aim of mitigating the effects of climate change and providing tools for sustainable forest management.

Thirteen previously published allometric equations were analyzed, selecting those that showed the best statistical fit: equation 2 [19] presented a coefficient of determination (R^2) of 0.8976 for *Eucalyptus globulus* and 0.9631 for *Alnus acuminata*. The results indicated that *Alnus acuminata* had a higher average biomass (3.1237 tM.S./ha) and higher carbon sequestration (1.5618 tC/ha) compared to *Eucalyptus globulus* (1.5951 tM.S./ha and 0.7975 tC/ha).

Additionally, an economic valuation of carbon sequestration was performed, showing a potential of 1,339.41 € for both species, according to carbon market prices (65 €/tCO₂e). This analysis reinforces the relevance of *Alnus acuminata* as a key species in carbon sequestration and underlines the importance of promoting reforestation and conservation policies based on its ecological and economic potential.

The findings contribute to the design of climate change mitigation strategies and sustainable management of forest plantations, highlighting the fundamental role of integration between environmental science and economics.

Key words: forest ecology, allometric equations, carbon sequestration, biomass, climate change, sustainable management.

I. INTRODUCCIÓN

24 El calentamiento global es un tema de gran preocupación a nivel mundial, debido a las 14 emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero (GEI) como vapor de agua (H₂O), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y ozono (O₃), que son productos de actividades antropogénicas [2].

5 El avance tecnológico y la expansión de la actividad humana han tenido un impacto negativo en nuestro entorno. El deshielo de los polos, el aumento del nivel del mar y la 20 desertificación están provocando la extinción de numerosas especies de animales, plantas y otros organismos vivos. Desde finales del siglo XX y a inicios del XXI, se han registrado períodos más cálidos que en años anteriores, siendo estas emisiones de gases de efecto invernadero los principales responsables del calentamiento global [3].

15 Desde finales del siglo XX y a inicios del XXI, se han experimentado periodos más cálidos que en años anteriores. Estas emisiones de gases de efecto invernadero son los principales responsables del calentamiento global. [4] [5].

27 En la zona rural del Centro Poblado Raccha, en la jurisdicción de Huácar, provincia de Ambo y departamento de Huánuco, existen plantaciones de aliso (*Alnus acuminata*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*), que son especies capaces de secuestrar dióxido de carbono. Sin embargo, hasta la fecha no se han realizado estudios sobre este tema, lo

que ha generado una falta de datos sobre el secuestro de carbono de estas especies. Se reconoce que tanto *Eucalyptus globulus* como *Alnus acuminata* contribuyen al Medio Ambiente al actuar como agentes de mitigación del calentamiento global [6].

Dado que el calentamiento global es un problema crítico en nuestra sociedad, el objetivo de esta investigación es encontrar la ecuación alométrica adecuada para cada especie, de manera que se pueda estimar la captura de carbono acumulado de forma ecológica, contribuyendo así a mitigar el calentamiento global y proporcionar mayor oxígeno a los seres vivos [7] [8].

Esta investigación será valiosa, ya que proporcionará información fundamental para futuras investigaciones sobre el tema. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue identificar la ecuación alométrica que mejor se ajusta para estimar la captura de carbono en las especies forestales de *Alnus acuminata* y *Eucalyptus globulus*, así como valorar económicamente la captura de carbono.

II. DESARROLLO.

Lugar de estudio.

El lugar de ejecución es el Centro Poblado menor de San Pedro de Raccha, en Chinchán, que pertenece al distrito de Huácar, provincia de Ambo y departamento de Huánuco. Según datos estadísticos del INEI, esta área cuenta con aproximadamente 81 viviendas y 158 habitantes, con coordenadas de latitud -10.143299 y longitud -76.277225.

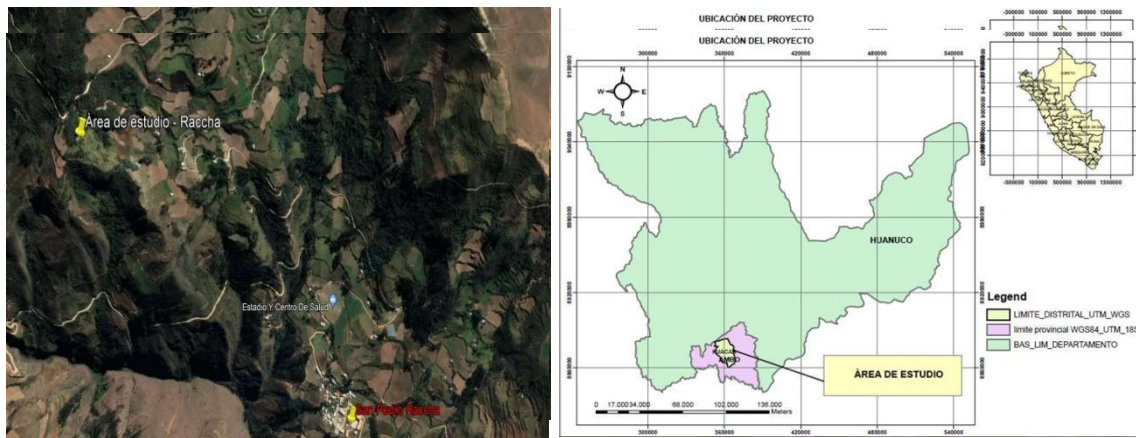


Fig. 1. lugar de ejecución del Proyecto (Google heart).

III. METODOLOGÍA.

Tipo de investigación.

Esta investigación es de tipo descriptiva y correlacional. Se evaluará la estimación de captura de carbono de *Eucalyptus globulus* y *Alnus acuminata* en la zona centro-oriental del Perú (Huánuco, Huácar - Raccha) mediante ecuaciones alométricas. La investigación descriptiva permite observar las características del fenómeno en estudio y establecer relaciones entre variables.

Análisis Estadístico.

Para el análisis estadístico, se realizaron los siguientes pasos:

Inventarios de Especies: Se realizaron inventarios de *Eucalyptus globulus* y *Alnus acuminata* en la zona centro-oriental del país (Huánuco, Huácar - Raccha) en 2022. Se consideraron criterios como la cantidad de población de las especies, el lugar de cada especie y su edad. Se registró la ubicación geográfica mediante coordenadas UTM, utilizando un GPS para obtener datos de longitud, altitud y latitud. Estos datos se utilizaron en modelos de regresión para generar ecuaciones alométricas específicas para las especies estudiadas. Según [9], el uso de estas ecuaciones permite una estimación precisa de la biomasa en árboles tropicales, facilitando la aplicación en inventarios forestales.

Técnicas de Cubicación: Se aplicaron técnicas de cubicación de árboles en pie, que permiten estimar el volumen y, por ende, la biomasa, sin necesidad de realizar cortes. Este enfoque es respaldado por [10], quienes destacan la importancia de los métodos no destructivos en la determinación del carbono almacenado en pequeñas propiedades rurales.

Análisis de Regresión: Se llevaron a cabo análisis de regresión para ajustar las ecuaciones alométricas a los datos obtenidos en campo. Según [11], este enfoque es crucial para estimar incrementos en biomasa aérea y carbono en plantaciones, permitiendo obtener resultados confiables y aplicables.

Uso de Datos de Densidad de Madera: Las ecuaciones alométricas también consideran la densidad de madera de las especies, lo que mejora la precisión de las estimaciones de biomasa. Además, [12], enfatizan que la inclusión de esta variable es esencial para obtener estimaciones adecuadas de biomasa y carbono en especies leñosas neotropicales.

Búsqueda de ecuaciones alométricas: Para estimar el carbono en las especies, se utilizaron modelos alométricos [13], que relacionan variables fácilmente medibles, como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total del árbol, con la biomasa. Estas ecuaciones permiten estimar la biomasa sin necesidad de derribar los árboles. Según [14], las ecuaciones alométricas son herramientas fundamentales para la estimación de la biomasa y el carbono almacenado en los ecosistemas forestales, ya que proporcionan un enfoque práctico y menos costoso para la evaluación de la biomasa arbórea.

IV. RESULTADOS

Elección de ecuaciones alométricas

Se seleccionaron 13 ecuaciones alométricas Tabla 1, de las cuales se eligieron las que mostraron el mejor ajuste para las especies seleccionadas. Estas ecuaciones son de [16], [1], [18], [19], [20], [21], [12], [10], [22], [23], [9], [14], y [11].

Tabla 1. Ecuaciones alométricas dispuestos por los autores mencionados anteriormente.

Nº	Ecuaciones Alométricas	Sistema	Fuente
E1	$Bat=(-2.4090+0.9544*\ln(D^2*h*p))$	Ecuación general	[16]
E2	$M=10^{(-0.5352+\log_{10}(BA))}$	Ecuación general	[1]
E3	$M=34.47-(8.0671*D)+(0.6589*D^2)$	Ecuación general	[18]
E4	$Y=0.08859*D^2*HT^{0.01}$	Ecuación específica	[19]
E5	$Bat=e^{(-2.977+\ln(p*D^2*h))}$	Ecuación general	[20]
E6	$B_{AA}=e^{(-1.71+2.21*\ln(D))}$	Ecuación genérica	[21]
E7	$M=P*e^{(-0.67+1.78*\ln(D)+0.207*(\ln(D))^2-0.028*(\ln(D))^3)}$	Ecuación general	[12]
E8	$Y=e^{(-2.289+2.649*\ln(D)-0.021*(\ln(D))^2)}$	Ecuación general	[10]
E9	$BAV=e^{(-0.9563+2.1486(\ln(D))+1.5241\ln(p))}$	Ecuación	[22]
E10	$M=0.2457*p*D^{2.67}$	Ecuación general	[23]
E11	$M=e^{(-1.996+2.32\ln(D))}$	Ecuación alométrica	[9]
E12	$BT=-26.63+0.42*(D)^2$	Ecuación Alométrica	[14]
E13	$BA=0.1184*D^{2.53}$	Ecuación general	[11]

Donde:

- ✓ B es la biomasa aérea total (kg)
- ✓ D es el diámetro a la altura del pecho (cm)
- ✓ H es la altura total del árbol (m)
- ✓ p es la densidad de la madera (g/cm³)

Ajuste de Ecuaciones Alométricas.

Se ajustaron ecuaciones alométricas para estimar la captura de carbono de *Eucalyptus Globulus* y *Alnus Acuminata* utilizando técnicas no destructivas. Se evaluaron 13 ecuaciones alométricas de estudios previos Tabla 1.

Análisis de Regresión

Se realizaron análisis de regresión para ajustar las ecuaciones alométricas a los datos de campo. Los resultados mostraron un buen ajuste, con coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0.80 en la mayoría de los casos Tabla 2. La inclusión de variables como la altura total y la densidad de la madera no mejoraron significativamente la precisión de las estimaciones de biomasa.

Tabla 02. Ajuste de ecuaciones alométricas

ECUACIONES	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Alnus acuminata</i>	Observación
E1	$y = 1.7282x - 5.137$ $R^2 = 0.8374$	$y = 1.7784x - 2.9741$; $R^2 = 0.9232$	
E2	$y = 0.9546x - 0.7357$ $R^2 = 0.8976$	$y = 1.4452x - 1.98$; $R^2 = 0.9631$	E2 Ecuación con mejor ajuste
E3	$y = -5.3208x + 32.354$ $R^2 = 0.9705$	$y = 1.4663x - 2.2767$; $R^2 = 0.9422$	
E4	$y = 0.3732x - 0.289$ $R^2 = 0.8958$	$y = 1.3493x - 1.969$; $R^2 = 0.9481$	
E5	$y = 0.3279x - 0.3322$ $R^2 = 0.7169$	$y = 1.8369x - 3.1204$; $R^2 = 0.9169$	
E6	$y = 1.001x - 0.844$ $R^2 = 0.8607$	$y = 1.6254x - 2.4321$; $R^2 = 0.9497$	
E7	$y = 1.1132x - 0.8786$ $R^2 = 0.8659$	$y = -3.9092x + 28.774$; $R^2 = 0.9584$	
E8	$y = 0.976x - 0.9251$ $R^2 = 0.7894$	$y = 1.0249x - 4.0689$; $R^2 = 0.8841$	
E9	$y = 0.7227x - 0.5951$ $R^2 = 0.8717$	$y = 0.5649x - 0.7775$; $R^2 = 0.9625$	
E10	$y = 1.3161x - 1.2646$ $R^2 = 0.7755$	$y = 0.3404x - 0.6081$; $R^2 = 0.8575$	
E11	$y = 0.8723x - 0.7639$ $R^2 = 0.8407$	$y = 1.6254x - 2.4321$; $R^2 = 0.9497$	
E12	$y = 1.7505x - 27.979$ $R^2 = 0.8976$	$y = 0.742x - 1.0849$; $R^2 = 0.9537$	
E13	$y = 1.0092x - 0.9383$ $R^2 = 0.8016$	$1.8058x - 2.9717$; $R^2 = 0.9272$	

Resultados de la selección de Ecuaciones Alométricas.

Para el *Eucalyptus globulus*, de las 13 ecuaciones alométricas evaluadas, la que presentó el mejor ajuste fue la ecuación 2 (E2) de [1], con un $R^2=0.8976$ y Para el *Alnus acuminata*, la ecuación 2 (E2) también de [1], mostrando mejor ajuste con un $R^2=0.9631$.

Los análisis de regresión se observan en las figuras 1 y 2.

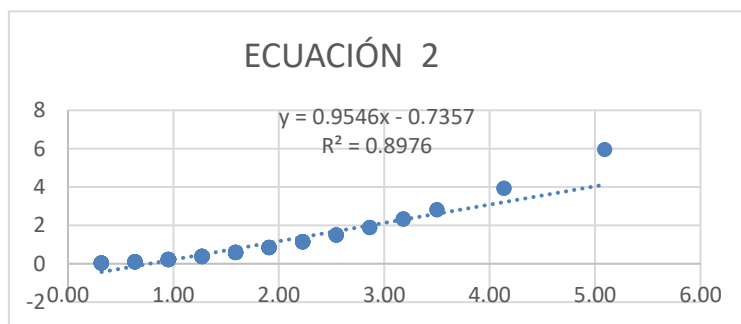


Fig. 2. Ecuación de mejor ajuste para el *Eucalyptus globulus* (propia)

Los resultados muestran que la ecuación de [1], es la que mejor se ajusta para *Eucalyptus globulus*, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.8976.

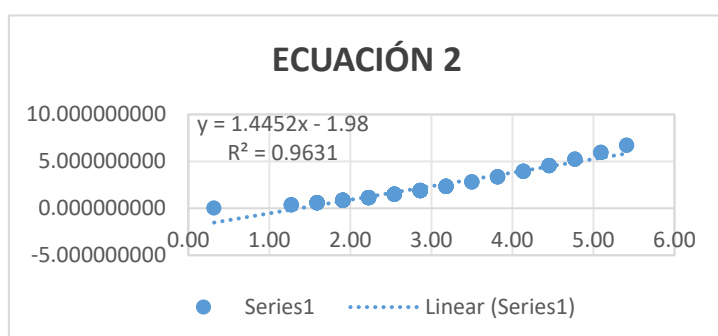


Fig. 3. Ecuación de mejor ajuste para para el *Alnus acuminata* (propia)

La ecuación de [1], presentó el mejor ajuste para *Alnus acuminata*, con un $R^2=0,9631$ lo que sugiere que esta especie tiene características que facilitan la modelización de su crecimiento y captura de carbono.

Cálculo de stock de Carbono.

Utilizando las ecuaciones 2 de [1], seleccionadas para cada especie, se calculó el stock de carbono en las plantaciones. Para convertir a unidades de CO2 equivalente se multiplicó por el factor 3.67 que corresponde a la relación entre los pesos moleculares del CO2 y el Carbono.

Cálculo de Stock de carbono en la biomasa arbórea.

Paso 1: Utilizando las ecuaciones alometricas seleccionadas se calcula la biomasa arbórea sobre el suelo de una unidad, en kilogramos de materia seca por árbol (Kg M.S.).

/ árbol), para lo cual se relaciona la biomasa sobre el suelo a los datos dimensionales medidos en el campo como son el diámetro y la altura de cada una de las unidades muestrales, tal como se muestra en la tabla N°3.

Paso 2: Se realiza el cálculo de la biomasa arbórea por hectárea con la siguiente ecuación:

$$BA = (\Sigma AU / 1000) (10000 / \text{área del terreno})$$

Dónde:

BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/ha);

ΣAU = Sumatoria de la biomasa arbórea de todos los arboles (Kg M.S./área del terreno);

Factor 1000 = Conversión de las unidades de la muestra de Kg MS/tMS

Factor 10000 = Conversión del área (m²) a hectárea.

Paso 3: Cálculo del stock de carbono en la biomasa arbórea por hectárea, se utiliza la ecuación presente en la guía para la determinación de carbono de en pequeñas propiedades Rurales [15].

Formula: $\Delta CBA = (BA * CF)$.

Dónde:

ΔCBA = Cantidad de carbono en la biomasa sobre el suelo (tC/ha);

BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (tMS/ha);

CF = Fracción de carbono (tC/t MS). El valor estándar del IPCC para CF = 0,5

Tabla 3. Cálculo de stock de carbono.

Sistema forestal	ΣAU -Ecuación de mejor ajuste	BA-Biomasa arbórea (tM.S./ha)	Stock de carbono - ΔCBA (tC/ha)
<i>Eucalyptus globulus</i>	75.9279	1.5951	0.7975
<i>Alnus acuminata</i>	217.4109	3.1237	1.5618

Resultados de Correlación.

Resultados de la Correlación entre el Diámetro del Eucalyptus y su Biomasa.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos.

Estadísticos descriptivos			
	Media	Desv. Desviación	N
Diámetro de eucalipto	2,5057	9,38916	100
Biomasa del eucalipto	,01595123970	,019758596325	100

Una desviación estándar de 9.38916 sugiere que hay una gran variabilidad en los diámetros de los árboles de eucalipto. Esto implica que algunos árboles pueden ser considerablemente más grandes o más pequeños que el diámetro promedio, lo que podría reflejar diferencias en la edad, el crecimiento, las condiciones ambientales o las prácticas de manejo.

El tamaño de la muestra es 100, lo que proporciona una base sólida para las estimaciones y análisis estadísticos. Un tamaño muestral adecuado permite obtener resultados más representativos y confiables.

Tabla 5. Correlaciones entre el diámetro del eucalipto y su biomasa

Correlaciones		Diámetro de eucalipto	Biomasa del eucalipto
Diámetro de eucalipto	Correlación de Pearson	1	,035
	Sig. (bilateral)		,730
	N	100	100
Biomasa del eucalipto	Correlación de Pearson	,035	1
	Sig. (bilateral)	,730	
	N	100	100

Resultados de la Correlación entre el Diámetro del Eucalyptus y su Stock de Carbono.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos para el diámetro y el stock de carbono del eucalipto.

Estadísticos descriptivos			
	Media	Desv. Desviación	N
Diámetro de eucalipto	2,5057	9,38916	100
Stock de carbono del eucalipto	,00797562022	,009879298182	100

La desviación estándar para el stock de carbono es aproximadamente 0.00988. Al igual que con el diámetro, esta cifra indica la variabilidad en las mediciones del stock de carbono entre los árboles. Una desviación estándar relativamente alta en comparación con la media sugiere que existe una considerable heterogeneidad en la cantidad de carbono almacenado entre los individuos estudiados.

Aunque se presentan separadamente, es importante considerar cómo el diámetro puede influir en el stock de carbono. Generalmente, se espera que un mayor diámetro esté

asociado con un mayor almacenamiento de carbono, dado que árboles más grandes suelen tener más biomasa.

Los resultados sugieren que, al manejar plantaciones de eucalipto, es fundamental considerar tanto el tamaño (diámetro) como el stock de carbono para evaluar la productividad y sostenibilidad del sistema forestal. La variabilidad observada también puede ser un punto focal para futuras investigaciones sobre factores que afectan el crecimiento y almacenamiento de carbono en eucaliptos.

Tabla 7. Correlación entre el diámetro del eucalipto y su stock de carbono.

Correlaciones		Diámetro de eucalipto	Stock de carbono del eucalipto
Diámetro de eucalipto	Correlación de Pearson	1	,035
	Sig. (bilateral)		,730
	N	100	100
Stock de carbono del eucalipto	Correlación de Pearson	,035	1
	Sig. (bilateral)	,730	
	N	100	100

La correlación con Diámetro es 0.035, este valor refleja que el stock de carbono tiene una correlación muy débil con el diámetro del árbol.

Un p-valor mayor a 0.05 indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, que establece que no existe una correlación significativa entre el diámetro y el stock de carbono del eucalipto. La correlación de 0.035 indica que no hay una relación lineal significativa entre el diámetro y el stock de carbono en esta muestra específica de eucalipto. Esto sugiere que otros factores pueden estar influyendo más en la variabilidad del stock de carbono que el diámetro por sí solo.

La falta de una correlación significativa puede tener implicaciones importantes para la gestión forestal y la investigación sobre la capacidad del eucalipto para almacenar carbono. Esto sugiere que se debe considerar un enfoque más holístico al evaluar la productividad y el potencial de captura de carbono en plantaciones de eucalipto, incluyendo otros factores como la edad del árbol, las condiciones del suelo y las prácticas silviculturales.

Dado que la correlación observada es muy débil, sería beneficioso explorar otras variables que puedan influir en la acumulación de carbono en los eucaliptos, como la altura del árbol, la densidad del árbol o las condiciones ambientales.

Resultados de la Correlación entre el Diámetro del Alnus y su Biomasa.

Tabla 8. Estadísticos descriptivos de la correlación de diámetro y biomasa del Alnus.

Estadísticos descriptivos

	Media	Desv. Desviación	N
Diámetro de Alnus	2,8737	1,11494	100
Biomasa de Alnus	,03123720120	,023594023192	100

Una desviación estándar de 1.11494 sugiere que hay una moderada variabilidad en los diámetros de los árboles de *Alnus*. Esto implica que algunos árboles pueden ser significativamente más grandes o más pequeños que el diámetro promedio. La desviación estándar para la biomasa es aproximadamente 0.02359, lo que indica la variabilidad en las mediciones de biomasa entre los árboles.

Tabla 9. Correlación entre el diámetro del *Alnus* y su biomasa.

Correlaciones

		Diámetro de Alnus	Biomasa de Alnus
Diámetro de Alnus	Correlación de Pearson	1	,981**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	100	100
Biomasa de Alnus	Correlación de Pearson	,981**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	100	100

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La correlación de Pearson, 0,981, indica una correlación positiva muy fuerte entre el diámetro del árbol y su biomasa. Un coeficiente tan alto sugiere que a medida que aumenta el diámetro del árbol, también aumenta significativamente la cantidad de biomasa almacenada. Esto implica que la gestión forestal podría beneficiarse al utilizar mediciones del diámetro para estimar rápidamente el potencial de almacenamiento de biomasa en estas especies.

El p-valor asociado a esta correlación es extremadamente bajo, 0,000, indicando que hay evidencia muy fuerte para rechazar la hipótesis nula (que establece que no hay correlación). Esto significa que la relación observada entre el diámetro y la biomasa es estadísticamente significativa.

La fuerte correlación observada tiene importantes implicaciones para prácticas silviculturales y estudios sobre captura de carbono. Dado que un mayor diámetro está asociado con un mayor almacenamiento de biomasa, esto puede influir en decisiones sobre manejo forestal y conservación, especialmente en estrategias orientadas a maximizar el almacenamiento de carbono.

Resultados de la Correlación entre el Diámetro del Alnus y su Stock del Carbono.

Tabla 10. Estadísticos descriptivos para el diámetro y el stock de carbono del eucalipto.

Estadísticos descriptivos			
	Media	Desv. Desviación	N
Diámetro de Alnus	2,8737	1,11494	100
Stock de carbono del Alnus	,01561860000	,011797011290	100

En forma parecida a la biomasa hay una moderada variabilidad en los diámetros de los árboles de *Alnus* y la desviación estándar para el stock de carbono es aproximadamente 0,0117970, lo que indica la variabilidad en las mediciones de biomasa entre los árboles.

Tabla 11. Correlación entre el diámetro del Alnus y su stock de carbono.

Correlaciones			
		Diámetro de Alnus	Stock de carbono del Alnus
Diámetro de Alnus	Correlación de Pearson	1	,981**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	100	100
Stock de carbono del Alnus	Correlación de Pearson	,981**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	100	100

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La correlación de Pearson de 0,981, es una correlación positiva muy fuerte entre el diámetro del árbol y su stock de carbono. Esto significa que a medida que aumenta el diámetro de los árboles de *Alnus*, también aumenta significativamente la cantidad de carbono almacenado en ellos. Por tanto, el stock de carbono está altamente correlacionado con el diámetro del árbol.

Un p-valor de 0,000, tan bajo, indica que hay evidencia muy fuerte para rechazar la hipótesis nula, que establece que no hay correlación significativa entre las dos variables. Esto significa que la relación observada entre el diámetro y el stock de carbono es estadísticamente significativa.

Dado que el diámetro puede ser medido fácilmente en campo, los gestores forestales pueden utilizar esta variable como un indicador efectivo para estimar el stock de carbono en plantaciones o bosques naturales de *Alnus*.

La capacidad del *Alnus acuminata* para acumular carbono puede ser un factor clave en las estrategias para mitigar el cambio climático. Comprender esta relación permite a los

investigadores y responsables políticos diseñar mejores prácticas para maximizar el almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales. Podría ser útil investigar si esta correlación se mantiene en diferentes ecosistemas o bajo diferentes condiciones ambientales.

Resultados de la comparación de medias entre las Biomosas de Eucalyptus y Alnus, mediante la prueba T.

Tabla 12. Estadísticas de grupo entre biomosas de *Eucalyptus globulus* y *Alnus acuminata*.

Estadísticas de grupo					
	Categoría	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Biomasa de grupos	Eucalipto	100	,01595123970	,019758596325	,001975859633
	Alnus	100	,03123720120	,023594023192	,002359402319

Los resultados de la prueba T revelan que la diferencia de medias entre los grupos de *Eucalyptus* y *Alnus acuminata* es de -0.01529. Esto indica que la biomasa promedio de *Alnus* es 0.01529 unidades mayor que la del *Eucalyptus*. Este hallazgo sugiere que, en las condiciones estudiadas, *Alnus acuminata* presenta una mayor capacidad de acumulación de biomasa en comparación con el *eucalyptus*.

Tabla 13. estadísticas de grupo entre biomosas de *Eucalyptus globulus* y *Alnus acuminata*.

Prueba de muestras independientes									
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia
									Inferior Superior
Biomasa de grupos	Se asumen varianzas iguales	7,513	,007	-4,967	198	,000	-,015285962	,0030774666	-,021354779 -,009217144
	No se asumen varianzas iguales			-4,967	192,079	,000	-,015285962	,0030774666	-,021355930 -,009215993

El valor de significación bilateral (p-valor) obtenido es 0.000, lo que es significativamente menor que el umbral comúnmente aceptado de 0.05. Este resultado indica que la diferencia en biomasa entre *Alnus* y *Eucalyptus* es estadísticamente significativa, lo que sugiere que la observación de una mayor biomasa en *Alnus* no se debe al azar y tiene relevancia ecológica.

El intervalo de confianza para la diferencia de medias se establece en [-0.02136, -0.00922]. Esto implica que estamos 95% seguros de que la verdadera diferencia de medias entre los dos grupos se encuentra dentro de este rango. Dado que el intervalo no incluye el valor 0, esto refuerza aún más la significancia estadística de la diferencia observada.

Los resultados obtenidos a partir de la prueba T sugieren que *Alnus acuminata* tiene una biomasa promedio significativamente mayor que el *Eucalyptus*, lo cual puede tener importantes implicaciones para la gestión forestal y las estrategias de conservación. La evidencia estadística respalda la idea de que estas especies pueden desempeñar roles diferentes en los ecosistemas donde coexisten, lo que podría influir en decisiones sobre su manejo y utilización en proyectos relacionados con el almacenamiento de carbono y la sostenibilidad ambiental.

V. VALORACIÓN ECONÓMICA.

Finalmente, se realizó una valoración económica del carbono secuestrado Tabla 4, considerando el precio promedio del mercado de carbono, según SENDECO2, actualmente se encuentra alrededor de 65€ por tonelada de CO₂e. Este valor puede variar según las condiciones del mercado y las políticas de cada país.

Tabla 14. Valoración económica.

Sistema forestal	Total de Stock de C (tC/tMS/ha)	Flujo de C (tC/ha/año)	Flujo*3.667 (tCO ₂ equiv. en t/ha/año)	tCO ₂ e EUA - 65,17 €
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,7975	0,39875	1,46221625	95,292633
<i>Alnus acuminata</i>	15,618	5,206	19,090402	1244,1215
TOTAL			20,5526183	1339,41413

Los resultados de este estudio aportan información valiosa para cuantificar la contribución de *Eucalyptus globulus* y *Alnus acuminata* a la mitigación del cambio climático a través del secuestro de carbono. Las ecuaciones alométricas desarrolladas permiten hacer estimaciones precisas de manera no destructiva, lo cual es fundamental para promover el manejo sostenible de estos ecosistemas forestales.

Además, la valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono brinda elementos para diseñar incentivos y políticas que fomenten la conservación y expansión de estas plantaciones. En conjunto, estos resultados contribuyen a la toma de decisiones informadas para enfrentar el desafío global del calentamiento del planeta.

VI. DISCUSIONES.

Los resultados obtenidos en este estudio resaltan la importancia de seleccionar adecuadamente las ecuaciones alométricas para estimar la captura de carbono en especies forestales. En el caso de *Eucalyptus globulus*, la ecuación 2 (E2) de [1], mostró un R² de 0.8976, lo que indica un alto nivel de ajuste a los datos recolectados. Este hallazgo es consistente con la literatura que sugiere que las ecuaciones alométricas son herramientas fundamentales para la estimación de biomasa y carbono en ecosistemas forestales, ya que permiten obtener resultados precisos sin necesidad de realizar cortes destructivos [16] y [12].

Por otro lado, para *Alnus acuminata*, la ecuación 2 (E2) de [1], también mostró el mejor ajuste con un $R^2=0.9631$, lo que sugiere que esta especie tiene características que facilitan la modelización de su crecimiento y captura de carbono. Esto es relevante, ya que *Alnus acuminata* es conocida por su capacidad de fijar nitrógeno y mejorar la calidad del suelo, lo que puede influir positivamente en su crecimiento y en la acumulación de biomasa [1].

La capacidad de estas especies para secuestrar carbono es crucial en el contexto del calentamiento global, dado que las emisiones de gases de efecto invernadero continúan aumentando debido a actividades antropogénicas [2]. La información generada en este estudio puede ser utilizada para implementar estrategias de reforestación y manejo sostenible que contribuyan a mitigar los efectos del cambio climático. Como se menciona en la literatura, el uso de especies nativas y adaptadas al entorno local, como *Alnus acuminata* y *Eucalyptus globulus*, puede ser una estrategia efectiva para aumentar la captura de carbono [17].

Además, la valoración económica del carbono secuestrado proporciona un incentivo adicional para la conservación y manejo de estas especies. La monetización del carbono puede facilitar la implementación de políticas públicas que fomenten la reforestación y la protección de áreas forestales, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y al bienestar económico de las comunidades locales [8].

Es importante destacar que la selección de ecuaciones alométricas debe ser un proceso continuo. A medida que se obtienen más datos y se realizan más estudios, es posible que se desarrollen nuevas ecuaciones que ofrezcan un mejor ajuste y precisión [9].

VII. CONCLUSIONES.

Este estudio proporciona una base sólida para la estimación de la captura de carbono en las especies forestales *Eucalyptus globulus* y *Alnus acuminata* en la zona centro-oriental del Perú. A través de la identificación de ecuaciones alométricas adecuadas, se logró estimar con precisión la cantidad de carbono almacenado en la biomasa de estas especies, utilizando técnicas no destructivas.

Los resultados muestran que la ecuación de [1], es la que mejor se ajusta para *Eucalyptus globulus*, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.8976. Por otro lado, la ecuación de [1], también presentó el mejor ajuste para *Alnus acuminata*, con un $R^2=0.9631$, lo que sugiere que esta especie tiene características que facilitan la modelización de su crecimiento y captura de carbono.

El cálculo del stock de carbono reveló que *Eucalyptus globulus* almacena 0,7975 tC/ha, mientras que *Alnus acuminata* secuestra 15618 tC/ha. La valoración económica del carbono capturado, transformando las tC a tCO₂ equivalente, mostró un valor total de 1339.414 € para los dos sistemas forestales estudiados.

Estos hallazgos resaltan la importancia de integrar la ciencia forestal con la economía ambiental para abordar los desafíos del cambio climático. La información generada en

8 este estudio puede ser utilizada para implementar estrategias de reforestación y manejo sostenible que contribuyan a mitigar los efectos del calentamiento global.

13 Además, la valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono brinda elementos para diseñar incentivos y políticas que fomenten la conservación y expansión de estas plantaciones. En conjunto, estos resultados contribuyen a la toma de decisiones informadas para enfrentar el desafío global del calentamiento del planeta.

El presente estudio resalta la importancia de *Eucalyptus globulus* y *Alnus acuminata* como especies efectivas en la captura de carbono, y proporciona herramientas y estrategias para promover el manejo sostenible de estos ecosistemas forestales en el contexto del cambio climático.

VIII. RECOMENDACIONES.

Fomentar la investigación continua: Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales que evalúen la captura de carbono en otras especies nativas y su interacción con diferentes factores ambientales. Esto permitirá el desarrollo de ecuaciones alométricas más precisas y adaptadas a diversas condiciones ecológicas.

Implementar programas de reforestación: Es fundamental promover la reforestación utilizando especies como *Eucalyptus globulus* y *Alnus acuminata*, que han demostrado ser efectivas en la captura de carbono. Estos programas deben ser diseñados en colaboración con las comunidades locales para asegurar su sostenibilidad y aceptación.

Desarrollar políticas de incentivos económicos: Se sugiere la creación de políticas que valoren económicamente el carbono secuestrado, incentivando así a los propietarios de tierras y a las comunidades a conservar y manejar de manera sostenible sus recursos forestales. Esto podría incluir la implementación de mecanismos de compensación por servicios ecosistémicos.

Promover el uso de tecnologías no destructivas: Incentivar el uso de técnicas de evaluación no destructivas para el estudio de la biomasa y la captura de carbono, lo que permitirá obtener datos precisos sin comprometer la salud de los ecosistemas forestales.