

Captura de carbono en plantación forestal de laurel y sistema agroforestal laurel – café en la Provincia de San Ignacio

Capture of carbon in forestry plantation of laurel and laurel-coffee agroforestry system in the Province of San Ignacio

Irene Sánchez Córdova¹*, Yeltsin M Flores Mejía¹ y José A León Mostacero²

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la captura de carbono en plantaciones de *Cordia alliodora* (PF) y sistemas agroforestales *Cordia alliodora* – *Coffea arabica* (SAF) con dos rangos de Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) del laurel (<30 y >30 cm) en los distritos San Ignacio y Chirinos. Se aplicaron los métodos no destructivo y destructivo, para el laurel y el café respectivamente, el método de Walkley-Black para carbono orgánico del suelo y la hojarasca mediante secado. Se utilizó el análisis trifactorial, comparación de medias y regresiones lineales. Los resultados indican que la PF localizada en Chirinos con DAP > 30 cm capturó mayor carbono, con 482.07 tnC/ha, mientras que el SAF en Chirinos con DAP < 30 cm menor carbono, con 118.1 tnC/ha. En las PF, la biomasa viva almacenó mayor carbono y en los SAF, el suelo. Además, el laurel capturó más carbono bajo plantación que bajo SAF. En cuanto al café se obtuvo la ecuación alométrica más ajustada $3.2059+0.92614\cos(14.07858\text{Circunferencia}-2.715981)$. Se concluye que dichos SUT representan importantes stocks de carbono.

Palabras clave: Carbono orgánico del suelo, Sistemas de uso de tierra, biomasa viva, ecuación alométrica, cambio climático.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine carbon sequestration in *Cordia alliodora* (PF) plantations and *Cordia alliodora* - *Coffea arabica* (SAF) agroforestry systems with two ranges of Diameter at Breast Height (DBH) of laurel (<30 and >30 cm) in the San Ignacio and Chirinos districts. Non-destructive and destructive methods were applied for laurel and coffee tree respectively, the Walkley-Black method for soil organic carbon and litterfall by drying. Three-factor analysis, comparison of means and linear regressions were used. The results indicate that the FP located in Chirinos with DBH > 30 cm sequestered more carbon, with 482.07 tnC/ha, while the SAF in Chirinos with DBH < 30 cm sequestered less carbon, with 118.1 tnC/ha. In the FPs, the living biomass stored more carbon and in the PBS, the soil. In addition, laurel captured more carbon under plantation than under PBS. For coffee trees, the best fitting allometric equation $3.2059+0.92614*\cos(14.07858*C-2.715981)$ was obtained. It is concluded that these SUTs represent important carbon stocks.

Keywords: Soil organic carbon, Land Use Systems, living biomass, allometric equation, climate change.

DOI: <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i4.245>

Recibido: 06/09/2021. Aceptado: 01/11/2021

* Autor para correspondencia

-
1. Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: irene70412@gmail.com; manuel260412@gmail.com; jandreslm@gmail.com
 2. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Email: jandreslm@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El clima es un estado cambiante de la atmósfera, en diversas escalas de tiempo y espacio (Magaña, 2005). La escala de los cambios experimentados recientemente en el sistema climático en su conjunto no tiene precedentes en muchos cientos, e incluso miles, de años y tendrá efectos sobre la biodiversidad. De todos los gases de efecto invernadero (GEI), el CO₂ es el principal causante del cambio climático, sin embargo, las acciones humanas todavía pueden determinar el curso futuro del clima (IPCC, 2021). En ese sentido se deben definir mecanismos para reducir el impacto negativo de este fenómeno, siendo las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales (SAF), alternativas en la captura de carbono (Patiño et al., 2018). La captura de carbono en dichos sistemas se realiza a través de la fotosíntesis de las plantas, transformando el CO₂ y el agua en compuestos orgánicos, donde el carbono es almacenado como biomasa, para finalmente liberar oxígeno. Este potencial de la captura, se concentra tanto en la biomasa aérea, subterránea (raíces), como en la superficie del suelo e incorporado a éste, por lo tanto, requiere de la evaluación de cada componente (Somarriba et al., 2013).

Existen investigaciones en el ámbito internacional sobre la captura de carbono en PF de laurel y SAF laurel -café, entre ellas la investigación realizada en Colombia, desarrollada por Patiño, Suárez, Andrade y Segura (2018), donde evaluaron la captura de carbono en plantaciones forestales de laurel. Por otro lado, Mena, Hernán, Andrade y Navarro (2011) evaluaron la biomasa y carbono almacenado en SAF con café en Costa Rica, y en el litoral ecuatoriano Corral, Duicela y Chamba (2006), estimaron la fijación y almacenamiento de carbono en SAF con café arábigo.

En el ámbito nacional no se han encontrado investigaciones sobre captura en PF de laurel y SAF laurel – café, a nivel regional y local, en la provincia de Jaén, Cieza (2019) desarrolló una investigación sobre captura de carbono fustal del laurel, así mismo en las provincias de Jaén y San Ignacio han realizado una investigación en almacenamiento de carbono en SAF cafetaleros (Cabrera, Vaca, Aguirre, Aguirre, 2016 y Vásquez, 2018).

San Ignacio, siendo una provincia con 60% de bosques, es vulnerable a la deforestación, y a la vez contando con PF laurel y SAF laurel más café, como muestras representativas de acumulación de carbono, es importante evaluar su capacidad de captura y generar información (Llerena et al., 2010). En base a lo mencionado, el objetivo de esta investigación fue determinar la captura de carbono de la plantación forestal laurel y sistema agroforestal laurel-café en los Distritos de Chirinos y San Ignacio de la Provincia de San Ignacio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, en los Distritos de Chirinos y San Ignacio encontrándose a 1324 m.s.n.m. (Figura 1).

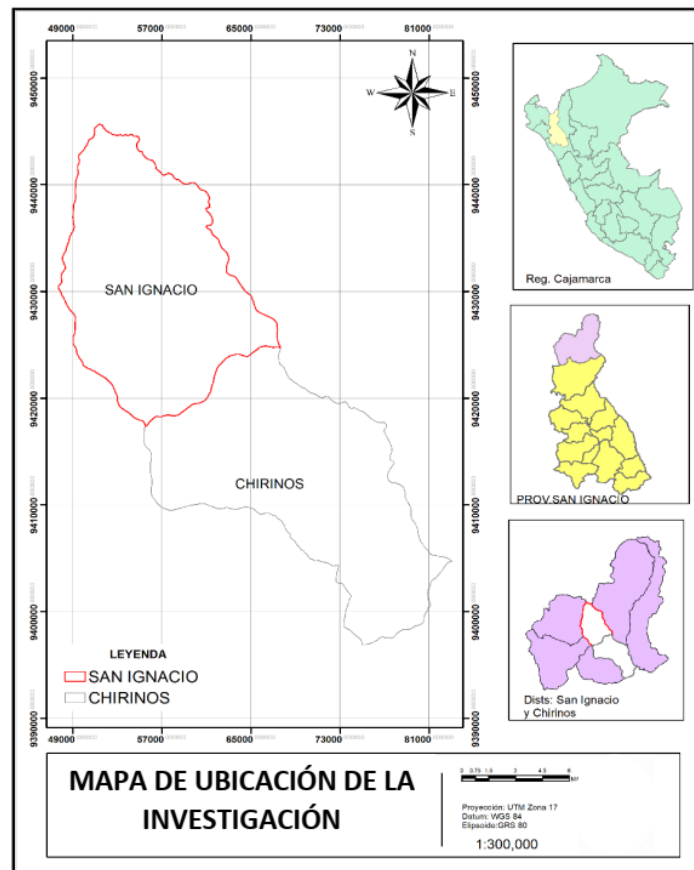


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

Metodología

Se evaluaron 8 parcelas, cuatro parcelas en cada distrito. De esas parcelas se seleccionaron dos parcelas bajo PF laurel y dos parcelas SAF laurel + café. Para la evaluación de biomasa vegetal en PF de laurel se delimitó el área a evaluar (Figura 2) y se evaluó la biomasa arbórea viva (625 m^2 para árboles >30 cm de DAP y 384 m^2 >30 cm de DAP), biomasa seca u hojarasca (0.25 m^2) y carbono orgánico del suelo (dentro del área de hojarasca). Para la evaluación de biomasa vegetal del SAF laurel – café, también se delimitó el área a evaluar (Figura 3), se evaluó la biomasa arbórea viva (2000 m^2 para árboles >30 cm de DAP y 200 m^2 <30 cm de DAP), para hojarasca y suelo se utilizó la misma área que en plantación, y se incluyó la biomasa del cafeto mediante extracción de 12 cafetos. Para el análisis de los datos se utilizó

el análisis Trifactorial teniendo 2 factores, 2 niveles y 2 repeticiones. Para la evaluación de biomasa por componente se utilizó la comparación de medias. Para la comparación del potencial de captura de carbono del laurel se utilizaron regresiones lineales. Por último, en la generación de la ecuación alométrica del cafeto se utilizó el modelo de regresión lineal, y el modelo sinusoidal, se consideró el coeficiente de determinación (R^2), el error cuadrático medio (RMSE) y la prueba t-Student.

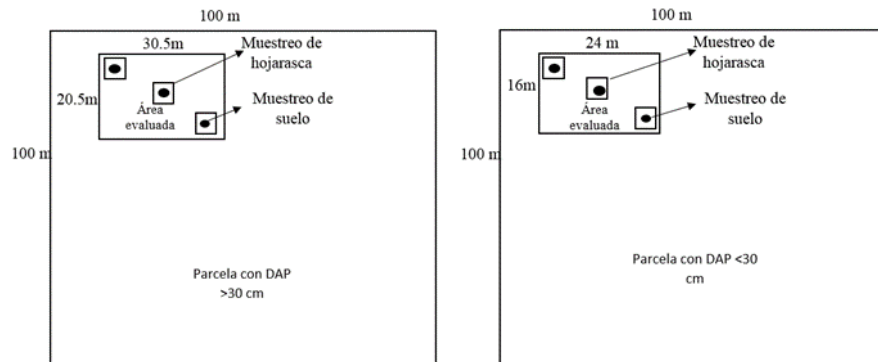


Figura 2. Delimitación del área a evaluar en plantaciones de laurel

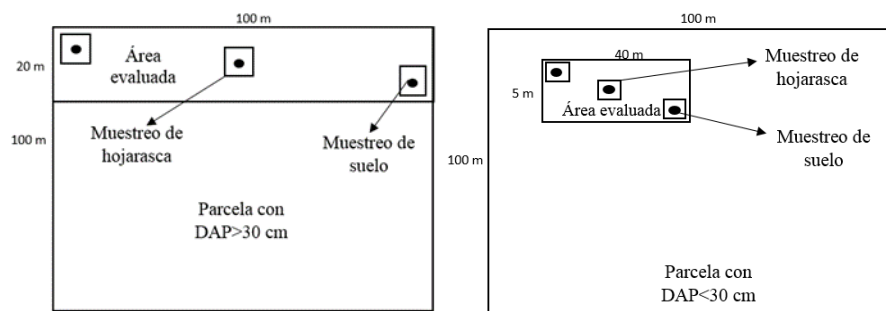


Figura 3. Delimitación del área a evaluar en sistemas agroforestales laurel-café

Técnicas de procesamiento de datos

Para el cálculo de la biomasa fustal se calculó mediante la ecuación (1)

$$V = \frac{1}{4}(3.1314)DAP^2.Ht.Ff \quad (1)$$

Dónde: V = Volumen (m^3); DAP = Diámetro Altura de Pecho (m); Hf = Altura total (m); Ff = Factor de forma. Para medir la densidad del laurel, se calculó el volumen mediante la fórmula 2, basado en el principio de principio de un cilindro (Arquímedes).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Dónde: ρ = Densidad (kg/m^3); m = Biomasa fustal (kg); V = Volumen (m^3).

Biomasa arbórea viva

Para el cálculo de la biomasa arbórea se utilizó la ecuación propuesta por Brown (2002). Detallado en la ecuación (3).

$$Bav = Bf \cdot FEB \quad (1.26 \text{ ó } 1.9) \quad (3)$$

Dónde:

Bav: Biomasa arbórea viva (kg); Bf: Biomasa fustal (m³); FEB: Factor de expansión de biomasa 1.26 para el laurel bajo plantación (Avendaño, 2008) y 1.9 para el laurel bajo SAF (Andrade e Ibrahim).

Biomasa de hojarasca

El calculo de la biomasa de la hojarasca se calculó mediante la ecuación (4), basada en Rüginitz et al (2009).

$$Bh = \left[\left(\frac{PSM}{PFM} \right) PFT \right] \quad (4)$$

Dónde: Bh: Biomasa de la hojarasca seca en (gr); PSM: Peso seco de la sub-muestra (gr); PFM: Peso fresco de la sub-muestra (gr) y PFT: Peso fresco total de la muestra en los 0.25 m²(gr).

Carbono vegetal total, se calculó en base a lo propuesto por el IPCC (2006).

$$CVT = BVT \cdot 0.5 \quad (5)$$

Dónde: CVT = Carbono Vegetal Total (Kg), BVT= Biomasa vejeta total kg (Suma de la Bav y la Bh).

Carbono orgánico del suelo (A), se calculó, siguiendo la fórmula desarrollada por Andrade e Ibrahim, 2003.

Carbono total

$$Ct = CVT + COS \quad (6)$$

Dónde: Ct: Carbono Total (tnC/ha); CVT: Carbono vegetal total (tnC/ha); COS: Carbono orgánico del suelo (tnC/ha).

RESULTADOS**Evaluación de la biomasa por componente de la plantación de laurel**

En la *Cordia alliodora* (PF), laurel fueron los árboles (biomasa arbórea viva) que capturaron mayor biomasa promedio siendo 387.566 tn/ha, la materia orgánica del suelo (MOS) con 137.616 tn/ha y hojarasca con 7.423 tn/ha.

Evaluación de Biomasa por componente del sistema agroforestal laurel + café

En el SAF laurel + café el MOS almacenó más biomasa, con 252.391 tn/ha, la Biomasa viva (árboles y cafeto) con 94.522 tn/ha y la hojarasca 136 tn/ha.

Evaluación de carbono en suelo

El SAF-SI<30 cm es la parcela con mayor carbono capturado, siendo 223.938 tn/ha, y la PF-SI<30 cm valores extremos mínimos de 55.661 tnC/ha.

Comparación del potencial de captura de carbono en el laurel como plantación y bajo sistema agroforestal en 30 años.

Los árboles de laurel bajo plantación capturarán más de 575.97 tnC/ha. (Figura 6). Y bajo SAF acumularán aproximadamente 137.28 tnC/ha (Figura 7).

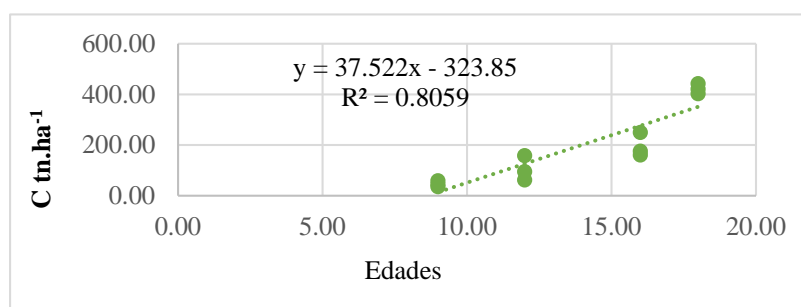


Figura 6. Modelo regresión logarítmica de la captura de carbono y la edad de la plantación de laurel.

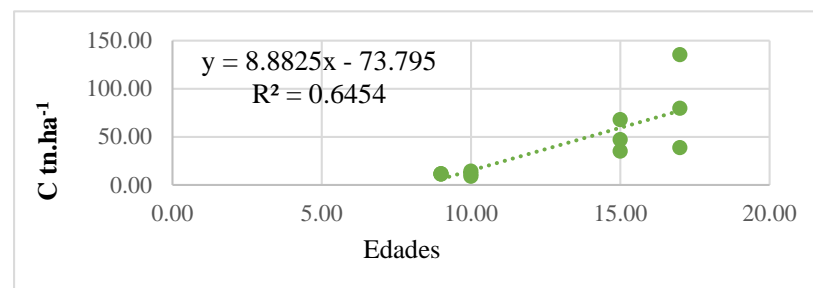


Figura 7. Modelo regresión logarítmico de la captura de carbono y edad del sistema agroforestal laurel + café.

Se encontró que la PF-CH>30 cm capturó mayor carbono total con 482.07 tnC/ha, y el SAF-CH<30 cm menos carbono con 118.10 tnC/ha (Tabla 1).

Tabla 1. Carbono total en tnC/ha capturado en los distritos de San Ignacio y Chirinos

Distritos	Bloque	Laurel		Laurel+ Café		Prom.
		(PF)		(SAF)		
		DAP: <30cm	DAP: >30cm	DAP: <30cm	DAP: >30cm	
*San Ignacio (SI)	I	175.808	220.099	249.446	211.108	225.084
	II	161.574	235.01	249.168	241.13	232.74
	III	152.703	309.175	247.662	221.371	246.993
	Prom.	163.362	254.761	248.758	224.536	234.939

**Chirinos	I	158.52	481.28	119.45	199.89	239.785
(CH)	II	192.25	502.36	119.82	156.28	242.678
	III	255.16	462.58	115.02	251.4	271.04
	<i>Prom.</i>	201.977	482.073	118.097	202.523	251.168
	<i>Promedio</i>	182.669	368.417	183.428	213.53	243.053

DAP: Diámetro a la altura de pecho del laurel, *Localidad 1: Distrito San Ignacio, **Localidad 2: Distrito Chirinos.

En el análisis trifactorial, se observó que entre distritos no hay varianza significativa al 1% para el DAP y los Sistemas de Uso de Tierra (SUT), loc*DAP, Localidad * SUT, DAP * SUT la significancia es menor al 5% y al 1%. Para las tres variables se determinó que la variación estadística es mayor al 5 y al 1% (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de variancia de la captura de carbono total en tnC/ha en los distritos de Chirinos y San Ignacio

Origen	gl	Suma de cuadrados tipo III	Media cuadrática	F	Sig.
Distritos	1	4809.869	4809.869	4.983	.04023842
DAP	1	69886.834	69886.834	72.405	.00000025
SUT	1	35632.544	35632.544	36.917	.00001605
Dist* DAP	1	33155.640	33155.640	34.350	.00002412
Dist * SUT	1	65711.828	65711.828	68.080	.00000037
DAP * SUT	1	36338.827	36338.827	37.648	.00001435
Dist * DAP * SUT	1	2402.801	2402.801	2.489	.13418026
Error	16	15443.466			
Total	23	1611561.052			

R cuadrado = ,941 (R cuadrado corregida = ,916), DAP: Diámetro a la altura de pecho, SUT: Sistema de Uso de Tierra, Dist: Distritos

Generación de ecuación alométrica para el café

Se generaron dos ecuaciones, mediante modelo lineal y modelo sinusoidal. La prueba t-Student, entre la biomasa real del cafeto y la estimada, indica que no existe diferencias significativas (Tabla 3).

Tabla 3. Ecuaciones alométricas

Modelo	Ecuación	R ²	RMSE	t-student
Lineal	$B = 0.0256(H) + 0.14514(C) - 3.41567$	0.5632	0.4013	0.9998
Sinusoidal	$3.2059 + 0.92614 * \cos(14.07858 * C - 2.715981)$	0.3845	0.6450	0.9386

Dónde: B: Biomasa del cafeto (kg), H: Altura del cafeto (cm) y C: Circunferencia del cafeto a 15 cm de altura (cm).

DISCUSIÓN

Mena et al. (2011) mostraron resultados de 113.2 tnC/ha en SAF laurel + café, estos se asemejan a los resultados de esta investigación, donde se obtuvo en el SAF-CH01<30 cm un promedio de 118.10 tn.C/ha. Por otro lado, CATIE (2008), afirma que, los SAF's pueden almacenar entre 12 y 228 tnC/ha, en nuestra investigación el rango oscila entre 118.097 a 248.758 tnC/ha. Por su parte Espinoza et al (2012) suscribe que los SAF con café capturan en promedio 110 t C·ha-1. Sin embargo, en este estudio

el promedio fue más elevado, siendo 198 tnC/ha, esto explica la influencia de los índices de calidad de sitio (Clima de los distritos de San Ignacio y Chirinos, carbono en el suelo, disponibilidad de agua).

En cuanto a estudios en plantaciones de laurel, se encontró que Patiño et al (2018) evaluaron la captura de carbono en plantaciones de laurel, donde obtuvieron resultados de 19,9 tnC/ha, a una densidad de 500 árboles/ha y a una edad de 17 años, por otro lado, Dzib (2003), encontró a una densidad de 184 árboles/ha y a una edad de 13+- 2 años almacenan 39+- 27 tnC/ha. Siendo estos resultados menores a lo obtenido en esta investigación, ya que en promedio se obtuvo 275.5 tnC/ha, en la cual se consideró componentes como COS y hojarasca, y la densidad de plantación fue mayor siendo en promedio 1093 árboles/ha.

Con respecto al análisis trifactorial, entre los distritos y la interacción Dist*DAP, Dist*SUT, se acepta la igualdad de las medias, el DAP y SUT, DAP*SUT, Dist*SUT, DAP*Dist son diferentes estadísticamente. Dichas diferencias según Kursten y Burschel (1993), son altamente dependientes de las especies arbóreas utilizadas, la densidad de la plantación, la edad de los componentes, diferencias de calidad de sitio y del clima, el tipo de suelo y las prácticas de manejo aplicado.

En PF de laurel la biomasa arbórea viva supera a la biomasa del SAF laurel + café, debido a que la plantación tiene mayor densidad de laureles. Mientras que la hojarasca es mayor dentro del SAF, atribuible a que tiene dos componentes como aportante de hojas, lo que concuerda con Calderón y Solís (2012) quienes encontraron que entre mayor sea la acumulación de biomasa por parte de la hojarasca, mayor será también el almacenamiento de carbono a este nivel. Además, Vega et al. (2014) sostiene que la tasa de fijación de carbono está sujeto a factores como manejo silvicultural de un SAF. Con respecto al suelo, el SAF laurel + café acumuló mayor carbono. Nair (2004) afirma que el carbono en el suelo aumenta en la agroforestería.

Las parcelas bajo PF y SAF presentaron diferencias en el carbono del suelo, atribuible a que probablemente ya existían diferencias antes de ser establecidas y a la gran biodiversidad que existe en un SAF con respecto a una PF, la cual hace que exista mayor actividad microbiana, descomponiendo la materia orgánica la cual incorpora carbono al suelo (Moreira y Castro, 2017).

La cantidad de carbono es directamente proporcional, a la edad del laurel bajo plantación y SAF, con el tiempo las plantas son más vigorosas y producen mayor acumulación de biomasa (Zabala, Merino y Peláez, 2018). Además, la captura de carbono del laurel bajo plantación y SAF proyectado, obedecen a la influencia de factores edafo-climáticos (Corral, Duicela y Maza, 2006).

Las ecuaciones para el café generadas en esta investigación presentaron un R^2 de 0.38 siguiendo el modelo lineal, donde se trabajó correlacionando dos variables (altura y circunferencia), y siguiendo el

modelo sinusoidal el R^2 es 0.56 donde se utilizó sólo la circunferencia, por ende, el R^2 depende al modelo de ecuación utilizada y las variables trabajadas.

CONCLUSIONES

La parcela que almacenó mayor carbono total fue la PF-CH>30 cm con 482.07 tnC/ha, mientras que el SAF-CH<30 capturó menor carbono, con 118.10 tnC/ha. Dentro de una plantación de laurel, el árbol almacena mayor biomasa con 384 tn.ha⁻¹, y en un SAF laurel + café, es el componente suelo, con 252.39 tn.ha⁻¹. El carbono orgánico del suelo evaluado no presenta relación alguna entre sistema de uso, localidad y DAP. El laurel bajo plantación a los 30 años capturará 575.97 tnC/ha, mientras que bajo SAF, capturará 137.28 tnC/ha, sin embargo, está sujeto a factores climáticos y edáficos.

AGRADECIMIENTOS

A la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, por brindarnos las herramientas necesarias para esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, H., e Ibrahim, M. (2003). Cómo monitorear carbono en sistemas silvopastoriles. *Agroforestería en las Américas*. 10(3040), 109-116.
- Avendaño, J. R. (2008). Modelos Genéricos de Biomasa Área para Especies Forestales en Función de la Arquitectura y la Ocupación del Rodal [Tesis de maestría, Escuela de Posgrado Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].
- Brown, S. (2002). Measuring carbon in forest: Current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116 (3): 363-372.
- Cabrera, M., Vaca, S., Aguirre, F. & Aguirre, H. (2016). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca. *Revista Pakamuros*, 4(1).
- Calderón., D & Solis, D (2012). Cuantificación del carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de Pino (*Pinus oocarpa*, L.) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria].

- Cieza., W (2019). cuantificación de captura de carbono del fuste de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken con redes neuronales artificiales del distrito y provincia de Jaén – Cajamarca. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén].
- Solis, D (2012). Cuantificación del carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de Pino (*Pinus oocarpa*, L.) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria].
- Corral, R., Duicela, L., & Maza, H. (2006). Fijacion y Almacenamiento de Carbono en Sistemas Agroforestales con Cafe Arabiga y Cacao en dos Zonas Agroecologicas del Litoral Ecuatoriano. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Loja].
- Dzib, B. (2003). Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza de Costa Rica, Costa Rica].
- Espinoza, W., Krishnamurthy, L., Vásquez, A. & Torres, A (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo*, 8(1). <http://www.chapingo.mx/revistas> .
- International Plant Protection Convention (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 4. Forest Land. Disponible en http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf.
- International Plant Protection Convention (2021). Cambio Climático 2021: Bases físicas. Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Kursten, E. & Burschel, P. (1993). CO2 Mitigation by Agroforestry. *Water, Air, and Soil Pollution*, 70: 553–544. DOI: [10.1007/BF01105020](https://doi.org/10.1007/BF01105020).
- Llerena, C., Cruz, Z., Durt, É., Marcelo, J., Martínez, K. & Ocaña, J. (2010) Gestión ambiental de un ecosistema frágil. Los bosques nublados de San Ignacio, Cajamarca, cuenca del río Chinchipe. Soluciones Prácticas, <http://www.infobosques.com>
- Magaña, V. (2005). El cambio climático global. En Martínez, J. & Fernández, A., Cambio climático una visión desde México (pág. 17). Coyoacán, México.
- Mena, V., Hernán, J., Andrade, C. & Navarro, M. (2011). Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios en un gradiente altitudinal en Costa Rica. *Agroforestería Neotropical*, 1(1). revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/11.
- Moreira, D. & Castro, C. (2017). Adaptación en la producción del banano y cacao.

- Nair, P. K. (2004). Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture. In: HILLEL, H.; ROSENZWEIG, C.; POWLSON, D.; SCOW, K.; SINGER, M.; SPARKS, D. (eds). Encyclopedia of Soils in the Environment. Elsevier, London, U.K. pp. 35–44.
- Patiño, S., Suárez, L. N., Andrade, H. J. & Segura, M. A. (2018). Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2).
- Rügnitz M, Chacón M & Porro R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) 1 Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 1ª Edic, Lima, Perú. 79 p. http://www.sinac.go.cr/corredoresbiologicos/boletines/boletn4_2010/docs/guiapropiedadesrurales.pdf
- Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Davila, H., Espin, T., Mavisoya, H., Avila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E. & Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173, 46–57. [doi.10.1016/j.agee.2013.04.013](https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013).
- Vásquez., M (2018). Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa del fuste de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken en plantaciones agroforestales de café del centro poblado San Miguel de Las Naranjas, distrito y provincia de Jaén – Cajamarca. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Vega, G.; Ordoñez, C.M.; Suarez, J.C. & López, C.F. (2014). Almacenamiento de carbono en arreglos agro- forestales asociados con café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 5(1): 213-221.
- Zabala, W., Merino, E. & Peláez, P. (2018). Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Revista Scielo*, 9(4). <http://www.scielo.org.pe>.



Copyright© de los autores. Titular de la licencia: Revista Pakamuros. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons (CC BY-NC) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).