

REVISTAS.UNAMAD.EDU.PE



Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas

Volumen 1, Número 1. Año 2022.

Las **Ciencias Básicas**
fundamento de la
Investigación en la **UNAMAD**



**Universidad Nacional
Amazónica de Madre de Dios**

© **Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios**

Av. Jorge Chávez N° 1160, Puerto Maldonado - Perú

Editor Dirección de Institutos de Investigación, Universidad Nacional
Amazónica de Madre de Dios

Editorial Universidad Nacional de Madre de Dios

**Diseño de
la portada** Lic. Manuel Angel Rojas Torres

Volumen 1, Número 1, Año 2022

DOI: <https://doi.org/10.55873/racba>

e-ISSN: 2810-8736

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022-XXXX

Puerto Maldonado - Perú



e-ISSN: 2810-8736
DOI: 10.55873/racba

Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas

Vol. 1 • Número 1 • Enero - Junio 2022 • Puerto Maldonado - Perú

Enfoque y propósito

Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas (RACBA) es publicación científica arbitrada, disciplinaria, de acceso abierto, patrocinada por el Vicerrectorado de Investigación y editada por la Dirección de Institutos de Investigación de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú.

RACBA publica artículos originales e inéditos que contribuyan al conocimiento científico en áreas temáticas de las disciplinas de Agricultura, Forestal, Biotecnología, Agrícola, Agroindustria, Matemáticas, Física y Química, Meteorología, Clima e Hidrología. Sólo se aceptan artículos en español, enviados por la plataforma Open Journal System (OJS) siguiendo las normas indicadas en las Directrices para autores.

Su misión es la difusión de producción científica, pertinente y rigurosa que permita contribuir a la solución de los problemas de la sociedad mundial en las áreas temáticas mencionadas. El público objetivo son investigadores, tesis de pre y posgrado de la comunidad universitaria de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, así como de profesionales nacionales y extranjeros interesados en obtener conocimiento profundizados de la revista.

Periodicidad

Publicación semestral (enero-junio y julio-diciembre), en su versión Online.

Dirección de contacto

fondoeditorial@unamad.edu.pe

Tel: (+51) 942855797

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios
Puerto Maldonado, Perú.



e-ISSN: 2810-8736
DOI: 10.55873/racba

Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas

Vol. 1 • Número 1 • Enero - Junio 2022 • Puerto Maldonado - Perú

Equipo editorial

Editor jefe

-  M. Sc. Jorge Santiago Garate Quispe
jgarate@unamad.edu.pe
Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios
Perú

Comité editorial

-  Dr. Gabriel Alarcón Aguirre
galarcon@unamad.edu.pe
Universidad Nacional Amazónica de
Madre de Dios
Perú
-  Dr. Isau Huamantupa Chuquimaco
ihuamantupac@unamad.edu.pe
Universidad Nacional Amazónica de
Madre de Dios
Perú
-  M. Sc. Cristina Valeriano Peñas
cvaleriano@ipe.csic.es
Instituto Pirenaico de Ecología
España

Comité científico

-  Dr. Francisco Román-Dañobeytia
fromn76@gmail.com
CONDESAN
Perú - Ecuador
-  M. Sc. Ricardo Zárate Gómez
rzarate@ucp.edu.pe
Universidad Científica del Perú
Perú
-  M. Sc. Beatriz Calleja Peláez
beatriz.callejapl@uanl.edu.mx
Autonomous University of Nuevo León
México
-  M. Sc. Luis Vallejos Bardales
luis.martin.vallejos@ufrj.br
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Brasil
-  Dra. Andrea Chavez Michaelson
achavez@ufl.edu
University of Florida
USA
-  Dr. Irving Foster Brown
fbrown@woodwellclimate.org
Woodwell Climate Research Center
USA
-  Dr. Stephen George Perz
sperz@ufl.edu
University of Florida
USA
-  M. Sc. Abel Monteagudo Mendoza
abel.monteagudo@unsaac.edu.pe
Universidad Nacional San Antonio Abad
del Cusco
Perú
-  Ing. Sufer Marcial Baez Quispe
sbaez@unamad.edu.pe
Universidad Nacional Amazónica de
Madre de Dios
Perú

**Gestor de la
revista**

 **M. Sc. Edgar Rafael Julian Laime**
ejulian@unamad.edu.pe
Universidad Nacional Amazónica de
Madre de Dios
Perú

Autoridades

Rector

 **Dr. Hernando Hugo Dueñas Linares**
hduenas@unamad.edu.pe

**Vicerrectora de
Investigación**

 **Dra. Luz Marina Almanza Huaman**
lalmanza@unamad.edu.pe

**Vicerrector
Académico**

 **Dr. Joab Maquera Ramirez**
jmaquera@unamad.edu.pe



e-ISSN: 2810-8736
DOI: 10.55873/racba

Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas

Vol. 1 • Número 1 • Enero - Junio 2022 • Puerto Maldonado - Perú

Índice de contenido

Editorial	Aportes de la investigación forestal y agroindustrial al uso sostenible de los recursos forestales en Madre de Dios Contribution of forestry and agro-industrial research to the sustainable use of forest resources in Madre de Dios <i>Jorge Santiago Garate-Quispe</i> e171
Artículos originales	Reservas de carbono en cuatro sistemas agroforestales combinadas con <i>Theobroma cacao</i> L., Madre de Dios Carbon stocks in four agroforestry systems combined with <i>Theobroma cacao</i> L., Madre de Dios <i>Oliver Surco-Huacachi, Jorge Santiago Garate-Quispe</i> e147
	Extracción y caracterización fisicoquímica del tánico de la corteza de caoba y cedro en el distrito de Tambopata, Madre de Dios Extraction and physical-chemical characterization of the tannic of the mahogany and cedar bark in the district of Tambopata, Madre de Dios <i>Rosel Quispe-Herrera, Yoni Fernández-Herrera, Leoncio Solis-Quispe, Yolanda Paredes-Valverde</i> e150
	Siembra directa de semillas de <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) aplicando dos densidades para la recuperación de suelos degradados por la actividad minera en la Amazonía peruana Direct sowing of seeds of <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) applying two densities for the recovery of soils degraded by mining activity in the Peruvian amazon <i>Emer Rosales-Solórzano, Pablo Huayllani-Humani, Raul Huanaco-Huanca</i> e152
	Evaluación de la aplicación de tecnologías de fermentación y secado de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) tipo CCN-51 y Criollo Evaluation of the application of technologies for fermentation and drying of cocoa (<i>Theobroma cacao</i> L.) type CCN-51 and Criollo <i>Roy Gutierrez-Paredes, Guisela Gonzales-Fuentes, Miguel Chávez-Pinchi</i> e156
	Manejo de dos técnicas y dosis de disolventes para mejorar las propiedades de textura, pegajosidad y olor del cuero vegetal en base a látex de shiringa (<i>Hevea brasiliensis</i>) Management of two techniques and doses of solvents to improve the texture, stickiness and odor properties of vegetable leather based on rubber latex (<i>Hevea brasiliensis</i>) <i>Leidith Canal-Lezema, Lastenia Cutipa-Chavez</i> e159



Editorial

Aportes de la investigación forestal y agroindustrial al uso sostenible de los recursos forestales en Madre de Dios

Contribution of forestry and agro-industrial research to the sustainable use of forest resources in Madre de Dios

Jorge Santiago Garate-Quispe ^{1*} 

¹ Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Madre de Dios, Perú

Recibido: 15/11/2021

Aceptado: 27/12/2021

Publicado: 25/01/2022

*Autor de correspondencia: jgarate@unamad.edu

Madre de Dios es reconocida como la “Capital de la Biodiversidad” y es considerada como una de las zonas con mayor biodiversidad de la Tierra (Del Aguila Feijoo & Walker, 2018; Swenson et al., 2011). Sin embargo, múltiples factores, principalmente antrópicos, generan la pérdida acelerada de los bosques (Garate-Quispe et al., 2021). Siendo la minería aurífera, tala ilegal y la agricultura las principales fuentes de deforestación en Madre de Dios (Aларcon Aguirre et al., 2021). De estos, la minería aurífera es considerada como la principal fuente de pérdida de bosques (Kalamandeen et al., 2020) y la que genera los mayores impactos negativos en los ecosistemas (Gerson et al., 2022).

Por otro lado, la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), la primera casa de estudios superiores de Madre de Dios, creada con Ley N° 27297 de fecha 5 de julio del año 2000. Desde hace más de 20 años viene desarrollándose en la región Madre de Dios, y es considerada como una de las instituciones referentes en investigación científica.

Así, desde la obtención del licenciamiento en octubre de 2019, la UNAMAD ha venido mejorando las condiciones básicas de calidad con el objetivo de formar profesionales líderes, investigadores e innovadores con orientación humanística, científica y tecnológica, que contribuyan al desarrollo sostenible de la Amazonia y competitividad del país con identidad cultural, espíritu emprendedor y responsabilidad social. Además, desde el 2019 la producción científica de la UNAMAD ha venido incrementándose, a pesar de las restricciones generadas por la pandemia del Covid-19.

En este contexto y como iniciativa de la UNAMAD, a través del Vicerrectorado de Investigación, con gran satisfacción presentamos el primer número de la *Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas* (RACBA), el cual se ha creado cumpliendo con las exigencias para su indización en base de datos e índices importantes como Latindex, Redalyc y Scielo. La RACBA será editada por la Dirección de Institutos de Investigación y tendrá una periodicidad de publicación semestral (enero-junio y julio-diciembre). Asimismo, RACBA servirá como medio para difusión de conocimiento científico y tecnológico generado en la Amazonía en las áreas temáticas de las disciplinas de Agricultura, Forestal, Biotecnología, Agrícola, Agroindustria, Matemáticas, Física y Química, Meteorología, Clima e Hidrología.

El presente número consiste en cinco estudios desarrollados en la Amazonia de la región Madre de Dios, distribuidos en diferentes tipos de cobertura vegetal, como bosques primarios, sistemas agroforestales y áreas degradadas por actividades de minería aurífera. Los cuáles serán un gran aporte a las ciencias forestales y agroindustriales, y contribuirán al uso sostenible de los recursos forestales en Madre de Dios y el mundo.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

- Alarcon Aguirre, G., Canahuire Robles, R. R., Guevara Duarez, F. M., Rodríguez Achata, L., Gallegos Chacón, L. E., & Garate-Quispe, J. (2021). Dynamics of forest loss in the southeast of the Peruvian Amazon: a case study in Madre de Dios. *Ecosistemas*, 30(2), 1-11. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2175>
- Del Aguila Feijoo, M., & Walker, T. R. (2018). Correspondence to the Editor Re: Artisanal and small-scale gold mining impacts in Madre de Dios, Peru: Management and mitigation strategies. *Environment International*, 111, 133-134. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.11.029>
- Garate-Quispe, J. S., Canahuire-Robles, R., Surco-Huacachi, O., & Alarcón-Aguirre, G. (2021). Desarrollo estructural y composición florística arbórea en áreas afectadas por minería aurífera en la Amazonía peruana: a 20 años de su reforestación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92, 923437. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3437>
- Gerson, J. R., Szponar, N., Zambrano, A. A., Bergquist, B., Broadbent, E., Driscoll, C. T., Erkenwick, G., Evers, D. C., Fernandez, L. E., Hsu-Kim, H., Inga, G., Lansdale, K. N., Marchese, M. J., Martinez, A., Moore, C., Pan, W. K., Purizaca, R. P., Sánchez, V., Silman, M., ... Bernhardt, E. S. (2022). Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. *Nature Communications*, 13(1), 559. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-27997-3>
- Kalamandeen, M., Gloor, E., Johnson, I., Agard, S., Katow, M., Vanbrooke, A., Ashley, D., Batterman, S. A., Ziv, G., Holder-Collins, K., Phillips, O. L., Brondizio, E. S., Vieira, I., & Galbraith, D. (2020). Limited biomass recovery from gold mining in Amazonian forests. *Journal of Applied Ecology*, 57(9), 1730-1740. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13669>
- Swenson, J. J., Carter, C. E., Domec, J.-C., & Delgado, C. I. (2011). Gold Mining in the Peruvian Amazon: Global Prices, Deforestation, and Mercury Imports. *PLoS ONE*, 6(4), e18875. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018875>



Artículo original / Original article

Reservas de carbono en cuatro sistemas agroforestales combinadas con *Theobroma cacao* L., Madre de Dios

Carbon stocks in four agroforestry systems combined with *Theobroma cacao* L., Madre de Dios

Oliver Surco-Huacachi ^{1*} ; Jorge Santiago Garate-Quispe ² 

¹ Gobierno Regional de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú

² Universitat de Barcelona, Barcelona, España

Recibido: 01/11/2021

Aceptado: 15/12/2022

Publicado: 25/01/2022

*Autor de correspondencia: oliver_surco@yahoo.es

Resumen: El objetivo del estudio fue cuantificar el carbono en sistemas agroforestales combinadas con cacao (*Theobroma cacao*) en cuatro distritos de Madre de Dios. Se midió el carbono del suelo, hojarasca y vegetación, mediante metodologías aceptadas por el ICRAF. Para ello, se evaluaron cuatro sistemas agroforestales con cacao en diferentes edades (8, 10, 12 y 15 años). Se utilizaron ecuaciones alométricas para estimar el contenido de biomasa aérea y el carbono almacenado. El sistema con mayor acumulación de carbono aéreo fue la parcela con cacao de 12 años (131,83 t/ha), con *Bertholletia excelsa* (castaña), *Jacaranda copaia* (achihua) y *Schizolobium parahyba* (pashaco). El cacao con un distanciamiento de 5 m × 5 m y las demás especies tuvieron un distanciamiento de 10 m × 10 m. Se concluye que las diferentes edades del sistema agroforestal combinado con cacao presentan distintos niveles de almacenamiento de carbono total.

Palabras clave: biomasa sobre el suelo; ecuaciones alométricas; secuestro de carbono; sistemas agroecológicos

Abstract: The objective of the study was to quantify carbon in agroforestry systems combined with cacao (*Theobroma cacao* L.) in four districts of Madre de Dios. Soil carbon, litter, and aboveground biomass were measured using methodologies accepted by ICRAF. Four agroforestry systems with cacao were evaluated at different ages (8, 10, 12 and 15 years). Allometric equations were used to estimate the aerial biomass content and the stored carbon. The system with the highest aboveground carbon accumulation was the plot with 12-year-old cocoa (131.83 t/ha), with *Bertholletia excelsa* (Brazil-nut), *Jacaranda copaia* (achihua) and *Schizolobium parahyba* (pashaco). Cocoa with a spacing of 5 m × 5 m, and the other species had a spacing of 10 m × 10 m. It is concluded that the different ages of the agroforestry system combined with cocoa present different levels of total carbon stock.

Keywords: agroecological systems; allometric equations; carbon sequestration; above-ground biomass

1. Introducción

En Madre de Dios, la deforestación por parte de los pequeños agricultores es muy frecuente, y se caracteriza el desbroce y posterior quema de zonas de bosque naturales con potencial forestal (Decuyper et al., 2022). La actual intensificación de las prácticas agrícolas está provocando una degradación insostenible de los suelos. Las principales formas de esta degradación son la pérdida de materia orgánica y la liberación de gases de efecto invernadero, la aplicación excesiva de fertilizantes, la erosión, la contaminación, la acidificación, la salinización y la pérdida de diversidad genética (Kopittke et al., 2019). De esta manera se produce una pérdida en la productividad y fertilidad del suelo, y como consecuencia los agricultores deben desplazarse a otro lugar para continuar con su actividad, lo que a su vez provoca una mayor degradación del suelo y los recursos forestales (Flores et al., 2019). La agricultura y la ganadería constituyen la principal causa directa de degradación de tierras en la amazonia de Madre de Dios (Alarcon et al., 2021). La mayoría de los agricultores dependen del bosque amazónico y que contribuyen a su degradación (Bandy, 2004). En este contexto, el uso de sistemas agroforestales (SAF) para la recuperación de tierras degradadas permite diversificar la producción de biomasa y puede aumentar la resiliencia ecológica, económica y social de las zonas afectadas por actividades antrópicas (Siqueira et al., 2020).

Los sistemas agroforestales integran cultivos agrícolas arbustos y especies arbóreas en la misma zona y tienen el potencial de mejorar las condiciones del suelo y la calidad del agua, así como de aumentar la biodiversidad y el secuestro de carbono (Siqueira et al., 2020). Debido a esto son reconocidos como una alternativa para contribuir al desarrollo sostenible por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica y la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación, la Conservación de los Bosques y el Aumento de las Reservas de Carbono (REDD+) (Nadège et al., 2019). Por lo tanto, la adopción de sistemas agroforestales se está promoviendo como una alternativa productiva sostenible para las comunidades locales, que puede compensar parcialmente los impactos negativos de los usos de la tierra de pastoreo extensivo a largo plazo y de la agricultura de bajos insumos (Cherubin et al., 2019).

El almacenamiento de carbono es un servicio medioambiental que promueve el uso de árboles en sistemas agroforestales y puede utilizarse para financiar iniciativas de inversión regionales y nacionales (IPCC, 2019). Por ello, diversos factores ambientales y vegetales influyen en la fotosíntesis y la respiración, como la radiación solar, la temperatura, la humedad, la presencia de agua y nutrientes, el ozono y otros contaminantes en el aire (Aristizabal & Guerra, 2002). De esta manera el cambio climático tiene un impacto en estos procesos, además las evidencias del cambio climático y el calentamiento global han inducido un creciente interés por cuantificar las reservas de carbono en la biomasa en la vegetación y el suelo (Zaro et al., 2020). Debido a esto los SAF vienen recibiendo especial interés, porque ofrecen más opciones para mitigar el cambio climático con la probabilidad de aumentar el rendimiento de los cultivos y de obtener otros productos medioambientales útiles (Adhikari et al., 2020).

En este sentido, el objetivo de la investigación es evaluar cuantitativamente el carbono almacenado (suelo, necromasa y vegetación) en cuatro sistemas agroforestales combinadas con cacao (*Theobroma cacao* L.) asociados con especies frutales y maderables, en parcelas ubicadas en cuatro distritos del departamento de Madre de Dios, Perú.

2. Materiales y métodos

Ubicación de las parcelas. Las parcelas agroforestales combinadas con cacao fueron evaluadas en cuatro distritos: San Francisco de Asís del distrito Las Piedras, Bajo Colorado del distrito de Madre de Dios, Tigremayoc del distrito de Huepetuhe y Monte Sinaí del distrito de Tambopata (Tabla 1). En los sistemas agroforestales el cultivo principal es el cacao y con diferentes combinaciones de especies maderables y frutales, con tiempo de establecimiento (edad) de 8 años, 10 años, 12 años y 15 años. La temperatura promedio en el área de estudio es de 28,5 °C y una

precipitación anual entre 3 000 mm y 6 000 mm. Esta zona tiene un paisaje de terraza media y terraza baja, de topografías planas a casi a nivel (GOREMAD & IIAP, 2009).

Tabla 1. Parcelas agroforestales

Sistema agroforestal	Edad	Distritos	Altitud	Coordenadas UTM Datum WGS 19S	
<i>Theobroma cacao</i> (cacao), <i>Bertholletia excelsa</i> (castaña) y <i>Theobroma grandiflorum</i> (copoazú)	8 años	Las Piedras	224 m	431071E	8596115N
<i>Theobroma cacao</i> (cacao), <i>Schizolobium parahyba</i> (pashaco) y <i>Dipteryx</i> sp. (shihuahuaco)	10 años	Huepetuhe	206 m	463352E	8593065N
<i>Theobroma cacao</i> (cacao), <i>Bertholletia excelsa</i> (castaña), <i>Jacaranda copaia</i> (achihua) y <i>Schizolobium parahyba</i> (pashaco)	12 años	Madre de Dios	270 m	347553E	8599735N
<i>Theobroma cacao</i> (cacao), <i>Bertholletia excelsa</i> (castaña) y <i>Bactris gasipaes</i> (pijuayo)	15 años	Tambopata	419 m	471741E	8595113N

Metodología. Se utilizó la metodología propuesta por Según Larrea (2007) y Arévalo & Alegre (2003), en cada uno de los sistemas de establecieron transectos donde se evaluaron y determinaron transectos al azar, tratando de abarcar una mayor extensión del área de estudio. El contenido de carbono de cada ecosistema se estimó utilizando diversas muestras de biomasa aérea, y de los diferentes componentes (suelo y necromasa).

Se utilizó la metodología desarrollada por el Consejo Internacional para la Investigación en Agroforestería - ICRAF (Arévalo & Alegre, 2003) para árboles con diámetro entre 2,5 cm y 30 cm de diámetro. Se delimitaron parcelas de 4 m x 25 m (0,02 ha). Se midió la altura (H) y diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles vivos, muertos en pie y caídos muertos. Se eligió al azar dos cuadrantes de 1 m x 1 m en cada una de las parcelas de 4 m x 25 m. En estas se cortó toda biomasa epigea procedente de arbustos menores a 2,5 cm de DAP y biomasa herbácea. Dentro de cuadrantes de 1 m x 1 m se tomaron sub-cuadrantes de 0,5 m x 0,5 m para cuantificar la hojarasca acumulada. En estos cuadrantes de 0,5 x 0,5 también se colectó las muestras de suelo en bolsas herméticas y codificadas, posteriormente fueron secadas y tamizadas. Para cuantificar la densidad aparente se utilizó el método de cilindro de volumen propuesto por Peña (2008). Las muestras fueron enviadas al laboratorio de suelo y agua de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM).

La biomasa arbórea en pie se estimó utilizando la ecuación propuesta por Arévalo & Alegre (2003), Ecuación 1.

$$BA = 0,1184 \times DAP^{2,53} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde:

BA = Biomasa vegetal

DAP = Diámetro de la altura del pecho

Para estimar la biomasa de árboles caídos muertos se utilizó la siguiente ecuación (Ecuación 2).

$$BACM = 0,4 \times DAP^2 \times L \times 0,25\pi \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Donde:

DAP = Diámetro a la altura del pecho

L = Largo del tronco

$\pi = 3,1416$

0,4 y 0,25 = constantes

Para estimar la biomasa arbustiva-herbácea se utilizó la siguiente ecuación (Ecuación 3).

$$BAH = \frac{0,01 \times PSM \times PFT}{PFM} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

Donde:

BAH = biomasa arbustiva/ herbácea, materia seca.
 PSM = peso seco de la muestra colectada
 PFM = peso fresco de la muestra colectada
 PFT = Peso fresco de la muestra colectada
 0,01 = factor de conversión para herbácea

Carbono en Hojarasca (t/ha). Se registró el peso fresco total por 0,25 m²; de ésta se sacó una muestra y se registró su peso; se colocó en bolsas de papel debidamente codificadas y se secaron en estufas a 75 °C hasta obtener el peso seco constante (Arévalo & Alegre, 2003). El peso seco obtenido se llevó a toneladas por hectárea y multiplicó por el factor 0,45 para obtener la cantidad de carbono por hectárea (C/ha) en la hojarasca. Se asume que el 45% del peso seco constante de la biomasa vegetal es carbono.

Cálculo del contenido de carbono en la biomasa vegetal. Para calcular el contenido de carbono en la biomasa vegetal se utilizó la siguiente ecuación (Ecuación 4).

$$CC = 0,45 \times B \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Donde:

CC = contenido de carbono en la biomasa vegetal
 B = Biomasa vegetal

Carbono orgánico en el suelo. Se utilizó la siguiente ecuación Larrea (2007), Ecuación 5.

$$CS = CC \times DA \times P \quad [\text{Ecuación 5}]$$

Dónde:

CS = Carbono en el suelo (tC/ha)
 CC = Contenido de carbono (%)
 DA = Densidad aparente (g/cm³)
 P = Profundidad de muestreo (0-30 cm)

Análisis estadístico. El análisis estadístico se realizó con los programas SPSS v.26 y SigmaPlot 14.5. Mediante análisis descriptivos se calculó la biomasa y el carbono de los sistemas agroforestales evaluados según componentes (aérea, necromasa, suelo) y según tiempo de establecimiento (edad). Los análisis se representaron mediante Tablas y gráficos de cajas generados en el SigmaPlot. Para modelar los cambios en el contenido de carbono en los sistemas agroforestales según tiempo de establecimiento (8 años, 10 años, 12 años y 15 años), se realizó un análisis de regresión simple, y comparando un modelo lineal con el modelo sigmoidal de Gompertz. Para caracterizar y comparar la biomasa y contenido de carbono según componente (aérea, necromasa y suelo) se realizaron gráficos de boxplot.

3. Resultados y discusión

3.1. Biomasa en los componentes aéreos y necromasa

Biomasa en las parcelas. El sistema que acumuló mayor biomasa aérea fue la parcela con cacao de 12 años (166,60 t/ha) asociado con especies forestales como castaña, achihua y pashaco, el cacao con un distanciamiento de 5 m × 5 m y las demás especies tuvieron un distanciamiento de 10 m × 10 m. Por lo tanto, este sistema agroforestal se puede considerar excelente, debido a la

importante cantidad de biomasa aportada por los árboles y el aporte de la abundante hojarasca (Larrea, 2007).

Se encontró que la biomasa en las parcelas de cacao se incrementa con el tiempo hasta cierta edad (Figura 1). Sin embargo, el incremento de la biomasa de hojarasca fue progresiva desde la parcela de 10 años, esto se debe a que estas parcelas poseen un pH entre 4,0–4,7. Herrera & Alvarado (1998) sugieren que en parcelas agroforestales de cacao, la calidad y el potencial productivo de un lugar están influidos por la calidad del terreno y los parámetros del suelo, que pueden utilizarse para estimar la productividad, la cantidad de biomasa y otros aspectos del crecimiento de un cultivo específico, ya sea agrícola o forestal.

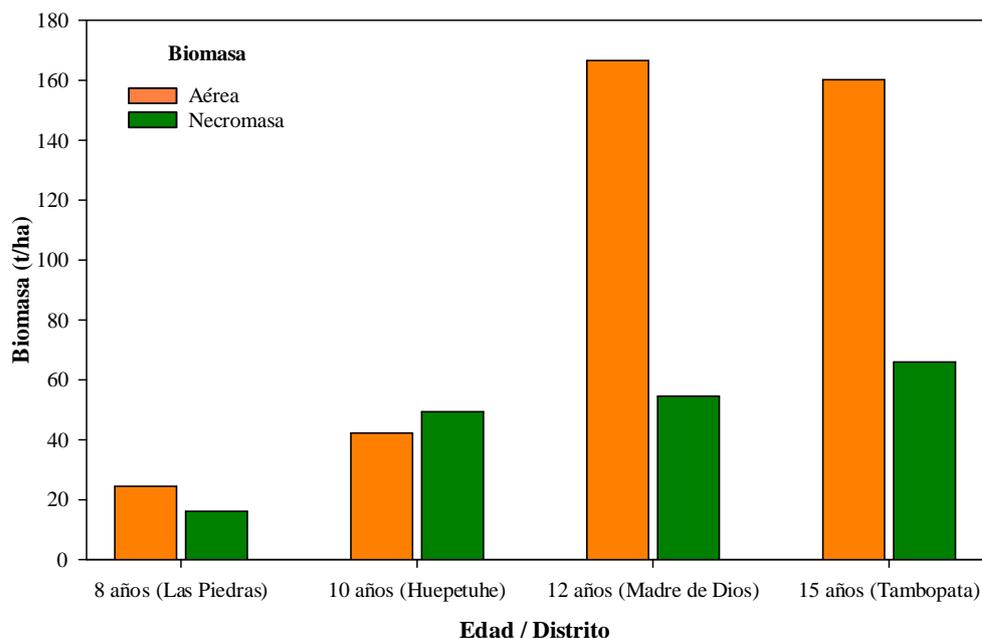


Figura 1. Biomasa del componente aéreo y necromasa de las diferentes parcelas de estudio.

Por otro lado, Alegre et al. (2002) y Lapeyre et al. (2004) encontraron que la acumulación de biomasa en los sistemas agroforestales está directamente relacionada con el tiempo de establecimiento del sistema agroforestal. Esto se corrobora con los resultados encontrados en el presente estudio, ya que el contenido de carbono y biomasa encontrado en los sistemas agroforestales de 12 y 15 años fueron superiores a los de 8 y 10 años de establecimiento, entre 46%-79% más carbono almacenado (Tabla 2).

El sistema que acumuló más necromasa fue la parcela con cacao de 15 años (66 t/ha) asociado con Achihua y Castaña, el cacao poseía un distanciamiento de 4 m x 6 m y las demás especies tuvieron un distanciamiento de 18 m y 20 m.

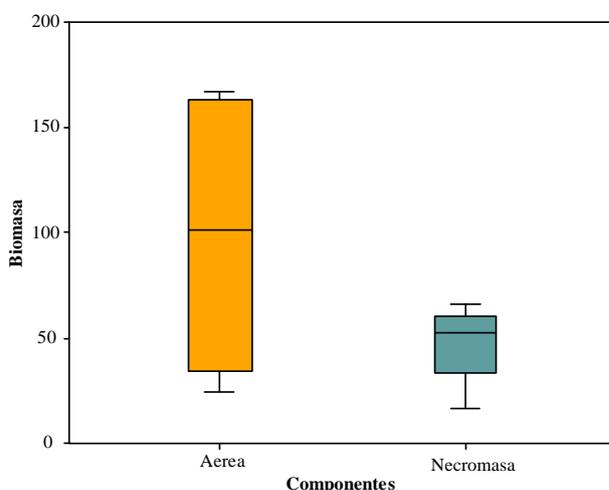
En la parcela agroforestal de 8 años los componentes se caracterizaron por tener una biomasa media de 20,35 t/ha en estimación mínima. En la parcela agroforestal de 10 años los componentes se caracterizan por tener una biomasa media de 45,85 t/ha. En la parcela agroforestal de 12 años los componentes se caracterizaron por tener una biomasa media de 110,60 t/ha. La parcela agroforestal de 15 años los componentes se caracterizaron por tener una biomasa media de 113,1 t/ha.

En la parcela del distrito Las Piedras con edad de 8 años se reportó una acumulación con mínima de 16,20 t/ha y acumulación máxima de 24,50 t/ha. Para el caso de la parcela del distrito de Madre de Dios con 12 años de edad una acumulación mínima de mínima de 54,60 t/ha y acumulación máxima de 166,60 t/ha (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de carbono en biomasa, necromasa y suelo

Biomasa aérea	Cod	Estándar (t/ha)	Larrea (t/ha)
08 A-Las Piedras	08 A	31,32	24,48
10 B-Huepetuhe	10 B	93,65	42,34
12 A-Madre de Dios	12 A	200,16	166,56
15 A-Tambopata	15 A	217,63	160,18
Biomasa Necromasa	Cod	P. Fresco (gr)	P Seco (gr)
08 A-Las Piedras	08 A	90	40,50
10 B-Huepetuhe	10 B	190	123,50
12 A-Madre de Dios	12 A	210	136,50
15 A-Tambopata	15 A	250	165
Suelo Promedio	Cod	Densidad (gr/cm ³)	%C
08 A-Las Piedras	08 A	1,27	1,47
10 B-Huepetuhe	10 B	1,05	1,28
12 A-Madre de Dios	12 A	1,39	1,70
15 A-Tambopata	15 A	1,17	1,98
Carbono aéreo	Cod	F (0,45) Estándar	F (0,45) Larrea
08 A-Las Piedras	08 A	14,09	11,02
10 B-Huepetuhe	10 B	42,14	19,05
12 A-Madre de Dios	12 A	90,07	74,95
15 A-Tambopata	15 A	97,93	72,08
Carbono Necromasa	Cod	F (0,45)	CC en t/ha
08 A-Las Piedras	08 A	18,23	7,29
10 B-Huepetuhe	10 B	55,58	22,23
12 A-Madre de Dios	12 A	61,43	24,57
15 A-Tambopata	15 A	74,25	29,70
Carbono suelo	Cod	% C	CC t/ha
08 A-Las Piedras	08 A	1,47	23,58
10 B-Huepetuhe	10 B	1,28	14,33
12 A-Madre de Dios	12 A	1,70	32,31
15 A-Tambopata	15 A	1,98	27,06

Biomasa en componentes. Los componentes de biomasa aérea se caracterizaron por tener una acumulación media de biomasa con 98,40 t/ha en estimación mínima para el 95% de confianza del total del componente aéreo y fluctúa entre 21,60 t/ha y 218,40 t/ha. En los componentes de la necromasa se caracterizaron por tener una acumulación media 46,55 t/ha en el 95% de confianza del total del componente aéreo y fluctúa entre 12,50 t/ha y 80,50 t/ha (Figura 2).

**Figura 2.** Flujo de biomasa en los componentes

3.2. Carbono en parcelas y componentes

Considerando el carbono almacenado en los tres componentes del sistema agroforestal (aéreo, suelo y necromasa), el sistema agroforestal de 15 años fue el que acumuló más carbono fue la parcela con cacao de 15 años, 154,7 tC/ha en total, de las cuales el carbono aéreo es el de mayor aporte con 90,1 tC/ha. Esta diferencia con los demás sistemas agroforestales se debería a la presencia de especies forestales, como castaña, achihua y pashaco, y a un menor distanciamiento de plantación (5 m × 5 m), mientras que las especies tuvieron un mayor distanciamiento (10 m × 10 m) (Figura 3). Por otro lado, se encontró una relación directa entre la edad y el carbono aéreo, suelo y en necromasa (Figura 3), es decir a mayor tiempo de establecimiento del sistema agroforestal mayor será su almacenamiento de carbono. Sin embargo, para el carbono aéreo y total el almacenamiento de carbono en los sistemas agroforestales tiende a estabilizarse a partir de los 12 años. Esto se sustenta en que el modelo sigmoïdal de Gompertz fue de mejor ajuste para la relación entre la edad del sistema agroforestal y el carbono aéreo y total (Figura 3).

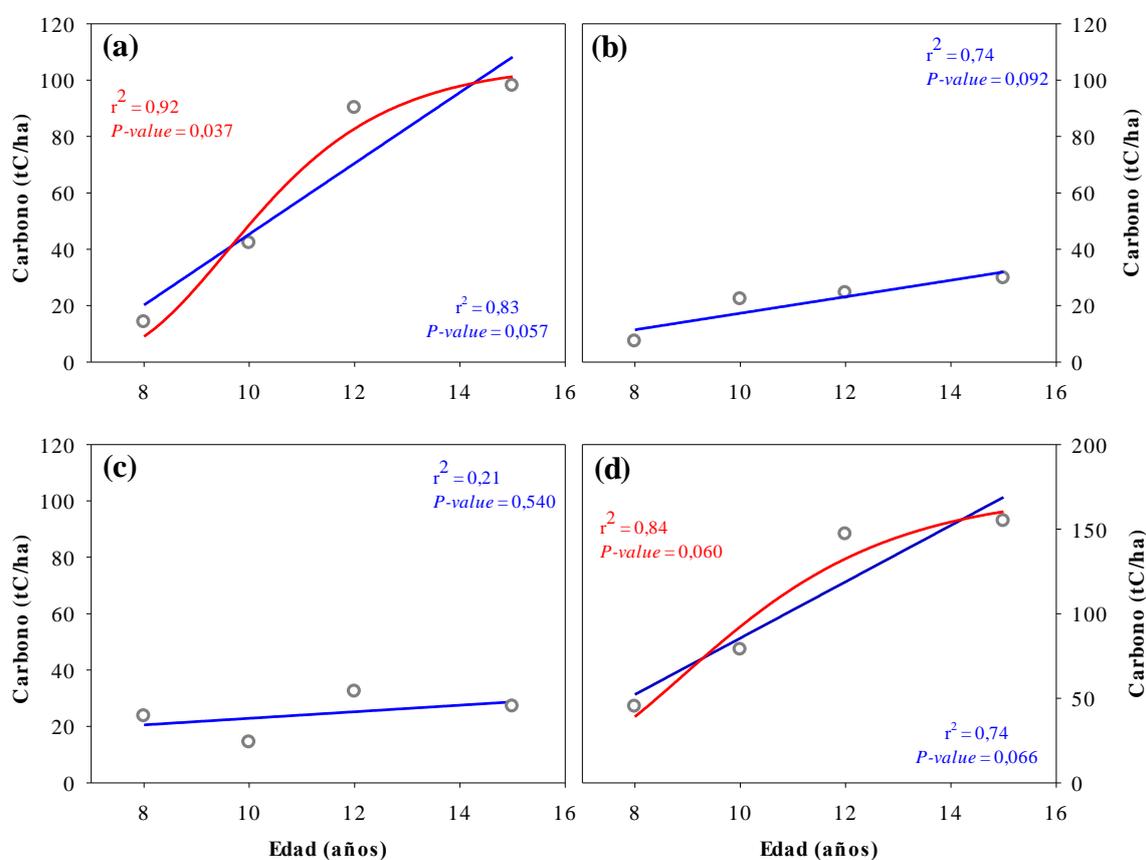


Figura 3. Dispersión de carbono en función a la edad. (a) aérea, (b) necromasa, (c) suelo y (d) total.

Se registró la cantidad de carbono almacenado por la vegetación en los sistemas con cacao de distintas edades, siendo los sistemas agroforestales de 12 y 15 años los que alcanzaron los niveles más altos de carbono, entre 90,1 a 97,9 tC/ha. Estos valores son superiores al reportado por Bringas-Paredes (2010) en sistemas agroforestales con cacao y laurel con edades entre 9 a 11 años, quien encontró un almacenamiento de carbono en estos sistemas entre 74,80 tC/ha y 69,50 tC/ha. Bringas-Paredes (2010) atribuyó estos altos niveles de almacenamiento de carbono a la presencia de laurel, una especie con buenas características para la acumulación de materia orgánica y fijación de carbono. Además, Ortiz & Riascos (2006) mencionan que, en un sistema agroforestal asociado con laurel, esta especie almacena entre 80%-85% del carbono total del sistema.

Sin embargo, De La Cruz (2010) en sistemas agroforestales en la región San Martín (Tocache) encontraron contenido de carbono superiores al reportando en el presente estudio. El valor más alto de contenido de carbono fue en un sistema agroforestal de años (168,50 tC/ha) y el menor uno de 6 años de establecimiento (95,80 tC/ha), esto se debería a que la cantidad de carbono almacenada en los árboles aumenta a medida que pasa el tiempo (De La Cruz, 2010). Similar patrón se observó en el presente estudio, con mayor contenido de carbono en las parcelas con mayor tiempo de establecimiento (Tabla 2).

Por otro lado, se observó un mínimo aporte del carbono en hojarasca de 8 años, 10 años, 12 años y 15 años; con 7,29 t/ha; 22,23 t/ha; 24,57 t/ha y 29,70 t/ha respectivamente (Tabla 2). Estos son inferiores a los encontrados por Salazar (2012), que encontró un promedio de entre 0,05 a 6,56 tC/ha. Esta diferencia se debería a las diferentes actividades de mantenimiento que se realizan en las plantaciones (limpieza, raleo, etc.), en la cual los agricultores optaron por retirar las hojas podadas de la plantación, mientras que en el presente estudio se excluyó parcelas con actividades silviculturales.

Carbono almacenado en los diferentes componentes, la dispersión de carbono se reporta con una acumulación media de 44,27 tC/ha en estimación mínima para el componente aéreo, 20,94 tC/ha en estimación mínima para el componente de necromasa, 24,32 tC/ha en estimación mínima para el componente suelo (Figura 4).

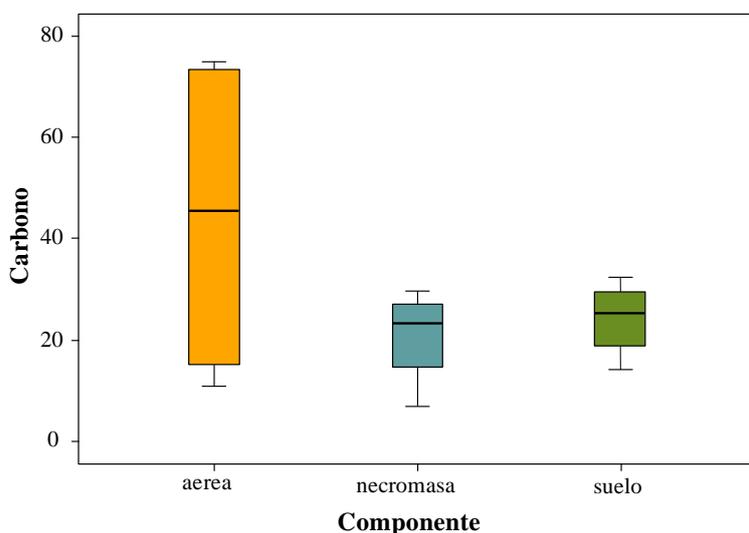


Figura 4. Flujo de carbono en los diferentes componentes

Aristizabal & Guerra (2002) encontraron un almacenamiento de carbono, en promedio de 64,54 tC/ha en sistemas agroforestales de cacao-laurel de 15 años de establecimiento. Herrera (2010) estudió cacaotales con almacenamiento de 90,49 tC/ha en biomasa arriba del suelo con parcelas de 15 años de establecimiento. Los resultados encontrados en el carbono aéreo almacenado en el presente estudio son inferiores a los encontrados por Herrera (2010) (Tabla 2).

En relación a reservas de carbono encontradas en la biomasa aérea, necromasa y suelo de diferentes sistemas agroforestales se cuenta con el estudio Larrea (2007) que reportó parcelas de cacao con 8 años de edad alcanzo a un promedio de 73,79 tC/ha dicha parcela asociada con capirona, bolaina y caoba. Además, Lapeyre et al. (2004) en sistemas agroforestales de 15 años en promedio acumulaba una reserva de 47 tC/ha en especies de sombra, una cifra bastante cercana a la media de lo encontrado en el presente estudio.

4. Conclusiones

Las diferentes edades del sistema agroforestal combinado con cacao presentan distintos niveles de almacenamiento de biomasa total, y por lo tanto diferentes niveles de fijación de carbono. Por lo tanto, se concluye que la biomasa y el almacenamiento de carbono posee una tendencia no lineal, sigmoideal de Gompertz, es decir, las reservas de carbono se estabilizan a partir de los 12 a 15 años de edad. Además, conciben una relación directa, es decir, se acumulan biomasa según la edad y longevidad de la especie. Finalmente, la cantidad de carbono en el suelo se define por las características fisicoquímicas del suelo y no las especies y/o edad del sistema agroforestal.

Financiamiento

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no incurren en conflicto de intereses.

Contribución de autores

S-H, O: conceptualización, análisis formal, investigación, escritura (preparación del borrador final).

G-Q, J. S.: metodología, investigación, curación de datos, redacción (revisión y edición).

Referencias bibliográficas

- Adhikari, B., Lodhiyal, N., & Lodhiyal, L. (2020). Assessment of crop yield, productivity and carbon sequestration in agroforestry systems in Central Himalaya, India. *Agroforestry Systems*, 94(1), 281-296. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00388-2>
- Alarcon, G., Canahuire, R., Guevara, F., Rodríguez, L., Gallegos, L., & Garate-Quispe, J. (2021). Dynamics of forest loss in the southeast of the Peruvian Amazon: a case study in Madre de Dios. *Ecosistemas*, 30(2), 1-11. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2175>
- Alegre, J., Arevalo, L., & Ricse, A. (2002). *Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonia peruana*. Consejo Internacional para la Investigación en Agroforestería ICRAF/ Instituto Nacional para la Innovación Amazónica INIA. Perú.
- Arévalo, C., & Alegre, J. (2003). *Manual de Determinación de Carbono en los Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en el Perú*. ICRAF, CODESU, INIA e INRENA.
- Aristizabal, J., & Guerra, A. (2002). *Estimación de la tasa de fijación de Carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero Cordia alliodora - cacao Theobroma cacao L., -plátano Musa paradisiaca* [Tesis de grado]. Universidad Distrital.
- Bandy, D. (2004). *Estudio de Suelos en la Zonas del Programa de Desarrollo Alternativo*. CARE/PDA.
- Bringas-Paredes, H. (2010). *Estimación del carbono almacenado en un Sistema Agroforestal de Cacao (Theobroma cacao L.) comparado con un bosque secundario de tres edades* [Tesis de grado]. Repositorio insitucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/119>
- Cherubin, M., Chavarro-Bermeo, J., & Silva-Olaya, A. (2019). Agroforestry systems improve soil physical quality in northwestern Colombian Amazon. *Agroforestry Systems*, 93(5), 1741-1753. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0282-y>
- Decuyper, M., Chávez, R., Lohbeck, M., Lastra, J., Tsendbazar, N., Hackländer, J., Herold, M., & Vågen, T.-G. (2022). Continuous monitoring of forest change dynamics with satellite time

- series. *Remote Sensing of Environment*, 269, 112829.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112829>
- De La Cruz, M. (2010). *Estimación del carbono almacenado en plantaciones de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq) de diferentes edades en Pumawasi- Uchiza* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Flores, B., Staal, A., Jakovac, C., Hirota, M., Holmgren, M., & Oliveira, R. (2019). Soil erosion as a resilience drain in disturbed tropical forests. *Plant and Soil*, 11-25.
<https://doi.org/10.1007/s11104-019-04097-8>
- Gobierno Regional de Madre de Dios [GOREMAD], & Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana [IIAD]. (2009). *Macro Zonificación Ecológica Económica como base para el Ordenamiento Territorial*. Madre de Dios.
- Herrera, J. (2010). *Estimación de la biomasa y carbono almacenado en dos sistemas agroforestales de cacao (Theobroma cacao L.) de diferentes edades en la Provincia de Leoncio Prado* [Tesis de grado]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.
<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/123>
- Herrera, B., & Alvarado, A. (1998). *Calidad de sitio y factores ambientales en bosques de Centro America*. Agronomía Costarricense.
- Kopittke, P., Menzies, N., Wang, P., McKenna, B., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- 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), 35-44. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v3n1-2/a06v3n1-2.pdf>
- Larrea, G. (2007). *Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de Theobroma cacao L. & determinación de la ecuación alométrica para el cacao* [Tesis de grado]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1152>
- Ortiz, A., & Riascos, L. (2006). *Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao Theobroma cacao L y laurel Cordia alliodora (Ruiz y Pavón) Oken en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica* [Trabajo de grado]. Repositorio institucional de la Universidad de Nariño. <http://hdl.handle.net/11554/245>
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [IPCC]. (2019). Cropland – Chapter 5. In Volume 4 – *Agriculture, Forestry and Other Land Use*. 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC: Geneva, Switzerland.
- Peña, J. (2008). *Guía metodológica para estudios y análisis de suelos tropicales*. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios-MDD, Suelos Forestales, CAP III.
- Salazar, E. (2012). *Cuantificación del carbono en la biomasa aérea de tres diferentes usos de la tierra en la cuenca de Aguaytía sectores: Irazola, curimaná y campo verde - Región Ucayali* [Tesis de grado]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.
<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/541>
- Siqueira, C., Chiba, M., Moreira, R., & Abdo, M. (2020). Carbon stocks of a degraded soil recovered with agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 94(3), 1059-1069.
<https://doi.org/10.1007/s10457-019-00470-9>
- Zaro, G., Caramori, P., Yada, G., Sanquetta, C., Filho, A., Nunes, A., Prete, C., & Voroney, P. (2020). Carbon sequestration in an agroforestry system of coffee with rubber trees compared to open-grown coffee in southern Brazil. *Agroforestry Systems*, 94(3), 799-809.
<https://doi.org/10.1007/s10457-019-00450-z>



Artículo original / Original article

Extracción y caracterización fisicoquímica del tánico de la corteza de caoba y cedro en el distrito de Tambopata, Madre de Dios

Extraction and physical-chemical characterization of the tannic of the mahogany and cedar bark in the district of Tambopata, Madre de Dios

Rosel Quispe-Herrera ^{1*}; Yoni Fernández-Herrera ¹; Leoncio Solis-Quispe ²; Yolanda Paredes-Valverde ¹

¹ Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Madre de Dios, Perú

² Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú

Recibido: 01/11/2021

Aceptado: 15/12/2021

Publicado: 25/01/2022

*Autor de correspondencia: rherrera@unamad.edu.pe

Resumen: La industria maderera en la región de Madre de Dios, Perú, es una de las actividades económicas más importantes y produce gran cantidad de residuos, entre ellas las cortezas, fuentes potenciales de taninos. El objetivo fue extraer y caracterizar fisicoquímicamente los taninos de la corteza de caoba (*Swietenia macrophylla*) y cedro (*Cedrela odorata*) colectados de árboles maduros, en poblaciones localizadas del distrito de Tambopata - Madre de Dios. Los extractos tánicos fueron obtenidos por extracción sucesiva con solución acuosa salina, y sometidos a análisis para determinar su solubilidad, color, densidad y pruebas de identificación compuestos tánicos. Los resultados mostraron que la corteza de caoba presentó mayor concentración de taninos que la del cedro, alcanzando ambos 46% y 42%, respectivamente; además, el extracto tánico de la corteza de cedro presentó densidad de 0,972 g/mL y la de caoba un 0,976 g/mL. En conclusión, las cortezas de caoba y cedro son fuentes potenciales de taninos del tipo pirogálicos para la industria de productos naturales.

Palabras clave: desechos forestales; extracción sólido-líquido; industria forestal; metabolitos secundarios

Abstract: The wood industry in the region of Madre de Dios, Peru, is one of the most important economic activities and produces a large amount of waste, including bark, potential sources of tannins. The objective was to extract and physicochemically characterize tannins from the bark of mahogany (*Swietenia macrophylla*) and cedar (*Cedrela odorata*) collected from mature trees, in localized populations of the district of Tambopata - Madre de Dios. The tannic extracts were obtained by successive extraction with saline aqueous solution, and subjected to analysis to determine their solubility, color, density, and tannic compound identification tests. The results showed that the mahogany bark presented a higher concentration of tannins than that of the cedar, reaching both 46% and 42%, respectively; in addition, the tannic extract of the cedar bark presented a density of 0.972 g/mL and that of mahogany 0.976 g/mL. In conclusion, mahogany and cedar bark are potential sources of pyrogallic-type tannins for the natural products industry.

Keywords: forest waste; solid-liquid extraction; forest industry; secondary metabolites

1. Introducción

Los taninos son un grupo de compuestos polifenólicos que varían en tamaño, tipos de enlace, composición y contenido entre diferentes especies y tejidos vegetales (Neve-Ombra et al., 2018). En la literatura los taninos fueron descritos como penta-(*m*-digalolil) glucosa, con fórmula molecular $C_{76}H_{52}O_{46}$, derivados del ácido gálico (Guo et al., 2021). Estos compuestos tienen la apariencia de polvo amorfo brillante, escamas brillantes o masa esponjosa; son inodoros; de sabor muy agrio; se oxidan con facilidad cuando están expuestos al aire; son solubles en agua, alcohol y acetona; casi insoluble con benceno, cloroformo, éter y éter de petróleo; en presencia de sales como el cloruro férrico se colorean; tienen la capacidad de precipitar las proteínas en medios acuosos; son inflamables y moderadamente tóxicos (Olivas-Aguirre et al., 2015).

Los taninos fueron clasificados de acuerdo a dos criterios: los productos resultantes de su destilación seca (taninos hidrolizables y condensados) o su origen (taninos fisiológicos y patológicos) (Kato-Schwartz et al., 2020; Neve-Ombra et al., 2018). Los taninos fisiológicos son producidos en condiciones de funcionamiento normal de las células vegetales, por otra parte, los taninos patológicos son producidos por efecto o en respuesta a ataques de insectos. Los taninos se distribuyen en los tejidos de casi toda la planta, depositándose principalmente en los intersticios celulares, donde cumplen la función de antiséptico o conservante (Saravia et al., 2002).

La curtiembre, es un proceso por el cual pieles de animales son transformados en cueros más duraderos, la aplicación de esta tecnología utilizando extractos de plantas data aproximadamente de hace 2000 años, este efecto se atribuye al contenido de taninos presentes en dichos extractos. Los taninos son conocidos en la literatura científica como polifenoles o compuestos fenólicos, estos fitoquímicos son hidrosolubles, con peso molecular que varía de 500 a 3000, estos metabolitos secundarios son producidos por una gran diversidad de plantas. Los taninos son utilizados en el procesamiento de alimentos, por su habilidad de producir la precipitación de alcaloides, gelatinas, proteínas y otros compuestos (Isaza M., 2007).

La corteza de los árboles son fuentes potenciales de taninos, estos compuestos pertenecientes al grupo de los compuestos fenólicos tienen amplia aplicación en diversas industrias, tales como la de pieles, textil, alimentos, farmacéutica, entre otras. Dichos compuestos son utilizados también en la medicina natural por sus propiedades funcionales. Por lo general, la corteza es considerada como residuo o subproducto derivado de la industria maderera, estos representan costos adicionales a las empresas, debido a que la legislación de la mayoría de los países promueve el cuidado del medio ambiente (Espinal-Corrales, 2009).

En Perú, la región Madre de Dios tiene como una de sus principales actividades económicas la producción de madera (Oliveira et al., 2019), destacando las especies forestales, cedro (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* King) (Espinosa & Valle, 2020). Se ha reportado que el cedro presenta un contenido de taninos del tipo hidrolizables o pirogálicos (solubles en agua) y la caoba presenta taninos condensables o catecol, que son insolubles en agua (Espinal-Corrales, 2009). Los extractos brutos de corteza pueden ser obtenidos por el método de extracción sólido-líquido, para disolver las sustancias se puede utilizar la termólisis, reducción de tamaño y coadyuvante acuoso (Espinal-Corrales, 2009).

La corteza de árboles maderables puede ser fuente potencial de taninos para la aplicación en diversas industrias. Por ese motivo, el objetivo del presente estudio fue determinar el rendimiento de extracto total en función de la corteza de caoba y cedro, y caracterizar los extractos de las dos especies en estudio. Para las dos especies se identificaron los tipos de taninos presentes, solubilidad en agua y densidad.

2. Materiales y métodos

Lugar y población de estudio. Las muestras fueron recolectadas en poblaciones naturales de cedro (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* King), localizadas en el distrito de Tambopata, provincia de Tambopata, región Madre de Dios. Las áreas de muestreo estuvieron

concentradas en lugares cercanos a los ejes carreteros. El muestreo se realizó durante enero y febrero del 2017 y se concentró en las comunidades nativa de Infierno ($12^{\circ}43'59.68''S$ y $69^{\circ}14'32.14''W$), Chonta ($12^{\circ}39'5.63''S$ y $69^{\circ}13'13.63''W$) e Isuyama ($12^{\circ}37'54.29''S$ y $69^{\circ}11'7.79''W$).

Muestreo. El muestreo se realizó de forma intencionada, colectando 1000 g de cortezas de árboles maduros que presentaban un buen estado (consistencia, color), sin daños, sin presencia de agentes contaminantes como insectos, plagas, entre otros.

Preparación de la muestra. La muestra colectada fue secada al ambiente, y en ausencia de rayos solares, en un lugar con abundante ventilación. Las cortezas secas se molieron hasta que no quede residuo en un tamiz de malla n° 40, con la finalidad de tener una muestra homogénea y una mayor superficie de contacto con el solvente durante su extracción. En la Figura 1, se observan las muestras secas sin moler y molidas.



Figura 1. Muestra de corteza entera y molida, de cedro y caoba

Determinación de humedad. La determinación de la humedad se realizó por el método gravimétrico por triplicado. Se pesaron aproximadamente 5 g de corteza fresca de caoba y cedro, y estas fueron secadas en una estufa hasta obtener un peso constante a una temperatura de $100^{\circ}C$. Posteriormente fueron enfriadas en un desecador, y se procedió al pesaje y con los datos obtenidos se determinó el porcentaje de humedad (AOAC, 2019).

Obtención de extractos tánicos. Los taninos se obtuvieron a través de una extracción sucesiva, utilizando como solvente una solución acuosa salina con efecto térmico de acuerdo con la metodología modificada de Espinal-Corrales (2009). Las extracciones fueron realizadas con 50 g de la corteza seca en un Erlenmeyer de 1000 mL, con 300 mL de sulfito de sodio al 2% con agitación a $70^{\circ}C$ por 45 minutos. Luego se filtró al vacío, obteniéndose la fase I (Figura 2). El residuo de filtración se vuelve a someter a una segunda y tercera extracción, de la misma forma que los pasos anteriores, para obtener fase II y III. El residuo producto de las extracciones secuenciales se desechó. Los extractos obtenidos se reunieron y luego se procedieron a evaporar el solvente en baño isotérmico a $45^{\circ}C$ hasta sequedad. Finalmente se pesó residuo para calcular el porcentaje de extracción. En la Figura 3, se puede observar mejor las etapas de extracción.

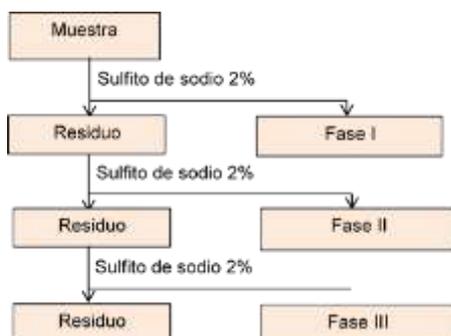


Figura 2. Obtención secuencial de extractos de tánicos.



Figura 3. Etapas de la extracción de taninos a partir de cortezas secas molidas de caoba y cedro

Prueba de solubilidad, aspecto y color. Para las pruebas de solubilidad se utilizaron 10 mg de los extractos de la especie vegetal. Se colocaron en diferentes tubos de ensayo y luego se añadió 1 ml de solvente de diferentes polaridades y ordenados en forma descendente (agua, alcohol y hexano). De esta manera se determinó la naturaleza disolutiva de los extractos, luego se agitó durante 2 min aproximadamente a temperatura ambiente (Villena, 2006). Además, fue importante determinar el aspecto y color del extracto, a partir de la observación minuciosa y exhaustiva en forma directa.

Identificación de taninos. Los métodos de separación son necesarios para la identificación de un componente puro y para la determinación de los tipos de compuestos que contiene una mezcla o un extracto crudo. Se han desarrollado numerosas técnicas para la identificación preliminar de diversos componentes químicos de las plantas mediante técnicas de extracción con disolventes y con prueba de coloración (Valencia, 1995). La reacción característica para la detección de taninos en extractos de plantas consiste en adicionar a 0,5 mL de extracto, 2 a 3 gotas de FeCl_3 al 1%. Los resultados de las pruebas de taninos son positivos si hay precipitados o coloraciones azuladas o verdes.

3. Resultados y discusiones

3.1. Humedad de las cortezas frescas de caoba y cedro

En la Tabla 1, se muestran los resultados obtenidos del análisis de humedad. El porcentaje promedio de humedad de las muestras de corteza de cedro fue de 51,26% y de caoba fue de 44,83%. El contenido de humedad que está dentro de los parámetros normales, además tiene que ver con la época colectada que fue durante los meses de enero y febrero, meses que se caracterizan por presentar abundante precipitación pluvial, factor que hace que la planta incremente el contenido de agua, especialmente en la corteza.

Tabla 1. Porcentaje de humedad de las muestras cedro y caoba (corteza)

N° muestra	Peso muestra M (g)		Peso humedad H (g)		% Humedad (%H = $\frac{H}{M} \times 100$)	
	Caoba	Cedro	Caoba	Cedro	Caoba	Cedro
1	5,0084	5,0428	2,2285	2,5891	44,50	51,34
2	5,0540	5,0118	2,2675	2,5672	44,87	51,22
3	5,0097	5,0344	2,2601	2,5778	45,11	51,20
				Promedio	44,83	51,26

3.2. Extracción de taninos

Para obtener los taninos, se realizó una extracción sucesiva utilizando como solvente una solución acuosa salina con efecto térmico, cuyos resultados se reportan en la Tabla 2. Estos resultados muestran que los porcentajes de taninos en caoba y cedro fueron relativamente altos, resultados

que son semejantes a los obtenidos por Espinal-Corrales (2009) y superiores a los reportados por Ikenyiri et al. (2019). El alto contenido de taninos, observado en las cortezas de caoba y cedro, muestran que estos residuos son una materia prima potencial para la obtención de taninos, pero el impedimento es que estas especies maderables son muy cotizadas, están bastante controladas e impedidas para su explotación.

Tabla 2. Porcentajes de extracción de taninos en muestra de corteza de cedro y caoba

Muestra	% extracción taninos	Características	
		Aspecto	Color
Caoba	46,1	Parcialmente laminar y brillante	Rojo granate
Cedro	42,2	Parcialmente laminar y brillante	Rojo granate

Por lo general, los compuesto polifenólicos que se encuentran en la corteza de los árboles pueden utilizarse en diversas industrias, como la del curtido del cuero, la fabricación de textiles, la elaboración de alimentos y los productos farmacéutico (Fraga-Corral et al., 2020), además de los usos caseros en medicina natural y se usa para curtir y teñir pieles (ACP, 2007 y). Los taninos como constituyentes fenólicos de las plantas tienen un sabor astringente y la propiedad de convertir la piel en cuero (Falcão & Araújo, 2018; Valencia, 1995).

Los taninos están ampliamente distribuidos en las plantas (son encontradas en cortezas, frutos, flores, hojas, semillas y otros órganos de las plantas) (Alqethami & Aldhebiani, 2021), estos compuestos presentan diferencias en su estructura química (Neve-Ombra et al., 2018), este hecho permite su clasificación según grupos de taninos. Se ha reportado con frecuencia la presencia de estos compuestos en vegetales y frutas de una forma general, pero al realizar la identificación de cada tipo de tanino se ha podido verificar que la concentración de los tipos de taninos varía según especie (Ariyanto et al., 2018). Como ocurre con los taninos condensados que son encontrados en altas concentraciones en uvas, pero en ciertas variedades o cultivares de *V. vinifera* (Cheynier, 2005). El tipo y la concentración de taninos presentes en los vegetales son influenciados por el estrés producido por las condiciones medio ambientales (temperatura, acidez del suelo, tipo de suelo y otros) y genéticas o estado de maduración del fruto o la planta (Bindon & Kennedy, 2011; Torchio et al., 2010).

Debido a la variabilidad genética de la uva se puede encontrar variedades o cultivares que contienen tanto taninos condensados como hidrolizables, en varios estudios se ha identificado que las semillas de uva presentan mayor concentración de taninos condensados (Schofield et al., 2001). Se ha reportado también que conforme la maduración de las uvas avanza, los taninos se polimerizan, por tanto, el tipo y concentración de estos compuestos varía dependiendo del estado fisiológico del fruto (Kennedy et al., 2001).

Los taninos son considerados metabolitos secundarios, su producción en el tejido vegetal es influenciada por condiciones climáticas, de suelo, ataque de patógenos, entre otros factores (Thakur et al., 2019). Estos compuestos pueden acumularse en diferentes partes de la planta (semillas, corteza, raíz, etc.) y pueden alcanzar un contenido total de 2% a 7% en peso fresco de la planta (Haslam, 2007).



Figura 4. Extractos tánicos concentrados

3.3. Prueba de solubilidad

En la Tabla 3, se puede observar que los extractos de taninos de caoba y cedro son solubles en agua, estos resultados demuestran la relación entre el solvente utilizado para la obtención del extracto correspondiente con el solvente para la prueba de la solubilidad. Este ensayo se realizó con el objeto de determinar el solvente más adecuado para llevar a cabo las pruebas de identificación de taninos en los extractos, ya que si no se selecciona el solvente adecuado presenta interferentes como la turbidez que afecta en la observación y evaluación de la reacción.

Tabla 3. Solubilidad de los extractos de taninos en muestras de corteza de cedro y caoba

Solvente	Extracto de taninos	
	Cedro	Caoba
Hexano	Insoluble	Insoluble
Alcohol	Insoluble	Insoluble
Agua	Soluble	Soluble



Figura 5. Pruebas de solubilidad de taninos

3.4. Densidad del extracto

La densidad de los extractos de taninos tanto para el cedro como para la caoba se muestra en la Tabla 4. La densidad expresa la relación entre la masa y el volumen del extracto, lo que significa que los constituyentes de los extractos son más livianos que el agua, por consiguiente, es de bajo peso molecular.

Tabla 4. Densidad de los extractos de taninos en muestras de corteza de cedro y caoba

Muestra	Densidad (g/mL)
Cedro	0,972
Caoba	0,976

3.5. Identificación de taninos

El resultado de la reacción de identificación se muestra en la Tabla 5. Una de las reacciones más utilizadas para identificar taninos es el reactivo de tricloruro de hierro (FeCl_3) (Lock, 1997). Mediante el tamizaje fitoquímico se determinó que las especies estudiadas contienen taninos de tipo hidrolizables o pirogálicos, debido a que la coloración mostrada después de la reacción con el FeCl_3 fue de color verde en ambos casos además porque los extractos de los taninos son solubles en agua (Espinal-Corrales, 2009).

Tabla 5. Reacción de identificación de los extractos de taninos en muestras de corteza de cedro y caoba.

Muestra	Reactivo de identificación
Cedro	FeCl ₃ (coloración)
Caoba	Verde

4. Conclusiones

Las muestras de corteza de caoba presentaron 46,1% de taninos, mientras que para el cedro fue 42,2%, lo que constituyen fuentes muy importantes de taninos y una gran alternativa de utilización de los desechos de la industria maderera de la región Madre de Dios. Los extractos de cortezas de las dos especies contienen taninos del tipo hidrolizable o pirogálico, de acuerdo con lo observado en la reacción con el FeCl₃.

Financiamiento

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no incurren en conflicto de intereses.

Contribución de autores

Q-H, R. y F-H, Y.: conceptualización, análisis formal, investigación, escritura (preparación del borrador final).

S-Q, L. y P-V, Y: metodología, investigación, curación de datos, redacción (revisión y edición).

Referencias bibliográficas

- AOAC. (2019). *Official methods of analysis of the association official analytical chemists* Analysis (21st ed.). Association of Official Analytical Chemist.
- ACP. (2007). *Manual de Reforestación: Especies Maderables Tradicionales* (Editora Sibauste S.A. (ed.)). Autoridad del Canal de Panamá. https://www.jica.go.jp/project/spanish/panama/2515031E0/data/pdf/1-51_01.pdf
- Alqethami, A., & Aldhebiani, A. (2021). Medicinal plants used in Jeddah, Saudi Arabia: Phytochemical screening. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 805-812. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.013>
- Ariyanto, D., Bengen, D., Prartono, T., & Wardiatno, Y. (2018). The relationship between content of particular metabolites of fallen mangrove leaves and the rate at which the leaves decompose over time. *Biodiversitas*, 19(3), 700-705. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190304>
- Bindon, K., & Kennedy, J. (2011). Ripening-Induced Changes in Grape Skin Proanthocyanidins Modify Their Interaction with Cell Walls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(6), 2696-2707. <https://doi.org/10.1021/jf1047207>
- Cheyrier, V. (2005). Polyphenols in foods are more complex than often thought. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 223S-229S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.223S>
- Espinal-Corrales, N. (2009). *Extracción y caracterización fisicoquímica del contenido tánico en la corteza de cinco especies forestales procedentes del departamento de Petén, aprovechando el subproducto de la industria de aserradero* [Universidad de San Carlos de Guatemala].

- http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1114_Q.pdf
- Espinosa, T., & Valle, D. (2020). Evaluación poblacional de *Dipteryx micrantha* en la cuenca del río Las Piedras, Madre de Dios (Perú). *Revista Forestal del Perú*, 35(3), 76. <https://doi.org/10.21704/rfp.v35i3.1603>
- Falcão, L., & Araújo, M. (2018). Vegetable tannins used in the manufacture of historic leathers. *Molecules*, 23(5), 8-10. <https://doi.org/10.3390/molecules23051081>
- Fraga-Corral, M., García-Oliveira, P., Pereira, A., Lourenço-Lopes, C., Jimenez-Lopez, C., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2020). Technological application of tannin-based extracts. *Molecules*, 25(3), 1-27. <https://doi.org/10.3390/molecules25030614>
- Guo, L., Qiang, T., Ma, Y., Ren, L., & Dai, T. (2021). Purification and characterization of hydrolysable tannins extracted from *Coriaria nepalensis* bark using macroporous resin and their application in gallic acid production. *Industrial Crops and Products*, 162, 113302. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113302>
- Haslam, E. (2007). Vegetable tannins - Lessons of a phytochemical lifetime. *Phytochemistry*, 68(22-24), 2713-2721. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.09.009>
- Ikenyiri, P., Abowei, F., Ukpaka, C., & Amadi, S. (2019). Characterization and Physicochemical Properties of Wood Sawdust in Niger Area, Nigeria. *SSRN Electronic Journal*, 5(3), 190-197. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3407342>
- Isaza M., J. H. (2007). Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia Et Technica*, 1(33), 13-18. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5817>
- Kato-Schwartz, C., de Sá-Nakanishi, A., Guidi, A., Gonçalves, G. de A., Bueno, F., Zani, B., de Mello, J., Bueno, P., Seixas, F., Bracht, A., & Peralta, R. (2020). Carbohydrate digestive enzymes are inhibited by *Poincianella pluviosa* stem bark extract: relevance on type 2 diabetes treatment. *Clinical Phytoscience*, 6(1), 0-10. <https://doi.org/10.1186/s40816-020-00177-w>
- Kennedy, J., Hayasaka, Y., Vidal, S., Waters, E., & Jones, G. (2001). Composition of Grape Skin Proanthocyanidins at Different Stages of Berry Development. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5348-5355. <https://doi.org/10.1021/jf010758h>
- Neve-Ombra, M., D'Acerno, A., Nazzaro, F., Spigno, P., Riccardi, R., Zaccardelli, M., Pane, C., Coppola, R., & Fratianni, F. (2018). Alpha-amylase, α -glucosidase and lipase inhibiting activities of polyphenol-rich extracts from six common bean cultivars of Southern Italy, before and after cooking. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 69(7), 824-834. <https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1418845>
- Olivas-Aguirre, F., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G., López-Díaz, J., Álvarez-Parrilla, E., de la Rosa, L., & Ramos-Jimenez, A. (2015). Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 55-66. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7699>
- Oliveira, A., Soares-Filho, B., Costa, M., Lima, L., Garcia, R., Rajão, R., & Carvalho-Ribeiro, S. (2019). Bringing economic development for whom? An exploratory study of the impact of the Interoceanic Highway on the livelihood of smallholders in the Amazon. *Landscape and Urban Planning*, 188(May), 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.025>
- Saravia, J., Cano, T., Chávez, B., Cano, E., & Cerezo, O. (2002). *Extracción y caracterización de taninos en contera de 3 especies forestales cultivadas en Guatemala, Pino ocote (Pinus oocarpa Schiede), Encino negro (Quercus brachystachys Benth) y Aliso común (Alnus jorulensis HBK.). Una alternativa de desarrollo agroí [Universidad de San Carlos de Guatemala]*. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puidi/INF-2002-039.pdf>
- Schofield, P., Mbugua, D., & Pell, A. (2001). Analysis of condensed tannins: a review. *Animal*

- Feed Science and Technology*, 91(1-2), 21-40. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00228-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00228-0)
- Lock, O. (1997). Colorantes Naturales. In *Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú*.
- Thakur, M., Bhattacharya, S., Khosla, P., & Puri, S. (2019). Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 12, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.11.004>
- Torchio, F., Cagnasso, E., Gerbi, V., & Rolle, L. (2010). Mechanical properties, phenolic composition and extractability indices of Barbera grapes of different soluble solids contents from several growing areas. *Analytica Chimica Acta*, 660(1-2), 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.10.017>
- Valencia, C. (1995). *Fundamentos de fitoquímica* (1° edición). Editorial Trillas.
- Villena, C. (2006). *Métodos de investigación científica y tecnológica*. UNSAAC.



Artículo original / Original article

Siembra directa de semillas de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) aplicando dos densidades para la recuperación de suelos degradados por la actividad minera en la Amazonía peruana

Direct sowing of seeds of *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) applying two densities for the recovery of soils degraded by mining activity in the Peruvian amazon

Emer Rosales-Solórzano ^{1*} ; Pablo Huayllani-Huamani ¹ ; Raul Huanaco-Huanca ¹ 

¹ Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Madre de Dios, Perú

Recibido: 05/11/2021
Aceptado: 20/12/2021
Publicado: 25/01/2022

*Autor de correspondencia: erosales@unamad.edu.pe

Resumen: El estudio tuvo como objetivo evaluar el desarrollo por siembra directa de semillas de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) para la remediación de las áreas degradadas por la actividad minera en el sector de Virgen de la Candelaria, distrito de Inambari del departamento de Madre de Dios. El método aplicado fue un diseño experimental, del tipo aplicado cuantitativo y explicativo. El proceso de siembra constó de cuatro fases: instalación de parcelas, marcación, siembra de las semillas y fertilización. El diseño experimental instalado fue de 3 × 2. Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA), con una prueba de Fisher a un nivel de significancia α 0,05. El crecimiento en altura promedio fue de 18,98 mm y su germinación 43,98%, que comparado las dos densidades de siembra de 1 m × 2 m y 2 m × 4 m resultó ser diferente estadísticamente ($\alpha = 0,05$). Así mismo la mortalidad promedio encontrada fue 52,05% es decir ligeramente alto, no habiendo diferencia estadística entre densidades de siembra.

Palabras clave: crecimiento; germinación; mortalidad; sembrado

Abstract: The objective of the study was to evaluate the development by direct sowing of *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) seeds for the remediation of areas degraded by mining activity in the Virgen de la Candelaria sector, Inambari district of the department of Madre de Dios. The applied method was an experimental design, of the quantitative and explanatory applied type. The planting process consisted of four phases: installation of plots, marking, sowing of seeds and fertilization. The installed experimental design was 3 × 2. An Analysis of Variance (ANOVA) was performed, with a Fisher's test at a level of significance α 0.05. Average height growth was 18.98 mm and germination 43.98%, which when compared to the two planting densities of 1 m × 2 m and 2 m × 4 m turned out to be statistically different ($\alpha = 0.05$). Likewise, the average mortality found was 52.05%, that is, slightly high, with no statistical difference between planting densities.

Keywords: increase; germination; mortality; sown

1. Introducción

Las concepciones de los ecologistas sobre el desarrollo de los ecosistemas han experimentado un importante cambio de paradigma desde finales de la década de 1980 (Pickett & Cadenasso, 2006; Simpson, 2002). Algunos autores sugieren un nuevo paradigma sobre la sucesión (Fiedler et al., 1997; Pickett & Ostfeld, 1995), mientras que otros han intentado contextualizarlos en teorías generales (Wu & Loucks, 1995). Simpson (2002) sugiere abandonar la noción de sucesión ecológica para entender el cambio en la naturaleza, que representa la visión más extrema. Según Simpson (2002), el clima, el suelo y otros elementos locales no constituyen un ecosistema, sino que demarcan los límites de sus posibilidades.

Cuando se trata de restaurar regiones degradadas, un paradigma común es que se debe acelerar el proceso de sucesión de la vegetación para restaurar sus cualidades funcionales y estructurales y, al mismo tiempo, minimizar los recursos económicos y humanos (Guariguata, 1999).

La minería, superficial o subterránea, es una de las industrias más dañinas para el ambiente, ya que implica una serie de acciones o intervenciones antrópicas (Ferreira et al., 2020). Cuando se extrae un recurso mineral de su hábitat natural y se transforma en una forma comercializable, la industria minera ha completado la primera etapa de la cadena de suministro. La extracción es el primer paso para convertir un recurso mineral en un producto comercializable. La industria minera consta de varias etapas en el proceso de conversión de un recurso mineral desde su fuente natural (Ibarra, 1999; Vergara-Buitrago & Rodríguez-Aparicio, 2021). Debido a estas actividades mineras, la cobertura vegetal suele ser removida y los horizontes del suelo son alterados de forma permanente en algunos lugares, creando un impacto perjudicial irreversible. Además, el contraste entre las formas del relieve y las generadas por actividad minera tienen un impacto visual perjudicial (Montiel & Villarreal, 2004).

En Regiones amazónicas, y en Madre de Dios, la minería aurífera es la primera actividad económica formal y representa una importante fuente de ingresos a las poblaciones locales. Aunque, esta actividad tiene impactos negativos en los ecosistemas, afectando a la flora, fauna, el paisaje y de esta manera a las actividades turísticas (IIAP & MINAM, 2011). Estudios recientes demuestran que la actividad minera en los últimos 30 años a deforestado más de 100 000 ha de bosques (Caballero et al., 2018), además de contaminar severamente con mercurio y otros contaminantes los ecosistemas terrestres y acuáticos de Madre de Dios (Gerson et al., 2022). Esto generado por un incremento en la cantidad de mineros (<30 000) operando con equipos cada vez más diversos y sofisticados, entre dragas, retroexcavadoras, cargadores frontales entre otros (IIAP & MINAM, 2011). Esto debido a que el 99% de operaciones mineras en Madre de Dios son informales (> 1500), un incremento en la conflictividad social y ambiental (Cortés-McPherson, 2019), ya que la mayoría de estos se superponen con áreas de comunidades indígenas, áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento (Sanchez et al., 2017).

Bajo este panorama, el objetivo del presente estudio fue evaluar el desarrollo por siembra directa de semillas de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) para la recuperación de las áreas degradadas por la minería aurífera. Esto debido a la escasa información acerca de la utilización de nutrientes en las plantaciones forestales, por lo que los resultados del estudio encaminan al beneficio del conocimiento técnico forestal, y determina hasta qué punto se logra el desarrollo de las especies forestales en los suelos degradados por actividad minera.

2. Materiales y métodos

Llevamos a cabo un estudio aplicado de nivel experimental para la planeación y prospectiva, bajo el método de investigación comparativo y explicativo, en el sector Virgen de la Candelaria, distrito Inambari, provincia Manu y departamento Madre de Dios.

Para el proceso de siembra directa, instalamos seis parcelas de 10 m × 10 m protegidos con rafia de colores para diferenciar los bloques del diseño; marcamos con zapapico los lugares donde se colocaron las semillas, las mismas que fueron realizados de manera manual. Hicimos agujeros de

acuerdo al distanciamiento 1 m × 2 m y 2 m × 4 m de densidad de siembra para cada tratamiento. Colocamos dos semillas por agujero, de modo que, garantizamos la germinación de por lo menos una planta por postura. Posteriormente, aplicamos macronutrientes a una dosis de 40 g por planta, con la finalidad de que las plantas aprovechasen los fertilizantes.

El diseño experimental instalado fue de 3 × 2. Realizamos un Análisis de Varianza (ANOVA) con una prueba de Fisher a un nivel de significancia α 0,05, utilizamos la prueba de medias utilizando la prueba de Tukey para determinar cuál de las especies y distanciamiento resultan mejor en el crecimiento en suelos degradados.

3. Resultados y discusión

En la Tabla 1 se observa que existe diferencia matemática, así como diferencia estadísticamente significativa (debido a que $F_c > F_t$) para el crecimiento en altura entre los tratamientos y los bloques, al 5% de probabilidad de error, por lo que fue necesario hacer la prueba de comparación de promedios de Tukey tanto para bloques y tratamientos.

Tabla 1. Análisis de varianza del crecimiento en altura a los 45 días de siembra

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Fc calculado	Ft (0,05) tabulado
Bloque	201,55	2	100,78	95,88	19,00
Tratamiento	67,40	1	67,40	64,13	18,51
Error	2,10	2	1,05		
Total	271,06	5			

La post prueba de comparación de promedios por Tukey (Tabla 2) ratifica la diferencia estadística del crecimiento en altura entre los dos tratamientos de densidad de siembra, diferencia que también encontraron en otras especies forestales Martínez & Dibut (1986) y el efecto de los nutrientes proporcionados tal como indica Hurtado (2002).

Tabla 2. Crecimiento en altura a los 45 días de siembra

Bloques	Tratamiento (mm)		Media
	T1	T2	
I	13,57	19,15	16,36
II	22,84	31,18	27,01
III	10,46	16,65	13,56
Media	15,62 a	22,33 b	18,98

Letras diferentes indican diferencias (5%) entre tratamiento.

En la Tabla 3, se observa que existe diferencia matemática, así como diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de germinación según tratamientos a los 45 días de siembra (debido a que $F_c > F_t$), al 5% de probabilidad de error. Por lo que fue necesario hacer la prueba de comparación de promedios de Tukey, mientras que para los bloques no se encontró diferencias estadísticamente significativas ($F_c > F_t$).

Tabla 3. Análisis de varianza de porcentaje a los 45 días de siembra

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculado	F (0,05) tabulado
Bloques	21,90	2	10,95	4,55	19,00 N:S
Tratamientos	124,12	1	124,12	51,57	18,51 *
Error	4,81	2	2,41		
Total	150,84	5			

La post prueba de comparación de promedios por Tukey (Tabla 4) ratifica la diferencia estadística de la germinación entre los dos tratamientos de densidad de siembra. Estas diferencias se

deberían a las condiciones iniciales de las semillas como el almácigo de vivero, manifestado por Hernández & Salas (2009) y a los macronutrientes proporcionados tal como indica Hurtado (2002).

Tabla 4. Crecimiento en altura a los 45 días de siembra

Bloques	Tratamiento		Media
	T1	T2	
I	50,06	42,25	46,16
II	48,21	40,36	44,29
III	47,32	35,69	41,51
Media	48,53 a	39,43 b	43,98

Letras diferentes indican diferencias (5%) entre tratamiento.

Finalmente, las Tablas 5 y 6 manifiestan que existe diferencia matemática, pero no hay diferencia estadística significativa al 5% de probabilidad de error, debido a que $F_c < F_t$. por lo que fue innecesario realizar la post prueba de comparación de promedios tanto para bloques y tratamientos.

Tabla 5. Análisis de varianza de mortalidad a los 45 días de siembra

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Fc calculado	Ft (0,05) tabulado
Bloques	73,45	2	36,73	0,91	19,00 N.S.
Tratamientos	45,32	1	45,32	1,12	18,51 N.S.
Error	80,98	2	40,49		
Total	199,75	5			

N.S. = No significativo

Tabla 6. Mortalidad en porcentaje a los 45 días de siembra

Bloques	Tratamiento (%)		Media
	T1	T2	
I	49,05	45,23	47,14
II	51,96	58,13	55,05
III	46,89	61,03	53,96
Media	49,30	54,80	52,05

Se deduce que el porcentaje de mortalidad de las plántulas de *O. Pyramidale* en promedio fue 52,02% lo que indica que hubo mayor mortalidad en el tratamiento T2 (2 m × 4 m) en comparación que el T1 (1 m × 2 m), debido al tiempo de siembra que fue en la época de sequía. La elevada tasa de mortalidad de semillas que se debería probablemente a la muy baja fertilidad de los suelos por ser degradado tal como lo estipula Hurtado (2002). Aunque los valores de mortalidad en *O. pyramidale* son similares a los reportados por estudios, en similares condiciones, en Madre de Dios, 50% en (Román-Dañobeytia et al., 2015) y 48% en (Román-Dañobeytia et al., 2020).

4. Conclusiones

El crecimiento en altura del *Ochroma pyramidale* a los 45 días de siembra promedio fue 18,28 mm, es decir aproximadamente 2 cm, el mayor crecimiento se tuvo en la densidad de siembra de 2 m × 4 m que en la densidad de siembra de 1 m × 2 m, por lo que se infiere que existió efecto para recuperar áreas degradadas. La germinación promedio de las semillas fue 43,98%, siendo la densidad de siembra de 1 m × 2 m en la que se encontró el mayor porcentaje de germinación. Además, la mortalidad promedio fue 52,05%, siendo la densidad de 1 m × 2 m menor que la densidad de 2 m × 4 m, lo que sugiere que tiene una mortalidad ligeramente alta.

Financiamiento

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no incurren en conflicto de intereses.

Contribución de autores

R-S, E: conceptualización, análisis formal, investigación, escritura (preparación del borrador final).

H-H, P. y H-H, R.: metodología, investigación, curación de datos, redacción (revisión y edición).

Referencias bibliográficas

- Caballero, J., Messinger, M., Román-Dañobeytia, F., Ascorra, C., Fernandez, L., & Silman, M. (2018). Deforestation and Forest Degradation Due to Gold Mining in the Peruvian Amazon: A 34-Year Perspective. *Remote Sensing*, 10(12), 1903. <https://doi.org/10.3390/rs10121903>
- Cortés-McPherson, D. (2019). Expansion of small-scale gold mining in Madre de Dios: capital interests and the emergence of a new elite of entrepreneurs in the Peruvian Amazon. *Extractive Industries and Society*, 6(2), 382-389. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.01.002>
- Ferreira, H., Neto, D., Valter, W., Nunes, Y., Santos, E., Souza, D., Alves, R., Willians, M., Lima, D., Junio, S., Bastos, C., & Rodrigues, A. (2020). Environmental and human health risks of arsenic in gold mining areas in the eastern Amazon. *Environmental Pollution*, 265, 114969. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114969>
- Fiedler, P., White, P., & Leidy, R. (1997). The Paradigm Shift in Ecology and Its Implications for Conservation. En *The Ecological Basis of Conservation* (pp. 83-92). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6003-6_9
- Gerson, J., Szponar, N., Zambrano, A., Bergquist, B., Broadbent, E., Driscoll, C., Erkenwick, G., Evers, D., Fernandez, L., Hsu-kim, H., Inga, G., Lansdale, K., Marchese, M., Martinez, A., Moore, C., Pan, W., Purizaca, R., Sánchez, V., & Silman, M. (2022). Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. *Nature Communications*, 13, 559. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-27997-3>
- Guariguata, M. (1999). *Bases ecológicas generales para el seguimiento de proyectos de restauración de bosques*. Memorias del Seminario de Restauración Ecológica y Reforestación. Bogotá (Colombia): Prisma Editores.
- Hernández, W., & Salas, E. (2009). La inoculación con *Glomus fasciculatum* en el crecimiento de cuatro especies forestales en vivero y campo. *Agronomía Costarricense*, 33(1), 93-110. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6732>
- Hurtado, L. (2002). *Manejo y conservación del suelo. Fundamentos y prácticas*. PRONAMACHS, Lima Perú.
- Ibarra, E. (1999). *Guía para la aplicación de evaluaciones de impacto ambiental en la industria minera*. I Jornadas de Impacto Ambiental.
- Instituto de la Amazonía Peruana [IIAP], & Ministerio del Ambiente. (2011). *Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio*. Súper Gráfica E.I.R.L.
- Martínez, R., & Dibut, B. (1986). *La experiencia cubana en el uso de los biofertilizantes*. Seminario

- Taller Regional "La Agricultura Urbana y el desarrollo rural sostenible". FIDA- MINAG Fundación CIARA. La Habana, Cuba, p. 106-120.
- Montiel, K., & Villarreal, L. (2004). Análisis multitemporal del impacto generado por la explotación minera en el medio geomorfológico de la Isla de Toas, Estado Zulia. *Terra. Nueva Etapa*, XX(29), 55-71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72102904>
- Pickett, S. T. A., & Cadenasso, M. L. (2006). *Vegetation dynamics*. Ecological understanding. The nature of theory and the theory of nature.
- Pickett, S. T. A., & Ostfeld, R. S. (1995). *The shifting paradigm in Ecology*. A new century for natural resources management.
- Román-Dañobeytia, F., Cabanillas, F., Lefebvre, D., Farfan, J., Alferez, J., Polo-Villanueva, F., Llacsahuanga, J., Vega, C. M., Velasquez, M., Corvera, R., Condori, E., Ascorra, C., Fernandez, L. E., & Silman, M. R. (2020). Survival and early growth of 51 tropical tree species in areas degraded by artisanal gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering*, 159, 106097. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106097>
- Román-Dañobeytia, F., Huayllani, M., Michi, A., Ibarra, F., Loayza-Muro, R., Vázquez, T., Rodríguez, L., & García, M. (2015). Reforestation with four native tree species after abandoned gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering*, 85, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.075>
- Sanchez, J., Carnero, A., Rivera, E., Rosales, L., Baldeviano, G., Asencios, J., Edgel, K., Vinetz, J., & Lescano, A. (2017). Unstable Malaria Transmission in the Southern Peruvian Amazon and Its Association with Gold Mining, Madre de Dios, 2001 - 2012. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 96(2), 304-311. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.16-0030>
- Simpson, T. B. (2002). An Open Approach to Ecosystem Change: Adopting a New Paradigm for Ecological Restoration and Land Management. *Ecological Restoration*, 20(3), 190-194. <https://doi.org/https://www.jstor.org/stable/43442575>
- Vergara-Buitrago, P. A., & Rodríguez-Aparicio, J. A. (2021). Análisis ambiental de la minería de carbón en el ecosistema estratégico de páramo (Boyacá, Colombia). *Scientia et Technica*, 26(3), 398-405. <https://201.131.90.33/index.php/revistaciencia/article/view/24519>
- Wu, J., & Loucks, O. L. (1995). From Balance of Nature to Hierarchical Patch Dynamics: A Paradigm Shift in Ecology. *The Quarterly Review of Biology*, 70(4), 439-466. <https://doi.org/10.1086/419172>



Artículo original / Original article

Evaluación de la aplicación de tecnologías de fermentación y secado de cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo CCN-51 y Criollo

Evaluation of the application of technologies for fermentation and drying of cocoa (*Theobroma cacao* L.) type CCN-51 and Criollo

Roy Gutierrez-Paredes ^{1*} ; Guisela Gonzales-Fuentes ¹ ; Miguel Chávez-Pinchi ¹ 

¹Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Madre de Dios, Perú

Recibido: 10/11/2021
Aceptado: 28/12/2021
Publicado: 25/01/2022

*Autor de correspondencia: mchavez@unamad.edu.pe

Resumen: El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la región de Madre de Dios - Perú es pertinente debido a su impacto económico; no obstante, los productores desconocen tecnologías de postcosecha que aseguren calidad en los granos. Es por ello que planteamos como objetivo evaluar las tecnologías de fermentación y secado del grano de cacao tipo CCN-51 y Criollo medidos en su calidad y rendimiento, utilizando fermentadores de cajón y saco, secadores solares de madera cubiertas con mica y tendales de mantas de polipropileno. Para ello, aplicamos un modelo de bloques con arreglo factorial de 3 factores: tipo de cacao, tecnología de fermentación y tecnología de secado, con un nivel de significancia del 5%. Entre los resultados destaca que la mejor tecnología de beneficio de cacao es la fermentación en cajón de madera y secado en secadores solares de madera, concluyendo que el cacao que mejor se comporta en fermentación y secado es el cacao criollo con 80% de grado de fermentación.

Palabras clave: calidad; estándares; Perú; postcosecha; producción

Abstract: The cultivation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the region of Madre de Dios - Peru is relevant due to its economic impact; however, producers are unaware of post-harvest technologies that ensure grain quality. That is why we set as an objective to evaluate the technologies of fermentation and drying of the cocoa bean type CCN-51 and Criollo measured in their quality and performance, using box and sack fermenters, wooden solar dryers covered with mica and drying racks. of polypropylene blankets. For this, we apply a block model with a factorial arrangement of 3 factors: type of cocoa, fermentation technology and drying technology, with a significance level of 5%. Among the results, it stands out that the best cocoa benefit technology is fermentation in a wooden box and drying in wooden solar dryers, concluding that the cocoa that best behaves in fermentation and drying is the creole cocoa with 80% degree of fermentation.

Keywords: quality; standards; Peru; postharvest; production

1. Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es una especie que tiene sus orígenes en los bosques tropicales húmedos de América del Sur. Sus almendras son los componentes básicos para la industria del chocolate y sus derivados, la industria cosmética, e industria farmacéutica (García-Carrion, 2008; Santacruz-Terán & Mantuano-Morán, 2021). Hecho que trasciende la pertinencia de su cultivo por millones de agricultores a nivel internacional (Casteblanco, 2018).

Entre las etapas de postcosecha del cacao (fermentación, secado, selección y almacenaje), los tratamientos de fermentación generan la sucesión de microorganismos (Cabanillas-Pardo, 2021) y el secado reduce el porcentaje de humedad de fermentación (Orna-Chávez et al., 2018), ambos procesos importantes para preservar el contenido de polifenoles y garantizar la calidad fisicoquímica de los granos (Alvarado et al., 2020).

El incremento de la transferencia tecnológica en el sector agroindustrial ha conllevado a que los productores adopten nuevos tratamientos mediante mecanismos y/o técnicas acompañadas de componentes tecnológicos, como la fermentación y secado artificial; de modo que mejoren la productividad y logren la excelente producción de cacao exigido en el mercado exterior (Orna-Chávez et al., 2018).

En este contexto, la Amazonía peruana representa un espacio ampliamente diverso que acoge una gama de diversidad y variabilidad genética de cacao. El Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI] (2018), afirma que el cultivo de cacao se ha convertido en el de mayor importancia, la producción durante 2017 fue 120 toneladas. Los excelentes precios que posee y los premios que se alcanzan por el justo comercio, cacao orgánico y por denominación de origen, exigen ofrecer un producto de mayor calidad.

Para ello, se tiene que lograr un cacao de calidad que cumplan los estándares del mercado. Es pertinente entonces validar las diferentes tecnologías que se utilizan en las zonas productoras de cacao. Donde han sido desarrolladas tecnologías de fermentación en cajón, saco y ruma; de igual modo el secado solar se realiza en lozas de cemento, secadores de madera, secadores de calamina, secadores de mica y secado en manta (Rios-Jara & Lévano-Rodríguez, 2022). Además, en su mayoría aplican conocimientos tradicionales o empíricos para determinar el porcentaje óptimo de fermentación y secado.

El presente estudio evaluó las tecnologías aplicadas en el proceso de fermentación y secado de cacao en las áreas de producción en la región Madre de Dios, Perú. Ya que como evidencia la literatura, los productores de cacao, en especial de baja y mediana escala y de zonas rurales, desconocen los parámetros, protocolos y/o tratamientos estandarizados para la fermentación y secado del cacao, que afectan el rendimiento y calidad del grano, limitando su comercialización (Carrión-Astudillo et al., 2021; Mackay-Castro et al., 2019).

El objetivo del estudio fue evaluar las tecnologías de fermentación y secado del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 y criollo que aseguren la calidad del cacao beneficiado. De esta manera determinar cuál es el tipo de cacao que presenta mejores características organolépticas para su procesamiento en la industria mantequera y chocolatera, de acuerdo a los estándares del mercado (requisitos de calidad del cacao beneficiado). Bajo esta perspectiva, el trabajo pretende contribuir al bienestar socioeconómico de los productores cacaoteros.

2. Materiales y métodos

Tipo y diseño de estudio.

Realizamos un estudio experimental del tipo cuantitativo y cualitativo (mixto). Asimismo, empleamos un diseño de bloques con arreglo factorial de tres factores con sus respectivos niveles siendo del tipo 2A×2B×2C. Para el análisis estadístico utilizamos el paquete de IBM-SPSS-Statistics v.23; y para la prueba discriminativa, empleamos el método de Tukey a un nivel de significancia del 5% (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Matriz general del diseño experimental de tratamientos

BLOQUE	Factor A: Tipo de Cacao							
	a1: CCN-51				a2: Criollo			
	Factor B: fermentación							
	b1: F cajón		b2: F saco		b1: F cajón		b2: F saco	
	Factor C: Secado							
c1: S maderas	c2: S manta	c1: S maderas	c2: S manta	c1: S maderas	c2: S manta	c1: S maderas	c2: S manta	
c1: SSM	c2: SSM1	c1: SSM	c2: SSM1	c1: SSM	c2: SSM1	c1: SSM	c2: SSM1	
BLOQUE I	a1,b1,c1	a1,b1,c2	a1,b1,c1	a1,b1,c2	a1,b1,c1	a1,b1,c2	a1,b1,c1	a1,b1,c2
BLOQUE II	a1,b1,c1	a1,b1,c2	a1,b1,c1	a1,b1,c2	a1,b1,c1	a1,b1,c2	a1,b1,c1	a1,b1,c2
BLOQUE II	a1,b1,c1	a1,b1,c2	a1,b1,c1	a1,b1,c2	a1,b1,c1	a1,b1,c2	a1,b1,c1	a1,b1,c2

Tabla 2. Resumen de tratamientos

Tratamientos	Descripción
T1: a1,b1,c1	cacao CCN-51; F cajón; secado solar en secador de madera
T2: a1,b1,c2	cacao CCN-51; F cajón; secado solar en manta
T3: a1,b2,c2	cacao CCN-51; F saco; secado solar en secador de madera
T4: a1,b2,c2	cacao CCN-51; F saco; secado solar en manta
T5: a2,b1,c1	cacao Criollo; F cajón; secado solar en secador de madera
T6: a2,b1,c2	cacao Criollo; F cajón; secado solar en manta
T7: a2,b2,c1.	cacao Criollo; F saco; secado solar en secador de madera
T8: a2,b2,c2	cacao Criollo; F saco; secado solar en manta

Población y muestra.

La población estuvo conformada por la producción de 5 ha de cacao CCN-51 (3 000 kg) y 5 ha de cacao Criollo (1 600 kg), procedentes de los productores de la provincia de Tambopata, distrito de Inambari. La cantidad de muestra tomada fue de acuerdo a las tablas de la NTP ISO 2859-II, que es de 3 ha (3 productores), del cual se extrajo 150 kg de almendras frescas de los tipos de cacao analizados.

Desarrollo del proceso experimental.

La etapa de experimentación fue desarrollada en dos etapas: 1) correspondió al proceso de fermentación del cacao del tipo CCN-51 y cacao criollo, aplicando dos tipos de tecnologías (fermentación en cajón y fermentación en sacos); 2) proceso de secado solar del grano de cacao fermentado del tipo CCN-51 y cacao criollo, aplicando dos tipos de tecnologías (secador solar en material de madera y secador solar tipo manta).

Controles realizados.

Controlamos la temperatura de la masa de cacao empleando un termómetro de mercurio tres veces por día (08 h, 12 h y 16 h), mediante un muestreo a 0,10 m, 0,20 m, y 0,45 m de profundidad. Asimismo, determinamos el valor del pH en 10 almendras de cacao con un peachímetro. El primer paso fue separar la testa del cotiledón, luego tanto el cotiledón como la testa, de forma individual fueron triturados utilizándose para ello una licuadora, al que se le agregó 100 ml de agua pura por un tiempo de 2 a 3 minutos. Esta variable fue tomada tanto al principio y al final de la fermentación como también en la etapa de secado.

Al término del proceso de fermentación efectuamos la medición del grado de fermentación, categorizándolo en: grano de buena fermentación, grano ligeramente fermentado, grano violeta, grano pizarroso, grano mohoso, grano defectuoso, esto fue realizado a través de una evaluación sensorial y tablas de clasificación estandarizadas para cacao.

El porcentaje de fermentación fue determinado utilizando la técnica “prueba de corte” (Moreno & Sánchez, 1989), que consistió en partir longitudinalmente 100 almendras secas al azar. La prueba de corte consiste en un análisis físico subjetivo en el cual identificamos el estado de fermentación mediante el corte transversal de las semillas de cacao criollo y CCN-51, clasificándolos por estructura física, color y adhesión de cascarilla y determinando la presencia de un exudado de color vinoso que indica la muerte del embrión de los granos (Tabla 3).

Tabla 3. Escala de medición del grado de fermentación

Características del grano	Escala	Niveles de fermentación	Símbolo
Presencia de líquido vinoso	8	Grano bien fermentado	Bf
Presencia de color de marrón	5	Grano fermentado	F
Presencia de color violeta	2	Grano parcialmente fermentado	Fp
Presencia de color de gris	1	Grano mal fermentado	Mf

Fuente: Tomado de Ramos et al. (2000).

Análisis fisicoquímicos

Realizamos los análisis fisicoquímicos a los granos fermentados y secos, según los protocolos de la AOAC Internacional (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales) y las normas técnicas peruanas.

3. Resultados y discusión

3.1. Evaluación del proceso de fermentación

La Tabla 4 muestra los resultados del proceso de fermentación del cacao CCN-51 y criollo, fermentados en cajón y saco. En promedio el cacao CCN-51 fermentado en cajón presentó un valor de 23% de granos de cacao bien fermentados y 42% granos de cacao fermentados, en lo referente a fermentación por sacos se obtuvo 13% de granos bien fermentado y 35% granos fermentados. La fermentación del cacao Criollo en cajón resultó 33% de granos bien fermentado y 47% de granos fermentados y en los cacaos fermentados en saco se obtuvo 18% de granos bien fermentado y 33% de granos fermentados. En este proceso el cacao Criollo fermentado en cajón tuvo mayor porcentaje de fermentación.

Tabla 4. Resultados del proceso de fermentación de cacao CCN-51 y Criollo, fermentados en cajón de madera y saco

Condición	Grado de Fermentación	Valor	%
Fermentación en cajón CCN-51	Grano bien fermentado	14	23
	Grano fermentado	25	42
	Grano parcialmente fermentado	19	32
	Grano mal fermentado	2	3
Fermentación en saco CCN-51	Grano bien fermentado	8	13
	Grano fermentado	21	35
	Grano parcialmente fermentado	26	43
	Grano mal fermentado	5	8
Fermentación en cajón Criollo	Grano bien fermentado	20	33
	Grano fermentado	28	47
	Grano parcialmente fermentado	9	15
	Grano mal fermentado	3	5
Fermentación en saco Criollo	Grano bien fermentado	11	18
	Grano fermentado	20	33
	Grano parcialmente fermentado	24	40
	Grano mal fermentado	5	8

La fermentación en saco no es aconsejable, ya que resulta ser un proceso de fermentación disparejo, donde existe bajo nivel porcentual de granos fermentado y con ello alto porcentaje de

granos defectuosos, este tipo de tecnología posee gran dificultad y se debe a que los poros que son responsables de permitir tanto la entrada de aire como la salida del calor, no retienen el calor requerido (Subprograma de Cooperación Técnica., 2001).

En la fermentación con cajones se pueden llegar a temperaturas en la masa que se aproximan a los 50 °C. Cuando la temperatura alcanza los 45 °C, se produce la muerte de los embriones de la semilla, y ese momento marca el comienzo de una serie de cambios bioquímicos que luego producirán el sabor y el aroma a chocolate (Gaitan, 2005).

La Tabla 5 evidencia el análisis de los estadísticos descriptivos del grado de fermentación según tipo de cacao y tipo de fermentador. En promedio, para la fermentación en cajón de madera se encontró 5,28 grado de fermentación para el cacao criollo y 4,62 grado de fermentación para el cacao CCN-51. Esto indica que existe variación y el de mejor comportamiento en la fermentación es el cacao Criollo. En cuanto a la media entre el Criollo fermentado en cajón versus saco, los valores fueron 5,28 y 3,98 respectivamente, apreciándose que el método de fermentación donde se hace uso de cajón de madera es mejor que el método de fermentación en saco, este comportamiento es similar en el caso del cacao CCN-51.

Tabla 5. Análisis de los estadísticos descriptivos del proceso de fermentación del cacao CCN-51 y Criollo

Estadísticos descriptivos						
Tipo de cacao	Tipo de fermentador	N	Media grado de fermentación	Desviación estándar %		
CCN-51	Cajón de madera	60	4,62	2,3		
	Saco	60	3,80	2,2		
Criollo	Cajón de madera	60	5,28	2,3		
	Saco	60	3,98	2,4		

El análisis de varianza (Tabla 6) del proceso de fermentación, existiendo interacción entre el tipo de cacao (Criollo y CCN-51) y las técnicas de fermentación (fermentación en cajón de madera y fermentación en saco) (p -valor = 0,02; < 0,05). Por lo tanto, se afirma que el uso de tecnologías de fermentación tipo cajón de madera y saco afectan el rendimiento y calidad de los granos de cacao criollo y CCN-51. En lo referente a la interacción con los bloques no se encontró interacción y tampoco diferencia significativa entre los bloques (p -valor > 0,05).

Tabla 6. Análisis de varianza del proceso de fermentación del cacao CCN- 51 y Criollo

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Grado de fermentación					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	107,54	11	9,78	1,79	0,570
Intersección	4688,92	1	4688,92	857,35	< 0.001
Cacao * Fermentador	81,31	3	27,10	4,96	002
Cacao * Fermentador *Bloque	25,95	8	3,24	593	0,783
Error	1246,96	228	5,47		
Total	6045,00	240			
Total corregido	1354,49	239			

Al existir dos niveles por cada factor (tipo de cacao y tipo de fermentadores), no se realizaron las pruebas de *Post Hoc* de Tukey afín de determinar el mejor tratamiento, por lo que a través de una gráfica de medias se puede visualizar el mejor tratamiento (Figura 1), donde el mejor resultado

de grado de fermentación es del cacao criollo fermentado en cajón de madera con una media de 5,28, seguido del cacao CCN-51 fermentado en cajón de madera con una media de 4,62.

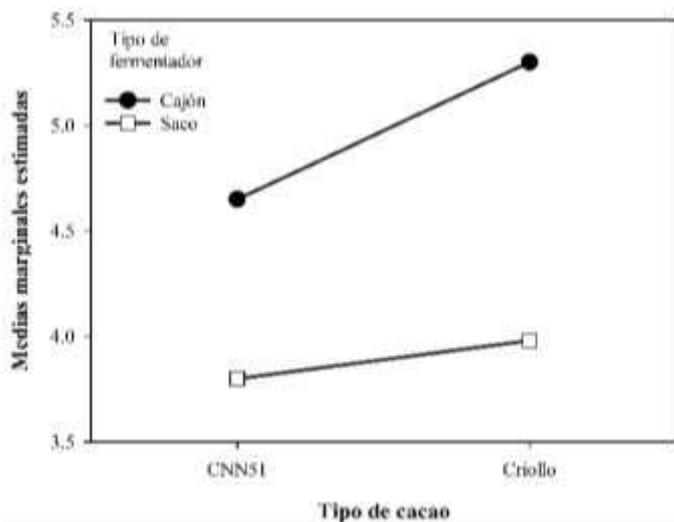


Figura 1. Análisis gráfico de medias marginales estimadas del grado de fermentación del cacao CCN-51 y criollo, fermentado en cajón y saco.

3.2. Evaluación del proceso de secado

La Tabla 7 evidencia los resultados del análisis de varianza de los factores de estudio: cacao/fermentación/secado/grano (nivel de fermentación final). El nivel de fermentación final después del secado se midió en valores porcentuales de: almendras fermentadas, almendras parcialmente fermentadas, granos violetas, granos pizarrosos, almendras defectuosas y almendras mohosas.

Tabla 7. Análisis de varianza del efecto inter-sujetos en el proceso de secado del cacao CCN-51 y Criollo.

Pruebas de efectos inter-sujetos						
Variable dependiente: Grado de fermentación						
Fermentación	Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cajón	Modelo corregido	49868,67	23	2168,20	1279,59	< 0.001
	Intersección	20000,00	1	20000,00	11803,28	< 0.001
	Cacao × Fermentación × Secado × Grano	49868,67	23	2168,20	1279,59	< 0.001
	Error	81,33	48	1,69		
	Total	69950,00	72			
	Total corregido	49950,00	71			
Saco	Modelo corregido	28744,00 ^b	23	1249,74	263,10	< 0.001
	Intersección	20000,00	1	20000,00	4210,53	< 0.001
	Cacao × Fermentación × Secado × Grano	28744,00	23	1249,74	263,10	< 0.001
	Error	228,00	48	4,750		
	Total	48972,00	72			
	Total corregido	28972,00	71			

a. R al cuadrado = 0,998 (R al cuadrado ajustada = 0,998)

b. R al cuadrado = 0,992 (R al cuadrado ajustada = 0,988)

Según la Tabla 7, la interacción fue significativa (p -valor < 0.05), lo cual permitió afirmar que el uso de tecnologías de secado solar en madera y secado en manta influyen en la calidad del grano

de cacao beneficiado. Por otra parte, la media de cacao criollo fermentado en cajón de madera y secado en secador de madera tuvieron un promedio de 80% de almendras fermentadas, mientras que el cacao CCN-51 66%. Los resultados se encuentran dentro de los rangos fermentación de la norma NTP ISO 2451.

En referencia a la investigación de Vidal (1996), el secado del cacao es una etapa mediante el cual las almendras terminan perdiendo su contenido de humedad que poseían en exceso, y en referencia al secado natural del cacao, este termina completando su índice de fermentación. Durante este proceso se necesita que el producto alcance una humedad de 7% u 8%. A pesar de ello, se ha evidenciado que al obtener una humedad inferior al 7%, los inconvenientes de condensación y por consiguiente la presencia de moho, disminuyen casi en su totalidad. De acuerdo a los análisis realizados a los granos de cacao se obtuvo un nivel de humedad de 7.1%.

De acuerdo a la norma técnica peruana existen tres niveles de calidad de grano de cacao, el nivel especial con un 80% de fermentación, el Grado 1 con 74% de fermentación, el Grado 2 con 65% de fermentación y el CTE con menor del 65%, según la NTP ISO 2451, los valores obtenidos en el presente trabajo cumplen con las normas técnicas.

El objetivo principal durante el secado del cacao es culminar desarrollando el sabor a chocolate que se inició desde la fase de fermentación (Enríquez, 1995). Por consiguiente, si es realizado incorrectamente, el proceso de fermentación es desestimado, debido a que los granos no obtienen la calidad deseada (Rincon, 1999).

El mejor comportamiento en la interacción (cacao × fermentado × secado × grano) (Figura 2), medido en porcentaje de almendras fermentadas, fue del cacao criollo fermentado en cajón de madera y secado en secador de madera. Del mismo modo, el cacao Criollo fue mejor secado en manta, con respecto al cacao CCN-51.

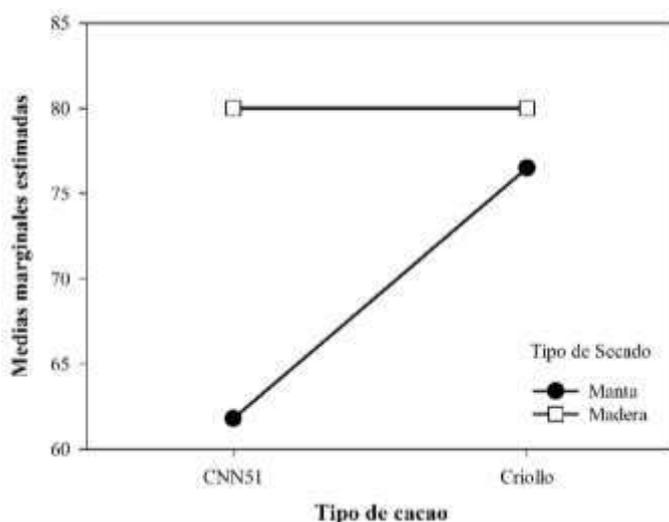


Figura 2. Análisis gráfico de medias del proceso de secado del cacao CCN-51 y Criollo

3.3. Caracterización fisicoquímica del grano cacao beneficiado

La Tabla 8 contiene los resultados del análisis proximal del cacao, donde el cacao obtuvo 37,7% de contenido de grasa, una humedad de 7,1%, valores que demuestran que el cacao cumple con el contenido de valores exigidos por el mercado. En esta etapa, el producto debe tener un nivel de humedad entre 7% a 8%. Sin embargo, se ha descubierto que conseguir un nivel de humedad inferior al 7% reduce los problemas de condensación y, por tanto, la presencia de moho prácticamente en su totalidad (Vidal, 1996).

Tabla 8. Resultados del análisis proximal del cacao fermentado y secado

Nº	Componente	Resultados
1	Grasa (g/100 de muestra)	37,7
2	Humedad (g/100 de muestra)	7,1
3	Acidez Total (g/100 g de muestra)	1,84
4	Proteínas (g/100 de muestra)	14,3
5	Carbohidratos (g/100 de muestra)	37,6
6	Cenizas (g/100 g de muestra)	3,3
7	Energía Total (Kcal/100 g de muestra)	546,9
8	% Kcal proveniente de carbohidratos.	150,4
9	% Kcal proveniente de grasas.	339,3
10	% Kcal proveniente de proteínas.	57,2
11	Cadmio (mg/kg de muestra)	No detectable

4. Conclusiones

De acuerdo a los resultados de la investigación, se concluye que la mejor tecnología de beneficio de cacao es la fermentación en cajón de madera × secado en secador de madera. El cacao que mejor se comporta en el proceso de fermentación y secado es el criollo, con el cual se alcanza hasta el 80% de grado de fermentación.

Financiamiento

El trabajo de investigación no recibió financiamiento.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no incurren en conflicto de intereses.

Contribución de autores

G-P, R. y G-F, G.: conceptualización, análisis formal, investigación, escritura (preparación del borrador final).

C-P, M.: metodología, investigación, curación de datos, redacción (revisión y edición).

Referencias bibliográficas

- Alvarado, M., Portillo, E., Boulanger, R., Bastide, P., & Macia, I. (2020). Efecto del tratamiento poscosecha en los polifenoles del cacao de Biscucuy y Chabasquén, estado Portuguesa. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 37(1), 224-228. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/33089>
- Cabanillas-Pardo, L. (2021). *Dispositivo electrónico basado en sensores y su influencia en el monitoreo en tiempo real de la fermentación del grano de cacao en la Cooperativa Agraria Allima Cacao Ltda* [Tesis de grado]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Martín. <http://hdl.handle.net/11458/4257>
- Carrión-Astudillo, J., Álvarez-Gavilanes, J., & Olivo-Olivo, M. (2021). Calidad en los procesos de comercialización de cacao en marco de emergencia sanitaria COVID 19. *CIENCIAMATRIA*, 7(12), 97-123. <https://doi.org/10.35381/cm.v7i12.422>
- Castebancho, J. (2018). Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. *La Granja*, 27(1), 21-35. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.02>

- Enríquez, G. (1995). *Beneficio del cacao*. INIAP. Ecuador.
- Gaitan, T. (2005). *Cadena del cultivo de cacao con potencial exportador*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, Nicaragua.
- García-Carrion, L. (2008). *Estudio de caracterización del potencial genético del cacao en el Perú*. Mincetur.
- Mackay-Castro, R., Pino Moran, F., & Silva Idrovo, R. (2019). Cadena productiva: productividad e innovación en Pymes, de la ciudad de Guayaquil. *Universidad y Sociedad*, 11(2), 148-152. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1166>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2018). *La producción de cacao en el Perú*. Diario El Comercio.
- Moreno, L., & Sánchez, J. (1989). *Beneficio del cacao*. Fundación Hondurera de Investigación Agrícola. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11663>
- Orna Chávez, J. E., Chuquín, N., Saquinga, L., & Cueva, O. (2018). Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg. *Enfoque UTE*, 9(2), 159-174. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.185>
- Ramos, G., Ramos, P., & Azocar, A. (2000). *Beneficio del cacao, manual del productor de cacao*. Merida, Venezuela.
- Rincon, S. O. (1999). *Manual del cacaotero*. Cenicafe. Colombia.
- Ríos-Jara, J., & Lévano-Rodríguez, D. (2022). Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de Cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e281. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.281>
- Santacruz-Terán, S., & Mantuano-Morán, W. (2021). Efecto del procesamiento de cacao negro en el contenido y actividad antioxidante de compuestos fenólicos. *Revista ESPAMCIENCIA*, 12(1), 41-45. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.221
- Subprograma de Cooperación Técnica. (2001). *Préstamos BID / MAG 31/OCy832/OC-EC*.
- Vidal, C. (1996). *Manejo de cacao*. Centro de propagación de cacao.



Artículo original / Original article

Manejo de dos técnicas y dosis de disolventes para mejorar las propiedades de textura, pegajosidad y olor del cuero vegetal en base a látex de shiringa (*Hevea brasiliensis*)

Management of two techniques and doses of solvents to improve the texture, stickiness and odor properties of vegetable leather based on rubber latex (*Hevea brasiliensis*)

Leidith Canal-Lezema¹ ; Lastenia Cutipa-Chavez^{1*} 

¹ Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Madre de Dios, Perú

Recibido: 11/11/2021
Aceptado: 30/12/2021
Publicado: 25/01/2022

*Autor de correspondencia: lcutipa@unamad.edu.pe

Resumen: La producción de cuero vegetal en la región de Madre de Dios en base a látex de shiringa es afectado por la escasa aplicación de técnicas y manejo de disolventes para el azufre. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar las dosis de disolventes (aceite de castaña, vaselina, sulfuro de carbono y agua) para el azufre y dos técnicas de elaboración de cuero vegetal. Aplicamos un DCA con arreglo factorial (A×B) 4 × 2. Asimismo, efectuamos el ANOVA conforme a los procedimientos GLM del paquete estadístico SPSS para las variables pegajosidad y textura del cuero vegetal, y así determinar significancia entre los tratamientos estudiados. Entre los resultados destaca que la variable textura, fue afectada significativamente por efecto de los factores diluyentes y tipo de secado ($p < 0.05$). Además, la variable pegajosidad fue afectada por el factor tipo de secado ($p < 0.05$), no encontrándose diferencias significativas ($p > 0.05$) en la variable pegajosidad bajo el efecto del factor diluyentes. Se concluye que el mejor solvente para el azufre es la vaselina (de naturaleza apolar) con un porcentaje de solubilidad de 18,8%.

Palabras clave: defumado; olor; pegajosidad; secado al sol; solubilidad; textura

Abstract: The production of vegetable leather in the region of Madre de Dios based on rubber latex is affected by the scarce application of techniques and handling of solvents for sulfur. The objective of this study was to evaluate the doses of solvents (chestnut oil, Vaseline, carbon sulfide and water) for sulfur and two techniques for making vegetable leather. We applied a DCA with factorial arrangement (A×B) 4 × 2. Likewise, we carried out the ANOVA according to the GLM procedures of the SPSS statistical package for the variables stickiness and texture of vegetable leather, and thus determine significance between the treatments studied. Among the results, it stands out that the texture variable was significantly affected by the effect of the diluting factors and type of drying ($p < 0.05$). In addition, the stickiness variable was affected by the type of drying factor ($p < 0.05$), with no significant differences ($p > 0.05$) being found in the stickiness variable under the effect of the diluent factor. It is concluded that the best solvent for sulfur is Vaseline (apolar in nature) with a solubility percentage of 18.8%.

Keywords: faded; odor; stickiness; sun dried; solubility; texture

1. Introducción

En el Perú se inició en 1880 (Ortiz, 1980), motivado por la creciente demanda de Europa y Norteamérica, la fabricación de diversos artículos de jebe (Fung, 2005); y en Madre de Dios, fue a partir del descubrimiento del Istmo de Fitzcarrald en 1893 (Ortiz, 1980). Después del descubrimiento de este portento natural, se intensificó el tráfico de inmigrantes peruanos y extranjeros, iniciándose la intensa actividad comercial del jebe, convirtiéndose en un producto codiciado (Alexiades y Shanley (2004). Consecuentemente, esta actividad trajo consigo la transformación del perfil económico, social y político de la región (Ríos, 2007).

Los antiguos pobladores de la Amazonía Peruana aprovecharon las propiedades del árbol de shiringa (elasticidad, flexibilidad, entre otros) para la fabricación de diversos artículos, entre estas bolas de jebe, bolsas o costales defumados, entre otros productos. Las bolsas defumadas se utilizaban para la recolección del látex, la que paso a ser un material importante para el transporte del látex dentro de las colocaciones shiringueras. Con el tiempo este principio de las bolsas enjebadas y/o defumadas, se fueron perfeccionando, dando lugar al cuero vegetal, la que es empleada para la confección de numerosos productos como ponchos impermeables, bolsos, mochilas, etc.

Para la elaboración de cuero vegetal, la materia prima indispensable es el látex de shiringa (*Hevea brasiliensis*), para luego adicionar agentes conservantes (amoníaco, hidróxidos o sulfito de sodio) que cumple una acción germicida (Peter, 2005). Al látex fresco se adiciona insumos químicos para la elaboración propiamente del cuero vegetal, la mezcla de estos insumos se aplica sobre una tela de algodón, realizando de inmediato el proceso de defumado (exposición de la tela adherida con látex e insumos sobre un horno con una salida reducida que produce abundante humo) (LATEQ. UnB, 2006)

La provincia de Tahuamanu, en especial el distrito de Iberia, es considerado como la zona shiringuera desde antaño (Rengifo et al., 2001) por producir jebe de calidad, producto de rodales naturales de *Hevea brasiliensis*; y en sus mejores épocas produjo el 75% de la producción de jebe del país. Hoy en día la actividad está casi abandonada, ya que el costo actual de jebe natural no cubre los costos de producción.

La escasa aplicación de técnicas y manejo de disolventes para el azufre en la elaboración del cuero vegetal a base de látex de shiringa en la región de Madre de Dios, es uno de los factores. Asimismo, el inadecuado manejo de insumos químicos y tecnologías para la elaboración de cuero vegetal, imposibilita la oferta de productos de buen acabado y competitivo, limitándose únicamente a ferias y mercado local. Además, la baja rentabilidad de la extracción del látex de shiringa nativa de rodales naturales de la provincia de Tahuamanu, precisa trabajar en productos con valor agregado con la finalidad de incrementar la rentabilidad de los productores shiringueros.

En este sentido, el objetivo del presente estudio fue evaluar las dosis de disolventes (aceite de castaña, vaselina, sulfuro de carbono y agua) para el azufre y dos técnicas de elaboración de cuero vegetal en base al látex de shiringa (*Hevea brasiliensis*). Este trabajo pretende obtener productos aceptables por el mercado, el cual contribuirá con el desarrollo del producto competitivo dando valor agregado al látex fresco de shiringa con la finalidad de incrementar la rentabilidad de los productores shiringueros y promover la conservación productiva de los bosques de la provincia de Tahuamanu.

2. Materiales y métodos

Lugar de ejecución

La investigación se realizó en la Estación Experimental María Cristina, localizada a 1,5 km de la ciudad de Iberia. Clima ligeramente húmedo y cálido, correspondiente a la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical. La precipitación anual varía entre 1470 a 2225 mm (1647 mm en promedio

anual), la temperatura media anual varía entre 24,3 a 25,1 °C (24,6 °C en promedio) (Pérez-Chaves et al., 2022) y la humedad relativa es de 68,3% (Flores, 1983). Asimismo, registra una sequía temporal entre los meses de abril a agosto.

Métodos

Para la elaboración del cuero vegetal en base al látex de shiringa (*Hevea brasiliensis*) se aplicaron dos métodos: 1) Defumado de tela revestida de látex y 2) Revestimiento de tela secado bajo el sol. La Figura 1 muestra el flujo de cada método aplicado.

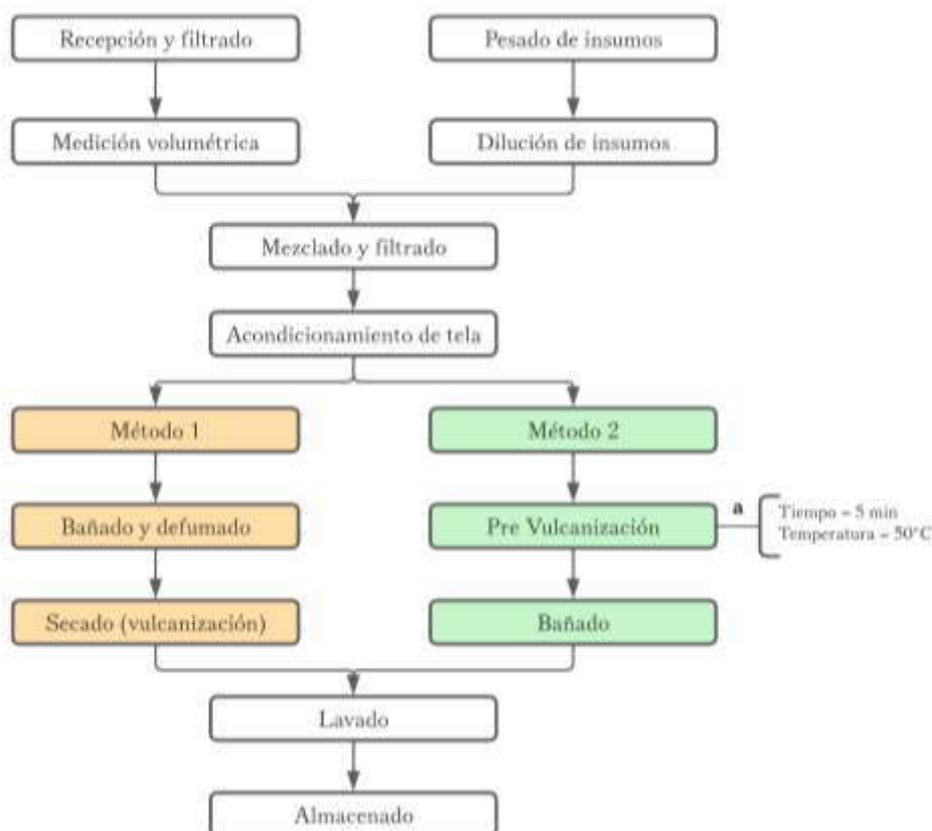


Figura 1. Diagrama de flujo para la elaboración del cuero vegetal en base al látex de shiringa (*Hevea brasiliensis*).

La cantidad de insumos y diluyente empleados se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Insumos y diluyente utilizados

Insumo	Método 1			Método 2		
	Cant. g.	Diluyente	Cant. ml.	Cant. g.	Diluyente	Cant. ml.
Sulfuro de sodio	30	Agua	100	30	Agua	100
Azufre	10,5	Agua	20	10,5	Agua	20
Óxido de zinc	5	Agua	15	10	Agua	20
Bicarbonato de sodio	10	Agua	16	10	Agua	16
Hidróxido de potasio	6,22	Agua	8	6,22	Agua	8

Variable de respuesta

Se realizó la dilución del azufre (soluto) utilizando aceite de castaña, vaselina, sulfuro de carbono y agua (solventes). Para determinar la dilución del azufre, se realizó por diferencia de masas de soluto (determinado por la densidad la solución y solvente). Se añadió azufre en cada uno de los disolventes (aceite, vaselina, agua y sulfuro de carbono), el volumen de los solventes fue de 10

ml, una vez dispersas las partículas de azufre se obtuvo un determinado volumen y peso de cada mezcla.

Se determinaron las densidades de cada disolvente (Ecuación 1). Posteriormente, se realizaron los cálculos para determinar la masa de soluto disuelto en el volumen conocido de solvente cuyos valores se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Densidad de solución (mezcla) y solvente

Disolvente Solvente	Azufre/Aceite	Aceite	Azufre/Vaselina	Vaselina	Azufre/Agua	Agua	Azufre/Sulfuro carbono	Sulfuro carbono
Masa	10,3329	9,098	10,328	8,3837	11,8912	9,9183	12,5255	12,6
Volumen	10,1917	10	10,2033	10	10,1883	10	9,1166	10
Densidad m/v	1,0139	0,9098	1,0122	0,8384	1,1671	0,9918	1,3739	1,26
Diferencia	0,104054411		0,1738		0,17527		0,1139	

Densidad

$$\delta = m/v \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde:

δ = Densidad

m = masa

v = volumen

Al finalizar la elaboración de cuero vegetal, se determinó la textura con la aplicación de fuerzas de rozamiento cinético (Ecuación 2), para ello se utilizó un bloque de masa (m) que se deslizó por la superficie del cuero vegetal con una velocidad constante y una fuerza normal que tiene a mantener unidades de ambas superficies y una fuerza de fricción F_c , entre el bloque y la superficie (Merwe, 1991).

Fuerza de rozamiento cinético

$$F_c = \mu_c N \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Donde:

F_c = Fuerza de rozamiento cinético

μ_c = Coeficiente de rozamiento cinético

N = Fuerza normal entre las dos superficies

Se determinó el coeficiente de fricción cinética con regresión lineal (Ecuación 3), para lo cual se tomó los datos obtenidos de las fuerzas de rozamiento aplicadas a la superficie del cuero vegetal. La regresión permitió determinar la existencia de relación entre las variables en estudio (Ibáñez, 2000).

Coeficiente de regresión

$$\delta = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

Para determinar la pegajosidad, se aplicó la fuerza de rozamiento estático (Ecuación 4), para luego hallar el coeficiente de fricción estático (Ecuación 5). Se utilizó un bloque de masa (m), en el que se aplicó una fuerza que aumentase gradualmente mientras el cuerpo se mantuviera en reposo (Merwe, 1991).

Fuerza de rozamiento estático

$$F_s = \mu_s N$$

Donde:

F_s = Fuerza de rozamiento estático

μ_s = Coeficiente de rozamiento estático

N = Fuerza normal entre las dos superficies

Coeficiente de rozamiento estático

$$\mu_c = \frac{F_s}{N} = \frac{\text{Fuerza de rozamiento estático}}{\text{Fuerza normal entre las superficies}}$$

Con respecto a la determinación de aceptabilidad del olor del cuero vegetal, se realizaron encuestas a panelistas (30 individuos) de una zona urbana y rural. El instrumento fue validado por cuatro investigadores del Instituto de Investigaciones de la Amazonia peruana (IIAP).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial ($A \times B$) 4×2 , siendo los factores cuatro niveles de diluyentes (agua, aceite de castaña, vaselina y sulfuro de carbono) y dos tipos de secado del cuero vegetal (al sol y defumado). En el segundo factor, se consideró seis repeticiones, totalizando 12 repeticiones por tratamiento que corresponde al efecto de los diluyentes (Tabla 3).

Tabla 3. Distribución de tratamientos en función a los factores $A \times B$

Tratamientos	Descripción
T-1	$A1 \times B1$ = Aceite \times Secado al sol
T-2	$A1 \times B2$ = Aceite \times Defumado
T-3	$A2 \times B1$ = Vaselina \times Secado al sol
T-4	$A2 \times B2$ = Vaselina \times Defumado
T-5	$A3 \times B1$ = Sulfuro de carbono \times Secado al sol
T-6	$A3 \times B2$ = Sulfuro de carbono \times Defumado
T-7	$A4 \times B1$ = Agua \times Secado al sol
T-8	$A4 \times B2$ = Agua \times Defumado

El análisis estadístico se efectuó mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) conforme a los procedimientos GLM del paquete estadístico SPSS para las variables pegajosidad y textura del cuero vegetal, y así determinar significancia entre los tratamientos en estudio. En función a la significancia del ANOVA, se efectuó una prueba de Tukey para determinar el tratamiento que mejor respuesta presenta, respecto al factor Diluyentes, así como un ajuste por comparaciones múltiples, consistente en Diferencia Mínima Significativa, para el factor Tipo de Secado.

3. Resultados y discusión

3.1. Dilución del azufre

En la determinación de diferencia de masa de soluto (azufre) en los solventes, se trabajó con volúmenes de 10 ml para cada uno de ellos (aceite, vaselina, agua, sulfuro de carbono). Posteriormente, se añadió azufre a cada solvente hasta conseguir la máxima solubilidad, y luego se realizó la medición de masa y volumen de la mezcla o solución obtenida (azufre y el solvente empleado), haciendo seis repeticiones.

A través de cálculos se determinó la masa de soluto soluble (azufre) en los solventes, lo que permitió visualizar la diferencia de masa de soluto (azufre), además el porcentaje de solubilidad del azufre. De tal forma, se observó que el solvente más adecuado fue la vaselina seguido del agua, aceite y sulfuro de carbono (ver Anexo 1).

Considerando que el látex de shiringa está compuesto aproximadamente de 60% de agua (polar) y tomando en cuenta la polaridad de los solventes, el agua es miscible para el látex y no la vaselina, aceite y sulfuro de carbono que son apolares.

3.2. Textura

La Tabla 4 muestra que la variable independiente (textura), dependió estrechamente de la técnica o método de secado y el diluyente utilizado para la elaboración de cuero vegetal ($p < 0.05$).

Tabla 4. Coeficiente de fricción cinético por cada tratamiento y método de elaboración.

Tratamientos							
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Secado							
S	D	S	D	S	D	S	D
0,27	0,41	0,48	0,42	0,84	0,36	0,47	0,48
0,35	0,37	0,25	0,33	0,51	0,36	0,56	0,31
0,36	0,40	0,42	0,27	0,63	0,40	0,61	0,41
0,54	0,39	0,34	0,40	0,34	0,49	0,48	0,54
0,54	0,28	0,28	0,37	0,42	0,43	0,54	0,38
0,35	0,42	0,51	0,37	0,42	0,45	0,37	0,41
\bar{x}							
0,40	0,38	0,38	0,36	0,53	0,42	0,50	0,42

Nota: S=Secado al sol; D=Defumado

En la Figura 2 se detalla las variaciones de los tratamientos con su respectivo método de elaboración de cuero vegetal. Se observó que en los tratamientos 1, 2, 3 y 4, el coeficiente de fricción fue menor, con una textura completamente liza; a comparación de los tratamientos 5, 6, 7 y 8, esto dado a que los tratamientos 1, 2, 3 y 4, estuvieron compuestos por diluyentes como el aceite y la vaselina respectivamente; y en la superficie del cuero vegetal presentaron cierta aceitosidad. Puesto que la textura del producto no fue la más deseada, la calidad del producto final no fue óptima. En los tratamientos 5, 6, 7 y 8; la superficie resultó libre de estas sustancias, contando con una mejor textura.

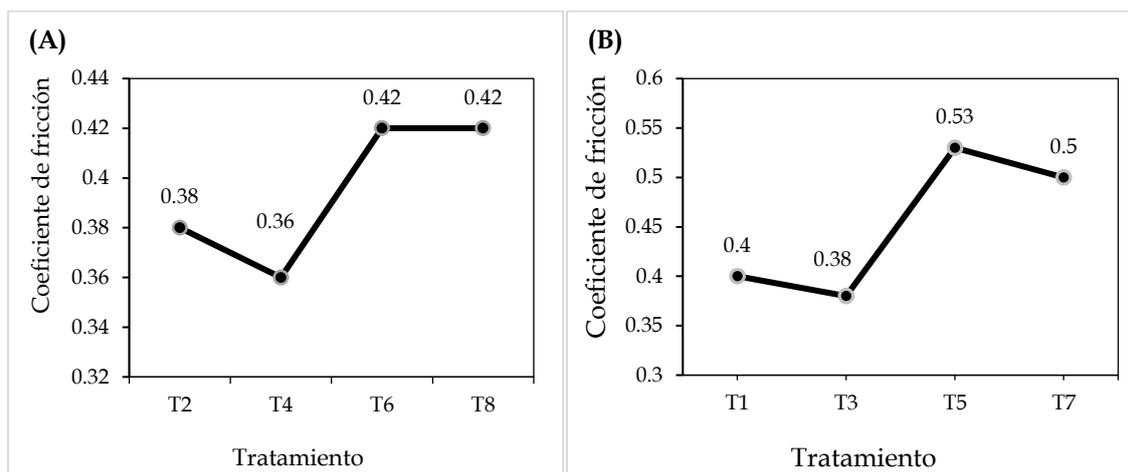


Figura 2. Variación del coeficiente de fricción por cada tratamiento en el método de secado por defumado (A) y en el método de secado bajo el sol (B).

En este trabajo se realizó una comparación con las cualidades del cuero animal, ya que guarda similitud en cuanto a su apariencia; por ello Lambe et al. (1997), indican que el coeficiente de fricción cinético del cuero animal es de 0,4. Es importante entonces que el coeficiente de fricción de la superficie sea bajo.

3.3. Pegajosidad

Los resultados de coeficiente de fricción estática, obtenidos mediante regresión lineal (Tabla 5); reflejan el grado de pegajosidad de cada método de secado por cada tratamiento. El método de secado bajo el sol presentó mayor grado de pegajosidad a comparación del método de defumado.

El método de defumado se expone al humo a una temperatura aproximada de 80°C, la cual contribuye en el proceso de vulcanizado (en esta etapa existe una reacción química que enlazan las moléculas de látex con el azufre, a mayor temperatura existe una mejor reacción), obteniendo un producto libre de pegajosidad. A comparación del método de secado bajo el sol, este se somete a temperatura ambiente la cual es insuficiente para logra un vulcanizado óptimo.

Tabla 5. Coeficiente de fricción estático por cada tratamiento y método de elaboración.

Tratamientos							
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Secado							
S	D	S	D	S	D	S	D
0,35	0,44	0,44	0,47	0,79	0,36	0,46	0,51
0,36	0,34	0,31	0,45	0,60	0,37	0,59	0,46
0,41	0,39	0,54	0,43	0,96	0,38	0,59	0,41
0,76	0,35	0,50	0,47	0,33	0,51	0,36	0,52
0,50	0,40	0,52	0,39	0,48	0,43	0,46	0,37
0,37	0,41	0,42	0,51	0,48	0,40	0,47	0,40
\bar{x}							
0,46	0,39	0,46	0,46	0,61	0,41	0,49	0,44

Nota: S=Secado al sol; D=Defumado

Al existir una escasa información sobre el coeficiente de fricción estático del cuero vegetal, realizamos una comparación con los coeficientes de fricción. Lambe et al. (1997) afirman que el coeficiente de fricción estático del cuero animal es de 0,5 y cinético es de 0,4. Friedenthal (2004) señala que, la vulcanización es un proceso de conversión de las moléculas de látex en una estructura llamada entrecruzamiento; a través de este el látex cambia de un estado plástico a un estado elástico. Para ello es necesario agentes vulcanizantes (azufre, donadores de azufre, peróxido), a media que los enlaces o puentes de vulcanización se forman, esto aplicando presión y altas temperaturas, el vulcanizado se vuelve rígido.

3.4. Olor

Según las encuestas realizadas a los panelistas de la zona urbana, con respecto a las muestras de cuero vegetal defumado, 37% afirmaron que el que olor fue moderado, 27% olor excesivo-moderado, 10% olor excesivo- aceptable, 10% olor aceptable, 10% olor excesivo y 7% olor moderado aceptable. Con respecto a la muestra de cuero vegetal secado al sol, afirmaron un 40% que el olor fue moderado, 20% olor excesivo, 17% olor excesivo-moderado, 7% olor moderado aceptable, 13% olor aceptable y un 3% olor bajo. A los panelistas se les pregunto si toleraría usar prendas elaboradas de cuero vegetal, ellos afirmaron que estos productos son aceptables para utilizar como artículos (botas, ponchos y artículos artesanales). Cabe resaltar que para este segmento de panelistas el producto fue nuevo.

En la zona rural (encuesta realizada en la localidad de Iberia), con respecto a la muestra de cuero vegetal defumado, 30% señalaron que el olor fue moderado, 27% olor moderado aceptable, 17% olor aceptable y 13% olor excesivo. Con respecto a las muestras de cuero vegetal secados al sol se obtuvo un 30% de olor aceptable, 23% olor moderado, 20% olor moderado aceptable, 13% olor excesivo-aceptable, 10% olor excesivo-moderado y 3% olor excesivo. Los panelistas de esta zona afirmaron que utilizarían en diferentes prendas de vestir e incluso en artículos artesanales.

4. Conclusiones

Se concluye que el mejor solvente para el azufre es la vaselina (de naturaleza apolar) con un porcentaje de solubilidad de 18,8%. Sin embargo, el látex es de naturaleza polar por el contenido aproximadamente del 60% de agua, lo que ocasiona que la mezcla resultante es inmisible. El agua es el siguiente solvente con mayor solubilidad para el azufre con un porcentaje de solubilidad de 16.6%, dada su naturaleza polar de ambos son totalmente miscibles, conllevando a que el agua sea el mejor solvente para el azufre.

Financiamiento

El trabajo de investigación no recibió financiamiento.

Conflicto de intereses

Las autoras declaran que no incurren en conflicto de intereses.

Contribución de autores

C-L, L.: conceptualización, análisis formal, investigación, escritura (preparación del borrador final).

C-C, L.: metodología, investigación, curación de datos, redacción (revisión y edición).

Referencias bibliográficas

- Alexiades, M. N., & Shanley, P. (2004). Productos forestales, medios de subsistencia y conservación: estudios de caso sobre sistemas de manejo de productos forestales no maderables: introducción. En *Productos forestales, medios de subsistencia y conservación: estudios de caso sobre sistemas de manejo de productos forestales no maderables*. (pp. 1-22). Bogor, Indonesia, CIFOR. <https://hdl.handle.net/10568/18945>
- Flores, M. (1983). *La explotación del caucho en el Perú. Producción de caucho y jébe*. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo de la Educación.
- Friedenthal, E. (2004). *Tecnología básica del caucho*. Cursos del centro de investigación y desarrollo tecnológico de la industria del caucho (CITIC - INTI).
- Fung, L. (2005). *Introducción a la ciencia y tecnología del caucho*. Pre- Jornadas VIII Latinoamericanas y VI Iberoamericanas de Tecnología del Caucho.
- Ibáñez, V. (2000). *Aplicaciones Estadísticas en Ganadería*. Universitaria. Puno, Perú.
- Lambe, T., William, R. V., & Whitman. (1997). *Mecánica de Suelos*. Instituto Tecnológico de Massachusetts.
- LATEQ. UnB. (2006). *Conservación del látex*. Laboratorio de Tecnología Química- LATQ de la Universidad de Brasil - UnB.
- Merwe, V. (1991). *Física General*. «Fuerza. Leyes de Newton del movimiento». McGraw- Hill.
- Ortiz, D. (1980). *Monografía del Purus, reseña histórica de una importante región fronteriza de la selva del Perú*. Imprenta Grafica 30.
- Pérez-Chaves, P., Ruokolainen, K., Van doninck, J., & Tuomisto, H. (2022). Impact of spatial configuration of training data on the performance of Amazonian tree species distribution models. *Forest Ecology and Management*, 504, 119838. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119838>
- Peter, H. (2005). *Información general y cálculo básico en la heveicultura (3ra ed)*. Servicaucho.

Rengifo, G., Carpio, A., & Blanco, J. (2001). *Historia de Iberia*. Congresista Eduardo S.

Ríos, A. (2007). *Masacre en territorio indígena en el tiempo del caucho, explotador por los españoles: como principal explotadores Julio Cesar Arana, familia Loaiza y otros en el río putumayo con sus afluentes río igaraparaná y el río caraparaná*.

Anexo 1. Resultado de las dosis de dilución de los disolventes

Unidades	Solución	Soluto	Solvente	Solución	Soluto	Solvente	Solución	Soluto	Solvente	Solución	Soluto	Solvente
	Aceite/Azufre	Azufre	Aceite	Azufre/Vaselina	Azufre	Vaselina	Azufre/Agua	Azufre	Agua	Azufre/Sulfuro de carbono	Azufre	Sulfuro de carbono
Masa (g)	10,3329	1,2349	9,0980	10,3281	1,9444	8,3837	11,8912	1,9729	9,9183	13,5275	0,9275	12,6000
Volumen (ml)	10,1917		10,000	10,2033		10,000	10,1883		10,000	9,1167		10,000
Densidad (g/ml)	1,0139		0,9098	1,0122		0,8384	1,1671		0,9918	1,4838		1,2600
Solubilidad (%)	11,9510			18,8259			16,5913			6,8563		



Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas

Patrocinador:



Universidad Nacional Amazónica
de Madre de Dios



Vicerrectorado de
Investigación