

Ciencias de Bosques Amazónicos



REVISTA DE DIFUSIÓN INVESTIGATIVA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL BENI JOSÉ BALLIVIÁN
PUBLICACIÓN ANUAL, VOL. 1, N° 1, GESTIÓN 2025
RIBERALTA-BENI-BOLIVIA
PUBLICADO: ABRIL 2026
VERSIÓN DIGITAL

GESTIÓN Y COORDINACIÓN GENERAL

Guido Pardo Molina,
Decano Facultad de Ciencias Forestales UABJB-Riberalta

COORDINACIÓN Y EDICIÓN

Armelinda Zonta Fronza

EDICIÓN CIENTÍFICA

Vincent A. Vos

DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO

Douglas Velásquez Moriset

REDACTORES

Abraham Janco Loka
Ademir Hurtado Lairana
Alcira Justiniano Dorado
Armelinda Zonta Fronza
Álvaro Suárez
Bezaleel Paredes Subirana
Daniel Semo Yoamona
Edward Flores Villanueva
Emanuel Astaca Gutiérrez
Fortunato Angola
Gregorio Choque Condor
Grover Osvaldo Claros Galindo
Gutenberg Gómez Mendoza
Jaime Antonio Cortez Vallejo
Mariely Camacho Delgado
Mario Rodríguez Ojopi
Rafael Luna Divapuri
Rubén Velásquez Marca
Vincent A. Vos
Yara Guzmán Roca

FOTOGRAFÍA

IIFA-UABJB, © rokruse

REVISTA ANUAL "CIENCIAS DE BOSQUES AMAZÓNICOS"

VOL. 1, N° 1, 2025

D.L.: 1-3-446-2026

ISSN:**CONTACTO**

IIFA-UABJB,
Campus UABJB
Riberalta - Beni -Bolivia
+591 71127425
iifa_uabjb@iifa.com.bo



Ing. Armelinda Zonta Fronza

Coordinadora y editora principal de la revista
"Ciencias de Bosques Amazónicos"

Presentación

Ciencias de Bosques Amazónicos es una nueva revista de difusión investigativa de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma del Beni "José Ballivián", editada en Riberalta.

La publicación reúne trabajos que miran el bosque amazónico desde la ciencia aplicada: sistemas agroforestales, productividad, límites del suelo, biodiversidad y clima. En sus páginas se discuten problemas muy concretos de la región —como la baja fertilidad en suelos de tierra firme y su efecto en cultivos como Cacao y Copoazú— y, al mismo tiempo, se plantea el valor de los SAF para sostener servicios ecosistémicos como el secuestro de carbono.

En esta edición, el lector encontrará estudios sobre productividad y tiempos de cosecha maderera en sistemas agroforestales de Riberalta; un análisis de agroforestería y Salud Planetaria ligado a los desafíos de frutales en suelos de tierra firme; y una investigación sobre cómo la diversidad arbórea se conecta con la dinámica de carbono en SAF. También aparecen trabajos sobre biomasa en Cuchi Verde, estructura poblacional y potencial productivo de Palla, germoplasma de Majo, y ensayos de vivero y manejo silvicultural en especies como Balsa, entre otros temas.



Contenido

.....
Este primer número de la revista facultativa Ciencias de Bosques Amazonicos reúne investigaciones sobre los bosques amazónicos y los sistemas agroforestales de tierra firme en el norte de Bolivia. Los artículos abordan productividad y manejo, biodiversidad, biomasa y carbono, junto con retos de especies forestales y frutales en suelos de baja fertilidad. Aquí encontrará los trabajos ordenados por tema y autor, con su página de inicio para una lectura rápida.

Productividad y Tiempos de Cosecha Maderera en Sistemas Agroforestales Implementados en Suelos de Tierra Firme en Riberalta..... 8

Autores: Armelinda Zonta, Bezaleel Paredes Subirana, Mariely Camacho Delgado, y Alcira Justiniano Dorado

Agroforestería, Salud Planetaria y los Desafíos de las Especies Frutales Cultivadas en Suelos de Tierra Firme en la Amazonía..... 26

Autores: Armelinda Zonta, Emanuel Astaca Gutiérrez, Bezaleel Paredes Subirana, Mariely Camacho Delgado, Mario Rodríguez Ojopi, Edward Flores Villanueva, Abraham Janco Loka, y Daniel Semo Yoamona.

Interacciones Críticas entre la Biodiversidad Arbórea y la Dinámica de Carbono: Contribución de los Sistemas Agroforestales de Tierra Firme de Riberalta a la Salud Planetaria..... 44

Autores: Armelinda Zonta, Vincent A. Vos, Grover Osvaldo Claros Galindo, Bezaleel Paredes Subirana, Mariely Camacho Delgado, Mario Rodríguez Ojopi, Edward Flores Villanueva.

Producción de Biomasa Aérea en Cuchi Verde (*Gliricidia sepium*) según Edad de la Planta, en Suelos de Tierra Firme de Riberalta, Bolivia. 53

Autores: Gregorio Choque Condori, Armelinda Zonta

Estructura Poblacional y Potencial Productivo de Fruta de Palla (*Attalea bassleriana*) en Bosques de Tierra Firme del Noreste Amazónico Boliviano: Estudio de Caso Municipio Villa Nueva” 62

Autores: Rafael Luna Divapuri y Armelinda Zonta

Identificación de Líneas de Germoplasma de Majo (*Oenocarpus bataua*) en Poblaciones Naturales en la Provincia Vaca Díez para Obtención de Pulpa y Aceite. 72

Autores: Armelinda Zonta, Fortunato Angola, Álvaro Suárez Arze, y Rubén Velásquez Marca

Efecto del Volumen de Sustrato en el Crecimiento de Plantas de las Balsa (*Ochroma pyramidale*) en Vivero en Riberalta, Beni, Bolivia.77

Autores: Yara Guzmán Roca, Gutemberg Gómez Mendoza, Armelinda Zonta

Influencia del Espaciamiento en el Desarrollo Morfológico y Productivo de Balsa (*Ochroma pyramidale*) en la Amazonía Norte de Bolivia. 87

Autores: Armelinda Zonta, Ademir Hurtado Lairana, Edward Flores Villanueva, Mario Rodríguez Ojopi, Mariely Camacho Delgado, Bezaleel Paredes Subirana

Efecto de la Enmienda Calcárea en la Producción de dos Variedades de Braquiaria y Sorgo en Suelos Degradados de Tierra Firme en Riberalta. 96

Autores: Bezaleel Paredes Subirana, Armelinda Zonta, Mariely Camacho Delgado, Mario Rodríguez Ojopi y Alcira Justiniano Dorado

Estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociados al Consumo Eléctrico del Campus Universitario de la UABJB en Riberalta, Bolivia. 105

Autor: Jaime Antonio Cortez Vallejo







Ing. Guido Pardo Molina

Decano de la Facultad de Ciencias Forestales
UAB-JB Riberalta

Introducción

La Amazonía boliviana atraviesa un momento decisivo. Mientras la región busca responder a una crisis económica persistente, también enfrenta una profundización de la crisis climática y ambiental, con riesgos crecientes de degradación ecológica y de afectaciones severas sobre la producción, la economía, la salud y el bienestar social. En este contexto, la planificación del desarrollo requiere más que nunca de evidencia científica sólida, capaz de orientar decisiones con una mirada integral, acorde con la vocación forestal, productiva y social de la Amazonía. Con ese propósito, la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma del Beni José Ballivián presenta el primer número de Ciencias de Bosques Amazónicos, su primera revista científica facultativa. Esta publicación reúne investigaciones aplicadas desarrolladas por docentes, estudiantes e investigadores de la FCF-UABJB, en una articulación entre el Instituto de Investigaciones Forestales de la Amazonía, las carreras de Ingeniería Forestal e Ingeniería en Industrias Forestales, así como con instituciones aliadas. Este número inaugural presenta diez trabajos científicos que abordan temas clave para el presente y futuro de la región: ecología y potencial productivo de los bosques amazónicos, sistemas agroforestales, biomasa y carbono, germoplasma y manejo silvicultural, productividad de especies forestales y frutales en suelos de tierra firme, y alternativas tecnológicas como la energía solar. En conjunto, estos aportes muestran que la ciencia generada desde y para la Amazonía puede convertirse en una base concreta para promover un desarrollo regional más integral, sostenible y resiliente.



Productividad y Tiempos de Cosecha Maderera en Sistemas Agroforestales Implementados en Suelos de Tierra Firme en Riberalta

Autores: Armelinda Zonta¹, Bezaleel Paredes Subirana², Mariely Camacho Delgado², y Alcira Justiniano Dorado²

¹ Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Riberalta.

² Instituto de Investigaciones Forestales de la Amazonía, Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Riberalta.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el crecimiento expresado en Incremento Medio Anual en Diámetro a la Altura del Pecho (IMA-DAP) de siete especies forestales (Mara, Cedro Colorado, Castaña, Tumi, Picana, Serebó, Copaibo) integradas en Sistemas Agroforestales (SAF) de 20 a 26 años de edad en ocho comunidades rurales de Riberalta, Amazonía boliviana. La metodología se basó en la medición de DAP en 20 parcelas de 1000 m² y el cálculo del IMA-DAP para estimar ciclo de corta para un diámetro comercial de 60 cm. La especie dominante y más frecuente es el Almendro o Castaña (*Bertholletia excelsa*), presente en el 85% de los SAF evaluados, destacando su valor multifuncional (madera y nueces), mientras que las especies con mayor potencial de crecimiento para producción maderera son el Serebó (*Schizolobium parahyba*) y el Cedro Colorado (*Cedrela odorata*). El Serebó registró el mejor IMA-DAP (hasta 3.5 cm/año y un ciclo de corta más corto a los 24 años para alcanzar los 60 cm de DAP, seguido del Cedro Colorado con un IMA de 2,8 cm/año y un ciclo de corta de 33 años. La Mara (*Swietenia macrophylla*) y la Castaña presentan ciclos de corta más largos, de 40 y 38 años, respectivamente y consideradas especies de crecimiento intermedio, mientras que el Tumi (*Amburana cearensis*) y la Picana (*Cordia alliodora*) requieren el mayor tiempo, entre 55 y 50 años, respectivamente, para alcanzar el DAP comercial. El estudio confirma la fuerte influencia del sitio (comunidad / microclima / suelo) en el crecimiento, con diferencias estadísticas significativas en el IMA-DAP para la mayoría de las especies. Por ejemplo, las condiciones en Santa María fueron óptimas para Mara y Cedro Colorado, mientras que San Juan del Urucú fue ideal para Serebó y Castaña. La Picana y el Tumi fueron las únicas especies que no mostraron diferencias significativas en su crecimiento entre sitios.

Palabras clave: Incremento Medio Anual, Diámetro a Altura del Pecho, comunidades, sistemas agroforestales.





Introducción

Los árboles maderables cumplen un rol estratégico en los sistemas agroforestales (SAF) amazónicos. No solo ofrecen productos de alto valor económico (madera, frutos, látex y resinas), sino que también proporcionan una amplia gama de servicios ecosistémicos cruciales, tales como la regulación hídrica, la conservación del suelo, la captura de carbono y el soporte a la biodiversidad. En el contexto actual del cambio climático y la creciente presión sobre los bosques naturales, el cultivo de especies forestales en SAF representa una alternativa sostenible para la producción maderera, al mismo tiempo que mejora la resiliencia y los medios de vida de las comunidades rurales (Justiniano et al., 2001; Romero et al., 2015).

.....
Diversos estudios han demostrado que las densidades de siembra, las asociaciones con cultivos agrícolas y las condiciones edafoclimáticas específicas influyen significativamente en el desempeño silvícola de las especies.
.....

Diversos estudios han demostrado que las densidades de siembra, las asociaciones con cultivos agrícolas y las condiciones edafoclimáticas específicas influyen significativamente en el desempeño silvícola de las especies (Rocha, 1994). Por su alto valor económico y ecológico, las especies Mara (*Swietenia macrophylla*), Cedro (*Cedrela odorata*), Castaña (*Bertholletia excelsa*), Tumi (*Amburana cearensis*), Picana (*Cordia alliodora*), Serebó (*Schizolobium parahyba*) y Copaibo (*Copaifera reticulata*) han sido priorizadas como componentes clave en los sistemas agroforestales implementados en la Amazonía Norte de Bolivia.



Mara (*Swietenia macrophylla* King), presenta características silviculturales generalmente favorables para su cultivo. Sin embargo, su principal limitación es el ataque del barrenador de las meliáceas (*Hypsipyla grandella*), el cual afecta directamente el meristema apical. Este daño compromete la conformación del fuste, impidiendo la formación de troncos altos y rectos, y reduciendo significativamente el rendimiento comercial. A pesar de este desafío, se han reportado tasas de crecimiento variables y prometedoras en diferentes regiones de América Latina y el Caribe, tanto en monocultivos como en sistemas agroforestales, lo que subraya la necesidad de investigar estrategias de manejo más efectivas en condiciones específicas.

Serebó (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) árbol emergente que puede alcanzar hasta 30 m de altura y 100 cm de Diámetro a Altura del Pecho (DAP). Su copa es mediana, abierta, convexa y truncada en la base. Su crecimiento en Bolivia en plantaciones asociadas con plátano se registraron promedios de 8.9 cm de DAP a los 3 años y 23 cm de DAP a los 8 años (Justiniano et al., 2001). Datos similares fueron reportados por Rocha, (1994) en plantaciones realizada en Cochabamba, donde los árboles alcanzaron 7.46 cm de DAP a los 3 años. El Incremento Medio Anual (IMA) en DAP en plantaciones bolivianas fue de 3.3 cm, con un crecimiento más pronunciado en los primeros años, que disminuye con el tiempo (Romero et al., 2015). Plantaciones en el valle de Chanchamayo (Perú) alcanzaron diámetros de hasta 30 cm en 5 años en suelos aluviales (Reynel et al., 2003). En Brasil, se reportaron incrementos de 3.49 cm/año en plantaciones puras (Sabogal et al., 2006). En sistemas agroforestales en Pará, Brasil, se registraron alturas entre 9.5 m y 12 m y diámetros entre 20 cm y 24 cm, con un IMA-DAP de 5 a 6 cm a los 4 años de edad, mostrando un rendimiento óptimo en suelos degradados y pobres en nutrientes (Lourdes et al., 2010).

.....
A pesar de este desafío, se han reportado tasas de crecimiento variables y prometedoras en diferentes regiones de América Latina y el Caribe, tanto en monocultivos como en sistemas agroforestales, lo que subraya la necesidad de investigar estrategias de manejo más efectivas en condiciones específicas.



En plantaciones puras con espaciamento inicial de 4 x 4 m, la especie presentó un IMA en altura de 4 m y un IMA-DAP de 3.8 cm a los 5.5 años (Rondón, 2002).

Tumi o Roble (*Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Sm.), es un árbol emergente que puede alcanzar hasta 40 m de alto y 150 cm de DAP, caracterizado por una copa redonda y un fuste recto, cilíndrico-cónico y limpio. Su incremento medio anual (IMA-DAP) en bosques naturales fue de 0.5 cm (Mamani & López, 2023). En plantaciones puras, como en el bosque Alexander Von Humboldt en Pucallpa (Perú), se obtuvo un IMA-DAP de 0.63 cm (Flores et al., 2004). Es importante destacar que el IMA-DAP es significativamente mayor durante los primeros años de vida: Soudre et al. (2001) registraron un DAP entre 1.1–1.3 cm a los 13 meses de edad en plantaciones establecidas en áreas degradadas de Pucallpa, Perú.

Picana (*Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken), es un árbol que alcanza hasta 25 m de altura y 80 cm de diámetro, con fuste cilíndrico y ramificación desde el segundo tercio, (Killen et al., 1993). Su crecimiento en altura durante los primeros años es de 2 m/año (Pires et al., 1982). En sistemas agroforestales con Café, Cacao y Caña de Azúcar en Costa Rica, la Picana alcanzó un crecimiento diamétrico de 5.5 cm a los 3–4 años, con un IMA-DAP de 1.6 cm (Somarriba & Beer, 1986). En otras regiones de Costa Rica (Talamanca) y Panamá (Changuinola), la especie cultivada en SAF presentó incrementos aún mayores, alcanzando un IMA-DAP de 2.5 cm y 3.8 cm, respectivamente (Valdivieso et al., 1997).

Castaña o Almendro (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), pertenece a la familia Lecythidaceae, es un árbol grande y emergente que puede alcanzar hasta 45 m de altura y 2 m de DAP. Su valor no solo es maderable sino también nutracéutico. En sistemas agroforestales, individuos de 13 años asociados con *Inga macrophylla* (Pacay), *Citrus sp.* (Limón Rugoso), *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (naranja), registraron un IMA-DAP de 2.1 cm a 3.0 cm



(Arias, 2001).

Cedro Colorado (*Cedrela odorata* L.) pertenece a la familia de las Meliaceae, es un árbol erecto que puede alcanzar 35 m de altura y 2 m de diámetro, con contrafuertes anchos de hasta 4 m. Su desempeño es altamente sensible a las condiciones edáficas. Plantaciones de un año de edad en el sur de Sonora, México, presentaron un diámetro en la base de 7.2 cm y una altura de 3.23 m en suelos aluviales, mientras que en suelos compactados y de baja fertilidad solo alcanzaron 6.5 cm de diámetro base y 2.35 m de altura (Villaseñor et al., 2012). El incremento medio anual reportados en Veracruz, fue de 1.08 m en altura y 1.2 cm en diámetro (Sánchez et al., 2003, citado en Villaseñor et al., 2012). Con buena iluminación y suelo fértil, el IMA en altura mejoró a 1.3–1.8 m y el IMA en diámetro a 1.3–1.6 cm (Betancourt, 1987). En Tamaulipas, individuos de 3 años alcanzaron un crecimiento promedio anual de 1.72 cm en diámetro y 1.46 m en altura (Ramírez et al., 2008).

.....
Cedro Colorado (*Cedrela odorata* L.) pertenece a la familia de las Meliaceae, es un árbol erecto que puede alcanzar 35 m de altura y 2 m de diámetro, con contrafuertes anchos de hasta 4 m. Su desempeño es altamente sensible a las condiciones edáficas.

Copaibo (*Copaifera reticulata* Ducke), pertenece a la familia de las Leguminosae, árbol de crecimiento lento que alcanza hasta 30 m de altura y presenta una copa amplia y ramificada (INIA, 1999). Individuos de 20 años de edad registraron solo 14.0 cm de DAP, lo que confirma su lenta tasa de crecimiento. En plantaciones en fajas de enriquecimiento, se obtuvo un DAP de solo 2.5 cm al cabo de 7 años (Castillo, 1987). En la Amazonía peruana, plantaciones en fajas evidenciaron un crecimiento muy lento, en el rango de 0.35–0.75 cm por año en DAP y 0.28–0.58 m por año en altura total. La comparación entre plantaciones puras y fajas de 30 m concluye que esta especie requiere abundante luz para crecer de manera óptima y se adapta a suelos de tipo Gleysoils y fisiografías planas a onduladas (Flores, 2010).



Materiales y Métodos

Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en sistemas agroforestales localizados en las comunidades campesinas de Warnes, Antofagasta, Palmira, San Antonio, San Lorenzo, Santa María, San Juan del Urucú y Medio Monte, en el municipio de Riberalta, en el norte del Departamento del Beni, en la Amazonía boliviana.

El clima de Riberalta, en la Amazonía boliviana, es tropical húmedo con marcada estacionalidad, caracterizado por una estación lluviosa prolongada y una estación seca relativamente corta. La temperatura media anual se sitúa alrededor de 26 °C, con escasa variación intraanual y máximos que suelen superar los 30 °C durante la estación seca (Fick & Hijmans, 2017; SENAMHI, 2019). La precipitación media anual oscila entre 1700 y 1900 mm, concentrándose principalmente entre octubre y abril, mientras que el periodo de menores precipitaciones se extiende generalmente de mayo a septiembre, (Fick & Hijmans, 2017; Killeen, 1998). La humedad relativa es elevada durante gran parte del año, con valores medios frecuentemente superiores al 80 % en la estación lluviosa y descensos moderados durante los meses secos (SENAMHI, 2019).

En el municipio de Riberalta, en la Amazonía boliviana, predominan suelos de tierra firme desarrollados sobre superficies antiguas y altamente meteorizadas, donde son comunes Ferralsoles, Acrisoles y Plinthosoles. Estos suelos son generalmente profundos, bien drenados, de textura franca a franco-arcillosa, con colores rojizos o amarillentos y, en algunos sectores, con presencia de horizontes lateríticos en el subsuelo (Navarro, 2011; Quesada et al., 2010). Desde el punto de vista químico, presentan alta acidez, baja capacidad de intercambio catiónico y baja saturación de bases, lo que se traduce en una fertilidad natural limitada. La disponibilidad de nu-

.....
El estudio se realizó en sistemas agroforestales localizados en las comunidades campesinas de Warnes, Antofagasta, Palmira, San Antonio, San Lorenzo, Santa María, San Juan del Urucú y Medio Monte, en el municipio de Riberalta, en el norte del Departamento del Beni, en la Amazonía boliviana.



trientes como nitrógeno, potasio, calcio y magnesio es limitada, y el fósforo disponible es bajo debido a procesos de fijación en óxidos de hierro y aluminio, característicos de suelos tropicales muy meteorizados (Quesada et al., 2010).

Características de los sistemas agroforestales

Las técnicas de implementación de los sistemas agroforestales (SAF) incluyeron la roza, tumba y quema del bosque secundario, la siembra de cultivos anuales y la plantación en pozos de las plantas frutales y maderables producidas en vivero. Durante los primeros cuatro años, se realizaron limpiezas con una frecuencia de 2 a 3 veces por año, mientras que, en los años posteriores, estas limpiezas se redujeron a 1 o 2 veces al año, utilizando métodos mecánicos como rozadoras o machetes.

Las especies forestales encontradas en los sistemas agroforestales están asociadas con frutales perennes. Entre las especies más abundantes se encuentran *T. grandiflorum* (Copuazú) y *T. cacao* (Cacao). La edad de los sistemas varía entre 20 y 26 años, con una densidad que oscila entre 400 y 1000 árboles por hectárea.

.....
Las especies forestales encontradas en los sistemas agroforestales están asociadas con frutales perennes. Entre las especies más abundantes se encuentran *T. grandiflorum* (Copuazú) y *T. cacao* (Cacao). La edad de los sistemas varía entre 20 y 26 años, con una densidad que oscila entre 400 y 1000 árboles por hectárea.

Cuadro 1. Especies forestales priorizadas en el estudio

Nombre local	Nombre científico
Castaña	<i>Bertholletia excelsa</i>
Serebó	<i>Schizolobium parahyba</i>
Mara	<i>Swietenia macrophylla</i>
Picana	<i>Cordia alliodora</i>
Cedro Colorado	<i>Cedrela odorata</i>
Tumi	<i>Amburana cearensis</i>
Copaibo	<i>Copaifera reticulata</i>

Nota: Las especies mencionadas son cultivadas por su alta calidad y utilidad en la industria maderera y de frutos amazónicos, contribuyendo a la sostenibilidad de la región.

Muestreo de los Sistemas Agroforestales

Se midieron los árboles existentes en 20 parcelas de 1000 m² de superficie en sistemas agroforestales ubicados en las comunidades campesinas seleccionadas, con



edades de 20 a 26 años. De los árboles en cada parcela, se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.3 m utilizando una cinta diamétrica. La edad de los sistemas fue obtenida de los propietarios y expresada en años.

Método empleado para calcular el Incremento Medio Anual (IMA)

Los datos de diámetro y alturas se procesaron en una planilla de cálculo para cada una de las especies por parcela, en un total de 20 parcelas.

Con los datos de IMA-DAP de cada especie, se calculó el incremento medio anual en área basal, que, multiplicado por el IMA-altura y un factor de forma de 0.65, se determinó el incremento medio anual en volumen para cada especie. El Incremento Medio Anual del diámetro a la altura del pecho (IMA-DAP) se calcula como el cociente entre el diámetro medido al tiempo t y la edad del árbol desde la plantación, asumiendo un diámetro inicial nulo o despreciable en plantaciones jóvenes. Esta medida expresa el crecimiento promedio del diámetro por año y es ampliamente utilizada en evaluaciones silviculturales de plantaciones forestales (Clutter et al., 1983; Philip, 1994; Alder, 1995).

Considerando el incremento medio anual alcanzado por las especies en cada sitio (comunidad), se estimó el IMA-DAP promedio general para cada especie y, con él, se calculó el tiempo necesario para que cada especie alcanzara un DAP de 60 cm cuando se cultiva en suelos de tierra firme, de baja fertilidad natural, dentro de sistemas agroforestales.

Análisis estadístico

Para determinar el efecto del sitio en el incremento medio anual en diámetro, se aplicó un ANOVA de una vía al 5% de error. En caso de que el valor de F calculado fuera mayor que el valor de F en la tabla, se determinó la Diferencia Mínima Significativa entre medias con la prueba de Tukey al 5%.

Resultados

Crecimiento de la Castaña

La Castaña o Almendro (*Bertholletia excelsa*) es la especie más frecuente, con presencia en el 85% de los 20 sistemas agroforestales evaluados. El mayor IMA-DAP se registró en la comunidad de San Juan del Urucú con 2.2 cm/año, similar al encontrado por Arias (2001) en plantaciones de castaña dentro de sistemas agroforestales, que registraron un IMA-DAP de 2.1 a 3 cm. En las comunidades de Santa María, Antofagasta, Warnes y Palmira, el IMA-DAP es estadísticamente igual al 95% de confiabilidad. Las comunidades con menor IMA-DAP y estadísticamente diferentes de San Juan del



Urucú son 12 de Octubre (1.2 cm) y Palmira (1.1 cm).

Gráfico 1. Incremento Medio Anual en Diámetro a la Altura de Pecho (IMA-DAP) del Almendro (*Bertholletia excelsa*) en las comunidades del estudio.

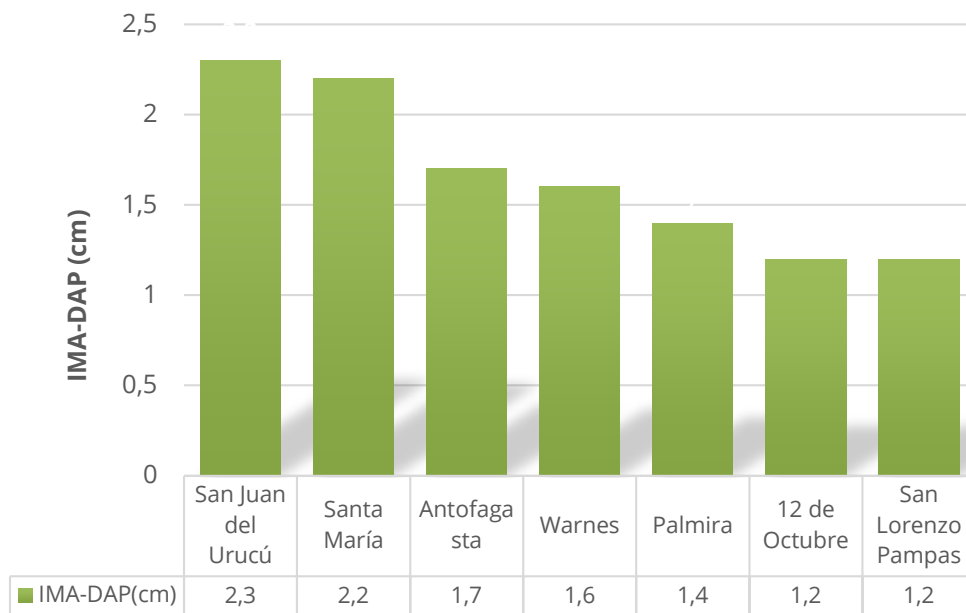


Foto 1.- Almendro (*Bertholletia excelsa*) en uno de los Sistemas Agroforestales.

Crecimiento de la Mara

Las condiciones ambientales y los tratamientos culturales en los sistemas agroforestales de la comunidad de Santa María favorecieron el crecimiento de la Mara (*S. macrophylla*), con un IMA-DAP de 2.3 cm, estadísticamente diferente al 95% de confiabilidad del crecimiento en otras comunidades. En sitios similares a Santa María, las plantas

de Mara podrían alcanzar un DAP de 60 cm a los 26 años. Estos resultados son más altos que el crecimiento en bosques naturales (ej. Verwer, 2006), pero comparable con el crecimiento registrado en otros SAF con buen manejo (Chichilla-Mora et al., 2021).

Gráfico 2. Incremento Medio Anual en Diámetro a la Altura de Pecho (IMA-DAP) de Mara (*Swietenia macrophylla*) en las comunidades de estudio.

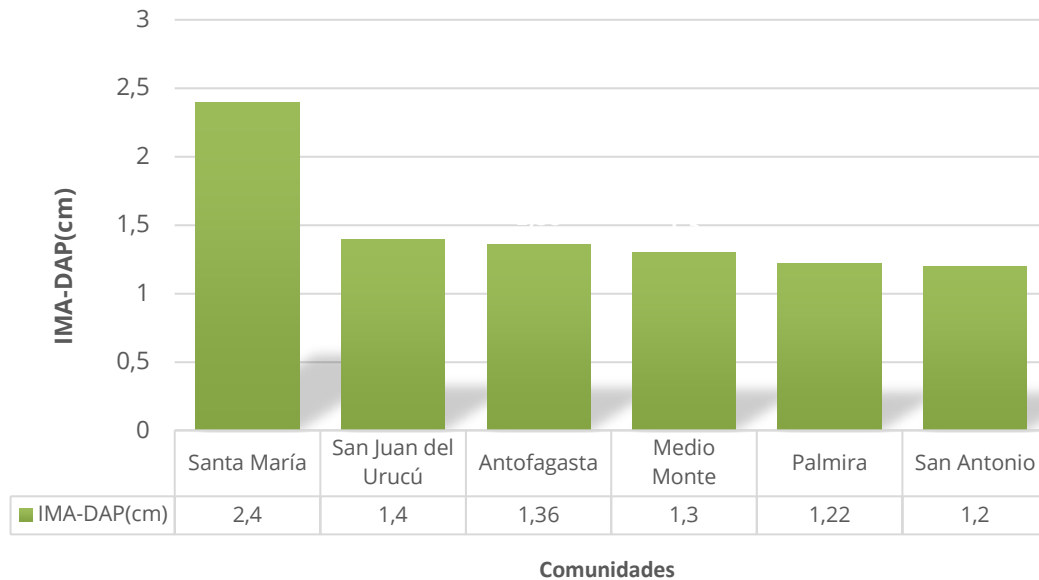


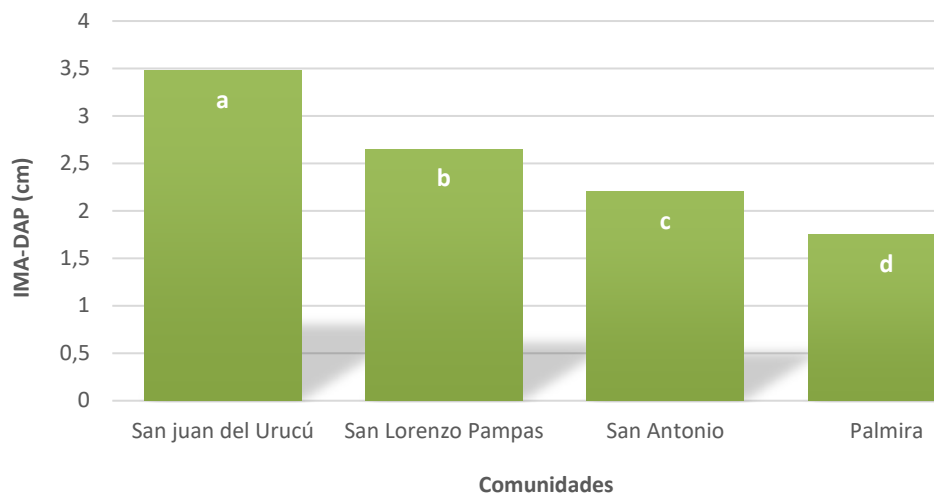
Foto 2.- Mara (*Swietenia macrophylla*) en uno de los Sistemas Agroforestales.

Crecimiento del Serebó

Para el Serebó (*Schizolobium parahyba*), las mejores condiciones se encontraron en San Juan del Urucú, con un IMA-DAP de 3.5 cm/año, estadísticamente diferente al 95% de confiabilidad respecto a otras localidades. Este valor es levemente menor al

referido por Rondón (2002) con 3.8 cm, mayor al reportado por Romero et al. (2015) con 3.3 cm, e inferior al IMA-DAP de 5 a 6 cm en Brasil (Sabogal et al., 2006). Con este crecimiento, el Serebó alcanzará un DAP de 60 cm a los 17 años.

Gráfico 3.- Incremento Medio Anual en Diámetro a la Altura de Pecho (IMA-DAP) de Serebó (*Schizolobium parahyba*) en las comunidades de estudio.



Nota: El gráfico muestra el IMA-DAP de Serebó en las comunidades evaluadas. Las barras acompañadas de diferentes letras son estadísticamente diferentes al 95% de confiabilidad.



Foto 3.- Serebó (*Schizolobium parahyba*) en uno de los Sistemas Agroforestales.

Crecimiento de la Picana

La Picana (*Cordia alliodora*) presentó un IMA-DAP similar en todas las condiciones ambientales y culturales aplicadas en los sistemas agroforestales de las diferentes comunidades, sin diferencias estadísticas significativas al 95% de confiabilidad. El IMA-

DAP promedio fue de 1.19 cm, menor que los 1.6 cm reportados en Turrialba, Costa Rica (Somarriba y Beer, 1986) y muy inferior a los 2.5 a 3.8 cm en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá (Valdivieso et al., 1997).

Gráfico 4.- Incremento Medio Anual en Diámetro a la Altura de Pecho (IMA-DAP) de *Picana* (*Cordia alliodora*) en las comunidades de estudio.



Nota: El gráfico muestra el IMA-DAP de *Picana* en las comunidades evaluadas. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las comunidades.



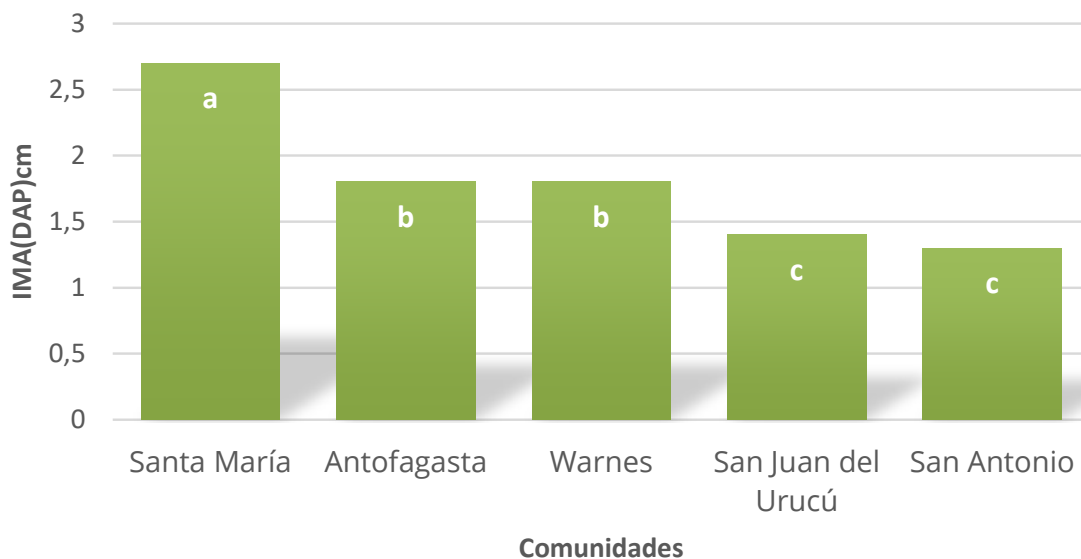
Foto 4.- *Picana* (*Cordia alliodora*) en uno de los Sistemas Agroforestales.

Crecimiento del Cedro Colorado

El Cedro (*Cedrela odorata*) mostró las mejores condiciones de crecimiento en Santa

María con un IMA-DAP de 2.8 cm, siendo estadísticamente diferente al 95% de confiabilidad de las otras comunidades evaluadas. Con este IMA-DAP, el Cedro Colorado alcanzará un DAP de 60 cm en 21 años. Las condiciones menos favorables se encontraron en San Antonio (1.25 cm) y San Juan del Urucú (1.4 cm).

Gráfico 5. Incremento Medio Anual en Diámetro a la Altura de Pecho (IMA-DAP) de Cedro Colorado (*Cedrela Aa odorata*) las comunidades de estudio.



Nota: El gráfico muestra el IMA-DAP de Cedro Colorado en las comunidades evaluadas. Las barras acompañadas de la misma letra son estadísticamente iguales al 95% de confiabilidad.



Foto 5.- Cedro Colorado (*Cedrela odorata*) en uno de los Sistemas Agroforestales.

Crecimiento del Tumi

Para el Tumi o Roble (*Amburana cearensis*) no se encontró diferencia mínima signifi-

ficativa, al 95% de confiabilidad. para el IMA-DAP entre las comunidades del estudio. El IMA-DAP promedio para las condiciones ambientales y culturales de los sistemas agroforestales evaluados fue de 1.18 cm.

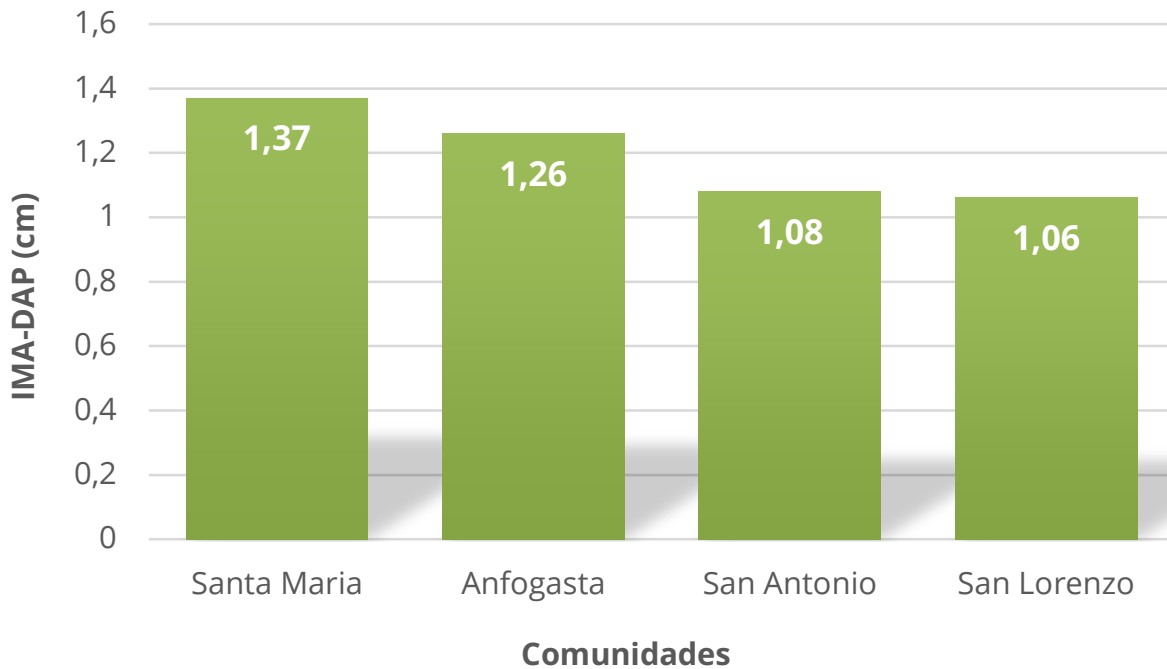


Gráfico 6.- Incremento Medio Anual en Diámetro a la Altura de Pecho (IMA-DAP) de Tumi (*Amburana cearensis*) en las comunidades de estudio.

Nota: El gráfico muestra el IMA-DAP de Tumi en las comunidades de estudio. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las comunidades.

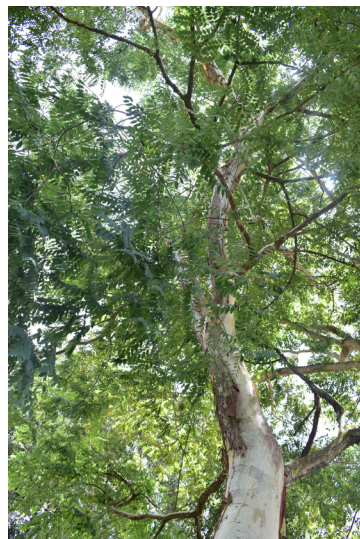
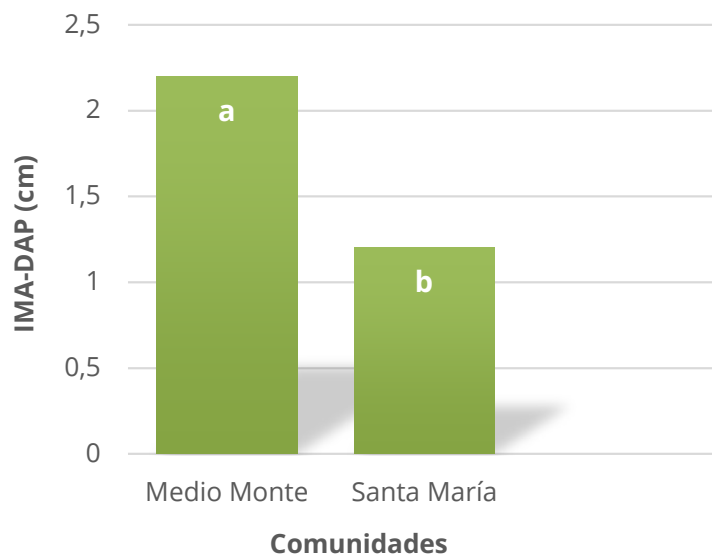


Foto 6.- Tumi (*Amburana cearensis*) en uno de los Sistemas Agroforestales.

Crecimiento del Copaibo

Las condiciones ambientales y culturales favorecieron el IMA-DAP de Copaibo (*Copaifera reticulata*) en la comunidad de Medio Monte, con un incremento de 2 cm/año y un ciclo de corta de 30 años para alcanzar un DAP de 60 cm.

Gráfico 7.- Incremento Medio Anual en Diámetro a la Altura de Pecho (IMA-DAP) del Copaibo (*Copaifera reticulata*) en dos localidades del estudio.



Nota: El gráfico muestra el IMA-DAP de Copaibo en dos localidades evaluadas. Las barras acompañadas de diferentes letras son estadísticamente diferentes al 95% de confiabilidad.

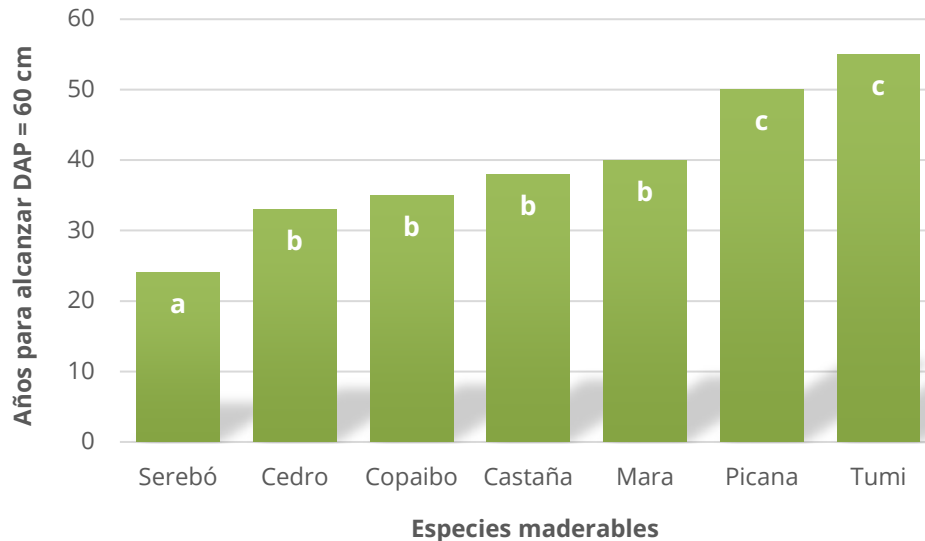


Foto 7.- Copaibo (*Copaifera reticulata*) en uno de los Sistemas Agroforestales.

Tiempo estimado para alcanzar el Diámetro Mínimo de Corte (60 cm)

Utilizando los IMA-DAP promedio, se estimó el tiempo necesario para alcanzar un DAP de 60 cm en suelos de tierra firme. El menor ciclo de corta es del Serebó (24 años), seguido del Cedro Colorado (33 años), Copaibo (35 años), Castaña (38 años) y Mara (40 años). Las especies con crecimiento más lento fueron la Picana y el Tumi, requiriendo 50 y 55 años respectivamente para alcanzar un DAP de 60 cm.

Grafico 8. Tiempo promedio que requiere cada especie evaluado para alcanzar DAP = 60 cm



Nota: El gráfico muestra el tiempo estimado necesario para que cada especie forestal evaluada en sistemas agroforestales en suelos de tierra firme alcance un DAP de 60 cm. Las barras acompañadas de diferentes letras son estadísticamente diferentes al 95% de confiabilidad.

Conclusiones

- La Castaña (*Bertholletia excelsa*) es la especie forestal de mayor frecuencia y dominancia, presente en el 85% de los 20 sistemas agroforestales evaluados.
- Las especies con mayores incrementos medios anuales en diámetro (IMA-DAP) son el Serebó (*Schizolobium parahyba*) y el Cedro Colorado (*Cedrela odorata*), mientras que los menores IMA-DAP se observaron en la Picana (*Cordia alliodora*) y el Tumi (*Amburana cearensis*).
- El Serebó requiere un tiempo estimado de 24 años para alcanzar un DAP de 60 cm, y el Cedro Colorado de 33 años, cuando se cultivan en suelos de tierra firme dentro de sistemas agroforestales.
- La Mara (*Swietenia macrophylla*) requiere, en promedio, 40 años para alcanzar el diámetro mínimo de corte, cuando se cultiva en suelos de tierra firme dentro de sistemas agroforestales.

- La Picana y el Tumi son las especies con menor incremento medio anual en diámetro, requiriendo mayor tiempo para alcanzar su ciclo de corta, con 50 y 55 años respectivamente para alcanzar un DAP de 60 cm.
- Estas conclusiones destacan la importancia de considerar las condiciones específicas de cada especie y la influencia de los tratamientos culturales y ambientales en los sistemas agroforestales para optimizar la productividad y sostenibilidad de los mismos.

Bibliografía

- Alder, D. (1995). *Growth modelling for mixed tropical forests*. FAO.
- Arias, E. (2001). *Evaluación de sistemas agroforestales con castaña (Bertholletia excelsa H.B.K) en Madre de Dios*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP).
- Betancourt, A. (1987). *Silvicultura de especies maderables de Colombia*. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal.
- Castillo, R. (1987). *Estudio silvicultural de Copaifera paupera en plantaciones de enriquecimiento* (Informe técnico del Proyecto de Investigación Forestal). SERFOR & Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Chinchilla-Mora, O., Corea-Arias, E., Meza-Picado, V., & Ávila-Arias, C. (2021). Crecimiento, rendimiento y costos durante los primeros tres años de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) establecida en sistemas agroforestales. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 18(42), 62–73. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v16i42.5540>
- Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H., & Bailey, R. L. (1983). *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley & Sons.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Flores, M. (2010). *Análisis de crecimiento de Copaifera paupera en plantaciones puras y fajas de enriquecimiento en la Amazonía peruana* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Flores, M., Ríos, M., & García, C. (2004). Crecimiento y rendimiento de *Amburana cearensis* en plantaciones puras en Pucallpa, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 31(1), 1–12.
- Garreaud, R. D., Vuille, M., Compagnucci, R., & Marengo, J. (2009). Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3–4), 180–195. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (1999). *Guía de identificación de especies forestales de la Amazonía*. INIA.
- Justiniano, M., Panozo, P., & Peinado, F. (2001). *Sistemas agroforestales con árboles maderables en el trópico boliviano* (Informe técnico). Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (PROFOR).
- Killeen, T. J. (1998). *Vegetation and flora of Parque Nacional Noel Kempff Mercado*. Missouri Botanical Garden Press.
- Killen, T. J., Viana, S., & García, V. (1993). *Cordia alliodora: Monografía sobre su biología y manejo*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Lourdes, T., Silva, J., & Santos, E. (2010). Desempeño silvícola de *Schizolobium parahyba* en sistemas agroforestales en Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, 40(2), 235–244. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000200006>
- Mamani, L., & López, R. (2023). Dinámica de crecimiento de *Amburana cearensis* en el bosque natural



amazónico. *Revista Boliviana de Ciencias Forestales*, 10(1), 50–58.

Navarro, G. (2011). Vegetación de la Amazonía de Bolivia. En *Clasificación de la vegetación de Bolivia*. Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño.

Philip, M. S. (1994). *Measuring trees and forests* (2nd ed.). CAB International.

Pires, P., Silva, M., & Oliveira, J. (1982). *Estudo do crescimento de Cordia alliodora no Brasil* (Informe técnico). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Quesada, C. A., Lloyd, J., Schwarz, M., Patiño, S., Baker, T. R., Czimczik, C. I., et al. (2010). Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*, 7, 1515–1541. <https://doi.org/10.5194/bg-7-1515-2010>

Ramírez, J., González, E., & Pérez, L. (2008). Evaluación del crecimiento de *Cedrela odorata* a los 3 años en Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(2), 110–120.

Reynel, C., Peña, L., & Gamarra, P. (2003). *Especies forestales en sistemas agroforestales del valle de Chanchamayo* (Documento interno). Universidad Nacional Agraria La Molina.

Rocha, A. (1994). *Comportamiento silvicultural de especies maderables en Cochabamba, Bolivia* (Tesis de grado). Universidad Mayor de San Simón.

Romero, H., Flores, R., & Castro, A. (2015). Incremento medio anual de *Schizolobium parahyba* en la Amazonía boliviana. *Ciencia y Tecnología Forestal*, 25(3), 85–94.

Rondón, E. V. (2002). Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. *Revista Árvore*, 26(4), 573–576

Sabogal, C., Sampaio, P. de T. B., & de Mello, H. A. (2006). Crecimiento do *Schizolobium amazonicum* em plantios puros e consorciados no Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, 1(1), 25–38

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). (2019). *Climatología de la estación Riberalta*. SENAMHI-Bolivia.

Somarriba, E., & Beer, J. (1986). Sistemas agroforestales con *Cordia alliodora* en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 3(10), 15–20.

Soudre, V., López, E., & Chávez, F. (2001). Crecimiento inicial de *Amburana cearensis* en áreas degradadas de Pucallpa. *Ecología Aplicada*, 1(2), 105–110.

Valdivieso, V., López, E., & Gómez, S. (1997). Crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Panamá y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, (10), 15–20. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5985/Crecimiento_del_laurel.pdf

Verwer, C. (2006). *Effects of forest management intensity on the performance of mahogany in Bolivia* (MSc thesis). IBIF.

Villaseñor, J., Muñoz, J., & Cervantes, A. (2012). Desempeño de *Cedrela odorata* en diferentes condiciones de suelo en Sonora, México. *Madera y Bosques*, 18(3), 7–18.



Agroforestería, Salud Planetaria y los Desafíos de las Especies Frutales Cultivadas en Suelos de Tierra Firme en la Amazonía

Autores: Armelinda Zonta¹, Emanuel Astaca Gutiérrez¹, Bezaleel Paredes Subirana², Mariely Camacho Delgado³, Mario Rodríguez Ojopi², Edward Flores Villanueva², Abraham Janco Loka³, y Daniel Semo Yoamona⁴.

1. Carrera de Ingeniería Forestal - Universidad Autónoma del Beni José Ballivián (UABJB), Riberalta.

2. Instituto de Investigaciones Forestales de la Amazonía, UABJB, Riberalta.

3. Instituto Para el Hombre, Agricultura y Ecología, Riberalta.

4. Centro de Investigación y Formación del Campesinado Norte Amazónico, Cobija.

Resumen

El presente estudio evaluó los factores limitantes de la productividad en 24 Sistemas Agroforestales (SAF) de tierra firme en Riberalta, Amazonía boliviana, con énfasis en el cacao (*Theobroma cacao*) y el copuazú (*T. grandiflorum*). La investigación combinó encuestas socio productivas, evaluación florística y análisis de suelos. Los resultados del análisis de suelos (Ultisoles y Oxisoles) revelaron una fertilidad natural limitada, caracterizada por acidez fuerte (pH promedio de 4.4), baja Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE), y niveles críticos de Materia Orgánica (MO), Nitrógeno (N), Magnesio (Mg) y Potasio (K). Se encontró una correlación lineal positiva fuerte entre el Índice de Fertilidad del Suelo y la Producción de Frutos (Coeficiente de Correlación de Pearson $r=0.757$), explicando el índice el 57.3% de la variabilidad productiva ($R^2=0.573$). En contraste, el Área Basal ($r=0.49$) y la Densidad Total de plantas ($r=-0.13$) mostraron una correlación débil o negativa. Se concluye que la baja productividad es un síntoma del desequilibrio entre el manejo silvicultural y la baja fertilidad edáfica, subrayando la necesidad de implementar soluciones agroecológicas integradas (p. ej., encalado, manejo de MO, fertilización, aplicación de poda y raleo) para fortalecer la resiliencia productiva y contribuir a la Salud Planetaria en la región.

Palabras clave: Sistemas agroforestales; cacao; copuazú; fertilidad del suelo; Ultisoles; Oxisoles; acidez del suelo; materia orgánica; productividad agrícola; manejo silvicultural; prácticas agroecológicas; Amazonía boliviana; Salud Planetaria.



Introducción

Los Sistemas Agroforestales (SAF) implementados en suelos de tierra firme en el municipio de Riberalta integran cultivos agrícolas con especies frutales de alto valor, como el cacao (*T. cacao*), el copuazú (*T. grandiflorum*), el asaí (*Euterpe precatoria*) y el almendro (*Bertholletia excelsa*). Estos sistemas representan una estrategia fundamental para el desarrollo sostenible, la seguridad alimentaria y la conservación. Sin embargo, se observa una baja producción de frutos en estos cultivos, lo que compromete los ingresos de las familias campesinas e indígenas y pone en riesgo la continuidad de estos sistemas productivos. El propósito de los SAF es maximizar las interacciones entre componentes perennes y no perennes, garantizando procesos biológicos y productivos como el reciclaje de nutrientes, el flujo de energía, el desarrollo de cultivos y los efectos socioeconómicos (Beer et al., 2003).

La baja productividad de las especies frutales mencionadas no es un problema aislado, sino un síntoma de desequilibrios más profundos que afectan la interconexión entre los sistemas ecológicos, silvícolas y sociales. La productividad de las especies frutales en los sistemas agroforestales depende de la interacción



Cacao (*Theobroma cacao*)

de diversos factores de producción, que pueden agruparse en: factores ambientales, genéticos y de manejo (Angola et al., 2015).

Entre los factores ambientales, se destaca el efecto negativo de los suelos de tierra firme debido a su fuerte acidez, bajos niveles de fósforo, nitrógeno, magnesio y potasio, y bajo contenido de materia orgánica; elementos indispensables para el crecimiento vegetal y la producción (Quesada et al., 2011). Un referente de la importancia de la materia orgánica está evidenciado por el contenido de la Terra Preta; estos suelos, creados por poblaciones precolombinas, contienen aproximadamente tres veces más materia orgánica, nitrógeno y fósforo, y 70 veces más carbón vegetal comparado con suelos in-

fértiles adyacentes de tierra firme (Woods et al., 2009). La fertilidad del suelo en la Amazonía depende de la materia orgánica que proporciona el bosque (Quesada et al., 2011).

La Amazonía boliviana ha experimentado cambios en el régimen de lluvias, con retrasos significativos y sequías prolongadas, así como un aumento en la frecuencia e intensidad de incendios y fenómenos extremos (Vos et al., 2020). Para los cultivos de tierra firme, esto se traduce en estrés hídrico (CIPCA & INIAF, 2022). La falta de acceso a material genético de alta productividad y resistencia a enfermedades es otra limitación silvicultural crucial (CIPCA, 2023). La Escoba de Bruja (*Moniliophthora perniciosa*) en cacao y copuazú, y la broca (*Conotrachelus humeropictus*) en copuazú, han sido señaladas como problemas fitosanitarios mayores, causando pudrición y pérdida de frutos (Adaime et al., 2020, SENASICA, 2022); . La aparición o el incremento de plagas y enfermedades son a menudo exacerbados por el estrés ambiental y el manejo silvicultural inadecuado, evidenciando el vínculo entre la salud del ecosistema y la sanidad vegetal.

Desde la perspectiva de la Salud Planetaria, la transición de una agricultura de subsistencia a una agroecología rentable y sostenible es vital (Egea-Ronda, 2023). La fuerte preferencia por cultivos más tradicionales limita los incentivos para la inversión y el manejo adecuado de los sistemas agroforestales.

El objetivo de la presente investigación es evaluar la relación que existe entre la producción de frutos de las especies indicadas y los diferentes factores considerados, para establecer un marco de investigación que permita proponer soluciones agroecológicas que fortalezcan la resiliencia productiva, conserven el capital natural amazónico y, en última instancia, mejoren la salud y el bienestar de las poblaciones locales.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

Para la realización del estudio, fueron seleccionados 24 sistemas agroforestales establecidos en suelos de tierra firme dentro de las comunidades campesinas de Palmira, Santa María, San Antonio, Medio Monte, San Juan del Urucú, San Lorenzo de Pampas, Warnes y Antofagasta, en el municipio de Riberalta, departamento del Beni. La población utilizada para determinar las 24 unidades de muestreo fue una base de datos de 300 sistemas agroforestales proporcionada por el Instituto para el Hombre, Agricultura y Ecología (IPHAE), con edades entre 10 y 26 años.

Los suelos de los sistemas agroforestales son Ultisoles y Oxisoles formados sobre sedimentos terciarios y cuaternarios pobres en bases (Quesada et al., 2021), con bajas reservas de nutrientes esenciales (calcio, magnesio, potasio), lo que requiere una adecuada aplicación de abonos orgánicos. Son mayormente ar-



cillosos o franco-arcillosos, con una capa superficial más ligera y rica en materia orgánica si el bosque no ha sido degradado (Cochrane et al., 1985). Presentan pH altamente ácido, alta saturación de aluminio y baja capacidad de intercambio catiónico (CIC).

El clima en esta región es clasificado como tropical de selva (Af), según la clasificación de Köppen, caracterizado por altas temperaturas y elevada humedad durante todo el año, aunque con una estacionalidad de lluvias marcada (OTCA, 2015). Las precipitaciones oscilan entre 1,500 y 2,500 mm anuales, con una época de mayores lluvias de noviembre a marzo y el periodo más seco de junio a septiembre (Van der Borgh et al., 2023). Las temperaturas medias anuales oscilan entre 24°C y 26°C, con máximas de 35°C y mínimas de 18°C. La nubosidad es mayor en la estación lluviosa y la humedad relativa del aire oscila entre 80% y 95% (Singh et al., 2022).

Métodos de Levantamiento de Datos

Encuesta Socio productiva. Para determinar la información general de cada una de las unidades de estudio se utilizó una encuesta semiestructurada que fue aplicada a cada familia propietaria de los SAF. Se obtuvieron los siguientes datos:

Edad de los SAF

- Promedio de la producción de frutos de los últimos 3 años.

- Tecnología aplicada en su implementación y manejo.
- Tipos de podas aplicadas, momento y frecuencia.
- Plagas y tipos de enfermedades observadas, periodo del año y tipo de daño presentado.

Evaluación de la Diversidad Florística

Para evaluar la diversidad florística, las especies más abundantes, más frecuentes y de mayor valor de cobertura, se delimitó una superficie de 1,000 m² con dimensiones de 20 x 50 m en la parte central de cada SAF seleccionado, siguiendo la metodología propuesta por Gentry (1982) y adaptada para sistemas agroforestales por Somarriba (2001). Dentro de cada unidad de muestreo se midió el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) a 1.3 m, de todos los árboles maderables con diámetro mayor a 3 cm, y para los árboles frutales se midió el diámetro a 50 cm desde el suelo. Además, para los árboles maderables y las palmeras se estimó la altura total.

Análisis de Suelos

Para evaluar la condición de fertilidad en los suelos de los SAF se obtuvieron muestras de suelo utilizando el método en Z (Ackerson & Purdue Extension, 2017). Con la ayuda de un barreno, se tomaron varias submuestras de 1000 g a una profundidad de 0-20 cm. En total, en cada unidad de muestreo se tomaron 5 submuestras de suelo que se depositaron



dentro de un recipiente; posteriormente se procedió a mezclar bien y extraer una muestra compuesta de 200 g para cada unidad de muestreo. La muestra fue colocada en una bolsa, etiquetada con el código del SAF y la palabra "suelo" (ej. PM 01-Suelo). Esta muestra compuesta fue secada al aire y enviada al laboratorio del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT) en Santa Cruz para la determinación de pH, macronutrientes y Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE).

Variables Evaluadas

- Composición y estructura de los componentes perennes de los SAF.
- Densidad de las especies perennes (individuos/ha).

- Área basal m²/ha.
- Producción de frutos kg/ha.
- Propiedades químicas del suelo (pH, N, P, K, Ca, Mg, CICE).

Análisis Estadístico

Para medir la correlación entre la producción de frutos (variable dependiente) con las demás variables independientes: índice de fertilidad del suelo, área basal/ha, densidad/ha y densidad de árboles maderables/ha, se utilizó el Análisis de Regresión Lineal y, para determinar la significancia estadística de aplico la Prueba T a una confiabilidad del 5%.

Resultados y Discusión

Información General de los Sistemas



Foto 1.- Sistema Agroforestal del señor Vicente Mercy en la comunidad Nazareth

Evaluados

Los sistemas agroforestales evaluados tenían una edad mínima de 10 años y máxima de 26 años, En promedio la edad de los SAF era de 20 años. Todos los SAF fueron implementados en suelos de tierra firme en el municipio de Riberalta. Para su implementación se utilizó la roza, tumba y quema de bosques secundario y en casos específico se utilizó la técnica de enriquecimiento de barbecho apresurando fajas de 1 metro de ancho en sentido este a oeste y cultivando plantas frutales y maderables dentro de las fajas. Los tratos culturales aplicados fueron limpieza general con machete o desbrozadora cada 90 días. La diversidad de especies es muy variable entre las unidades estudiadas con un mínimo de 3 especies en el sistema agroforestal de Milton Galindo y de máximo 37 especies en el sistema de Benjamín Peña, Tabla 1.

Tabla 1.- Edad, producción de frutos de cacao y copuazú, diversidad de especies, área basal, densidad total y densidad de especies frutales.

Propietario del SAF	Edad (años)	Producción promedio frutos (kg/ha)	N.º sp	Área basal (m ² /ha)	Densidad plantas (N/ha)	Densidad frutales (N/ha)
Milton Galindo	10	635	3	23	810	760
Conrado Terceros	12	326	8	22	930	500
Antonio Peña	13	345	32	20	1090	650
Benjamín Peña	13	445	37	31	1060	700
Francisco Cuadiay	16	49	30	25	1420	700
Asociación Productores APPA (AC)	20	0	9	18	370	220
Barbarita Ayala	20	126	19	31	1310	1000
Fidel Serrato	21	125	6	7	420	370
Gumercindo Puro	21	13	9	10	1050	680
Asociación Productores APPA (CT)	22	0	5	17	620	330
Cristian Noko	22	67	23	27	680	310
Gregorio Cusi	22	25	3	5,8	340	300
Josefa Leigue	22	47	4	12	460	300
Celin Ordoñez	24	733	11	29	610	450
Enrique Pérez	24	425	15	31	820	600
Orosia Ramírez	24	245	10	15	640	450
Edmundo Pino	26	12	13	16	530	350
Hormando Macuapa	26	139	10	27	990	500
Humberto Alemania	26	433	6	27	670	600
Iris Villanueva	26	245	7	17	780	550
Juan Ecuibare	26	131	23	23	1160	1000
Lorena Tomicha	26	200	12	30	890	600
Silvia Alemania	26	25	12	35	600	370



Composición Florística de los Sistemas Agroforestales Evaluados

En total se identificaron 82 especies, de las cuales 34 son especies frutales cultivadas, 10 especies maderables de alto valor comercial cultivadas y 44 especies (entre maderables y no maderables) que son regeneración natural conservadas por las

familias productoras dentro de sus Sistemas Agroforestales. De las 82 especies identificadas, 7 son las que se repiten con mayor frecuencia. El copuazú está presente en 80% de los SAF evaluados, el almendro en 66%, cacao en 28%, y el asaí nativo, mara, siringa y el tumi en 13% (Tabla 1 y Figura 1).

Figura 1. Especies más frecuentes en los SAF evaluados.

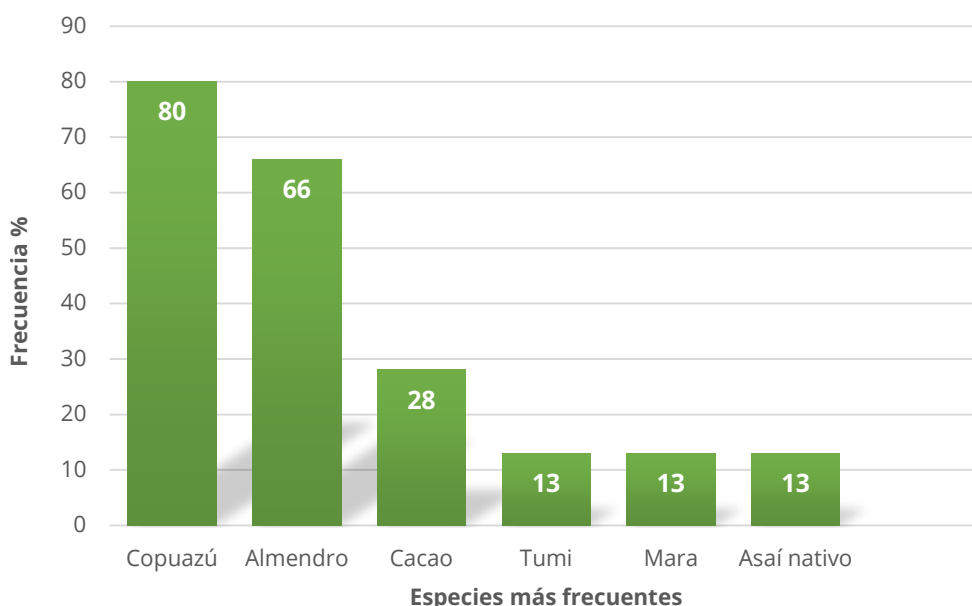


Tabla 2.- Especies identificadas en los 25 Sistemas Agroforestales evaluados.

Nombre local	Nombre científico	Autoridad botánica	Familia
Aceituno	<i>Syzygium cumini</i>	(L.) Skeels	Myrtaceae
Achachairú	<i>Garcinia brasiliensis</i>	Mart.	Clusiaceae
Almendro	<i>Bertholletia excelsa</i>	Bonpl.	Lecythidaceae
Ambaibo	<i>Cecropia membranacea</i>	Trécul	Urticaceae
Asaí Brasileiro	<i>Euterpe oleracea</i>	Mart.	Arecaceae
Asaí Boliviano	<i>Euterpe precatoria</i>	Mart.	Arecaceae
Bacaba	<i>Oenocarpus mapora</i>	H.Karst.	Arecaceae
Bibosi	<i>Ficus sp.</i>	-	Malvaceae
Bis Colorado	<i>Genipa americana</i>	L.	Rubiaceae



Nombre local	Nombre científico	Autoridad botánica	Familia
Bitumbo	<i>Couratari macrosperma</i>	A.C. Sm.	<i>Lecythidaceae</i>
Bomba	<i>Indeterminada</i>	-	<i>Fam. Indet.</i>
Cabeza de Mono	<i>Apeiba membranacea</i>	Spruce ex Benth.	<i>Malvaceae</i>
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	L.	<i>Malvaceae</i>
Cacha	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	Mart.	<i>Apocynaceae</i>
Cacharana	<i>Spondias lutea</i>	L.	<i>Anacardiaceae</i>
Café	<i>Coffea arabica</i>	L.	<i>Rubiaceae</i>
Carambola	<i>Averrhoa carambola</i>	L.	<i>Oxalidaceae</i>
Cari cari	<i>Senegalia loretensis</i>	(J.F. Macbr.) Seigler & Ebinger	<i>Fabaceae (Caesalpinioideae)</i>
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	L.	<i>Meliaceae</i>
Chepereque	<i>Jacaranda copaia</i>	(Aubl.) D. Don	<i>Bignoniaceae</i>
Chirimoya	<i>Annona squamosa</i>	L.	<i>Annonaceae</i>
Chocolatillo	<i>Theobroma speciosum</i>	Willd. ex Spreng.	<i>Malvaceae</i>
Coca	<i>Erythroxylum coca</i>	Lam.	<i>Erythroxylaceae</i>
Copaibo	<i>Copaifera reticulata</i>	Ducke	<i>Fabaceae (Detariodi-deae)</i>
Cupuazú	<i>Theobroma grandiflorum</i>	(Willd. ex Spreng.) K. Schum.	<i>Malvaceae</i>
Cuta	<i>Astronium lecointei</i>	Ducke	<i>Anacardiaceae</i>
Desconocido	<i>Indeterminada</i>	-	<i>Fam. Indet.</i>
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	L.	<i>Myrtaceae</i>
Guayabilla	<i>Bellucia pentamera</i>	Naudin	<i>Melastomataceae</i>
Guitarrero	<i>Schefflera morototoni</i>	(Aubl.) Maguire, Steyer. & Frodin	<i>Araliaceae</i>
Hoja Redonda	<i>Chelyocarpus chuco</i>	(Mart.) H.E. Moore	<i>Arecaceae</i>
Isigo	<i>Tetragastris altissima</i>	(Aubl.) Swart	<i>Burseraceae</i>
Laurel	<i>Rhodostemonodaphne kunthiana</i>	(Nees) Rohwer	<i>Lauraceae</i>
Limón	<i>Citrus x aurantifolia</i>	(Christm.) Swingle	<i>Rutaceae</i>
Lúcuma	<i>Pouteria macrophylla</i>	(Lam.) Eyma	<i>Sapotaceae</i>
Majo	<i>Oenocarpus bataua</i>	Mart.	<i>Arecaceae</i>



Nombre local	Nombre científico	Autoridad botánica	Familia
Mandarina	<i>Citrus reshni</i>	Hort. Ex Tanaka	Rutaceae
Mango	<i>Mangifera indica</i>	L.	Anacardiaceae
Mapajo	<i>Ceiba pentandra</i>	(L.) Gaertn.	Malvaceae
Mara	<i>Swietenia macrophylla</i>	King	Meliaceae
Matapalo	<i>Ficus gomelleira</i>	Kunth & C.D. Bouché	Moraceae
Motacú	<i>Attalea phalerata</i>	Mart. ex Spreng.	Arecaceae
Motacucillo	<i>Attalea maripa</i>	(Aubl.) Mart.	Arecaceae
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	(L.) Osbeck	Rutaceae
Noni	<i>Morinda citrifolia</i>	L.	Rubiaceae
Palmera	<i>Arecaceae indet.</i>	-	Arecaceae
Palo Sama	<i>Cupania cinerea</i>	Poepp.	Sapindaceae
Palta	<i>Persea americana</i>	Mill.	Lauraceae
Paquió	<i>Hymenaea courbaril</i>	L.	Fabaceae (Detariodi- deae)
Pica pica	<i>Urera caracasana</i>	(Jacq.) Gaudich. ex Griseb.	Urticaceae
Picana	<i>Cordia alliodora</i>	(Ruiz & Pav.) Oken	Boraginaceae
Pitichoco	<i>Lueheopsis duckeana</i>	Burret	Malvaceae
Pitón	<i>Talisia cerasina</i>	(Benth.) Radlk.	Sapindaceae
Plátano	<i>Musa x paradisiaca</i>	L.	Musaceae
Pupuña	<i>Bactris gasipaes</i>	Kunth	Arecaceae
Quecho	<i>Brosimum guianense</i>	(Aubl.) Huber	Moraceae
Ramillo	<i>Poeppigia procera</i>	(Poepp. ex Spreng.) C. Presl	Fabaceae (Caesalpinioi- deae)
Saguinto	<i>Eugenia florida</i>	DC.	Myrtaceae
Serebó	<i>Schizolobium parahyba</i>	(Vell.) S.F.Blake	Fabaceae (Caesalpinioi- deae)
Simpatio	<i>Indeterminada</i>	-	Fam. Indet.
Sucuba	<i>Himatanthus sucuuba</i>	(Spruce ex Müll. Arg.) Woodson	Apocynaceae
Surba	<i>Plumeria rubra</i>	L.	Apocynaceae
Tajibo	<i>Handroanthus serratifolius</i>	(Vahl) S.O. Grose	Bignoniaceae



Nombre local	Nombre científico	Autoridad botánica	Familia
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	L.	<i>Fabaceae (Caesalpinioideae)</i>
Tarumá	<i>Vitex cymosa</i>	Bertero ex Spreng.	<i>Lamiaceae</i>
Toco Blanco	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	(Benth.) Benth.	<i>Fabaceae (Caesalpinioideae)</i>
Toco Colorado	<i>Parkia pendula</i>	(Willd.) Benth. ex Walp.	<i>Fabaceae (Caesalpinioideae)</i>
Toronja	<i>Citrus maxima</i>	(Burm.) Merr.	<i>Rutaceae</i>
Tumi	<i>Amburana cearensis</i>	(Allemão) A.C. Sm.	<i>Fabaceae (Papilionoideae)</i>
Uvillo	<i>Trema micranthum</i>	(L.) Blume	<i>Cannabaceae</i>
Verdolago	<i>Terminalia amazonia</i>	(J.F. Gmel.) Exell	<i>Combretaceae</i>



Asá Boliviano (*Euterpe precatoria*)

Análisis de la Fertilidad de los Suelos de los Sistemas Agroforestales

Según los resultados realizados por el laboratorio de suelos del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT) de Santa Cruz de la Sierra, los suelos de las 24 uni-

te en el rango de acidez fuerte a moderada. Según Brady y Weil (2008), suelos con pH inferior a 5.5 presentan disponibilidad limitada de nutrientes esenciales y alta concentración de aluminio intercambiable, que resulta tóxico para las raíces. La

Tabla 3.- Resultados de los análisis químicos del suelo de los sistemas agroforestales evaluados.

Propietario SAF	pH	cmol/kg				C.I.C.E	N%-total	MO%	I.fertilidad
		Ca	Mg	K	P				
Antonio Peña	3,82	0,5	0,1	0,2	16,0	0,8	0,1	2,0	23,48
Asociacion APPA (CU)	4,12	1,1	0,0	0,2	18,0	1,3	0,1	1,8	26,55
Asociacion APPA (CT)	3,85	1,7	0,1	0,2	18,0	2,1	0,0	1,7	27,66
Barbarita Ayala	4,31	1,6	0,1	0,2	18,0	1,9	0,1	2,2	28,36
Benjamin Peña	4,04	2,9	0,1	0,1	18,0	3,1	0,1	1,8	30,09
Celin Ordonez	4	2,8	0,2	0,2	18,0	3,1	0,1	2,0	30,45
Conrado Terceros	4,15	1,8	0,2	0,2	20,0	2,3	0,1	1,5	30,13
Cristian Noko	4,27	3,0	0,3	0,2	18,0	3,5	0,1	1,7	31,03
Edmundo Pino	4,35	3,8	0,2	0,2	16,0	4,9	0,1	1,5	30,93
Enrique Pérez	4,48	2,8	0,2	0,5	18,0	3,8	0,1	2,4	32,34
Fidel Serrato	4,84	3,9	0,2	0,2	18,0	4,3	0,1	1,7	33,25
Fortunato Angola	4,39	4,1	0,4	0,2	18,0	4,7	0,1	1,4	33,26
Francisco Cuadiay	4,93	4,4	0,3	0,2	18,0	4,9	0,0	1,3	33,98
Gregorio Cusi	3,79	2,0	0,1	0,3	24,0	2,5	0,1	1,0	33,77
Gumercindo Puro	3,96	5,0	0,2	0,2	18,0	5,5	0,1	2,5	35,39
Hormando Mancuapa	4,38	5,0	0,2	0,2	18,0	5,5	0,1	2,0	35,38
Humberto Alemania	4,65	5,0	0,4	0,2	18,0	5,6	0,0	1,0	34,76
Iris Villanueva	4,5	5,9	0,6	0,2	16,0	6,7	0,1	1,2	35,12
Josefa Leigue	4,79	4,3	0,4	0,2	20,0	4,9	0,1	1,1	35,64
Juan Ecuibare	4,52	6,9	0,5	0,1	16,0	6,9	0,1	1,4	36,41
Lorena Tomicha	5,4	6,5	0,8	0,2	16,0	7,5	0,1	2,4	38,87
Milton Galindo	4,78	6,4	1,1	0,2	18,0	7,8	0,1	1,0	39,34
Orosia Ramirez	4,7	7,3	0,5	0,2	18,0	8,1	0,1	2,0	40,96
Silvia Alemania	5,17	7,7	1,0	0,3	18,0	9,0	0,1	1,1	42,32
Vincente Mercy	5,36	7,9	1,4	0,3	28,0	9,7	0,1	1,2	53,92

dades de estudio en su conjunto presentan baja fertilidad natural (Tabla 3).

Los valores de pH registrados oscilan entre 3.79 (Gregorio Cusi) y 5.40 (Lorena Tomicha), situándose predominantemen-

te en el rango de acidez fuerte a moderada. Según Brady y Weil (2008), suelos con pH inferior a 5.5 presentan disponibilidad limitada de nutrientes esenciales y alta concentración de aluminio intercambiable, que resulta tóxico para las raíces. La acidez extrema observada en 25 parcelas (pH < 5.0) afecta directamente la solubilidad de nutrientes como fósforo, calcio y magnesio, mientras incrementa la disponibilidad de elementos tóxicos como aluminio y manganeso (Fageria, 2016). En



sistemas agroforestales, la caída continua de hojarasca puede contribuir a mantener valores ácidos si la velocidad de mineralización supera la incorporación de bases al sistema (Sanchez, 2019).

La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) registrada varía entre 0,8 (Antonio Peña) y 9,7 (Vicente Mercy), valores considerablemente inferiores al umbral de fertilidad aceptable, 8 (Sánchez, 2019). Únicamente tres parcelas superan este valor mínimo. La CICE representa la capacidad del suelo para retener cationes nutrientes en forma intercambiable, siendo un indicador fundamental de la fertilidad química (Marschner, 2012).

Según Lopes y Guilherme (2016), suelos tropicales arcillosos dominados por minerales tipo caolinita y óxidos de hierro y aluminio presentan naturalmente baja CICE. Esta limitante se agrava por el bajo contenido de materia orgánica observado en todas las parcelas, ya que la fracción orgánica contribuye significativamente

a la capacidad de intercambio en suelos tropicales (Bouma, 1997). White (2006) señala que valores inferiores a 4 cmol/kg incrementan sustancialmente el riesgo de lixiviación de nutrientes en ambientes de alta precipitación, como el presente estudio.

Los contenidos de materia orgánica oscilan entre 0.9% (Gregorio Cusi) y 2.5% (Gumerindo Puro), muy inferiores al 4% considerado mínimo para uso agrícola sostenible (Soil Survey Staff, 2022). Estos bajos niveles reflejan las condiciones climáticas cálidas y húmedas que aceleran la mineralización de residuos orgánicos (Jenny, 1980). La relación directa entre materia orgánica y CICE observada en los datos confirma esta interdependencia crítica.

Los niveles de nitrógeno total varían entre 0.04% (Francisco Cuadiay) y 0.16% (Enrique Pérez), clasificándose como muy bajos (Havlin et al., 2016). El nitrógeno es el nutriente más limitante en la producción



Foto 2.- Toma de muestra de suelo.

vegetal tropical debido a que no existe reserva mineral y depende enteramente de procesos biológicos y aportes orgánicos (Sánchez, 2019).

Los contenidos de potasio se sitúan entre 0.1 cmol/kg (Benjamín Peña) y 0.5 cmol/kg (Enrique Pérez), clasificándose uniformemente como muy bajos (Mellich, 1984).

Integrando los parámetros analizados, se confirma que 10 parcelas presentan fertilidad muy baja, 11 fertilidad baja y únicamente 4 fertilidad media. Ninguna parcela alcanza niveles de fertilidad considerados buenos o excelentes.

Índice de Fertilidad en el Suelo y sus Efectos en la Producción de Frutos de Cacao y Copuazú en los Sistemas Agroforestales

En la Tabla 4 se detallan los resultados del análisis de regresión lineal aplicado para determinar si existe una correlación positiva entre el índice de fertilidad del suelo y la producción.

Tabla 4. Resultados del análisis de regresión lineal entre índice de fertilidad del suelo y la producción de frutos.

Variable	Valor Calculado
Media de Fertilidad	316,91
Media de Producción	219,64
Coefficiente de Correlación (r)	0,757
Coefficiente de Determinación (R ²)	0,573

El Coeficiente de Correlación de Pearson (r=0.757) indica que existe una relación lineal positiva fuerte entre el Índice de Fertilidad y la Producción de Frutos Kg/Ha. El

Coeficiente de Determinación (R²=0.573) indica que la variabilidad total observada en la producción de frutos se debe en un 57.3% a la fertilidad del suelo. El valor de T_{calculado} de 4.76, comparado con el valor de T_{crítico} de 2.08, confirma que la relación lineal positiva entre el Índice de Fertilidad del Suelo y la Producción de Frutos es estadísticamente significativa con un alto grado de confianza.

El valor R² de 0.573 encontrado es consistente con la literatura, que reconoce que la fertilidad del suelo es uno de los principales factores determinantes de la productividad del cacao, aunque no el único (Fountain & Huetz-Adams, 2020).

Área Basal y su Efecto en la Producción de Frutos en los SAF

El Área Basal promedio en los sistemas agroforestales evaluados es de 22 m²/ha, con un mínimo de 5.7 y un máximo de 42 m²/ha. El Coeficiente de Correlación de Pearson fue de r=0.49, lo que significa que existe una relación lineal positiva entre el área basal y la producción de frutos. Sin embargo, el Coeficiente de Determinación R² de 24% indica que solo el 24% de la variabilidad total observada en la producción de frutos es explicada por la variación del área basal. Se encontró una correlación positiva significativa entre el área basal y la sombra r=0.913, lo que indica que al incrementar el área basal, también incrementa la intensidad de sombra (Tabla 1).

Densidad Total y su Efecto en la Pro-



ducción de Frutos en los SAF

Los sistemas evaluados presentan densidades medias de 785 individuos por hectárea, con un mínimo de 340 y un máximo de 1420 plantas/ha. El Coeficiente de Correlación de Pearson fue de $r=-0.13$, lo que significa que existe una correlación lineal débil y negativa entre la densidad de árboles por hectárea y la producción de frutos. El Coeficiente de Determinación R^2 de 1.74% indica que solo el 1.74% de la variabilidad total observada en la producción de frutos es explicada por la variación de la densidad de plantas perennes/ha.

Densidad de Plantas y su Efecto en la Producción de Frutos en los SAF

En los 24 sistemas agroforestales evaluados la cantidad de árboles maderables

presentes fue muy variable con mínimo 40 de árboles maderables en la parcela de Gregorio Cusi y máximo 720 en la parcela de Francisco Cuadiay. El coeficiente de correlación Pearson fue de $r= 0,443$ que significa una influencia de la densidad arbórea sobre la producción de frutos es positiva. A mayor densidad arbórea, mayor es la producción de frutos, aunque la magnitud del aumento por cada árbol individual es relativamente pequeña. El Coeficiente de Determinación (R^2) calculado fue de 0,196 que significa que aproximadamente el 19.6% de la variabilidad total en la producción de frutos puede explicarse por la densidad arbórea (Figura 2 y Foto 3).

Principales plagas y enfermedades



Foto 3.- Árbol maderable dentro de los SAF.

registradas en los SAF

Para identificar y establecer el efecto de ataque de plaga y enfermedades en la producción de frutos de cacao y copuazú de los SAF se aplicó una encuesta a las familias de productores y los resultados indican que la Broca de la Fruta (*Conotrachelus humeropticus*), es la plaga de mayor importancia en plantas de copuazú y entre las enfermedades la Escoba de Bruja (*Moniliophthora perniciosa*), estuvo presente en plantas de cacao y copuazú, así como la Mazorca Negra (*Phytophthora Palmivora* L.) en plantas de cacao. La broca de la fruta en copuazú estaba fue registrada los 8 sistemas agroforestales con alta frecuencia, en 9 sistemas fue medianamente frecuente en 6 fue de baja frecuencia y en 3 sistemas no se registró presencia de plagas y enfermedades, Figura 3.

El SAF con menor presencia de enfer-

medades es el de Liz Angola que tiene como componente principal asaí nativo. La mayoría de los SAF estudiados tiene entre 25% a 33% de las plantas con presencia de la Escoba de Bruja, que afecta tanto plantas de cacao como copuazú. Los SAF con mayor presencia de Escoba de Bruja son los de Silvia Alemania y de Milton Galindo.

Conclusiones

Los suelos de los sistemas agroforestales evaluados presentan una fertilidad natural severamente limitada por una combinación de factores: acidez fuerte < 5.0, baja Capacidad de Intercambio Cationico Efectiva (CICE) y deficiencia generalizada de Materia Orgánica (MO). Estas condiciones incrementan la toxicidad por aluminio y restringen críticamente la disponibilidad de nutrientes esenciales (N, Mg, K).

Figura 2. Producción de frutos de cacao y copuazú y densidad de árboles maderables.

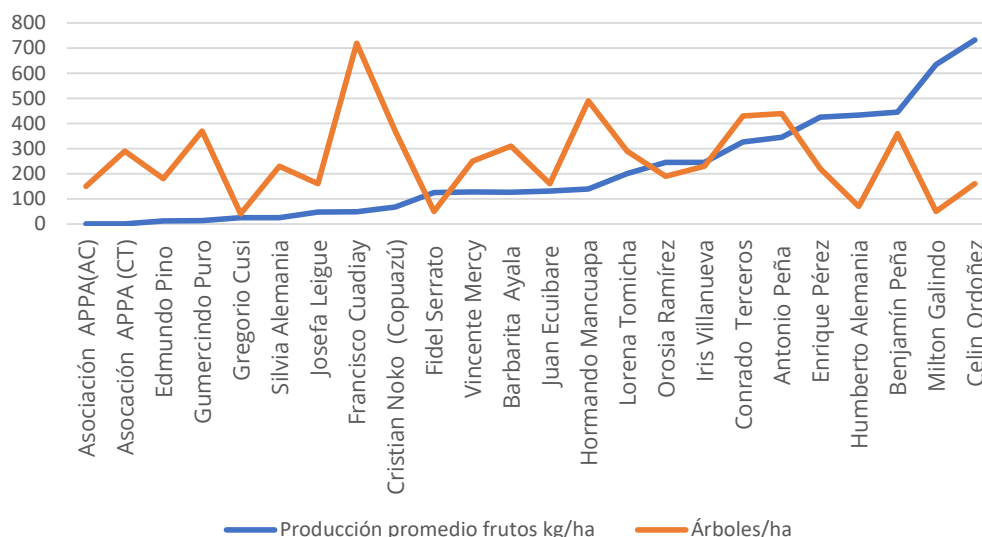


Figura 3.- Intensidad del ataque de la broca de la fruta en plantas de copuazú en los SAF.

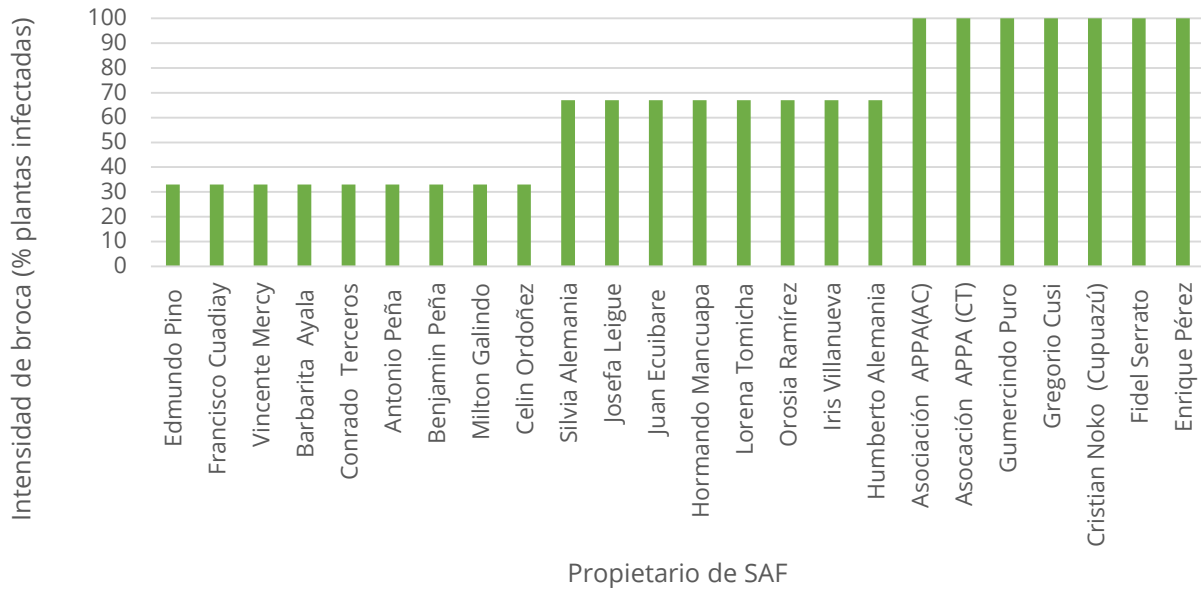
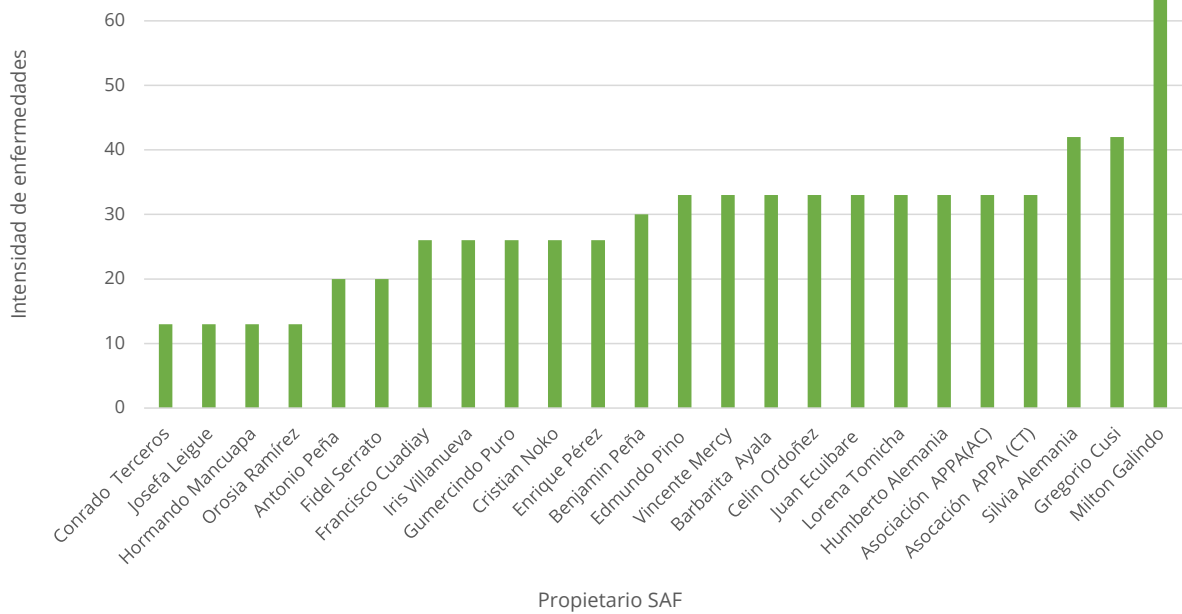


Figura 4.- Intensidad del ataque de la Escoba de bruja y Mazorca negra en plantas de cacao y cupuazú en los SAF.



La producción de frutos de cacao y copuazú está fuertemente determinada por la fertilidad del suelo, con un 57.3% de la variabilidad de la producción explicada por el Índice de Fertilidad $R^2=0.573$ y $r=0.757$. Esto establece una relación causal y significativa entre la salud del suelo y la viabilidad económica de los SAF.

Las variables estructurales como el Área Basal y la Densidad Total de árboles perennes tienen una influencia menor en la productividad de frutos en comparación con la fertilidad del suelo. El bajo rendimiento no se debe principalmente a un manejo inadecuado de la sombra o la densidad, sino a la baja calidad edáfica.

La plaga de mayor importancia fue la Broca de la Fruta del Copuazú y la enfermedad la Escoba de Bruja.

Para que los SAF cumplan su rol para la seguridad alimentaria y la Salud Planetaria, es imperativo superar las barreras edáficas. La baja productividad actual, impulsada por la infertilidad del suelo, compromete la resiliencia productiva y perpetúa el riesgo socioeconómico.

Para superar las limitaciones identificadas es necesario aplicar enmienda con cal dolomita para elevar el pH del suelo, neutralizar el aluminio tóxico y aumentar la disponibilidad de macro e micronutrientes.

Por otro lado se requiere enriquecer el suelo con materia orgánica, como la incorporación de abonos verdes, compostaje y el uso de mantillo de hojarasca

o biocarbono, para mejorar la CICE, la retención de humedad y la oferta de nutrientes además de aplicar tratamientos silviculturales como poda y raleo, así como introducción de material genético de alto rendimiento y resistencia a enfermedades, junto con el establecimiento de especies fijadoras de nitrógeno atmosférico para un aporte biológico constante de este nutriente.

Bibliografía

- Ackerson, J. P., & Purdue Extension. (2017). *Soil sampling guidelines (AY-368-W)*. Purdue University Cooperative Extension Service.
- Adaime, R., Santos, R. S., & Silva, N. M. (2020). Primeiro registro de *Conotrachelus humeropictus* Fiedler, 1940 (*Coleoptera: Curculionidae*) no estado do Amapá, Brasil. *Biota Amazônia*, 10(3), 69–70.
- Angola, F., Gonçalves, A., & Zonta, A. (2015). Factores limitantes en producción de copuazú *Theobroma grandiflorum* (Wild ex Spreng) Schum, en sistemas agroforestales, Amazonía boliviana. *Revistas Bolivianas - Scientific Electronic Library Online*. Viceministerio de Ciencia y Tecnología.
- Beer, J., Harvey, C., Ibrahim, M., Harmand, J. M., Somarriba, E., & Jiménez, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-38), 80–87
- Bouma, J. (1997). *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication No. 49 1996 Soil Science Society of America London, England 0-89118-826-6 410. *Scientia Horticulturae*, 70(4), 355-356.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils* (14th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA). (2023). *Estrategias para el desarrollo agropecuario en la Amazonía boliviana*. CIPCA.
- Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA), & Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF). (2022). *Adaptación al cambio climático en cultivos de tierra*



firme. CIPCA/INIAF.

Cochrane, T. T., Sanchez, L. G., Azevedo, L. D., Porras, J. A., & Garver, C. L. (1985). *Land in tropical America: A guide to climate, landscapes, and soils for agronomists in Amazonia, the Andean piedmont, Central Brazil and Orinoco* (Vol. 2). CIAT.

Egea-Ronda, A. (2023). Estilos de vida, sostenibilidad y salud planetaria. *Salud Pública de México*, 65(2), 1–3.

Fageria, N. K. (2016). *The use of nutrients in crop plants*. CRC Press.

Fountain, A., & Huetz-Adams, F. (2020). *The cocoa barometer 2020*. Hivos & Solidaridad.

Gentry, A. H. (1982). Patterns of neotropical plant species diversity. En *Evolutionary biology* (Vol. 15, pp. 1–84). Springer.

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2016). *Soil fertility and fertilizers* (8th ed.). Pearson.

Jenny, H. (2012). *The soil resource: Origin and behavior*. Springer Science & Business Media.

Marschner, H. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.

Mehlich, A. (1984). Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15(12), 1409–1416.

Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA). (2014). *El cambio climático en la región amazónica: Acciones de la OTCA*. <https://otca.org/wp-content/uploads/2021/02/El-Cambio-Climatico-en-la-Region-Amazonica-Acciones-de-la-OTCA-1.pdf>

Quesada, C. A., Lloyd, J., Schwarz, M., Patiño, S., Baker, T. R., Czimczik, C. I., et al. (2011). Soils of Amazonia with particular reference to RAINFOR sites. *Biogeosciences*, 8, 1415–1440. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1415-2011>

Sanchez, P. A. (2019). *Properties and management of soils in the tropics* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2022). *Ficha técnica: Escoba de bruja del cacao (Moniliophthora perniciosa)*. Gobierno de México.

Singh, M., Sood, S., & Collins, C. M. (2022). Fire dynamics of the Bolivian Amazon: Spatial and temporal trends and drivers. *Land*, 11(9), 1436. <https://doi.org/10.3390/land11091436>

Soil Survey Staff. (2022). *Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual (Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 6.0)*. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Somarriba, E. (2001). *Sistemas agroforestales para cultivos perennes*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Van der Borch, R., Alatorre, J. E., Galindo, L. M., & Samaniego, J. (2023). *Los efectos del cambio climático en la actividad económica de América Latina y el Caribe: Una perspectiva empírica* (Documento de trabajo No. 67979). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Vos, V. A., Colpari, O., & Menchaca, R. (2020). *Propuesta para una nueva y urgente política climática boliviana: Evaluación crítica de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de Bolivia*. Plataforma Boliviana Frente al Cambio Climático.

White, R. E. (2006). *Principles and practice of soil science: The soil as a natural resource* (4th ed.). Blackwell Publishing.

Woods, W. I., Lehmann, J., Rebellato, L., Steiner, C., Teixeira, W. G., & WinklerPrins, A. M. G. A. (Eds.). (2009). *Amazonian dark earths: Wim Sombroek's vision*. Springer.



Interacciones Críticas entre la Biodiversidad Arbórea y la Dinámica de Carbono: Contribución de los Sistemas Agroforestales de Tierra Firme de Riberalta a la Salud Planetaria.

Autores: Armelinda Zonta¹, Vincent A. Vos², Grover Osvaldo Claros Galindo¹, Bezaleel Paredes Subirana², Mariely Camacho Delgado², Mario Rodríguez Ojopi², Edward Flores Villanueva².

1 Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Riberalta

2. Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Riberalta.

Resumen

Los sistemas agroforestales (SAF) son reconocidos globalmente como una estrategia de Salud Planetaria que integra productividad humana y estabilidad ecológica. La inclusión de los SAF en marcos de mitigación como el Protocolo de Kioto subraya su papel esencial en el secuestro biológico de carbono. Esta investigación evalúa la influencia de la diversidad arbórea en la capacidad de almacenamiento de carbono de SAF con Copuazú (*Theobroma grandiflorum*) y Cacao (*Theobroma cacao*) en Riberalta, Amazonía boliviana. Mediante el muestreo de 12 parcelas, el análisis de varianza (ANOVA) y la regresión lineal confirmaron una correlación positiva y significativa entre la diversidad de especies arbóreas (riqueza de especies) y la acumulación de necromasa, biomasa aérea y carbono total sobre el suelo. Se identificaron dos tipologías de SAF: Multiestrato (alta diversidad: 19-32 especies) y Comercial (baja diversidad). Los Sistemas Multiestrato, con mayor complejidad estructural, demostraron ser significativamente más eficientes: acumularon un promedio de 93 a 118 toneladas de carbono por hectárea, mientras que los sistemas Comerciales registraron entre 18 y 23 toneladas de carbono por hectárea. El modelo de regresión mostró que el 88% de la variabilidad en el carbono almacenado es explicado por la diversidad arbórea $R^2 = 0.88$, $p < 0.001$. Estos hallazgos validan el rol de la biodiversidad como un factor clave para la resiliencia climática y la provisión de servicios ecosistémicos. Se concluye que la promoción de sistemas agroforestales de alta diversidad en la Amazonía boliviana es una política pública viable y efectiva para el combate al cambio climático y la conservación de la biodiversidad, fundamentales para la Salud Planetaria.

Palabras Clave: Agroforestería, Biodiversidad, Secuestro de Carbono, Salud Planetaria, Amazonía.





Foto 1.- Parcela Agroforestal con Cuchi Verde en el Área Experimental "El Siringal", de la UABJB

Introducción

Durante los últimos años, la agroforestería ha ganado reconocimiento a nivel mundial como un enfoque integrado para el uso sostenible de la tierra, gracias a sus múltiples beneficios productivos y ambientales. En el contexto de la Salud Planetaria, que reconoce la interconexión intrínseca entre la salud humana y el estado de los ecosistemas naturales, los sistemas agroforestales (SAF) son cruciales. Su reciente inclusión como estrategia de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el marco del Protocolo de Kioto ha incrementado su relevancia como mecanismo para el secuestro biológico de carbono (Nayar et al., 2009), un servicio ecosistémico vital para la estabilidad climática global.

El potencial de la agroforestería radica en la integración de componentes agríco-

las y forestales, lo cual permite optimizar el uso de recursos como nutrientes, luz y agua, generando un aumento neto en el secuestro de carbono. No obstante, las estimaciones sobre dicho potencial suelen carecer de rigurosidad científica, debido a las dificultades metodológicas para evaluar la biomasa y el carbono almacenado en el suelo bajo distintas condiciones ecológicas. A nivel global, se estima que los sistemas agroforestales ocupan aproximadamente 1.023 millones de hectáreas, aunque el volumen de carbono secuestrado varía según factores biológicos, climáticos, edáficos y de manejo propios de cada sitio (Nair & Fernandes, 1985).

En el municipio de Riberalta, los sistemas agroforestales están conformados principalmente por especies leñosas como el Copuazú (*Theobroma grandiflorum*) y el Cacao (*Theobroma cacao*) (Astaca

& Zonta, 2024). El Copuazú, en particular, desempeña un papel clave en el almacenamiento de carbono aéreo. Un estudio realizado en plantaciones de Copuazú en Madre de Dios, Perú, evidenció su alta capacidad para retener carbono en la biomasa, aportando información valiosa sobre su contribución a la mitigación del cambio climático (Bustamante Muñoz, 2018).

Un estudio de Sistemas Agroforestales en la Amazonía boliviana ejecutado por CIPCA (Vos et al., 2015), determinó que las parcelas de SAF evaluadas han almacenado grandes cantidades de carbono. En concordancia con otros estudios de carbono en SAF, este carbono se encuentra principalmente almacenada en la biomasa aérea de las plantas perennes y en el suelo, con aportes menores de la vegetación del sotobosque, la necromasa y la hojarasca. La captura anual promedio de carbono en los SAF fue estimado en 16.5 (± 8.9) Tn C/ha/año.

De manera similar, una investigación en 50 sistemas agroforestales con cacao en Waslalá, Nicaragua, reportó un almacenamiento promedio de 91.45 /pm 31.44 toneladas de carbono por hectárea (Poveda et al., 2013).

Las variables más influyentes en la capacidad de almacenamiento identificadas en ambos estudios estuvieron relacionadas con la diversidad de los árboles en los SAF, su densidad y el área basal. Además, estos estudios destacan un potencial valor financiero de 36 USD a 82.5 USD por

carbono fijado anualmente en la biomasa aérea, lo que resalta el potencial de estos sistemas para participar en mercados de carbono (Poveda et al., 2013; Vos et al., 2015).

En este contexto de crisis climática y pérdida de biodiversidad, el análisis de la capacidad de los SAF para almacenar carbono resulta fundamental. Estos sistemas no solo contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también promueven la sostenibilidad agrícola, la resiliencia de los paisajes y generan beneficios económicos para las comunidades locales. El objetivo de esta investigación es evaluar cómo la diversidad arbórea en SAF con copuazú y cacao en la Amazonía boliviana influye en el almacenamiento de carbono sobre el suelo, con el propósito de generar evidencia científica que oriente políticas de Salud Planetaria y fomente la promoción de estos sistemas como una solución viable frente al cambio climático.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

El estudio se realizó en Sistemas Agroforestales (SAF) de nueve comunidades del municipio de Riberalta (provincia Vaca Díez, Beni): Antofagasta, Warnes, Santa María, San Lorenzo de Pampa, Medio Monte, Villa Nazareth, Palmira, San Antonio y San Juan del Urucú. Riberalta se ubica en las coordenadas 11°00'18" S y 66°03'58" O.



La región presenta un clima tropical húmedo, con temperaturas medias entre 24 °C y 27 °C, y precipitaciones anuales superiores a 2,000 mm. Se distinguen dos estaciones: una lluviosa (octubre–abril) y otra seca (mayo–septiembre). Los suelos predominantes son oxisoles y ultisoles, conocidos como “tierra alta”, caracterizados por baja fertilidad, alta lixiviación y escaso contenido de materia orgánica.

Diseño de Muestreo

De una población de 30 SAF, se seleccionaron 12 parcelas representativas de la diversidad de especies. Cada parcela rectangular de 1,000 m² (20 × 50 m) fue georreferenciada y delimitada con estacas. Se inventariaron todos los individuos leñosos con DAP ≥ 3 cm, registrando nombre local, número de placa y características morfológicas.

Medición del DAP según tipo de planta:

- Árboles maderables: a 1.3 m del suelo.
- Frutales de porte bajo (Cacao, Copuazú, Cítricos): a 30 cm del suelo.
- Palmeras (Asaí) y hierbas arborescentes (Patujú - *Phenakospermum guyannense*): se registró la altura total.
- Individuos con múltiples tallos: se midió cada tallo por separado.
- Árboles bifurcados: se aplicaron reglas dasométricas estándar.

Estimación del Carbono Aéreo

La biomasa aérea se calculó aplicando ecuaciones alométricas en base de diá-

metros a la altura de pecho (DAP) y densidades arbóreas, siguiendo los métodos de RAINFOR descritos en detalle en la descripción metodológica de evaluaciones ambientales a partir de Parcelas Permanentes de Monitoreo del IIFA (Vos & Pardo, 2023). La necromasa (mayor y menor) y la hojarasca se midieron y extrapolaron usando los métodos descritos por CIPCA (Vos et al., 2015). La conversión a carbono se basó en la directriz del IPCC (2003):

$$\text{Carbono} = \text{Biomasa Total} * 0.5$$

Análisis Estadístico

Se aplicó análisis de varianza 5% de error, prueba de comparación de medias (Tukey) y análisis de regresión lineal para evaluar el efecto de la diversidad de especies perennes en la producción de biomasa aérea y carbono acumulado sobre el suelo.

Resultados y Discusiones

Caracterización de Sistemas Agroforestales (SAF) en Riberalta

Los 12 SAF evaluados se clasificaron en dos categorías principales (Multiestrato (5 sistemas) y Comerciales (7 sistemas)).

- **SAF Multiestrato:** Se componen de múltiples especies distribuidas en varias capas verticales, lo que fomenta la resiliencia ecológica y la seguridad alimentaria. Presentaron una alta diversidad (de 19 a 32 especies).



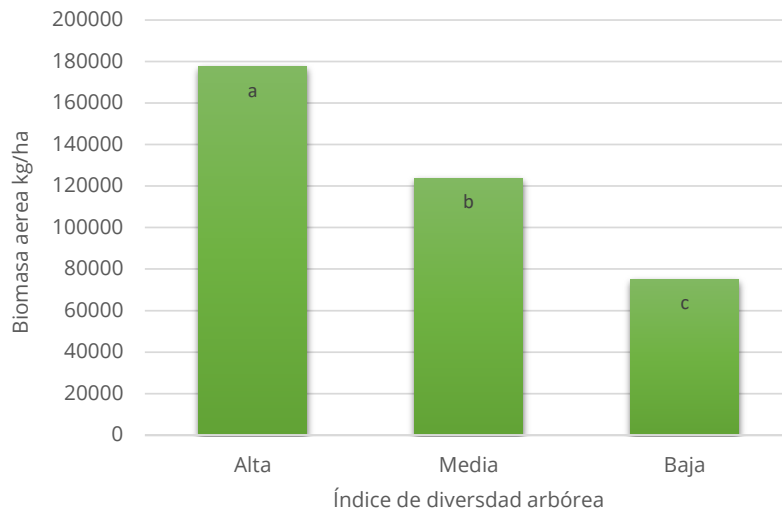


Foto 1.- Sistema Agroforestal Multiextrato.



Foto 2.- Sistema Agroforestal Comercial.

Figura 1. Biomasa aérea en los SAF en función de la diversidad arbórea existente.



Diferencia Mínima Significativa (DMS) prueba Tukey 95% = 28.2 Ton/ha. Barras acompañadas de la misma letra son estadísticamente iguales al 5% error.

- **Estrato Superior:** Almendro (*Bertholletia excelsa*), Siringa (*Hevea brasiliensis*), Tajibo (*Handroanthus serratifolius*), Paquío (*Hymenaea courbaril*), Mara (*Swietenia macrophylla*).
- **Estrato Intermedio:** Cacao (*Theobroma cacao*), Copuazú (*Theobroma grandiflorum*), Asaí nativo (*Euterpe precatoria*), Toronja (*Citrus maxima*), Palta (*Persea americana*).
- **Estrato Inferior:** Regeneración natural de especies frutales y maderables.
- **SAF Comercial:** Estos sistemas están dominados por una o dos especies (Cacao, Cupuazú o Asaí) con alta abundancia y una menor diversidad.

Biomasa Arbórea Acumulada sobre el Suelo de los SAF

En promedio, los sistemas acumulan 135.83 Ton/ha de biomasa aérea.

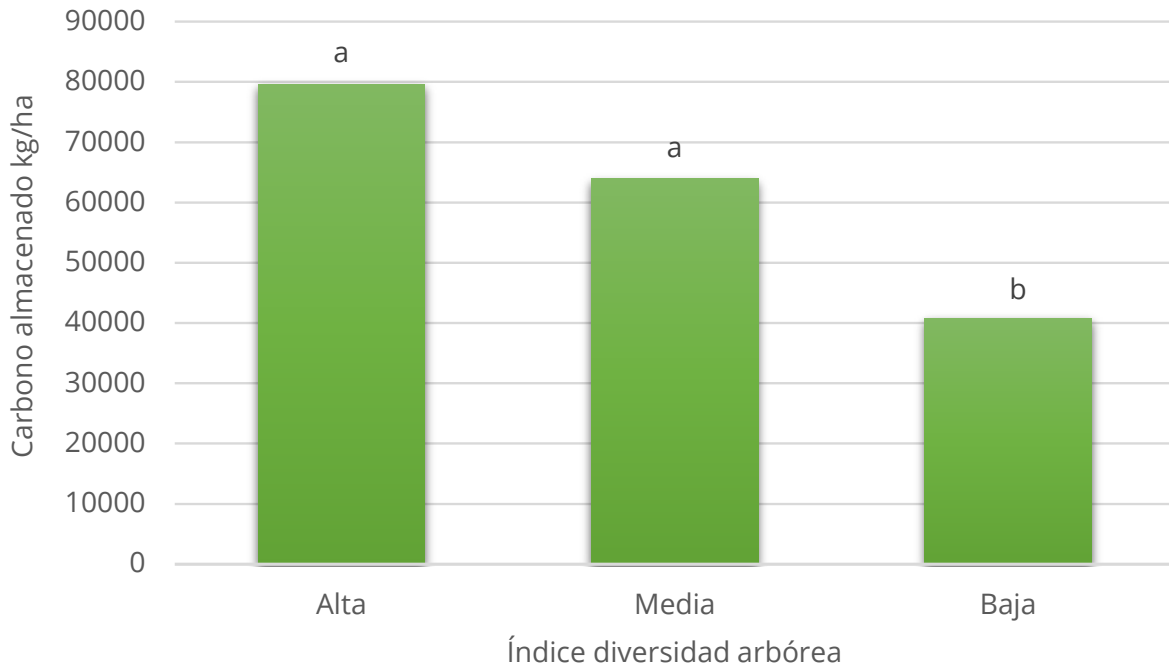
- **Máxima:** 239 Ton/ha (sistema multiestrato).
- **Mínima:** 61 Ton/ha (sistema comercial).

El ANOVA confirmó que el número de especies arbóreas está asociado con variaciones en la capacidad de producción de biomasa ($F = 5.94 > F_{\text{tabla}} = 3.86$). La prueba de Tukey (al 5%) mostró diferencias significativas entre las categorías de diversidad (baja, media y alta). Los sistemas de mayor diversidad lograron una mayor acumulación de biomasa.

El análisis de regresión ratificó que el efecto de la diversidad arbórea sobre la biomasa es estadísticamente significativo,

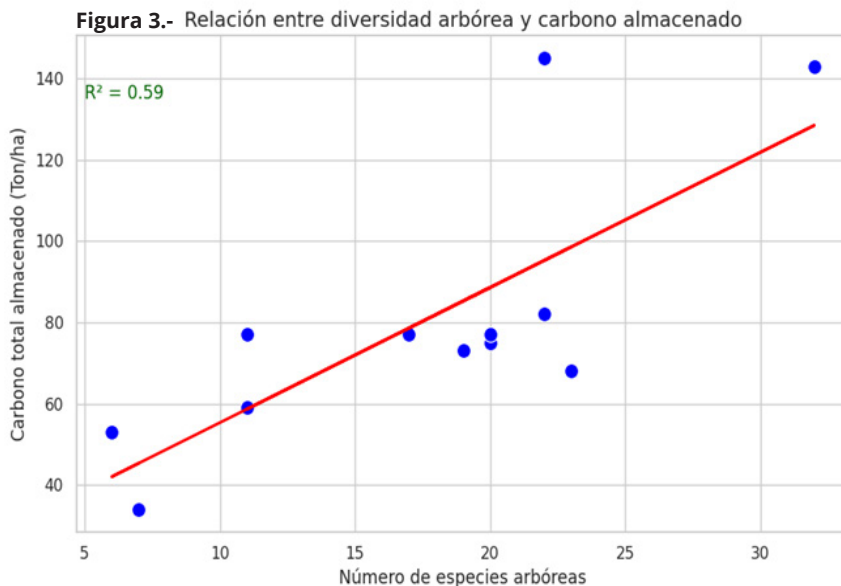


Figura 2.- Carbono almacenado en los SAF en función de la diversidad arbórea existente.



con un R^2 de 0.83, lo que sugiere que el 83% de la variabilidad es explicada por la diversidad. Esta tendencia positiva y significativa (Montagnini & Nair, 2004; Nair et al., 2010) se debe a que las diferentes

especies aprovechan recursos de manera más eficiente, y la mayor estratificación vertical incrementa la captura de luz y carbono.



Carbono Almacenado sobre el Suelo en los SAF

En promedio, los sistemas acumulan 82.17 Ton/ha de carbono con una edad promedio de 20 años.

- **Máxima:** 145 Ton/ha (sistema multiestrato de Francisco Cuadiay).
- **Mínima:** 34.3 Ton/ha (sistema comercial de Fortunato Angola).

Los resultados obtenidos confirman que la diversidad arbórea tiene una influencia altamente significativa sobre la cantidad de carbono almacenado. El ANOVA reveló diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados $F = 10.83 > F = 3.86$. La prueba de Tukey al 5% identificó que los sistemas con mayor diversidad (más de 20 especies) presentan diferencias significativas en comparación con aquellos de menor diversidad (menos de 10 especies).

El análisis de regresión mostró una relación fuerte entre la diversidad de especies y el carbono de la biomasa $R^2 = 0.88$; $p < 0.001$, Figura 3. Este resultado, que explica el 88% de la variabilidad, coincide con estudios en la Amazonía boliviana que destacan la correlación entre la riqueza de especies y el almacenamiento de carbono (Gómez Cardozo et al., 2018). Estos hallazgos refuerzan el papel de la biodiversidad en la mejora de los servicios ecosistémicos de mitigación. Los sistemas agroforestales diversos no solo son más eficientes en el uso de recursos, sino que su estructura compleja favorece

la acumulación de biomasa y carbono, y genera sinergias ecológicas que aumentan la resiliencia frente a perturbaciones climáticas (Nair et al., 2010).

Desde una perspectiva de Salud Planetaria, estos resultados refuerzan la necesidad de promover estrategias de manejo que prioricen la diversidad arbórea como eje central para la sostenibilidad. En el contexto de la Amazonía boliviana, incrementar la diversidad en los SAF es una herramienta clave para mitigar el cambio climático y conservar la biodiversidad, vinculando directamente la salud del ecosistema con el bienestar de las comunidades locales.

Conclusiones

Se rechaza la hipótesis nula, aceptándose la alternativa: la diversidad arbórea influye significativamente en la cantidad de biomasa total y en el carbono acumulado sobre el suelo en los sistemas agroforestales. Existe una correlación directa entre el incremento de la diversidad de especies y el aumento en el almacenamiento de carbono.

Se identificaron dos modelos de SAF: Sistemas Comerciales, orientados a la producción económica, y Sistemas Multiestrato, caracterizados por una mayor complejidad estructural, diversidad, y resiliencia.

Los sistemas con mayor diversidad arbórea (Multiestrato) presentan mayores niveles de necromasa, biomasa aérea y carbono almacenado, lo que refuerza su



papel crucial en la mitigación del cambio climático y la conservación de la biodiversidad.

La diversidad de especies se confirmó como un factor determinante en la capacidad de los SAF para secuestrar carbono. Los sistemas de alta diversidad (22 a 32 especies) almacenaron entre 93 y 118 toneladas de carbono por hectárea, mientras que los sistemas de baja diversidad (6 a 11 especies) registraron valores significativamente menores, entre 18 y 23 toneladas de carbono por hectárea.

Bibliografía

Astaca, E. G., & Zonta, A. (2024). *Identificación de los factores que inciden en la producción y en el crecimiento de árboles perennes de los sistemas agroforestales establecidos en suelos de tierra firme de 8 comunidades en Riberalta* [Tesis de licenciatura no publicada]. Universidad Autónoma del Beni José Ballivián.

Bustamante Muñoz, J. A. (2018). *Determinación del stock de carbono aéreo en una plantación de Theobroma grandiflorum (cupoazú), Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, región Madre de Dios* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios], Repositorio Institucional UNAMAD. <http://hdl.handle.net/20.500.14070/318>.

Gómez Cardozo, J., Armas, C., Camacho, L. M., & Zonta, A. (2018). *Efecto de la riqueza de especies y estructura de la vegetación en el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de la Amazonía, Bolivia*. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1481–1495.

Montagnini, F., & Nair, P. K. R. (2004). *Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems*. *Agroforestry Systems*,

61(1), 281–295. <https://doi.org/10.1023/B:AG-FO.0000029005.92691.79>

Nair, P. K. R., & Fernandes, E. C. M. (1985). *Agroforestry as an alternative to shifting cultivation*. (pp. 169–182). FAO.

Nair, P. K. R., Nair, V. D., Kumar, B. M., & Showalter, J. M. (2010). *Agroforestry systems and carbon sequestration*. *Advances in Agronomy*, 108, 237–307. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08005-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08005-3)

Nayar, M. P., Singh, A. K., & Nair, P. K. N. (2009). *Agrobiodiversity hotspots in India: Conservation and benefit sharing* (Vols. I & II). PPV & FR Authority.

Poveda, V., Orozco Aguilar, L., Cristóbal, M., Cerda, R., & López, A. (2013). *Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala*. *Agroforestería en las Américas*, (49).

Vos, V. A., & Pardo Molina, G. (2023). *Evaluaciones ambientales a partir de parcelas permanentes de monitoreo: Descripción metodológica no publicada*. Instituto de Investigaciones Forestales de la Amazonía, Universidad Autónoma del Beni José Ballivián. <https://saludplanetariabolivia.org/web-site/proyecto/fortalecimiento-docencia-e-investigacion-uab/16/pagina/248>.

Vos, V. A., Vaca Ruiz, O., & Cruz, A. (2015). *Sistemas agroforestales en la Amazonía boliviana: Una valoración de sus múltiples funciones*. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. https://www.cipca.org.bo/docs/publications/es/110_sistemas-agroforestales-en-la-amazonia-boliviana-1.pdf.

Vos, V. A., Vaca Ruiz, O., & Cruz, A. (2015). *Sistemas agroforestales en la Amazonía boliviana: Una valoración de sus múltiples funciones*. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. https://www.cipca.org.bo/docs/publications/es/110_sistemas-agroforestales-en-la-amazonia-boliviana-1.pdf.



*Producción de Biomasa Aérea en Cuchi Verde (*Gliricidia sepium*) según Edad de la Planta, en Suelos de Tierra Firme de Riberalta, Bolivia.*

Autores: Gregorio Choque Condori¹, Armelinda Zonta¹

1: Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Riberalta.

Resumen

Con los objetivos de: a) determinar la producción de biomasa aérea en plantas juveniles de Cuchi Verde (*Gliricidia sepium*), y b) determinar la capacidad productiva en biomasa aérea de rebrotes de tocones de árboles adultos de cuchi verde, se realizó una evaluación de plantaciones con Cuchi Verde en las comunidades San Lorenzo de Pampas y Nueva Unión del municipio de Riberalta, Bolivia, durante un período de seis meses. La hipótesis planteada fue que los rebrotes de tocones de plantas adultas de cuchi verde producen mayor biomasa aérea verde y seca en comparación con plantas juveniles, bajo condiciones de tierra firme en Riberalta durante seis meses de evaluación. En ambas comunidades, se utilizó un diseño de bloques al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones, con un nivel de significancia del 5%. En ambas parcelas se seleccionaron aleatoriamente 40 plantas de cuchi verde, organizadas en cuatro repeticiones de 10 plantas cada una, todas fueron podadas a 30 cm de altura. A partir de la poda se realizó un seguimiento durante seis meses, con mediciones al inicio y al final del período. El material podado fue pesado en estado húmedo y seco, además se estimó el volumen de biomasa leñosa incorporada. Las variables medidas fueron procesadas, sistematizadas, normalizadas y posteriormente analizadas mediante la prueba t de Student para dos grupos independientes al 95% de probabilidad. Con los promedios de peso total de biomasa aérea se estimó la capacidad productiva de plantas juveniles y adultas de Cuchi Verde con diferentes propósitos y densidades por hectárea. La investigación concluye que la producción de biomasa verde es significativamente mayor en plantas juveniles y disminuye con el incremento de la edad. Las plantas jóvenes producen mayor cantidad de follaje verde comparadas con plantas de mayor edad.

Palabras clave: *Gliricidia sepium*, biomasa vegetal, plantas juveniles, producción forestal, Riberalta.





Introducción

Bolivia cuenta con un extraordinario potencial para la producción de energía a partir de biomasa como alternativa de generación eléctrica amigable con el medio ambiente y como instrumento de electrificación, principalmente en zonas dispersas y alejadas (Tabera, 2012).

Los cultivos energéticos se producen para la generación de biomasa sólida como materia prima para la preparación de combustibles. Para garantizar esta materia prima, por lo general se implementan cultivos con especies adaptadas a las condiciones edafoclimáticas del lugar, considerándose tanto especies nativas como introducidas con alto poder calorífico.

El Cuchi Verde (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.) es una especie introducida en las regiones tropicales de Bolivia, reconocida por su alto potencial para la producción de biomasa sólida destinada a la generación de energía. La especie presenta adaptación a suelos de baja fertilidad natural y períodos con déficit hídrico. Su capacidad de adaptación se debe a la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, que fijan nitrógeno atmosférico y lo transforman en nitrato utilizado en la formación de biomasa, aportando nitrógeno al suelo. Además de su potencial energético, el Cuchi Verde tiene múltiples utilidades: tutores vivos en sistemas asociados, protección contra vientos, postes vivos, sombra en sistemas agroforestales y silvopastoriles, y producción de forraje

con alto contenido proteico. La capacidad de la especie para fijar nitrógeno y mejorar la fertilidad del suelo la constituye en una excelente alternativa para combinaciones agroforestales y recuperación de suelos degradados (Alamu, 2023).

Estudios realizados por Navas et al. (2002) determinaron que la producción de forraje fue mayor en el primer corte. Asimismo, la cantidad de forraje verde fue mayor en bancos de alta densidad (160,000 plantas/ha). Según Cardozo (2013), el punto máximo de producción de *G. sepium* se alcanza cuando se realiza el corte por encima de los 60 centímetros, considerando además un adecuado manejo del banco forrajero.

En el Valle del Cauca, Colombia, se realizaron cortes cada tres meses, aunque este intervalo varía según la altitud, ya que a menor altura se puede reducir el período entre cortes. La frecuencia también puede variar según la cantidad de materia seca y calidad deseada, debido a que a edad más temprana se obtiene mayor calidad nutricional y menor materia seca, mientras que a mayor edad los resultados son inversos (Cuervo et al., 2013).

Materiales y Métodos

Ubicación y Características Ambientales del Área de Estudio

La investigación se desarrolló en Bolivia, departamento del Beni, provincia Vaca Díez, municipio de Riberalta, en dos comunidades: San Lorenzo de Pampas, en una propiedad de la UABJB, ubicada so-

bre la carretera Riberalta-Guayaramerín a 38 km (margen derecho a 7 km), y en Nueva Unión, a 12 km sobre la carretera Riberalta-Santa María, en una propiedad del Instituto para el Hombre, la Agricultura y Ecología.

El clima predominante en la región es tropical húmedo con temperaturas promedio anuales de 26°C, precipitaciones promedio de 1,700 mm a 1,900 mm, y tres a cuatro meses con déficit hídrico. La altitud es de 170 a 230 msnm, con humedad relativa de 90% en época de lluvia y 70% en época seca, vientos predominantes del norte. La distribución de precipitaciones se concentra entre octubre y mayo, con época seca bien diferenciada de junio a septiembre, meses críticos para las plantaciones en sus primeros años (Fick & Hijmans, 2017; SENAMHI, 2019).

Los suelos locales se caracterizan por baja fertilidad natural, alta acidez (pH 4.4), calcio 0.3 cmol kg⁻¹, magnesio 0.4 cmol kg⁻¹, potasio 0.11 cmol kg⁻¹, fósforo 5 mg kg⁻¹, materia orgánica 1.2%, nitrógeno total 0.09%, textura franco-arcillo-arenosa, profundidad efectiva mayor a 5 m, libres de capa impermeable y con buen drenaje (CIAT, 2016).

Instalación y Manejo del Ensayo

Se trabajó con dos tratamientos y cuatro repeticiones en parcelas distribuidas enteramente al azar. Para cada tratamiento se utilizaron 40 árboles de Cuchi Verde distribuidos en cuatro repeticiones de 10 árboles. Los tratamientos fueron:



Figura N° 1. Biomasa húmeda y seca acumulada durante seis meses de crecimiento de plantas juveniles de Cuchi Verde (T1)

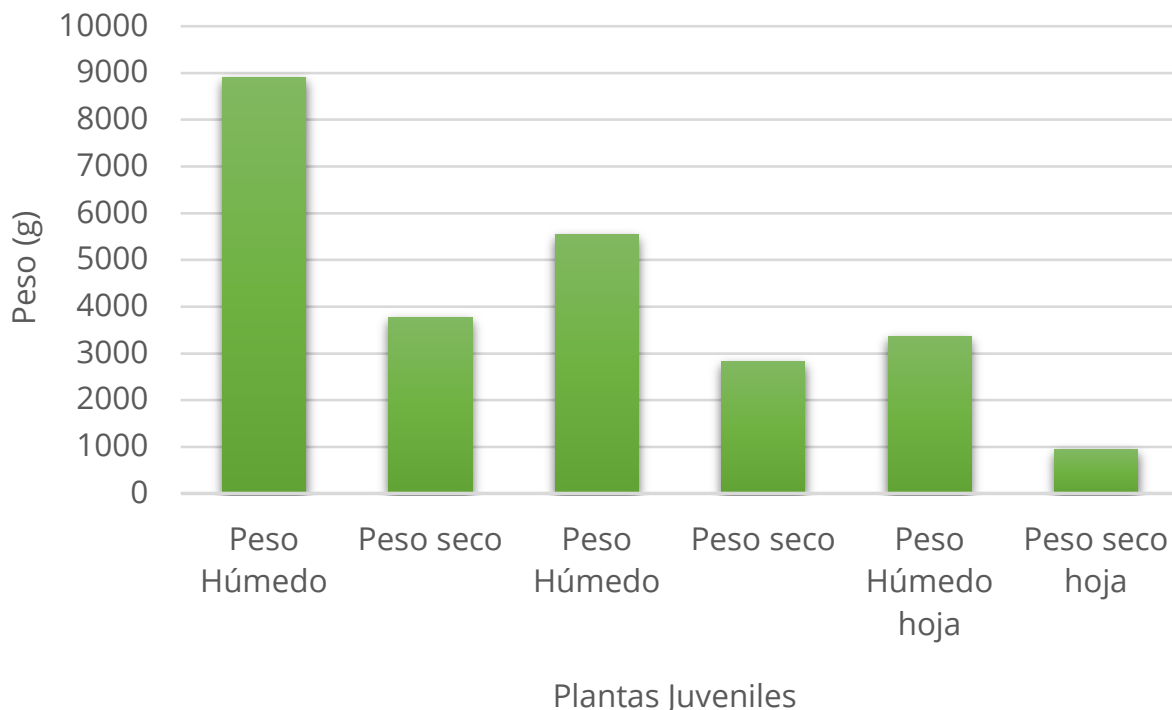
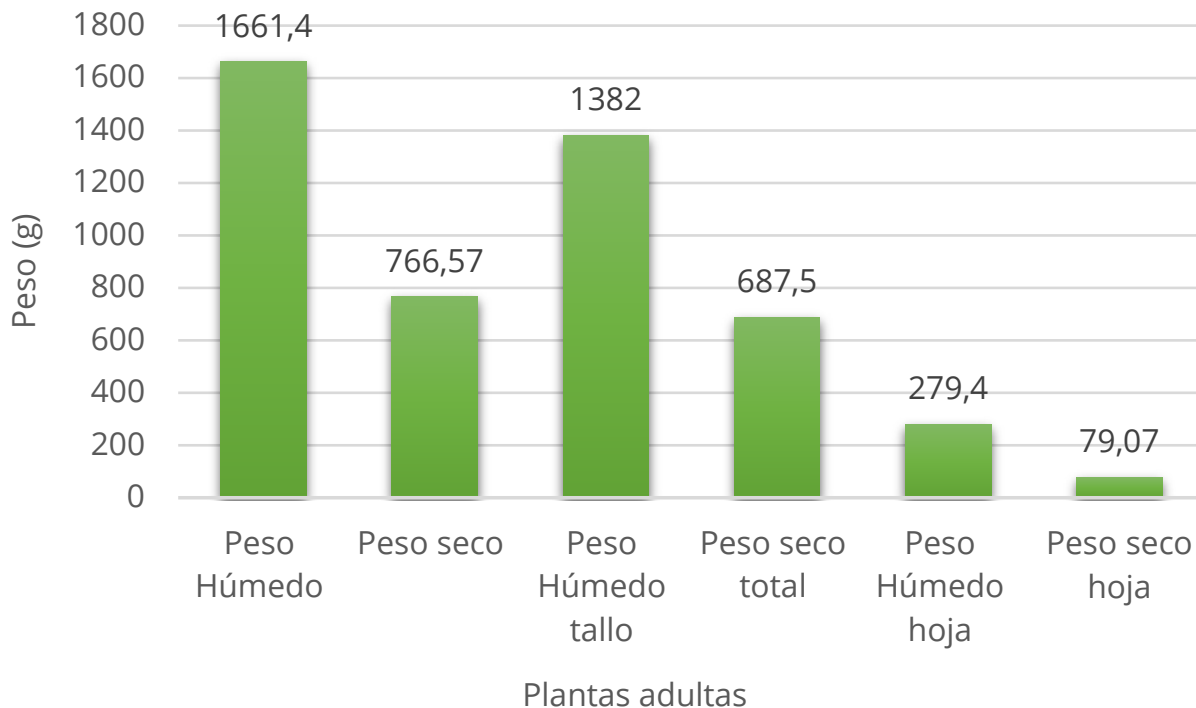


Figura N° 2. Biomasa húmeda y seca acumulada durante seis meses de crecimiento de plantas adultas de Cuchi Verde (T2).

T1 = 40 plantas juveniles de Cuchi Verde con edad de 1 año



T2 = 40 plantas adultas de Cuchi Verde con edad de 18 años

Selección de las Plantas

Para seleccionar las plantas objeto de estudio se aplicaron los siguientes criterios:

- a. Las condiciones ambientales de cada tratamiento fueron uniformes en oferta de radiación solar, tipo de suelo y tratamiento cultural.
- b. En cada planta se aplicó poda drástica de la copa, dejando únicamente el tronco a 30 cm del suelo.
- c. Se realizó medición inicial para establecer el diámetro del tallo al momento de la poda.

A partir de la poda se realizó seguimiento a las 40 plantas por tratamiento durante seis meses.

Variables evaluadas

Las variables consideradas fueron: peso húmedo total de la parte aérea, peso húmedo del tallo, peso húmedo de las hojas, peso seco total de la parte aérea, peso seco del tallo, peso seco de hojas y volumen de las ramas.

Durante el período de evaluación se realizó seguimiento con aplicación de labores culturales en ambas parcelas. Al completar los seis meses se evaluó la cantidad de biomasa aérea total y el volumen acumulado.

Para la cuantificación de biomasa húmeda se podó cada planta y se pesaron por separado hojas y ramas. Además, se midió cada rama utilizando calibrador, registran-

do el diámetro mayor, menor y la longitud.

Para determinar el peso seco de la biomasa acumulada, se seleccionaron aleatoriamente cuatro plantas por tratamiento. La biomasa de hojas se organizó en sobres de papel y los tallos fueron troceados y almacenados en sobres identificados por planta y tratamiento. Los sobres se depositaron en horno eléctrico a temperatura de 80-100°C hasta alcanzar peso constante.

Análisis Estadístico

Las variables medidas fueron procesadas, sistematizadas, normalizadas y posteriormente sometidas a la prueba t de Student para dos grupos independientes al 95% de probabilidad. Posteriormente se aplicó ANOVA de una vía para determinar las diferencias entre tratamientos.

Resultados

La aplicación del ANOVA al 5% de error entre tratamientos y dentro de repeticiones para todas las variables medidas determinó que existe diferencia estadística significativa al 5% de error entre tratamientos, mientras que no existe diferencia significativa entre repeticiones para todas las variables evaluadas.

La Figura N° 02 muestra el comportamiento de las plantas adultas de Cuchi Verde en producción de biomasa verde y seca durante seis meses de evaluación. El mayor peso húmedo y seco corresponde al tallo, representando el 83.1% en plantas adultas (T2).



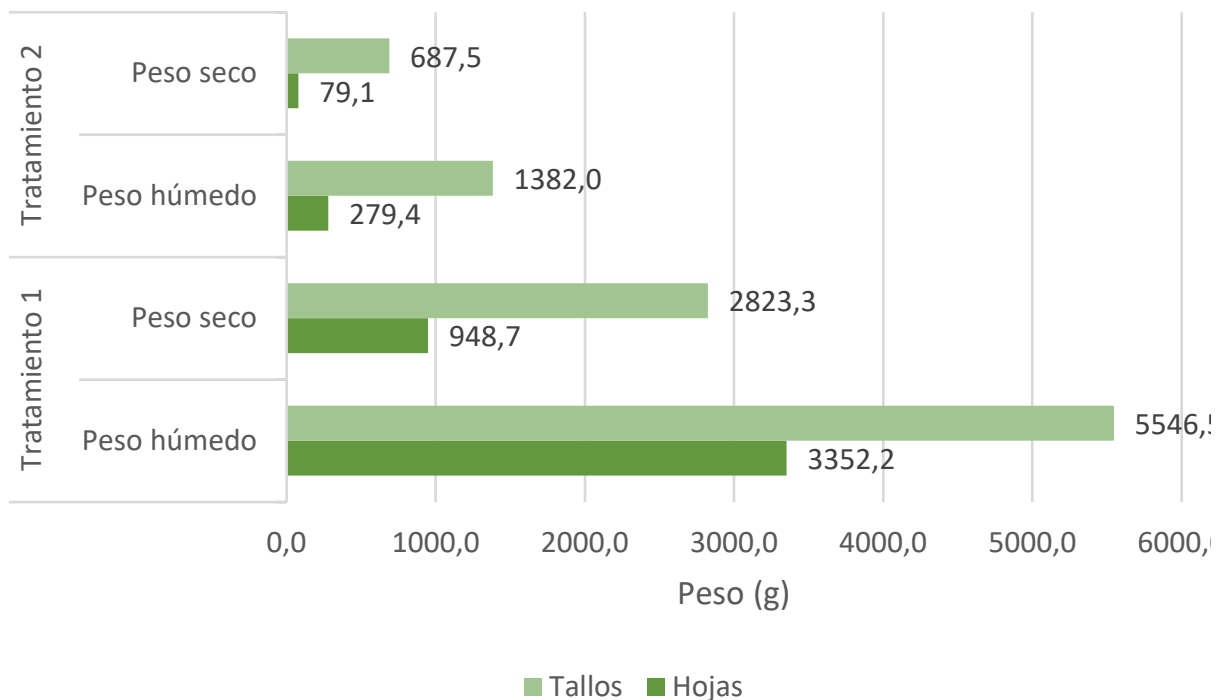
En la Tabla N° 01 y Figura N° 03 se observa que las plantas juveniles de Cuchi Verde (1 año de edad) acumulan biomasa verde y seca con aproximadamente 535% más que plantas adultas (18 años) durante el mismo período de seis meses, bajo condiciones edafoclimáticas similares.

Los resultados indican que en promedio una planta joven de Cuchi Verde produce durante seis meses 8.9 kg de biomasa por

0.829 kg/planta. Comparando estos resultados con los de la presente investigación, se confirma que plantas de cuchi verde disminuyen su capacidad de producción de biomasa aérea con el incremento de edad, afirmación fundamentada con los resultados obtenidos y que son estadísticamente diferentes al 5% de error según ANOVA.

En la presente investigación, las plantas

Figura N° 3. Biomasa verde y seca acumulada durante seis meses por plantas de Cuchi Verde con dos tratamientos: T1: plantas de un año, T2: plantas de 18 años.



planta y 3.8 kg/planta de peso seco, mientras que plantas adultas de aproximadamente 18 años producen en promedio 1.67 kg/planta de biomasa aérea y 0.77 kg/planta de peso seco.

Beliard (1984) encontró que plantas de Cuchi Verde en cerco vivo con cuatro años de edad acumularon en seis meses 3.86 kg de biomasa aérea/planta y peso seco de

de Cuchi Verde con un año de edad (T1) acumularon en tallo un peso húmedo promedio de 5.5 kg/planta, mientras que plantas adultas de 18 años (T2) establecidas a partir de semillas produjeron 1.38 kg/planta. Roa (2017) evaluó la producción de tallo verde en seis meses en plantas de Cuchi Verde, estableciendo un peso promedio por planta de 0.62 kg. Beliard (1984)



evaluó plantas en cerco vivo y determinó un peso húmedo de tallo acumulado en seis meses de 2.04 kg/planta/corte, en cercos vivos con distanciamiento entre árboles de 2 m. Gómez (2002) menciona que *G. sepium* desarrolla en seis meses un peso húmedo de tallo de 2.2 kg/planta/corte.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las plantas de Cuchi Verde implementadas a partir de estacas y con un año de edad acumularon en tallo un peso húmedo promedio de 5.5 kg, superior en más del 100% comparado con la producción reportada por Gómez (2002) y Roa (2017).

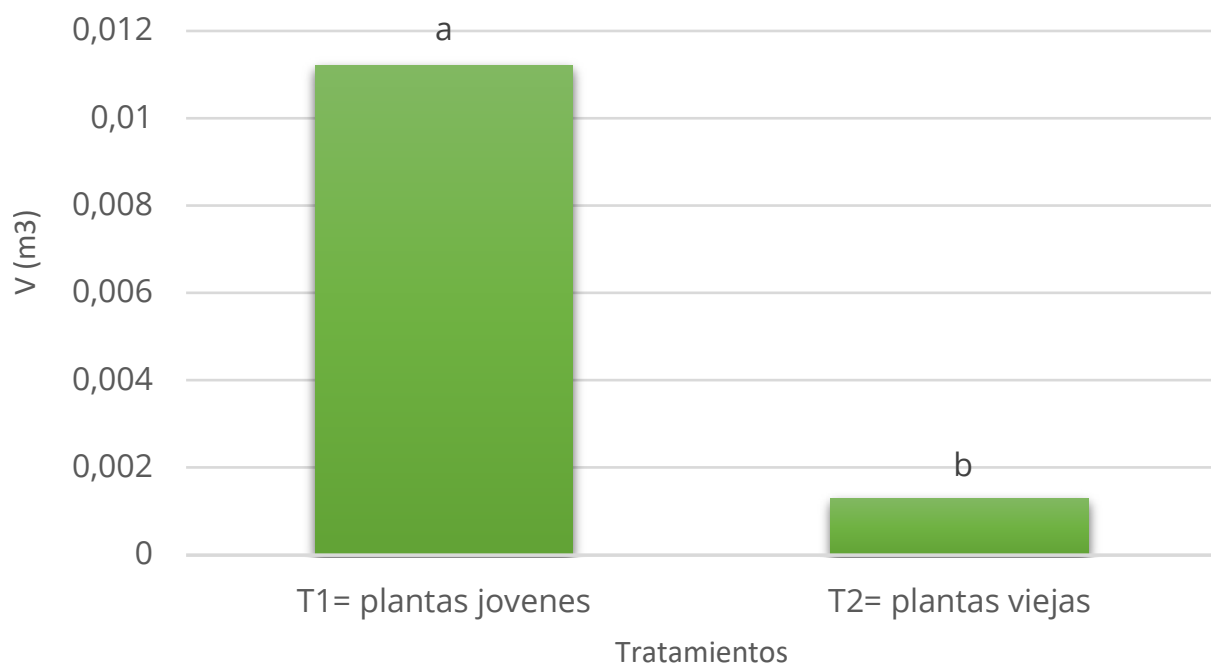
En plantas adultas de 18 años, la producción de peso húmedo en tallo fue de 1.38 kg/planta en seis meses, siendo menor que las producciones obtenidas por Gómez (2002) y Roa (2017). Estadísticamente, mediante la prueba t se estableció diferencia estadística significativa en la producción de peso de tallos entre plantas

juveniles y adultas.

Beliard (1984) determinó un peso seco de tallo promedio de 0.40 kg/planta/corte para seis meses de crecimiento. En la presente investigación se alcanzó un peso seco del tallo en plantas jóvenes de 2.83 kg/planta (T1) y para plantas adultas (T2) de 0.67 kg/planta; en ambos casos los resultados son superiores a los del autor mencionado. Navas et al. (2000), trabajando con Cuchi Verde en seis meses de crecimiento, obtuvieron peso de tallo seco de 1.5 kg/planta.

Para la variable peso húmedo de hoja existe diferencia significativa al 5% de error entre tratamientos. Beliard (1984) reporta producción de biomasa en hoja acumulada en seis meses en plantas de cinco años de edad con espaciamiento de 2.0 m de 1.86 kg/planta, mientras que Gómez (2002) reporta producción de biomasa foliar en seis meses de 1.34 kg/árbol/

Figura N° 4. Proyección de producción de biomasa según edad de plantación.



corte. Roa (2017) menciona producción de biomasa verde de hoja húmeda de 1 kg/planta/corte para *G. sepium*, mientras que Navas et al. (2000) en banco de alta densidad establecieron peso en biomasa verde de hojas de 9.3 kg/planta acumulada en seis meses.

En plantaciones con plantas de un año de edad, la biomasa verde en hoja acumulada en seis meses fue de 3.35 kg/planta, mientras que las plantas adultas acumularon 0.28 kg/planta, siendo estadísticamente significativa la diferencia entre T1 y T2. La producción obtenida en ambos tratamientos se encuentra entre las producciones referidas por Gómez (2002), Roa (2017) y Navas et al. (2000), posiblemente debido a diferencias en densidades utilizadas y edad de las plantas evaluadas.

Para peso seco de hoja existe diferencia significativa al 5% de error entre tratamientos. Gómez (2002) menciona producción de biomasa foliar en seis meses de 0.348 kg/árbol/corte, mientras que Belliard (1984) reporta producción de biomasa acumulada en seis meses en plantas de cinco años con espaciamiento de 2.0 m de 0.428 kg/planta. Roa (2017) menciona producción de biomasa seca de hoja de 0.239 kg/planta, mientras que Navas et al. (2000) en bancos de alta densidad establecieron peso en biomasa seca de hoja de 2.3 kg/planta acumulada en seis meses.

En plantaciones con plantas de un año, la biomasa seca de hoja acumulada en seis meses fue de 0.949 kg/planta, mientras que plantas adultas acumularon 0.079 kg/

planta, siendo estadísticamente significativa la diferencia entre T1 y T2. La producción obtenida en ambos tratamientos se encuentra dentro del rango de las producciones referidas por Gómez (2002), Roa (2017) y Navas et al. (2000), posiblemente debido a diferencias en densidades y edad de las plantas evaluadas.

En la Figura N° 04 se realizó una proyección de la producción de biomasa total, del tallo y de las hojas considerando diferentes densidades por hectárea. Al incrementar la densidad de plantas por hectárea, el peso de biomasa de hojas incrementa, proporcionando mayor cantidad de forraje y mayor aporte de nutrientes al suelo. Plantas juveniles de Cuchi Verde acumulan un volumen en ramas 861% mas que plantas adultas.

Conclusiones

Se rechaza la hipótesis planteada inicialmente, al confirmar que plantas juveniles de Cuchi Verde acumulan significativamente mayor biomasa total verde y seca durante seis meses comparadas con la biomasa acumulada en el mismo período por plantas adultas de Cuchi Verde.

El incremento de edad reduce significativamente la producción de biomasa total verde y seca de plantas de Cuchi Verde cultivadas en sistemas agroforestales con baja densidad por hectárea.

Las plantas juveniles de Cuchi Verde (1 año) presentan mayor producción de follaje verde, lo que las hace más apropiadas para sistemas silvopastoriles y producción



de forraje, mientras que las plantas adultas reducen drásticamente su capacidad productiva.

Comparando los resultados de la presente investigación con datos de otros estudios, se confirma que plantaciones de cuchi verde para producción de biomasa aérea deben implementarse con altas densidades y tiempos de rotación entre ocho y diez años. Superado este período, es recomendable realizar cosecha final e implementar nueva plantación para mantener niveles óptimos de productividad.

Bibliografía

- Alamu, E. O., Adesokan, M., Fawole, S., Maziya-Dixon, B., Mehreteab, T., & Chikoye, D. (2023). *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp applications for enhancing soil fertility and crop nutritional qualities: A review. *Forests*, 14(3), 635. <https://doi.org/10.3390/f14030635>.
- Beliard, C. A. (1984). *Producción de biomasa de Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud, en cercas vivas bajo tres frecuencias de poda (tres, seis y nueve meses). UCR, San José (Costa Rica) CATIE.
- Cardozo Vargas, J. V. (2013). *El matarratón (Gliricidia sepium) en la alimentación de rumiantes*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, Especialización Nutrición Animal Sostenible.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (2016). *Análisis de suelos de las comunidades de estudio en Riberalta, Beni* (Informe técnico). Riberalta, Bolivia.
- Cuervo-Jiménez, A., Narváez-Solarte, W., & Hahn von-Hessberg, C. (2013). Características forrajeras de la especie *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud, Fabaceae. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 17(1), 33-45.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Gómez, M. E., Rodríguez, L., Murgueitio, E., Rosales, M., Molina, C. H., Molina, C. H., Molina, E., & Molina, J. P. (2002). *Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica*. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), Cali, Valle, Colombia.
- Navas, A., Patiño, H., Vargas, J. E., & Estrada, J. (2002). *Producción de Gliricidia sepium* (Matarratón) en bancos de alta densidad. Universidad de Caldas, Colombia.
- Roa-Ramírez, D. A. (2017). *Evaluación del comportamiento productivo de Gliricidia sepium en bancos forrajeros bajo condiciones de suelos de Piedemonte Llanero*. Universidad de la Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Colombia.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2019). *Climatología de la estación Riberalta*. SENAMHI.
- Tabera, G. (2012). *Cuadernos de Coyuntura n° 5: Energías renovables. La luz del progreso para la Bolivia rural: situación y perspectivas de las energías alternativas*. Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA).



Estructura Poblacional y Potencial Productivo de Fruta de Palla (*Attalea bassleriana*) en Bosques de Tierra Firme del Noreste Amazónico Boliviano: Estudio de Caso Municipio Villa Nueva

Autores: Rafael Luna Divapuri¹ y Armelinda Zonta¹

¹Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Riberalta.

Resumen

La *Attalea bassleriana*, conocida en la Amazonia de Bolivia como Palla, es una palmera utilizada para diferentes usos domésticos, que tiene un gran potencial para la producción de aceites destinado a producción de cosméticos y biocombustibles. El estudio evaluó la estructura poblacional, la densidad, abundancia, el número de racimos por planta y el peso promedio y potencial productivo de frutos maduros. Para evaluar estas características, se evaluaron transectos distribuidos en bosques con presencia de Palla. En total se evaluaron 205 transectos de 10 x 500 m, en tres sitios seleccionados, para cuantificar árboles adultos de Palla, definidas como individuos con alturas igual o mayores a 9 metros de altura. Y se usaron subparcelas menores para evaluar la población juvenil, de individuos menores a 9 m de altura. El peso y la cantidad de racimos por planta fue establecida en función a 50 árboles adultos muestreados al azar en los tres sitios. Para establecer la existencia de significancia estadística se aplicó un ANOVA. Los resultados muestran que existe diferencia significativa en densidad de palmeras de Palla en los tres sitios con 22 individuos por hectárea (ind/ha) en Santa Fe, 17 ind/ha en Bella Brisa 9 ind/ha en Loma Alta. La estructura poblacional de la especie es estadísticamente igual entre sitios y la misma presenta la forma de una "J" invertida, indicador de buena salud del bosque. El peso promedio de los racimos fue de 40 kg y un árbol adulto produce por año un promedio de 1,5 racimos. Gracias a su mayor área territorial, con una producción potencial de 25000 ton/año, la comunidad de Loma Alta tiene mayor potencial productivo de frutos, y Santa Fe presenta menor potencial con 18000 ton/año.

Palabras clave: Palla, estructura poblacional, J invertida, densidad, abundancia, potencial productivo, Amazonía boliviana.





Palla (Attalea bassleriana)

© rokruse, algunos derechos reservados (CC-BY-NC)

Introducción

Dentro de la familia Arecaceae, el género *Attalea* tiene una distribución Neotropical. En América del Sur está presente con 56 especies, que viven en diferentes hábitats des de bosques estacionales secos hasta bosques tropicales (Pintaud, 2008). En Bolivia las especies del género *Attalea* están presente con mayor frecuencia en tierras bajas (Moraes y Zenteno-Ruiz, 2017).

El género *Attalea* tiene 16 especies distribuidas en la Amazonía Occidental, para

cuales aún no se tiene total claridad taxonómica (Henderson, 2020), entre ellas está la *Attalea bassleriana* que tiene como sinónimo *Attalea butyracea* (*Mutis ex Linnaeus f.*) (Henderson 2020). La especie en la Amazonía de Bolivia se encuentra en bosques amazónicos altos y ribereños, así como en terrazas libres de inundación asociada a cinco formaciones de bosque (Moraes y Zenteno-Ruiz 2017). La especie *A. bassleriana* es conocida localmente como Palla; una palmera con alturas de hasta 35 m y un tronco de 40 cm de diámetro (Rodríguez del Castillo et al., 2018)

Estudios realizados en bosques primarios con presencia de *Attalea speciosa* observó que la estructura poblacional de la especie tiene una distribución en forma de “J” invertida, lo que representa la presencia de individuos de la especie en todas las fases de su crecimiento (Moreira dos Santos et al., 2022).

El peso de un racimo de Palla varía de 17,21 a 73,66 kg, con frutos tipo drupa con una longitud de 8,5 a 11,95 cm y diámetros de 4,24 a 7,45 cm, con un peso de 130,41 a 309,40 g, Rodríguez-Cabrera et al. (2023). Por su lado, Henderson (2020) indicó que la Palla tiene frutos de 4,27 a 11,55 cm de largo y 2,55 a 6,7 cm de diámetro.

La Palla es una especie que tiene múltiples usos locales y es de gran importancia para la vida de las familias que viven en el área rural. Sus raíces son utilizadas para la producción de una bebida que es utilizada para la cura de enfermedades hepáticas, las hojas maduras las utilizan para techar sus casas; las tiernas para tejer artesanías como esteras, escobas, venteadores, el tallo para horcones de sus casas, los frutos maduros para alimentación humana y de animales domésticos, y las semillas se consumen crudas o tostadas (Rodríguez-Cabrera et al., 2023).

Los frutos de la Palla tienen alto valor económico. Las semillas tienen en su composición 60–70% de aceite y la harina presenta 19% de contenido de proteína. Son ricos en ácidos grasos saturados de

cadena media, como ácido láurico (33,6–51,8%) y mirístico (15,4–18,73%). El ácido oleico representa aproximadamente el 14% del contenido graso (Dávila et al., 2011).

El objetivo del presente estudio fue determinar la capacidad de la especie en regenerarse de manera natural (estructura poblacional de la Palla), estimar la abundancia de árboles adultos productivos en bosques de tierra firme y la producción anual de frutos maduros; información requerida para establecer las normas técnicas para el aprovechamiento comercial de la especie, así como hacer un uso integral de los bosques en sitios similares. El estudio pretende contribuir al desarrollo de alternativas económicas viables de aprovechamiento forestal, para contribuir al alivio de la pobreza, la conservación de la biodiversidad y a la mitigación del cambio climático en la Amazonia Norte de Bolivia.

Materiales y Métodos

Área del estudio

El estudio se realizó en la provincia Federico Román del departamento de Pando en áreas de manejo forestal dentro de bosques de tierra firme.

Los factores que determinaron la selección de las tres comunidades fueron; la existencia de manchas de Palla (Pallares), la presencia de áreas de bosque con planes de manejo forestal aprobados por la Autoridad Plurinacional de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra (ABT) y



que cada una de las comunidades posee una característica única en cuanto a su historia tradicional de aprovechamiento de frutos de palmeras como Asaí (*Euterpe precatoria*), Majo (*Oenocarpus bataua*), Chonta (*Astrocaryum aculeatum*), Cusi (*Attalea speciosa*) y Motacú (*Attalea phalerata*) y por su experiencia en utilizar las semillas de palla en la extracción de aceite a nivel doméstico.

Las comunidades seleccionadas están ubicadas geográficamente en: Loma Alta, (10°47'31" S, 65°58'02" O); Santa Fe, (10°41'21" S, 65°51'29" O) y Bella Brisa (10°48'31" S, 66°25'02" O), municipio de Villa Nueva, provincia Federico Román, departamento de Pando.

Población y Área de Muestreo para evaluar regeneración natural y población adulta palla.

Dentro de cada sitio se delimitó transectos de 10 x 500 m (0,5 Ha) distribuidos de manera sistemática dentro del área destinada al manejo forestal. Se evaluaron 200 transectos en Loma Alta, 110 transectos en Bella Brisa y 100 transectos en Santa Fe. En estos transectos se midieron todas las plantas de Palla: con altura igual o mayor a 9 m (considerados adultos). Para determinar la regeneración natural de la Palla en cada comunidad se evaluaron 20 adicionales subunidades de muestreos de diferentes tamaños aplicando las categorías detallada en la Tabla 2. La altura de los estipes fue medida desde el nivel

del suelo hasta la base del brote foliar.

Tabla 1.- Sitios, superficie total de bosques y áreas de muestreo para plantas mayores o igual a 9 m.

Comunidad	Superficie total (ha)	Área de muestreo para plantas adultas ≥ 9 m (ha)
Santa Fe	12.719	55
Loma Alta	43.972	100
Bella Brisa	19.903	50
Total	—	205

Tabla 2.- Categorías de tamaño y área subparcelas para estudio de la población menor a 9 m altura

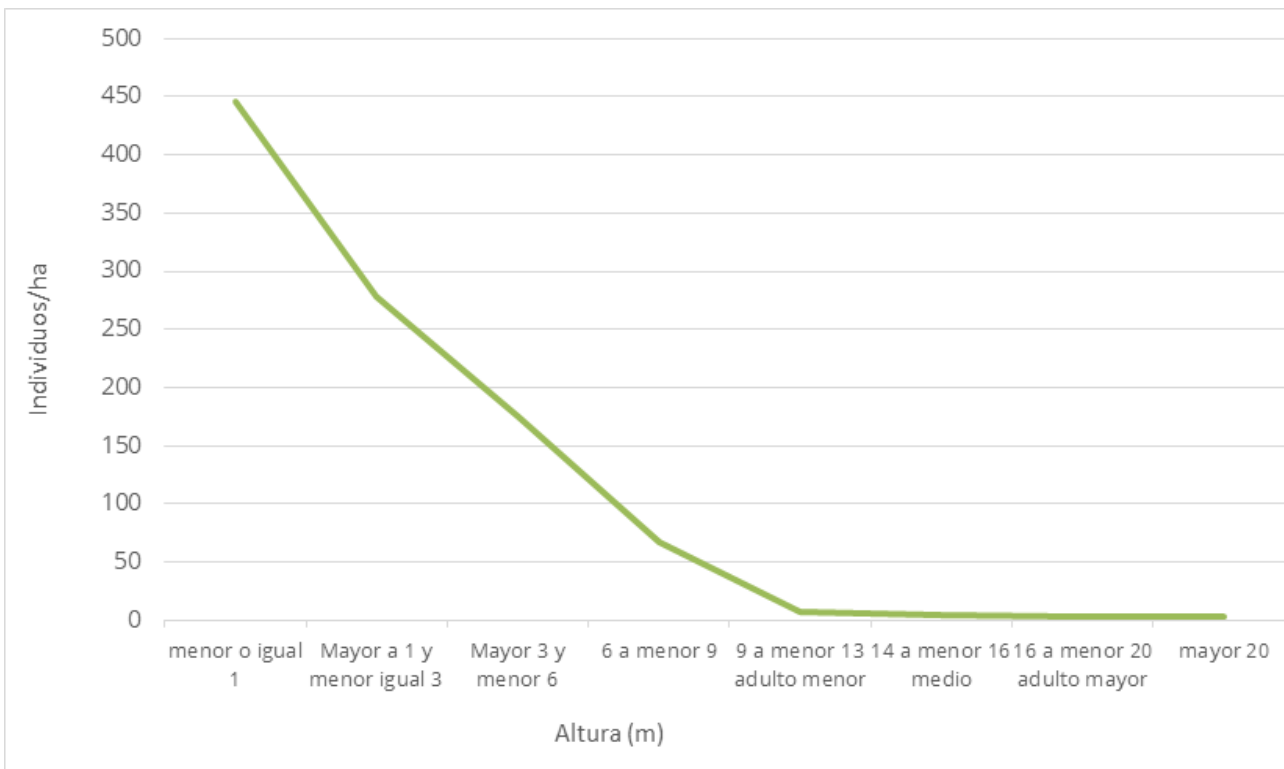
Categorías de tamaño	Alturas (m)	Tamaño de subparcela
Brinzales	0.5 m < alt. < 1 m	3 x 3 m
Juvenil 1	1 m ≤ alt. < 3 m	6 x 3 m
Juvenil 2	3 m ≤ alt. < 6 m	6 x 6m
Pre-adultos	6 m ≤ alt. < 9 m	10x10m

Características cuantitativas de los racimos, frutos y potencial productivo.

Para determinar el peso de los racimos maduros, el número de frutos por racimo, la producción de frutos por árbol, la producción por hectárea y para la población, se seleccionaron 50 plantas adultas de Palla y se cuantificó el número de racimos maduros por planta. Posteriormente se cosecharon 20 racimos maduros, para determinar su peso con el uso de una balanza manual (romana) y para cuantificar el número de frutos por racimo, y registrar sus dimensiones (largo y el diámetro de 100 frutos). Para estimar la producción de frutos maduros por hectárea se mul-



Figura 1.- Estructura poblacional promedio de la palla de los tres sitios estudiados expresadas en individuos/ha en cada clase de tamaño en altura (m).



tipico el número de árboles adultos de Palla por el número promedio de racimos maduros por año. Para estimar la producción de toda el área de cada comunidad se multiplico la producción de frutos de maduros por hectáreas por la superficie total de bosque con planes de manejo.

Análisis de datos

Los datos de cantidad de racimos y número de frutos por racimo fueron sometidos a estadística descriptiva para obtener la media, los valores mínimos y máximos, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Para determinar si existen diferencias significativas de la estructura población de plantas de Palla en los sitios evaluados se aplicó la prueba de Chi-cuadrado a un nivel de confianza de 95 % (α

= 0,05) y para la población y producción de árboles adultos se aplicó un Análisis de Varianza. En caso que $F_{\text{calculado}}$ fue mayor que $F_{\text{crítico}}$ se aplicó prueba de Tukey para determinar la diferencia entre medias, al 5% de error.

Resultados

La prueba de Chi-cuadrado aplicado a los resultados de regeneración natural en los tres sitios estudiados (Loma Alta, Santa Fe y Bella Brisa) se encontró que $p = 0,1453$ es menor que p crítico 0,05, lo que indica que no existe diferencia significativa (al 5% de error) de la regeneración natural de planta de Palla entre los sitios estudiados. En consideración a este resultado, se optó por calcular la media de la



Figura nº 2. Abundancia total de árboles adultos de palla por comunidad.



regeneración natural de los tres sitios y con estos valores construir la curva de la estructura poblacional de plantas de Palla. Como muestra Figura 1, los resultados reflejan una distribución en forma de J invertida.

Abundancia de Pallas adultas en las tres comunidades.

El inventario de población adulta de Palla en los 3 sitios estudiados se expresa en la Tabla 3. La mayor densidad fue registrada en Santa Fe y la menor en Loma Alta.

El Análisis de varianza aplicado sobre el número de individuos adultos por hectárea entre sitios estudiados resulto en un valor de $F_{calculado}$ de 66,3 que es mayor a

$F_{crítico}$ de 3,47 al 5% de error. La prueba de Tukey a 5% de error. Se determinó una DMS (Diferencia Mínima Significativa) de 2,03. Cualquier diferencia entre medias mayor a 2,03 significa que son estadísticamente diferentes

Tabla 3. Densidad de pallas adultas en los tres sitios estudiados.

Sitios estudiados	Área estudiada (ha)	Número total de individuos adultos (n)	Densidad promedio (ind/ha)
Loma Alta	100	900	9c
Santa Fe	55	1210	22a
Bella Brisa	50	850	17b

Abundancia de plantas adultas de Palla por comunidad estudiada.

En la Figura 2 se presenta el número to-



Figura 3.- Producción anual en toneladas/ha de frutos de palla para cada sitio.

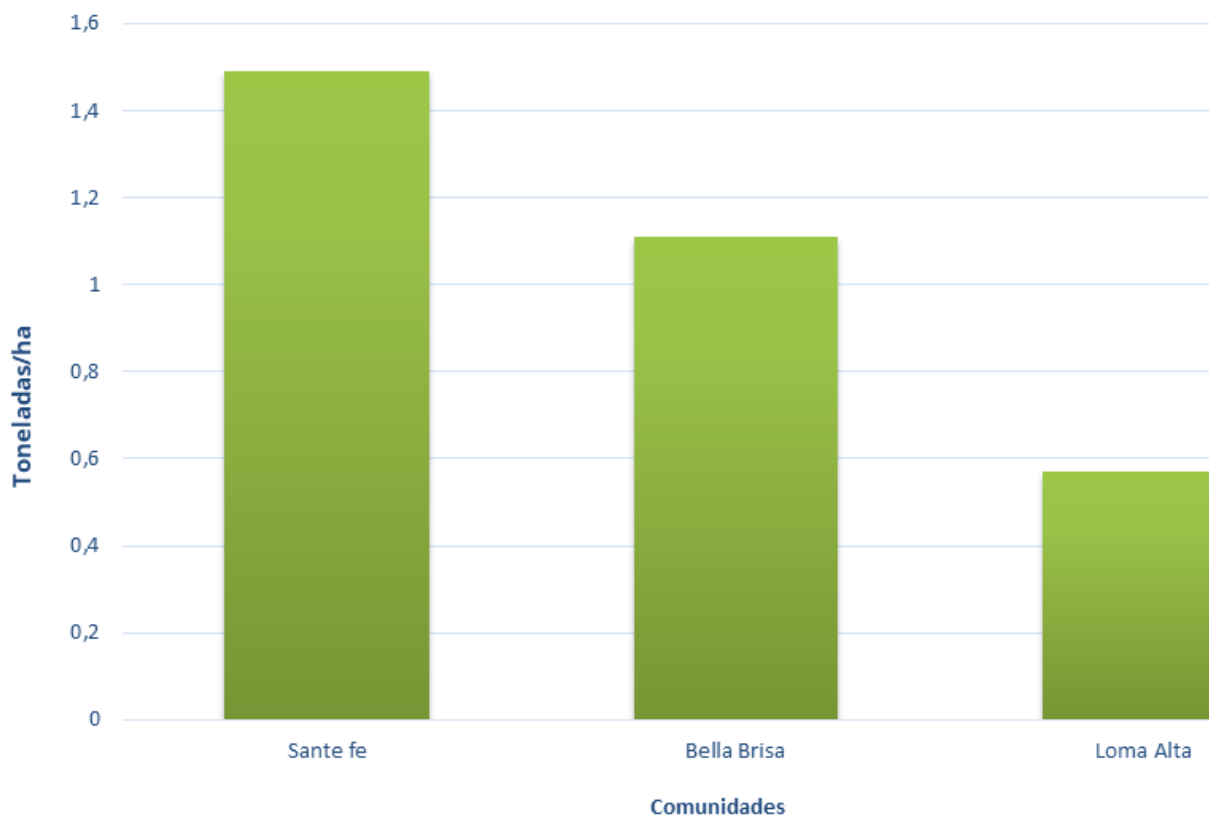
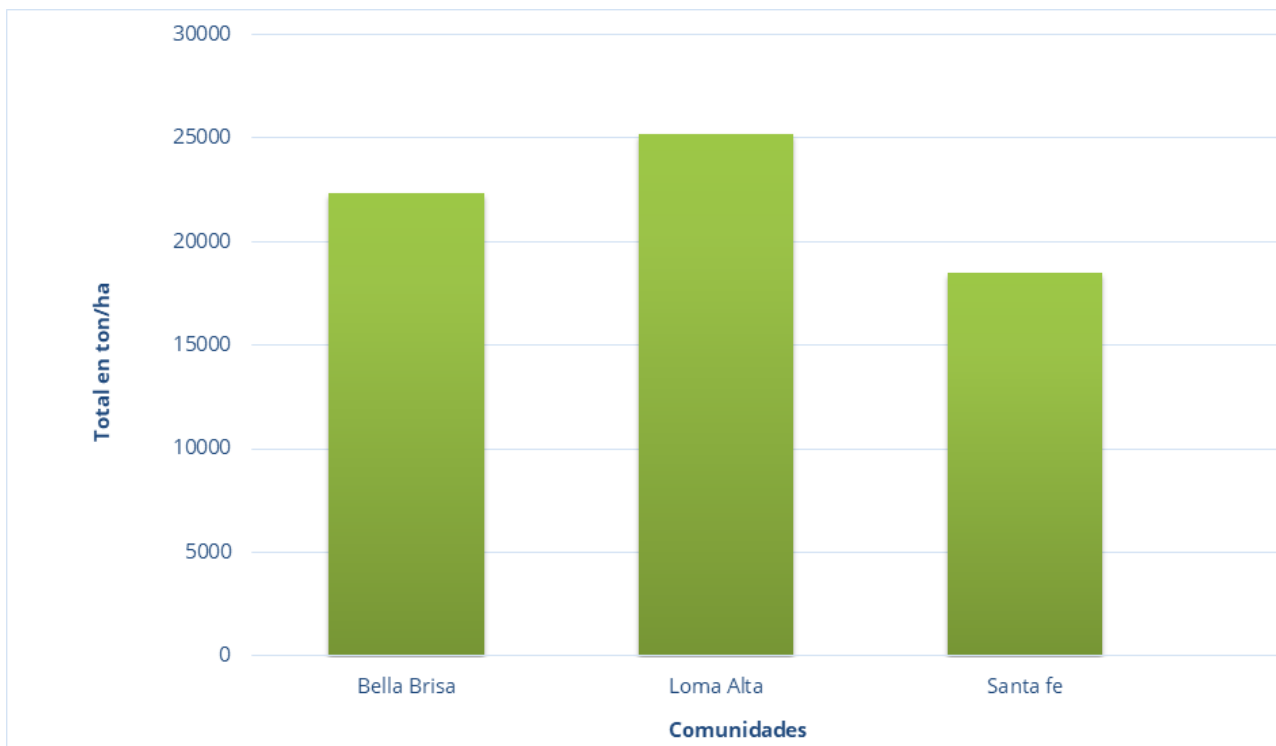


Figura 4. Producción anual total en ton/ha de frutos de Palla para cada sitio.



tal de plantas adultas de Palla estimado para el bosque productivo de Bella Brisa, Loma Alta y Santa Fe, municipio Villa Nueva, Pando.

Tamaño del fruto, peso de racimo y cantidad de frutos por racimos.

Un racimo pesa en promedio 40,5 kg con un mínimo de 26 y un máximo de 60 kg y un coeficiente de variación de 27,74%, que indica que existe una variación moderada entre racimos al 5% de error, y un intervalo de confianza de 36,33 y 44,72, que es un indicador de al 95% de confianza que el valor de la media se localiza dentro de este intervalo.

El fruto de Palla presenta un diámetro promedio de 6 cm y un largo de 11 cm. Un racimo tiene entre 100 frutos como mínimo y 235 frutos como máximo, con un promedio de 171 frutos por racimo.

Producción anual de frutos

Con base en las densidades de árboles adultos para cada sitio evaluado y la capacidad productiva promedio de las plantas adultas de Palla, se estimó la producción total por hectárea, que luego se extrapoló para el territorio de las comunidades (Figura 3 y 4).

La comunidad con mayor productividad de frutos de Palla con una producción de 1,4 ton/ha/año fue Santa Fe, seguida por Bella Brisa con 1,1 ton/ha/año y la menor fue Loma Alta 0,55 ton/ha/año (Figura 3).

Loma Alta es la comunidad con mayor potencial productivo total de frutos de palla con

una producción anual de 25124 toneladas seguida por Bella Brisa con 22245 ton y Santa Fe con 18843 ton.

Discusión

Estructura poblacional de la Palla

Los datos de la estructura poblacional de la especie Palla en los tres sitios estudiados presento una típica curva en J invertida, que indica una buena capacidad de regenerar natural de las poblaciones locales de esta especie en las condiciones existentes en los sitios evaluados. Estos resultados son similares a lo presentado por Moreira dos Santos et al. (2022) para poblaciones de Cusi (*Attalea speciosa*). Martínez-Ramos et al. (1989) resaltan que una especie de bosques naturales que presenta una estructura poblacional en forma de J invertida es un indicador de la salud y sostenibilidad del bosque.

Abundancia y potencial productivo por sitio

La abundancia de árboles adultos con alturas mayores a 9 m, fue de 22 individuos/ha en Santa Fe, y 9 ind/ha en Bella Brisa. No obstante, existe mucha variación entre transectos y estadísticamente las abundancias son iguales entre Santa Fe y Bella Brisa y diferentes con Loma Alta (Tabla 1). Estos resultados coinciden con Pinto y Leite (2009) que evaluaron pallares en diferentes sitios dentro de la Provincia Federico Roman, Pando y estimaron una densidad promedio de 20 ár-



boles de palla adultas por hectárea. Sin embargo, Morais y Ponce (2009) reportan rangos mucho más amplios, entre 50 y 150 individuos/ha, dependiendo de las condiciones ambientales y del tipo de manejo aplicado.

Loma Alta, a pesar de contar con la menor abundancia de árboles adultos (9), se constituye en la comunidad con mayor potencial productivo de frutos de palla (25.124 ton), considerando que tiene la mayor superficie de bosque bajo manejo (43.973 ha) y por ende mayor cantidad de árboles adultos (390.918). Es seguida por Bella Brisa con un potencial productivo total de 22.245 ton. La comunidad con menor potencial productivo de fruto es Santa Fe con 18.433 ton, a pesar de ser la comunidad que presenta una mayor cantidad de plantas adultas por hectárea (Figuras 3 y 4).

Características de racimo y frutos de Palla

El peso de los racimos en promedio fue de 40,5 kg con mínimos de 26 y máximos de 60 kg, valores que se aproximan de los encontrados por Rodríguez-Cabrera et al (2023) que encontraron un peso mínimo de 17,21 kg y máximo 73,66 kg. El número de frutos por racimo encontrado en este estudio fue de 100 a 235 frutos, y un promedio de 171 frutos, con largos de 11 cm y diámetros de 6 cm. Estos valores se encuentran próximos a los establecidos por Henderson (2020) que describe que la Pa-

lla tiene frutos de 4,27 a 11,55 cm de largo y 2,55 a 6,7 cm de diámetro.

Conclusiones

El análisis estadístico confirmó diferencias significativas en la abundancia de plantas adultas de Palla entre las comunidades estudiadas, lo que llevó al rechazo de la hipótesis nula.

La especie presenta una estructura poblacional en forma de "J" invertida en los tres sitios estudiados, indicador de la alta capacidad de la especie de regenerarse de manera natural y de la buena condición de salud de los bosques.

Los racimos de Palla tienen en promedio 40 kg con una cantidad de 171 frutos con un tamaño de 6 cm de diámetro y 11 cm de largo.

Santa Fe registró la mayor densidad de plantas adultas (22 ind/ha), mientras que Loma Alta tuvo la menor densidad (9 ind/ha).

Gracias a su mayor superficie territorial, Loma Alta presenta el mayor potencial productivo de frutos maduro de Palla con un potencial productivo estimado de 25.000 ton/año y Santa Fe la menor con 18.000 toneladas/año.

El potencial productivo estimado para las tres comunidades evaluadas es de 68.000 toneladas de frutos de Palla por año.



Bibliografía

- Dávila, E. J., Merino, C., Mejía, K., García, D. E., Sauvain, M., & Sotero, V. E. (2011). Caracterización química de tres palmeras del género *Attalea*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(3), 218–224.
- Ferreira, E. L. (2005). *Manual das palmeiras do Acre, Brasil*. The New York Botanical Garden.
- Henderson, A. (2020). A revision of *Attalea* (Arecaceae, Arecoideae, Cocoseae, Attaleinae). *Phytotaxa*, 444(1), 1–76. doi:10.11646/phytotaxa.444.1.1
- Martínez-Ramos, M., Alvarez-Buylla, E., & Sa-rukhán, J. (1989). Tree demography and gap dynamics in a tropical rain forest. *Ecology*, 70(3), 555–558.
- Moraes, M., & Zenteno-Ruiz, F. S. (2017). El género *Attalea* (Arecaceae) de Bolivia: Afinidades con sistemas ecológicos regionales. *Revista Peruana de Biología*, 24(3), 273–282. doi:10.15381/rpb.v24i3.13913
- Moreira dos Santos, A., Mitja, D., de Souza Miranda, I., Loisel, P., Delaître, E., & Demagistri, L. (2022). What is the influence of anthropogenic impact on the population structure of *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng. in the Brazilian Amazonian region? *Acta Botanica Brasilica*, 36, e2020abb0543. doi:10.1590/0102-33062020abb0543
- Pintaud, J. -C. (2008). An overview of the taxonomy of *Attalea* (Arecaceae). *Revista Peruana de Biología*, 15(supl. 1), 55–64
- Pinto, A. D., & Leite, B. R. H. (2007). *Determinación de costos en el proceso de extracción de semilla de Palla* [Informe no publicado]. Programa Manejo de Bosques de la Amazonia Boliviana. Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Riberalta, Bolivia.
- Rodríguez del Castillo, Á., Mejía Carhuanca, K., Rojas Fox, J., Moraes, M., Sánchez Márquez, M., & Pintaud, J.-C. (2018). *Diversidad de especies de Attalea (Arecaceae) en el Perú*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.
- Rodríguez-Cabrera, E. H., Moraes, M., Rojas-Fox, J., Grández Ríos, C., Mejía Carhuanca, K. M., & Rodríguez del Castillo, Á. M. (2023). Morfología y biometría de racimos, frutos y semillas de *Attalea bassleriana* en Alto Amazonas, Perú. *Biota Colombiana*, 24(2), e1107. doi:10.21068/2539200X.1107



*Identificación de Líneas de Germoplasma de Majo (*Oenocarpus bataua*) en Poblaciones Naturales en la Provincia Vaca Díez para Obtención de Pulpa y Aceite.*

Autores: Armelinda Zonta¹, Fortunato Angola², Álvaro Suárez Arze³, y Rubén Velásquez Marca¹

1: Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Riberalta, Bolivia.

2: Instituto Para el Hombre, Agricultura y Ecología, Riberalta, Bolivia.

3: BoniFrut, Riberalta, Bolivia.

Investigación realizada dentro del proyecto FRUTAM en consorcio con ICRAF (Perú), IPHAE, CIAT e IIFA-UABJB (Bolivia).

Resumen

El estudio buscó identificar y clasificar, mediante descriptores fenotípicos y biométricos, líneas de germoplasma de la palmera Majo (*Oenocarpus bataua*) en poblaciones naturales de la provincia Vaca Díez (Beni, Bolivia) con el fin de determinar las variedades superiores para la producción de pulpa y aceite.

Se evaluaron 150 individuos en poblaciones naturales de Majo de tres comunidades de Riberalta. Se midieron características fenotípicas como el peso del racimo, el número y tamaño de los frutos, y el rendimiento de pulpa y aceite, así como el color del mesocarpio. Los datos fueron analizados mediante la técnica de Análisis de Conglomerados (K-medias) y pruebas estadísticas (ANOVA y Duncan) para establecer grupos homogéneos y diferencias significativas. Como resultados se identificó dos líneas de germoplasma especializadas: 1) Línea Superior para Pulpa: 14 individuos mostraron el mejor rendimiento de pulpa (hasta 24.0%) y la calidad más apreciada localmente (consistencia espesa, color morado-blanquecino). Y 2) Línea Superior para Aceite: 3 individuos o plantas de Majo demostraron ser los más productivos en rendimiento de aceite (hasta 7.1%) y en cantidad de frutos por racimo. Esta producción de aceite superior se asocia directamente con la coloración morada del mesocarpio. El estudio concluyó que no existe una única palmera “todo en uno” con características superiores tanto para pulpa como para aceite. Las palmeras que se destacaron en pulpa (variedad morado-blanquecina) no fueron las mismas que destacaron en aceite (variedad morada) y recomiendan implementar el manejo y cultivo de la variedad morado-blanquecina para enfocar la producción en pulpa de alta calidad, y la variedad morada para maximizar la producción de aceite.

Palabras clave: Majo, pulpa, aceite, rendimiento, palmeras.



Introducción

La especie *Oenocarpus bataua*, también conocida como Majo, es una palmera nativa de la región amazónica y otras áreas tropicales de América del Sur. Su importancia radica en su versatilidad y los múltiples usos que ofrece, tanto a nivel alimenticio como industrial (Miranda, 2009). La pulpa y el aceite extraídos de sus frutos son altamente valorados por sus propiedades nutricionales y medicinales. El aceite de Majo es rico en ácidos grasos esenciales, antioxidantes y vitaminas, lo que lo convierte en un producto de gran interés para la industria alimentaria y cosmética (Balick, 1988; Miranda et al., 2008).

La selección genética de *O. bataua* es crucial para optimizar la producción de pulpa y aceites, ya que permite identificar y propagar variedades con características deseables, como mayor rendimiento, resistencia a enfermedades y calidad del aceite. Mediante técnicas de mejoramiento genético, es posible desarrollar cultivos más eficientes y sostenibles, contribuyendo así al desarrollo económico de las comunidades locales y a la conservación de la biodiversidad (Clement, 1999). La implementación de programas de selección genética y cultivo controlado puede asegurar una producción más estable y predecible, además de mitigar el impacto ambiental asociado a la recolección silvestre (Isaza et al., 2016).

Actualmente, en la región noreste de Bolivia existen grandes territorios ocupados con poblaciones de majo, denominados

“majotuzales”, con una concentración en bosques bajos que alcanzan un promedio de 40 individuos/ha en edad reproductiva (Orellana, 2001). Por otro lado, existe una alta variabilidad entre individuos en lo productivo, en el contenido de pulpa y en el contenido de aceite (Caya, 2010, comunicación personal).

Considerando el potencial que tiene la especie en el norte de Bolivia para el desarrollo de iniciativas empresariales, se considera importante clasificar líneas in situ con mayores contenidos en calidad de pulpa y aceite prensado en frío. Dicha información permitirá establecer: el aprovechamiento sostenible de poblaciones silvestres, y planes de negocio rentables para la transformación y comercialización de productos derivados del fruto de majo.

El objetivo de la investigación fue identificar en campo las líneas de germoplasma de majo mediante descriptores fenotípicos y biométricos reproductivos para la obtención de pulpa y las líneas para la producción de aceites.

Materiales y Métodos

El estudio fue ejecutado con poblaciones naturales de Majo que habitan bosques primarios dentro de comunidades como El Hondo, Santa María y 26 de Octubre, en el municipio de Riberalta, provincia Vaca Díez del departamento del Beni en Bolivia. Se evaluaron parcelas con 150 individuos de Majo con frutos próximos a la maduración. Cada una de estas plantas fue codificada a efectos de su identifica-



ción. De las plantas codificadas, se seleccionaron aquellas con buenas características fenotípicas, considerando: tamaño del racimo, tamaño del fruto, número de racimos producidos por año, altura inferior a 20 metros, rendimiento de pulpa y de aceite, color del mesocarpio y época de maduración.

La época y el pico de maduración fueron establecidos justo cuando dos racimos maduran simultáneamente. Los frutos resultantes de la cosecha fueron divididos en dos partes iguales: un 50% fue destinado a la extracción de pulpa y el 50% restante, a la obtención de aceite.



Foto 1.- Planta de Majo con frutos maduros.

Se aplicó el análisis estadístico denominado Cluster analysis; Análisis de conglomerados bajo el procedimiento de Conglomerados de K medias, que permitió agrupar los casos o variables en función a la similitud existente entre ellos. Posteriormente se aplicó la prueba estadística

Anova de una vía, para determinar las diferencias entre la cantidad de pulpa y aceite producida por kg de frutos de majo según la coloración del mesocarpio; al encontrarse diferencias entre tratamientos se empleó la prueba de comparación de Duncan, estableciéndose de esta manera subgrupos homogéneos.

Resultados

Los resultados indican que existen 3 individuos en el conglomerado 2, mientras que en el conglomerado 3 hay 14 que poseen las mejores características en cuanto a productividad en pulpa y aceite. Para el producto pulpa de alta calidad (espesa, de color blanquecino y morado) fueron los individuos del conglomerado 3, esta es la variedad más apreciada por la población local. Relacionando el peso del fruto con peso de semilla despulpada el rendimiento varía de 14 a 26% de pulpa según la coloración.

Tabla 1.- Distribución de variables biométricas y de rendimiento por conglomerado.

VARIABLES	COMGLOMERADO			
	1	2	3	4
Peso de los frutos (Kg)	4,5	17,92	12,7	7,59
Peso de cien frutos (Kg)	0,83	0,76	0,75	0,72
Nº de frutos por racimo	547	2378	1710	1054
Longitud de los frutos (cm)	2,3	2,4	2,3	2,2
Diámetro de los frutos (Cm)	1,5	1,7	1,6	1,5
Rendimiento de pulpa (Kg)	1,86	4,50	5,56	2,80
Porcentaje de pulpa	14,3	20,0	24,0	18,2
Porcentaje de aceite	3,4	7,1	4,4	3,3



Porcentaje de pulpa según su color.

La variedad morada-blanquecina presentó un rendimiento en pulpa del 24,33% mientras que la variedad morada su rendimiento en pulpa fue del 20,00% quedando en tercer lugar la variedad blanquecina con 17,04% de rendimiento en pulpa. Estos resultados sometidos al análisis de varianza establecieron que las diferencias son significativas al 95% de confiabilidad.

Foto 2.- Frutos maduros de Majo para producción de pulpa.



Porcentaje de aceite según el color pulpa.

El porcentaje de aceite es mayor cuando su color es morado respecto al color de las pulpas morado-blanquecino y blanquecino propiamente. Por lo que se observa que existe diferencia significativa ($F=93,969$; $GL=2$; $P=0,000$).

Conclusiones

1. Las líneas con mejor producción de pulpa, en base a la calidad del producto obtenido (consistencia espesa y ligera, y color morado-blanquecino), fueron los individuos componentes del conglomerado 3. Esta es



Foto3.- Fruto maduro de Majo para producción de aceite.

la variedad más apreciada por la población local. El rendimiento de pulpa, en relación con el peso del fruto y la semilla despulpada, varía de 14% a 26% según la coloración.

2. Respecto a la producción de aceite, se ha determinado que los frutos de Majo de coloración morada son los que proporcionan mayor cantidad de aceite. Estos individuos fueron agrupados en el conglomerado 2 y son más productivos en cantidad de frutos y mayor cantidad de aceite.
3. Según la coloración del mesocarpio del fruto, no se encontró que una misma palmera estudiada presente características superiores en la producción de pulpa y aceite. Las palmeras con baja producción de pulpa suelen tener mayor concentración de aceite en el mesocarpio.
4. Por los resultados alcanzados, se recomienda implementar cultivos agroforestales con variedades blanquecina morada para la producción de pulpa y con la variedad morada para la producción de aceite.

Bibliografía

Balick, M. J. (Ed.). (1988). *The palm—tree of life: Biology, utilization and conservation*. New York Botanical Garden. *Advances in Economic Botany*, Vol. 6.

Clement, C. R. (1999). 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. *Economic Botany*, 53(2), 188–202. <https://doi.org/10.1007/BF02866498>.

Isaza, C., Martorell, C., Cevallos, D., Galeano, G., Valencia, R., & Balslev, H. (2016). Demography of *Oenocarpus bataua* and implications for sustainable harvest of its fruit in western Amazon. *Population ecology*, 58(3), 463–476. <https://doi.org/10.1007/s10144-016-0543-4>

Miranda Mendoza, J. (2009). La palmera majo (*Oenocarpus bataua*) en la región de Guanay, departamento de La Paz, Bolivia. En C. Peralta Rivero, V. A. Vos, O. Llanque, & A. Zonta (Eds.), *Productos del bosque: Potencial social, natural y financiero en hogares de pequeños productores de la Amazonía*. UAB/ForLive.

Miranda, J., Montañó-Centellas, F. A., Zenteno, F., Nina, H., & Mercado, J. (2008). El majo (*Oenocarpus bataua*): Una alternativa de biocomercio para Bolivia. TRÓPICO–PNBS–FAN. O (ISBN 978-99905-888-8-0).

Orellana, C. (2001). *Efecto de la cosecha en la estructura poblacional y producción de frutos de majo (Oenocarpus bataua C. Martius), en dos ecosistemas de la provincia Vaca Díez* [Tesis de Ingeniería Forestal no publicada]. Universidad Técnica del Beni, Riberalta, Bolivia.



Efecto del Volumen de Sustrato en el Crecimiento de Plantas de Balsa (*Ochroma pyramidale*) en Vivero en Riberalta, Beni, Bolivia.

Autores: Yara Guzmán Roca¹, Gutemberg Gómez Mendoza¹, Armelinda Zonta¹

¹ Carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Riberalta.



Resumen

Se evaluó el efecto del volumen de sustrato en el crecimiento de plántulas de balsa (*Ochroma pyramidale*) en fase de vivero en Riberalta, Beni, Bolivia. Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar con tres tratamientos de diferentes volúmenes de sustrato (T1: $3,39 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, T2: $0,96 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ y Testigo: $2,35 \times 10^{-3} \text{ m}^3$), con cuatro repeticiones y 240 plántulas en total. A los 75 días después del repique se evaluaron nueve variables de crecimiento: diámetro del cuello, altura total, número de hojas, área foliar, longitud de raíz, biomasa húmeda del tallo y raíz, y biomasa seca del tallo y raíz. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para la mayoría de las variables, excepto el número de hojas. T2, correspondiente al menor volumen de sustrato, presentó los mayores valores de altura total (39,15 cm) y área foliar (158,5 cm²), mientras que T1 mostró los mayores valores de diámetro del cuello (7,45 mm), biomasa húmeda del tallo (28,42 g), biomasa húmeda de la raíz (15,75 g) y biomasa seca de la raíz (2,08 g). Los resultados indican que el volumen de sustrato influye de manera significativa en el crecimiento de plántulas de balsa; sin embargo, la elección del contenedor debe responder al objetivo de producción: crecimiento aéreo rápido con menor uso de sustrato (T2) o plántulas más robustas y con mayor desarrollo radicular (T1).

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para la mayoría de las variables, excepto el número de hojas. T2, correspondiente al menor volumen de sustrato, presentó los mayores valores de altura total (39,15 cm) y área foliar (158,5 cm²), mientras que T1 mostró los mayores valores de diámetro del cuello (7,45 mm), biomasa húmeda del tallo (28,42 g), biomasa húmeda de la raíz (15,75 g) y biomasa seca de la raíz (2,08 g). Los resultados indican que el volumen de sustrato influye de manera significativa en el crecimiento de plántulas de balsa; sin embargo, la elección del contenedor debe responder al objetivo de producción: crecimiento aéreo rápido con menor uso de sustrato (T2) o plántulas más robustas y con mayor desarrollo radicular (T1).

Palabras clave: silvicultura tropical, propagación vegetal, viveros forestales, recipientes, *Ochroma pyramidale*, Amazonía boliviana.

Introducción

Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb., conocida comúnmente como Balsa, es una especie arbórea neotropical de crecimiento rápido, ampliamente distribuida desde el sur de México hasta Bolivia y valorada comercialmente por la baja densidad y versatilidad de su madera (Francis, 2000). Su carácter pionero y su rápido crecimiento la convierten en una especie de interés para plantaciones, sistemas productivos y procesos de restauración en ambientes tropicales (Betancourt Barroso, 1987; González Osorio et al., 2010).

En la producción forestal, la fase de vivero es determinante porque durante ella se define una parte importante de la calidad morfológica de la plántula y, en consecuencia, de su potencial de establecimiento en campo. Variables como el diámetro del cuello, la altura, la biomasa y la relación entre la parte aérea y el sistema radicular son ampliamente utilizadas para describir la calidad de planta y anticipar su desempeño posterior (Grossnickle, 2012; Haase, 2008).

Entre los factores de manejo más importantes en vivero se encuentra el volumen del contenedor o del sustrato disponible para cada plántula. Un mayor volumen puede favorecer la expansión radicular, el almacenamiento de agua y nutrientes y el crecimiento general, aunque la respuesta depende de la especie, del tiempo de permanencia en vivero y del régimen de manejo (Domínguez-Lerena et al., 2006; Poorter et al., 2012). En especies foresta-

les, el volumen del contenedor también puede influir en el balance entre crecimiento aéreo y radical y, por tanto, en el tipo de plántula que se produce (Aghai et al., 2014).

Para balsa existen antecedentes sobre germinación, propagación y cultivo en Ecuador (González Osorio et al., 2010; Jiménez Romero et al., 2017; López Ramón, 2022), pero sigue siendo escasa la información experimental sobre el efecto específico del volumen de sustrato en vivero bajo condiciones amazónicas bolivianas. Esta limitación dificulta la formulación de protocolos ajustados a la realidad local de producción de plántulas.

En ese contexto, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del volumen de sustrato sobre el crecimiento de plántulas de balsa en fase de vivero en Riberalta, Beni, Bolivia, con el fin de aportar información útil para mejorar los protocolos de producción de planta en la Amazonía boliviana.

Materiales y métodos

Ubicación del estudio

La investigación se realizó en el vivero de la Carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Autónoma del Beni José Ballivián (UABJB), ubicado en Riberalta, Provincia Vaca Díez, Departamento del Beni, Bolivia. El sitio experimental se encuentra en las coordenadas 10°59'40.17" S, 66°3'40.67" O, a una altitud de 139 metros sobre el nivel del mar.



Características climáticas

El clima de la región corresponde al tipo tropical húmedo. La temperatura promedio anual oscila entre 26°C y 28°C, con máximas que pueden alcanzar 39°C y mínimas de 17°C. La precipitación promedio anual es de 1780 mm, concentrada principalmente entre octubre y abril. La humedad relativa varía entre 52% y 98%, siendo mayor durante la época lluviosa.

Material vegetal y sustrato

Se utilizaron semillas recién cosechadas de balsa (*Ochroma pyramidale*), procedentes de la Comunidad Campesina Rosario del Yata, Municipio de Guayaramerín, Beni. Las semillas fueron seleccionadas de árboles madre sanos y vigorosos para garantizar la calidad del material genético. Como sustrato se empleó suelo superficial de bosque, tamizado a través de malla para eliminar partículas mayores y obtener una textura homogénea.

Diseño experimental

Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en diferentes volúmenes de sustrato, (Foto 2).

- T1: $3,39 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (contenedores de mayor volumen),
- T2: $0,96 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (contenedores de menor volumen),
- Testigo: $2,35 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (contenedores de volumen estándar)

Cada unidad experimental consistió en 20 plantas, para un total de 80 plantas por tratamiento y 240 plantas en total.



Foto 2.- Distribución al azar de los diferentes tratamientos dentro del diseño de bloques.

Manejo del ensayo

Para cada tratamiento se prepararon almacigueras con sustrato de suelo forestal humedecido, divididas en cuatro repeticiones. En cada repetición se sembraron 100 semillas en líneas con distancia entre semillas de 5 cm y profundidad de siembra de 3 mm. Se aplicó riego según necesidad para mantener humedad constante.

Preparación de contenedores

Se utilizaron botellas plásticas recicladas como contenedores en lugar de bolsas de polietileno, contribuyendo al aprovechamiento de desechos inorgánicos. Los contenedores fueron llenados con sustrato



Foto1.- Semilla de balsa beneficiada con 100% pureza y preparada para la siembra.

utilizando toda su altura disponible.

Repique

Cuando las plántulas alcanzaron 5 cm de altura, se realizó el repique en un día nublado con leve precipitación para minimizar el estrés hídrico. Se realizó riego previo y se abrió un hoyo central en cada contenedor, cuidando asegurar la formación de raíces rectas y eliminando bolsas

de aire.

Riego

Se aplicó riego diario según las necesidades observadas, utilizando manguera de media pulgada con accesorio de gota fina.

Control de sombra

Durante los primeros 30 días las plan-

tas crecieron bajo malla “sombrite” al 50% para proporcionar condiciones de semi-sombra. Posteriormente se eliminó totalmente la sombra.

Fertilización

A los 15 días después del repique se aplicó fertilizante foliar NPK 11:8:6, a razón de 80 ml por 20 litros de agua en todas las plantas.

Control fitosanitario

Se realizó control del cepe diurno (*Acromyrmex spp.*) mediante aplicaciones frecuentes de Mapex y Mirex.

Variables evaluadas

A los 75 días después del repique se evaluaron las siguientes variables:

- Diámetro del cuello (mm): medido con vernier digital a nivel del cuello de la raíz.
- Altura total (cm): medida desde el cuello de la raíz hasta el ápice con regla graduada.
- Número de hojas: conteo directo de hojas completamente desarrolladas.
- Área foliar (m²): calculada mediante medición de diámetros foliares y aplicación de factor de corrección 0,8.
- Longitud de raíz (cm): medida desde el cuello hasta el extremo de la raíz principal.
- Biomasa húmeda del tallo (g): pesada inmediatamente después del corte.
- Biomasa húmeda de la raíz (g): pesada después de lavado y secado superficial.

- Biomasa seca del tallo (g): determinada después de secado en horno a 70°C hasta peso constante.
- Biomasa seca de la raíz (g): determinada después de secado en horno a 70°C hasta peso constante.

Análisis estadístico

Para determinar la significancia estadística entre tratamientos se realizó Análisis de Varianza (ANOVA) y en caso de encontrar diferencias significativas ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabla}}$), se determinó la Diferencia Mínima Significativa aplicando la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error para todas las variables evaluadas. Los análisis se realizaron utilizando software estadístico especializado.

Resultados y discusión

Características generales de la germinación

Se determinó que un kilogramo de semillas de balsa contiene aproximadamente 100.000 semillas. El porcentaje de prendimiento durante el repique fue del 99%, indicando la alta viabilidad del material genético utilizado y la efectividad de las técnicas de manejo empleadas.

Análisis de variables de crecimiento

Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la mayoría de las variables evaluadas (Tabla 1).



Variable	F-calculado	F-tabla (5%)	Significancia
Diámetro del cuello	4,25	3,89	Significativo
Altura total	8,67	3,89	Significativo
Número de hojas	3,20	5,14	No significativo
Área foliar	5,43	3,89	Significativo
Longitud de raíz	6,78	3,89	Significativo
Biomasa húmeda tallo	7,92	3,89	Significativo
Biomasa húmeda raíz	12,45	3,89	Significativo
Biomasa seca tallo	4,56	3,89	Significativo
Biomasa seca raíz	8,34	3,89	Significativo

*Significativo al 5% de probabilidad; NS = No significativo

Tabla 1. Análisis de varianza para las variables de crecimiento de plantas de balsa a los 75 días después del repique.

Comparación de medias por tratamiento

Los promedios de las variables evaluadas por tratamiento se presentan en la Tabla 2 y Figuras 1, 2 y 3.

Variable	T1	T2	Testigo	DMS
DIÁMETRO DEL CUELLO (MM)	7,45 A	7,43 A	6,15 B	0,87
ALTURA TOTAL (CM)	33,51 B	39,15 A	24,47 C	4,23
NÚMERO DE HOJAS	12,71 A	12,00 A	11,15 A	2,14
ÁREA FOLIAR (M ²)	152,0 B	158,5 A	122,5 C	18,7
LONGITUD DE RAÍZ (CM)	32,34 A	33,26 A	24,66 B	5,12
BIOMASA HÚMEDA TALLO (G)	28,42 A	26,42 A	13,16 B	6,78
BIOMASA HÚMEDA RAÍZ (G)	15,75 A	10,67 B	1,92 C	3,45
BIOMASA SECA TALLO (G)	3,58 A	3,42 A	2,00 B	0,89
BIOMASA SECA RAÍZ (G)	2,08 A	1,61 AB	0,75 B	0,67

Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

Tabla 2. Comparación de medias de las variables de crecimiento de plantas de balsa por tratamiento.

Variables con mejor desempeño por tratamiento

El análisis comparativo reveló que:

- T1 (mayor volumen) mostró los mejores resultados en: diámetro del cuello (7,45 mm), longitud de raíz (32,34 cm), biomasa húmeda del tallo (28,42 g), biomasa húmeda de la raíz (15,75 g) y biomasa seca de la raíz (2,08 g).
- T2 (volumen intermedio) presentó los valores más altos en: altura total (39,15 cm) y área foliar (158,5 m²).
- Testigo mostró el menor desempeño en todas las variables evaluadas, excepto en el número de hojas donde no se encontraron diferencias significativas.

Índice	T1	T2	Testigo
RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO	4,50 B	5,27 A	3,98 C
RELACIÓN BIOMASA AÉREA/RADICULAR	1,72 B	2,12 A	2,67 A
ÍNDICE DE ROBUSTEZ	0,22 A	0,19 B	0,25 A
ÍNDICE DE LIGNIFICACIÓN	0,126 A	0,129 A	0,152 A

Tabla 3. Índices de calidad de plántulas por tratamiento

Los resultados confirman que el volumen de sustrato influye sobre el crecimiento de las plántulas de balsa en vivero. Esta tendencia coincide con la literatura forestal que describe efectos del tamaño del contenedor sobre el crecimiento, la morfología y la calidad final de la planta, principalmente a través de restricciones o facilidades para el desarrollo radicular



y la disponibilidad de agua y nutrientes (Domínguez-Lerena et al., 2006; Aghai et al., 2014; Poorter et al., 2012).

El menor volumen de sustrato evaluado (T2) favoreció la altura total y el área foliar. En las condiciones de este ensayo, esto sugiere que la balsa puede mantener un crecimiento aéreo rápido aun con un volumen reducido de sustrato, al menos durante los primeros 75 días de vivero. Esta respuesta es coherente con el comportamiento de una especie pionera y de rápido crecimiento, aunque no implica necesariamente una superioridad integral en calidad de planta (Francis, 2000; Betancourt Barroso, 1987).

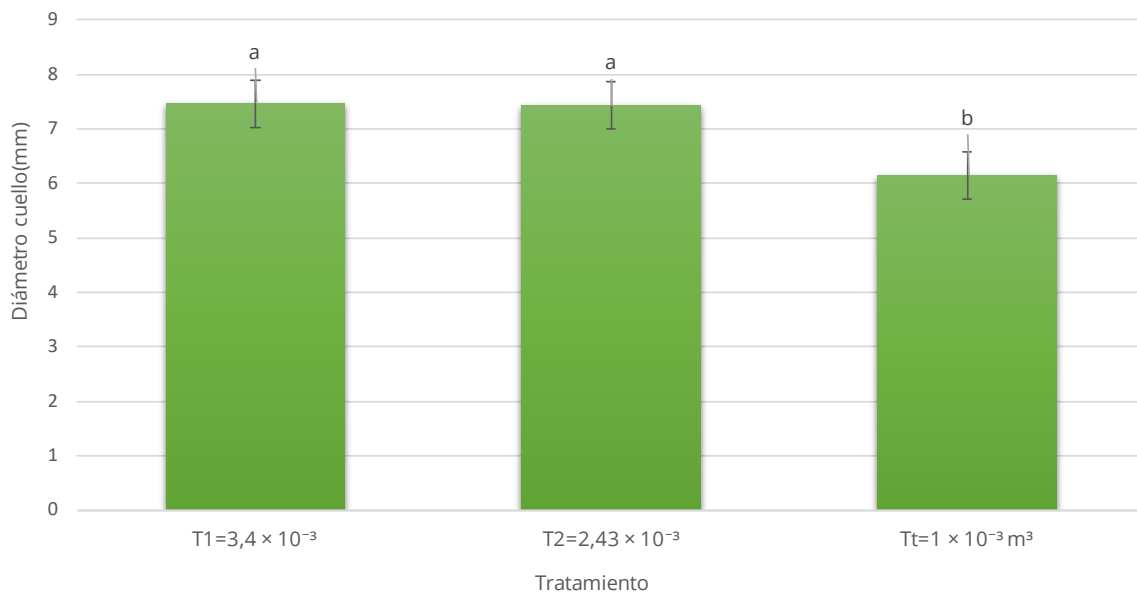
En contraste, el mayor volumen de sustrato (T1) favoreció variables asociadas a robustez y desarrollo radicular, como el diámetro del cuello, la biomasa húmeda

del tallo, la biomasa húmeda de la raíz y la biomasa seca de la raíz. En vivero forestal, estos atributos suelen considerarse relevantes porque un mayor diámetro y un sistema radicular mejor desarrollado pueden mejorar la tolerancia al estrés de establecimiento y el desempeño inicial en campo (Grossnickle, 2012; Haase, 2008).

La ausencia de diferencias significativas en el número de hojas indica que esta variable fue menos sensible al volumen de sustrato que otras variables morfológicas. Esto sugiere que, en balsa, el número de hojas por sí solo no constituye un buen discriminante de la respuesta al tratamiento, por lo que su interpretación debe acompañarse de variables de tamaño, biomasa y calidad de planta.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados no respaldan una recomenda-

Figura 1. Crecimiento en diámetro del cuello (mm) de plantas de balsa en función del volumen del sustrato.



Barras con diferentes letras indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0,05$). Barras de error representan error estándar.



Figura 2. Crecimiento en altura (cm) de plantas de balsa en función del volumen del sustrato.

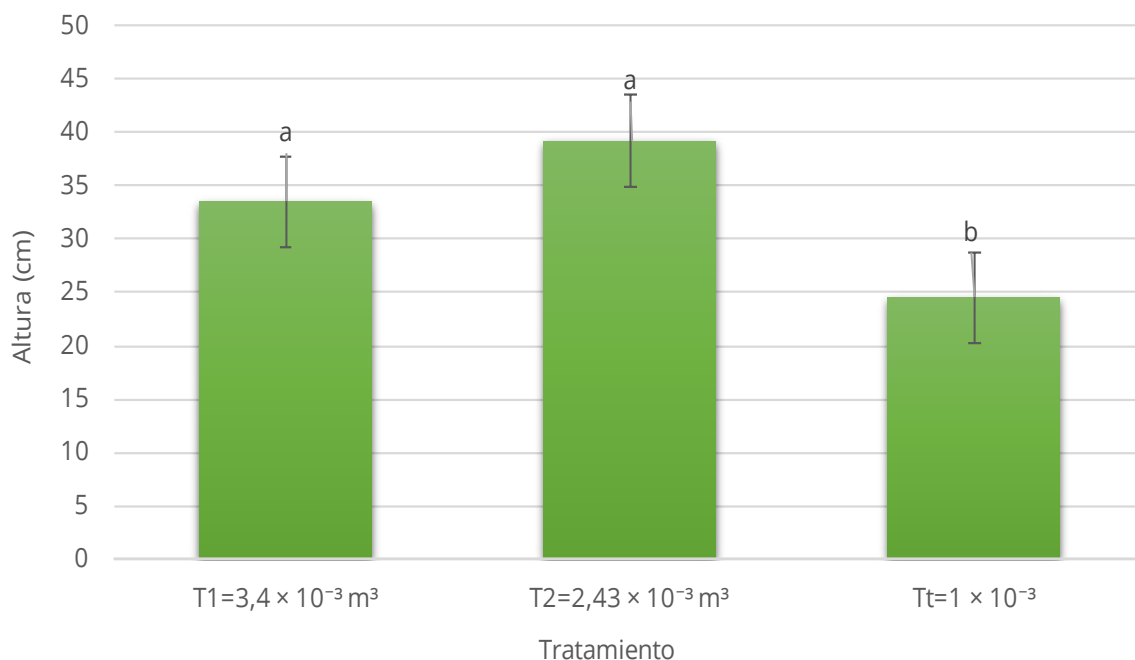
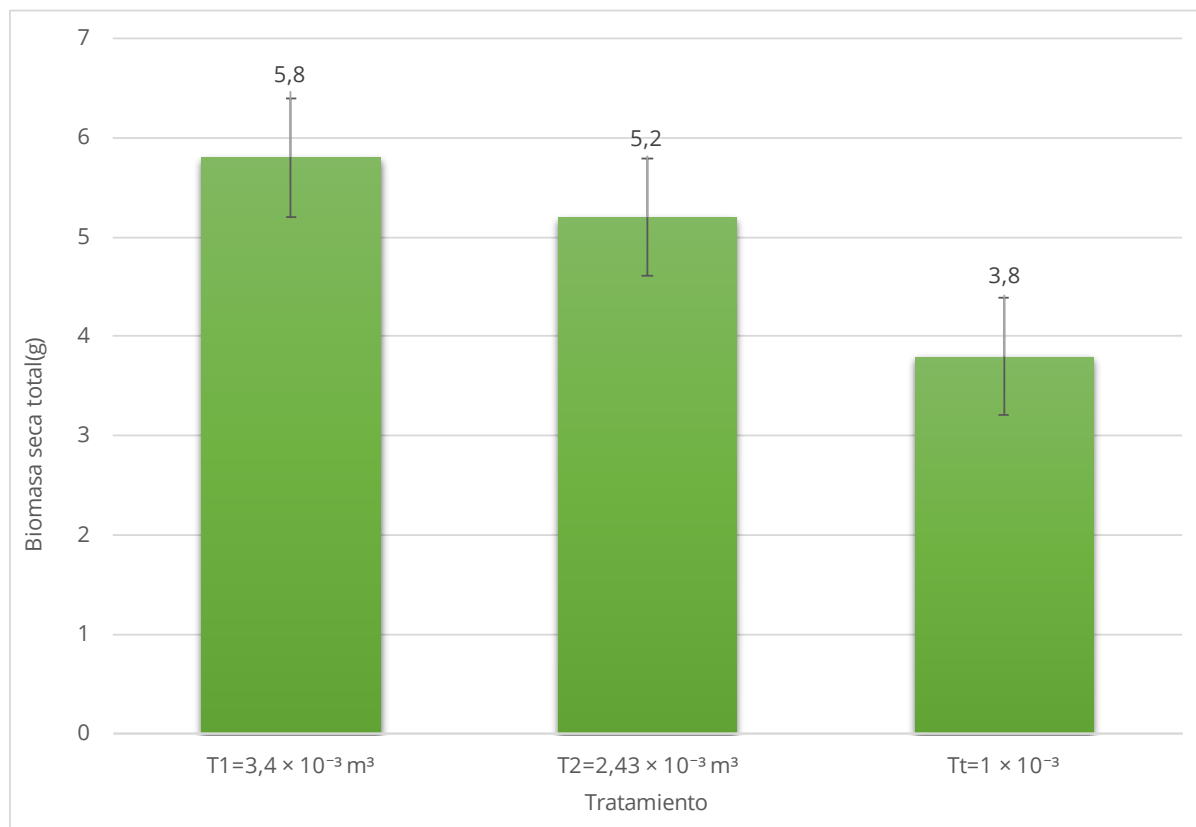


Figura 3. Biomasa seca total (g) de plantas de balsa en función volumen sustrato.



Barras con diferentes letras indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0,05$). Barras de error representan error estándar.



ción única e incondicional. Si el objetivo del vivero es maximizar el crecimiento aéreo inicial y reducir el uso de sustrato por plántula, T2 representa una alternativa eficiente. Si el objetivo es producir plántulas más robustas y con mejor desarrollo radicular, T1 ofrece ventajas claras. Por ello, la selección del volumen de contenedor debe responder al destino de la planta, al tiempo de permanencia en vivero y a los costos de producción.

Dado que el ensayo se evaluó hasta los 75 días después del repique, sería recomendable complementar estos resultados con pruebas de supervivencia y crecimiento en campo. Esa validación permitiría determinar cuál de los tipos de planta obtenidos presenta mejor desempeño después del trasplante, criterio esencial para definir el volumen de sustrato más conveniente en condiciones operativas.

Conclusiones

1. El volumen de sustrato influyó significativamente en la mayoría de las variables de crecimiento evaluadas en plántulas de balsa a los 75 días después del repique.
2. T2 ($0.96 \times 10^{-3} \text{ m}^3$), correspondiente al menor volumen de sustrato, presentó los mayores valores de altura total y área foliar.
3. T1 ($3.39 \times 10^{-3} \text{ m}^3$), correspondiente al mayor volumen de sustrato, pre-

sentó los mayores valores de diámetro del cuello, biomasa húmeda del tallo, biomasa húmeda de la raíz y biomasa seca de la raíz.

4. El número de hojas no mostró diferencias significativas entre tratamientos.
5. En las condiciones del ensayo, ambos tratamientos experimentales superaron al testigo en variables clave de crecimiento, pero con respuestas distintas: T2 favoreció el crecimiento aéreo y T1 la robustez y el desarrollo radicular.
6. La recomendación de uso del contenedor debe ajustarse al objetivo de producción del vivero. Se recomienda validar estos resultados mediante ensayos de establecimiento en campo antes de definir un protocolo definitivo de producción.

Bibliografía

- Aghai, M. M., Pinto, J. R., & Davis, A. S. (2014). Container volume and growing density influence western larch (*Larix occidentalis* Nutt.) seedling development during nursery culture and establishment. *New Forests*, 45(2), 199–213. <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9402-8>
- Betancourt Barroso, A. (1987). *Silvicultura especial de árboles maderables tropicales*. Editorial Científico-Técnica.
- Domínguez-Lerena, S., Herrero Sierra, N., Carrasco Manzano, I., Ocaña Bueno, L., Peñuelas Rubira, J. L., & Mexal, J. G. (2006). Container cha-



racteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management*, 221(1-3), 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.031>

Francis, J. K. (2000). *Ochroma pyramidale* Cav. balsa. En J. K. Francis & C. A. Lowe (Eds.), *Silvics of native and exotic trees of Puerto Rico and the Caribbean Islands* (pp. 371-376). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry.

González Osorio, B., Cervantes Molina, X., Torres Navarrete, E., Sánchez Fonseca, C., & Simba Ochoa, L. (2010). Caracterización del cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en la provincia de Los Ríos - Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*, 3(2), 7-11.

Grossnickle, S. C. (2012). Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests*, 43(5-6), 711-738. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>

Haase, D. L. (2008). Understanding forest seedling quality: Measurements and interpretation. *Tree Planters' Notes*, 52(2), 24-30.

Jiménez Romero, E., García Alvarado, L., Carranza Álvarez, M., Carranza Álvarez, H., Morante Carballo, J., Martínez Gualán, M., & Cuásquer

J. (2017). Germinación y crecimiento de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. en Ecuador. *La Técnica*, (18), 60-71.

López Ramón, M. G. (2022). *Efecto de dos tratamientos pregerminativos con tres sustratos en la propagación de Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb. (balsa) en un vivero de Huamboya* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

Almagro de la Cueva, P. D., & Jiménez Jiménez, H. G. (2013). *Evaluación del crecimiento inicial de la balsa (Ochroma pyramidale Cav. ex Lam. Urb.) de dos procedencias, bajo cinco densidades poblacionales en el cantón Santo Domingo* [Informe de proyecto de investigación, Escuela Politécnica del Ejército].

Poorter, H., Böhler, J., van Dusschoten, D., Clement, J., & Postma, J. A. (2012). Pot size matters: A meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology*, 39(11), 839-850. <https://doi.org/10.1071/FP12049>

Velasco, C. (2023). *Herramienta de evaluación de manejo forestal sostenible en plantaciones a pequeña escala, basado en modelos de restauración productiva: Estudio de caso de Ochroma pyramidale (balsa) en la Amazonía ecuatoriana* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].



*Influencia del Espaciamiento en el Desarrollo Morfológico y Productivo de la Balsa (*Ochroma pyramidale*) en la Amazonía Norte de Bolivia.*

Autores: Armelinda Zonta¹, Ademir Hurtado Lairana², Edward Flores Villanueva³, Mario Rodríguez Ojopi³, Mariely Camacho Delgado³, Bezaleel Paredes Subirana³

1: Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma del Beni “José Ballivián”. Riberalta.

2: Carrera de Ingeniería Agrupercuaria, Universidad Autónoma del Beni “José Ballivián”, Guayaramerín.

3: Instituto de Investigaciones Forestales de la Amazonía, UABJB, Riberalta.

Resumen

Ochroma pyramidale es una especie tropical de rápido crecimiento y abundante distribución en bosques secundarios en la Amazonia Norte de Bolivia. Es una especie que produce madera de baja densidad y de fácil trabajabilidad tiene demanda insatisfecha en la actualidad. Para aprovechar este mercado, es necesario conocer la silvicultura de la especie para evaluar su potencial para plantaciones forestales. Con este enfoque se evaluó el efecto de tres espaciamientos (2×2 m, 3×4 m y 4×4 m) sobre el crecimiento de *O. pyramidale* en plantaciones monocultivo en la Amazonía Norte de Bolivia (Guayaramerín y Riberalta). Las variables evaluadas fueron: diámetro a 1,3 m; altura total y altura de fuste, y se estimó un factor de forma en función de la conicidad del fuste. Se muestrearon 300 plantas de una población de 2000 (15%). Los resultados sometidos a pruebas estadísticas revelaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Los espaciamientos más amplios (3×4 m y 4×4 m) promovieron un mayor incremento medio anual (IMA) en DAP (4,89 y 4,74 cm/año, respectivamente) y en volumen individual (0,028 y 0,023 m³/árbol/año). En contraste, el espaciamiento más denso (2×2 m) resultó en un mayor IMA en altura total (4,5 m/año) y en volumen total por hectárea (16,7 m³/ha/año), debido al mayor número de árboles. Las conclusiones de los primeros resultados indican que una mayor densidad (espaciamientos 2×2m) favorece un crecimiento inicial en altura lo que tiene efectos importantes en la formación de un fuste recto y alto, condición primordial para la formación de madera de calidad, y una densidad menor (espaciamiento de 4×4m) favorece el incremento diamétrico y formación de fustes cortos, condición no favorable para a producción de madera.

Palabras clave: balsa, *Ochroma pyramidale*, espaciamiento de plantación, silvicultura, crecimiento forestal, Amazonía boliviana.





Introducción

Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb., conocida comúnmente como balsa, es una especie que se encuentra en bosques nativos desde México hasta Perú (Arteaga-Crespo, 2022). La madera de balsa tiene baja densidad, facilidad de manipulación y versatilidad industrial usada para hacer flotadores, aeromodelismo, embalajes y una variedad de componentes livianos (Jiménez Romero et al., 2017).

En la región amazónica de Bolivia, especialmente en el departamento del Beni, *O. pyramidale* ofrece una alternativa económica valiosa para los productores forestales debido a su ciclo de vida corto para la industria y la demanda en los mercados nacionales e internacionales (Mostacedo et al., 2009).

Sin embargo, el aprovechamiento de

esta especie ha sido de forma tradicional, principalmente en la extracción de individuos desde los bosques naturales, lo que ha producido la sobreexplotación de poblaciones silvestres, siendo de urgencia el desarrollo de sistemas de cultivo sostenibles (Reynel et al., 2003).

La balsa se caracteriza por ser altamente demandante de radiación solar, de rápido crecimiento inicial seguida de una fase de lignificación (Plaza-Aspiazú, 2021). Este comportamiento silvicultural debe ser considerado al momento de establecer la densidad de plantación o el espaciamiento inicial y constituye un factor determinante en el desarrollo morfofisiológico de la especie. Lamprecht (1990) en su libro *Silvicultura Tropical* indicó que el espaciamiento entre árboles regula la competencia intraespecífica por recursos clave como luz, agua y nutrientes. Según

Del Valle Baldeón (2021) y Evans & Turnbull (2004) citado por Arteaga-Crespo (2022), un incremento en el espaciamiento entre plantas disminuye la competencia entre plantas por agua, nutrientes y radiación solar. Una menor competencia entre plantas contribuye a un mayor crecimiento individual. En contraste, densidades elevadas pueden restringir el desarrollo de cada árbol, pero incrementar la producción total por unidad de superficie Del Valle Baldeón (2021).

En Ecuador, el cultivo de *Ochroma pyramidale* presenta variaciones de manejo y rendimiento entre localidades, en un contexto donde gran parte de los productores utiliza semilla nativa y una proporción importante depende de viveros locales o de producción propia de plántulas, con limitada asistencia técnica, lo que puede incidir en la calidad de las plantaciones y su productividad (González Osorio et al., 2010). Asimismo, evaluaciones realizadas en Santo Domingo muestran que la densidad de plantación influye en el crecimiento inicial y la supervivencia de la Balsa, mientras que estudios posteriores de raleo indican respuestas diferenciadas del crecimiento según la densidad remanente del rodal (Almagro de la Cueva & Jiménez Jiménez, 2013; Masapanta, 2015). También se han documentado diferencias de calidad entre localidades en plantaciones de un año, lo que sugiere que el desempeño de la especie depende no solo de la densidad, sino también de las condiciones del sitio y del manejo aplica-

do (Barragán, 2015)

En la región norte de la Amazonía de Bolivia existe un alto potencial para programas de reforestaciones con especies como Balsa, utilizando áreas degradadas, dominadas por la gramínea "Sujo" (*Imperata cylindrica*). La insuficiente información validada en la región sobre el crecimiento de balsa en plantaciones forestales limita recomendar a los inversionistas programas comerciales con esta especie. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de tres espaciamientos de plantación (2×2 m, 3×4 m y 4×4 m) sobre el crecimiento y desarrollo morfológico de la Balsa en sistemas de monocultivo, con el fin de generar recomendaciones para los productores de la región.

Materiales y Métodos

Ubicación y caracterización de las áreas de estudio.

La investigación consideró plantaciones de Balsa existentes en la Granja Claudia con localización geográfica 10°44'28.63" S, 65°24'25.63" O, municipio de Guayaramerín y en plantaciones en la Estación experimental El Siringalito, coordenadas 10°59'45.76" S, 66° 3'35.48" O, en el Campus Universitario de la UABJB, municipio de Riberalta, ambos del departamento del Beni.

El clima de la región es tropical húmedo, temperaturas medias anuales entre 26 °C y 32 °C y precipitaciones de 1,600 a 1,900 mm. Ambas plantaciones de Bal-



sa evaluadas están sobre suelos de tierra firme, bien drenado, profundo, franco y franco arcilloso, con baja fertilidad natural, pH promedio de 4.2, índice de materia orgánica menor a 1%, baja capacidad de intercambio catiónico, 5 y 6,5 y valores muy bajos de nitrógeno, fósforo y potasio, (CIAT, 2023). Las áreas de plantación corresponden a terrenos previamente “deforestados”, con cobertura de gramíneas, que fueron utilizados anteriormente como pastizales para ganadería.

Diseño Experimental y Manejo de la Plantación

La preparación del terreno fue manual y consistió en la limpieza del área y control de sepes (hormigas de los géneros *Ata* y *Acromyrmex*). Las líneas de plantación fueron demarcadas y los pozos abiertos con dimensiones de 20 cm × 20 cm × 30 cm, distribuidas en bloques con espaciamiento de 2×2m, 3×4m y 4×4m. Los tratamientos culturales aplicados en las plantaciones fueron eliminación de la vegetación local con el uso de desbrozadora con una frecuencia de 4 veces por año, control de sepes con Mirex aplicado en las galerías principales y control de incendios con apertura de fajas de 3 m de ancho. En cada tratamiento se delimitó un área interna y dentro de ella, al azar fueron demarcadas 100 plantas de balsa por tratamiento y en todo el ensayo se trabajó con 300 individuos.

Para medir los Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) se utilizó cinta diamétrica, para la altura se utilizó wincha. Los DAP

fueron mensurados a una altura del suelo de 1,3 m y las alturas totales se consideró del inicio del tronco hasta la punta del meristema apical y para la altura de fuste se consideró de la base del tronco hasta la formación de la copa.

Cálculo de Incrementos y Volumen

Los parámetros considerados para el análisis estadístico fueron; incremento medio anual en DAP e incremento medio anual en altura y para establecer el Factor de forma del fuste se consideró el diámetro de la base de la planta y el diámetro en el punto de formación de la copa. Finalmente se estimó el volumen total utilizando la fórmula:

$$V_{\text{total}} = g * H * f$$

Dónde: V_{total} = Volumen total, g = Área basal, H = altura total y f = factor de forma (de 0.75).

Para cada individuo y para la población se multiplicó el volumen individual promedio por las diferentes densidades evaluadas:

- T1: 2×2m (2,500 árboles/ha)
- T2: 3×4m (833 árboles/ha)
- T3: 4×4m (625 árboles/ha)

Análisis Estadístico

Para determinar el efecto del espaciamiento sobre las variables de crecimiento y producción, se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) de una vía. Cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), se realizó una prueba de comparación de medias de



Tukey (HSD) para identificar qué tratamientos diferían entre sí.

Resultados

Incremento Medio Anual

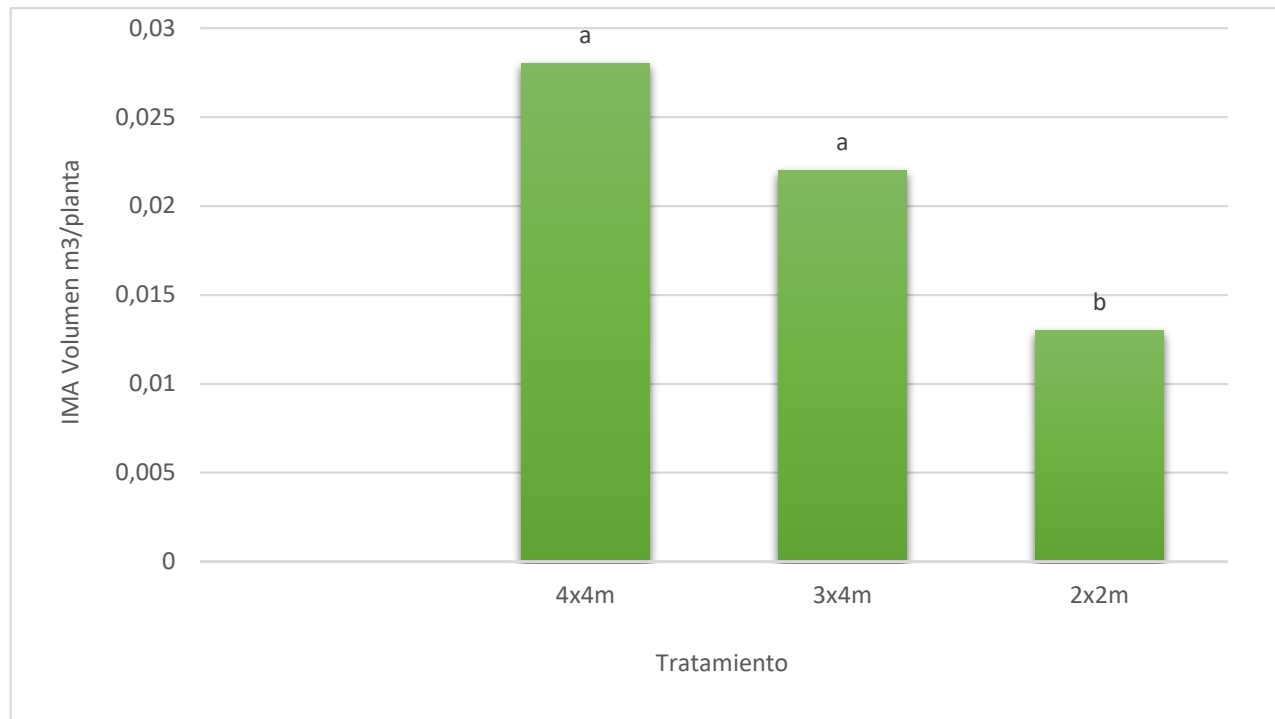
El análisis de varianza al 5% de error para la variable IMA-DAP (Diámetro), determinó un valor de $F_{\text{calculado}} = 6,03$ mayor que $F_{\text{crítico}}$, indicador que determina que existe diferencia significativa entre tratamientos. La comparación entre medias con la prueba de Tukey al 5% se error indica que los espaciamientos 4x4m y 4x3m son iguales con valores de incremento de 4,89 y 4,74 cm por año respectivamente, y ambos son diferentes del tratamiento con espaciamiento de 2x2m, que alcanzó incrementos medios anuales de 4,22 cm

(Tabla 1).

El análisis de varianza para la variable IMA Ht (Incremento Altura Total) presentó valor de $F_{\text{calculado}} = 13,02$; $p < 0.05$, mayor que $F_{\text{crítico}}$. La comparación entre medias por la prueba de Tukey indica que las alturas totales son iguales entre los tratamientos con espaciamiento de 3x4m y 4x4m y diferentes del tratamiento con espaciamiento de 2x2m (Tabla 1).

La ANOVA para IMA-Hf (Incrementa Altura Fuste) también fue significativamente afectada por el espaciamiento. Los tratamientos de 2x2m y 3x4m presentaron fustes más altos y limpios (3,0 m y 2,9 m) en comparación con el tratamiento de 4x4m (2,2 m), donde la ramificación comenzaba a menor altura.

Figura 1. Incremento medio anual del volumen individual (m3) de plantas de Balsa sembradas en diferentes espaciamientos.



Obs. Barras acompañadas de la misma letra son estadísticamente iguales por la prueba de Tukey al 5% de error.



Tratamientos	IMA-DA (cm)	IMA-Ht (M)	IMA-HF (m)
2 X 2 M	4,22 B	4,5 A	3,0 A
4 X 3 M	4,74 A	3,5 B	2,9 A
4 X 4 M	4,89 A	3,2 B	2,2 B

Obs. Valores acompañados de la misma letra son estadísticamente iguales al 5% error.

Tabla 1.- Incrementos medios anuales (IMA) en DAP, Ht y Hf para plantas de balsas sembradas con diferente espaciamiento entre individuos.

Volumen Individual y por Hectárea

El análisis de varianza al 5% de error para la variable IMA en volumen individual presentó un valor de $F_{\text{calculado}}$ de 5,05 mayor que el $F_{\text{crítico}}$, lo que significa que al menos un tratamiento presentó un incremento medio del volumen individual diferentes de los demás tratamientos. La prueba de Tukey al 5% de error determinó que los

espaciamientos más amplios 3x4m (0,028 m³/árbol/año) y 4x4m (0,023 m³/árbol/año) son iguales en comparación con el espaciamiento denso de 2x2m (0,013 m³/árbol/año) (Figura 1).

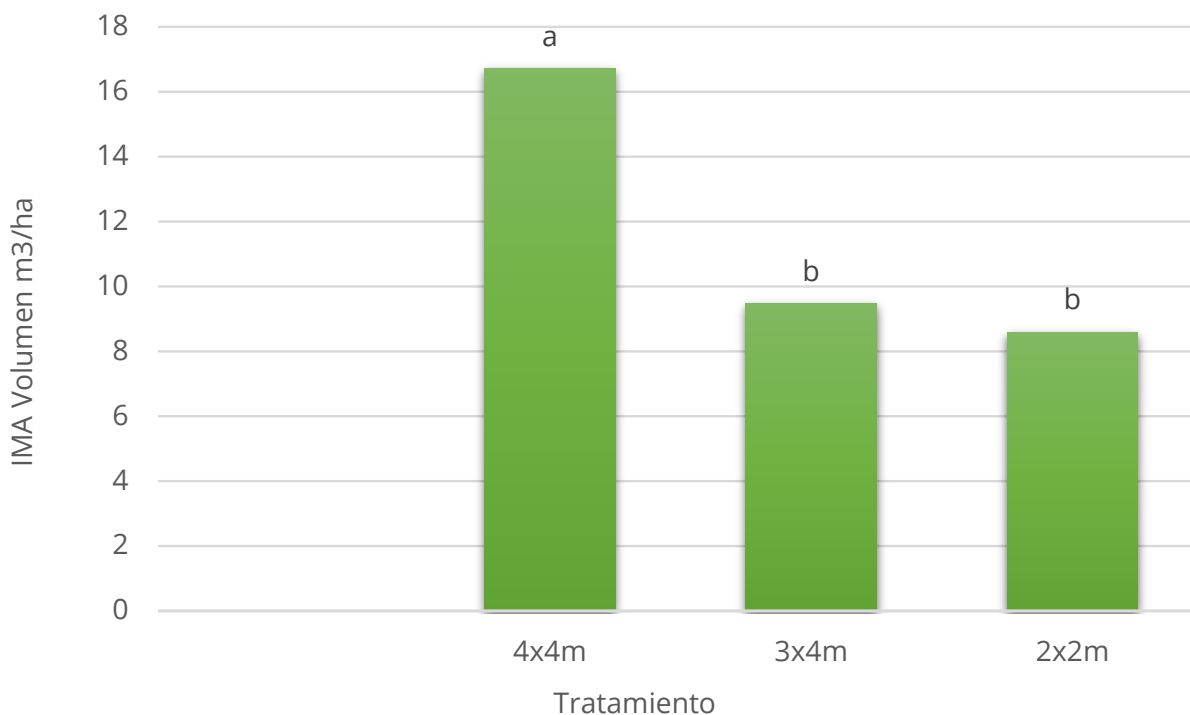
Sin embargo, al analizar el volumen total por hectárea, la tendencia se invirtió.

El tratamiento de 2x2m alcanzó un IMA de 16,7 m³/ha/año, un valor significativamente superior al de los tratamientos de 3x4m (9,5 m³/ha/año) y 4x4m (8,6 m³/ha/año) (Figura 2).

Discusión

En espaciamientos amplios (3x4m y 4x4m), la menor competencia por recursos como la luz, el agua y los nutrientes permite a los árboles individuales desa-

Figura 2.- Incremento medio anual en volumen (m³/ha) de plantas de balsa sembradas en diferente espaciamientos.



Obs. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de error según prueba de Tukey.



rollar un mayor diámetro y, consecuentemente, un mayor volumen individual. Este hallazgo es consistente con los principios de la ecología forestal y estudios previos en otras especies de rápido crecimiento (Peña-Claros & Fredericksen, 2007). Los valores de IMA-DAP obtenidos (4,7 a 4,9 cm/año) se encuentran dentro del rango reportado por Morales Villavicencio (2022) en Ecuador, lo que valida la aplicabilidad de estos resultados.

En contraposición el DA espaciado de 2x2m que representa una densidad de 2500 plantas/ha genera rápidamente competencia entre individuos de balsa por luz, lo que produce una reacción alométrica asignando mayor crecimiento en altura y menor en diámetro, principio clave en la eco fisiología vegetal, (Di Benedetto & Tognetti, 2016). Esto explica el mayor IMA en altura y la mayor altura de fuste observada en este tratamiento. Esta estrategia maximiza la capacidad de la planta para alcanzar el dosel y evitar ser sombreada por sus vecinas, un comportamiento típico de especies pioneras (Porter et al., 2014).

Desde una perspectiva de manejo, la implicación más importante es la diferencia en el volumen por hectárea. Aunque cada árbol en el tratamiento de 2x2m es individualmente más pequeño, el alto número de individuos por hectárea (2,500 árboles/ha) más que compensa esta reducción, resultando en una productividad de biomasa total significativamente mayor. Este resultado es crucial para los

productores cuyos objetivos se centran en la producción de volumen total para pulpa, bioenergía o pequeños postes. Sin embargo, para la producción de madera de aserrío, donde se requieren trozas de mayor diámetro, los espaciamientos más amplios son preferibles, a pesar de su menor rendimiento volumétrico total. La elección final del espaciamiento dependerá, por tanto, del producto final deseado y del plan de manejo, que puede incluir raleos intermedios para modular la competencia a lo largo del ciclo de rotación.

Conclusiones

El espaciamiento inicial utilizado en plantaciones de balsa afecta su desarrollo morfológico y la producción de madera cuando sembradas en suelos de tierra firme en sitios con condiciones ambientales similares a la existente en las áreas de estudio.

Los espaciamientos amplios (3x4m y 4x4m) favorecen el crecimiento individual, resultando en árboles con mayor diámetro y mayor volumen por individuo.

El espaciamiento denso (2x2m) maximiza la productividad por unidad de área, generando el mayor volumen total por hectárea, y promueve un mayor crecimiento en altura y fustes más rectos debido a la competencia por la luz.

La elección del espaciamiento debe basarse en los objetivos de producción: espaciamientos anchos para madera de aserrío de mayor dimensión, y espacia-



mientos densos para maximizar la biomasa total por hectárea.

Bibliográfica Consultada

Almagro de la Cueva, P. D., & Jiménez Jiménez, H. G. (2013). *Evaluación del crecimiento inicial de la balsa (Ochroma pyramidale Cav. ex Lam. Urb.) de dos procedencias, bajo cinco densidades poblacionales en el cantón Santo Domingo* [Tesis de grado]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Arteaga-Crespo, Y., García-Quintana, Y., Bravo-Medina, C. A., & Ureta-Leones, D. A. (2022). Respuesta morfofisiológica de *Ochroma pyramidale* producida en viveros mediante tecnología biopot a la fertilización con N, P, K utilizando un diseño óptimo personalizado. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(1), 31–43.

Barragán, M. (2015). *Evaluación de la calidad de plantaciones de balsa (Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb.) de un año de edad, en los cantones Valencia y Mocache, provincia de Los Ríos* [Tesis de Ingeniería Forestal]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Butterfield, R. P. (1995). The ecology and silviculture of balsa (*Ochroma pyramidale*) in Costa Rica. *The Forestry Chronicle*, 71(1), 71–72. <https://doi.org/10.5558/tfc71071-1>

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (2023). *Análisis de suelos en área experimentales de la UABJB en Riberalta y Guayaramerín, Beni* (Informe técnico). CIAT Santa Cruz, Bolivia.

Del Valle Baldeón, J. A. (2021). *Evaluación del costo de establecimiento y crecimiento inicial de balsa (Ochroma pyrami-*

dale (Cav. ex Lam.) Urb.) en el cantón El Empalme, provincia del Guayas [Tesis de Ingeniería Forestal]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Di Benedetto, A. H., & Tognetti, J. A. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: Su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(3), 258–282.

Evans, J., & Turnbull, J. W. (2004). *Plantation forestry in the tropics* (3rd ed.). Oxford University Press.

González Osorio, B., Cervantes Molina, X., Torres Navarrete, E., Sánchez Fonseca, C., & Simba, L. (2010). Caracterización del cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en la provincia de Los Ríos - Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 3(2), 7–11.

Jiménez Romero, E., García Alvarado, L., Carranza Álvarez, M., Carranza Álvarez, H. M., Morante Carballo, J., Martínez Gualán, M., & Cuásquer Cuásquer, J. (2017). Germinación y crecimiento de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. en Ecuador. *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 243–250. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.07>

Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.

Masapanta, E. (2015). *Efecto del raleo sobre el crecimiento de balsa (Ochroma pyramidale Cav. ex Lam.) plantada en cinco densidades poblacionales* [Trabajo de titulación]. Universidad de las Fuerzas Arma-



das ESPE

Morales Villavicencio, J. E. (2022). *Determinación del incremento medio anual de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. (balsa) en diferentes sectores de la provincia de Los Ríos* [Tesis de Ingeniería Forestal]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

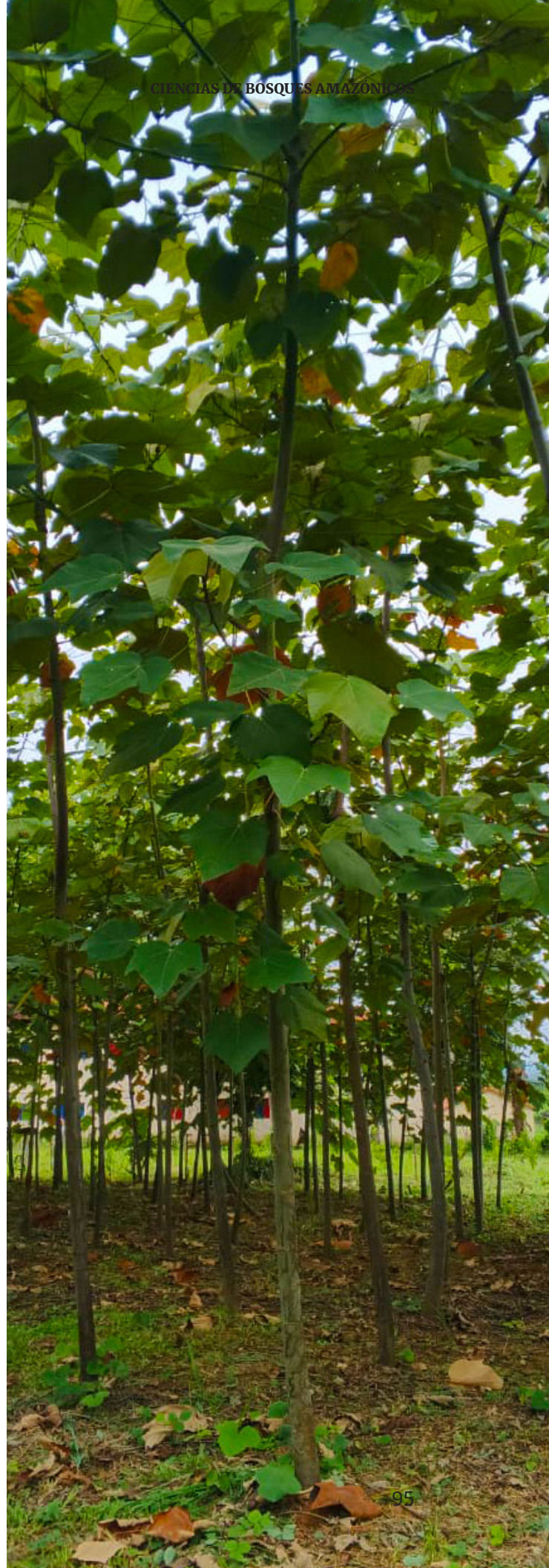
Peña-Claros, M., & Fredericksen, T. S. (2007). Growth responses of tropical trees to thinning. *Forest Ecology and Management*, 253(1–3), 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.07.012>

Plaza Aspiazu, X. I. (2021). *Efectos de cinco sustratos en la producción de plántulas de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. en el cantón Paján, provincia de Manabí* [Tesis de Ingeniería Forestal]. Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Poorter, L., Bongers, F., Sterck, F. J., & Wöll, H. (2005). Beyond the regeneration niche: Individual variation in shade tolerance and its effects on forest community structure. *Journal of Ecology*, 93(4), 681–693. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01010.x>

Reynel, C., Pennington, T. D., Pennington, R. T., Flores, C., & Daza, A. (2003). *Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos: Un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies*. ICRAF.

Villalobos, V. (2025). *Manual de cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lamb.) Urban)*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Taller de Publicaciones.



Efecto de la Enmienda Calcárea en la Producción de dos Variedades de Braquiaria y Sorgo en Suelos Degradados de Tierra Firme en Riberalta.

Autores: Bezaleel Paredes Subirana¹, Armelinda Zonta Fronza², Mariely Camacho Delgado¹, Mario Rodríguez Ojopi¹ y Alcira Justiniano Dorado¹

¹Instituto de Investigaciones Forestales de la Amazonia, Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Riberalta.

²Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Riberalta.

RESUMEN

Los suelos de la Amazonía boliviana se caracterizan por una acidez elevada (pH < 5.0), baja capacidad de intercambio catiónico y deficiencia de macronutrientes esenciales. Para analizar opciones de mejoramiento de los suelos y por ende el potencial productivo agropecuario y agroforestal de la región, esta investigación evaluó el efecto de la aplicación de cal dolomita (28% calcio y 17% magnesio) para la corrección de la acidez del suelo y su impacto en la producción de biomasa de forrajes de "Pasto Brachiaria" (*Urochloa brizantha* (sin. *Brachiaria brizantha*) y *Urochloa dictyoneura* (sin. *Brachiaria humidicola*)) y del Sorgo Forrajero (*Sorghum vulgare*) en suelos oxisoles degradados de Riberalta, en el norte del departamento del Beni. Se utilizó un diseño completo de bloques al azar con cuatro tratamientos de cal dolomita (1,0, 1,5, 2,0 y 2,5 t/ha) y un testigo en cuatro repeticiones. Los resultados evidenciaron que una dosis de 2,5 toneladas de cal dolomita por hectárea incrementó significativamente el pH del suelo en 0,92 unidades promedio. En cuanto a la producción de biomasa, *Urochloa dictyoneura* mostró una respuesta positiva con la dosis de 2,5 t/ha, aumentando su rendimiento en 6.1 t/ha en comparación con el testigo. Por otro lado, *Urochloa brizantha* no presentó diferencias estadísticamente significativas. Para el sorgo forrajero, el análisis de varianza reveló diferencias significativas entre los tratamientos, con las dosis de 1,5 y 2,0 t/ha mostrando rendimientos estadísticamente iguales, y superiores a los demás tratamientos y al testigo. En conclusión, la cal dolomita es una estrategia efectiva para mejorar la acidez del suelo y optimizar la producción de biomasa de Sorgo Forrajero y las especies de Pasto Brachiaria en estas condiciones.

Palabras clave: Pasto forrajero, acidez del suelo, cal dolomita, biomasa.





Introducción

Los Oxisoles altamente meteorizados de las tierras bajas tropicales suelen presentar acidez elevada, baja saturación de bases y limitaciones químicas asociadas a la toxicidad de aluminio y a la reducida disponibilidad de nutrientes, especialmente fósforo, calcio y magnesio. En este tipo de suelos, la acidez constituye una de las principales restricciones para la producción agrícola y pecuaria sostenible, por lo que su corrección es un componente central del manejo agronómico (Espinosa & Molina, 1999; Fageria & Baligar, 2008).

La aplicación de enmiendas calcáreas es una práctica ampliamente utilizada para elevar el pH, reducir la actividad del Al^{3+} y aportar Ca y Mg al sistema suelo-plan-

ta. Además, el encalado puede mejorar la eficiencia del fertilizante y favorecer condiciones químicas más adecuadas para el crecimiento vegetal, aunque la magnitud de la respuesta depende de la dosis aplicada, del cultivo y de las características del suelo (Espinosa & Molina, 1999; Carvalho & Nascente, 2018; Fageria & Baligar, 2008). En sistemas de pasturas intensivas también se ha documentado que la corrección de la acidez contribuye a homogeneizar atributos químicos del suelo y a mejorar la eficiencia del manejo fertilizante (Bernardi et al., 2018).

En ambientes tropicales degradados, la recuperación de la productividad exige combinar corrección química, fertilización y especies capaces de explorar eficazmente el perfil del suelo. Los pastos tropicales

de raíces profundas pueden contribuir a mejorar propiedades físicas y químicas del suelo y, bajo manejo adecuado, favorecer la construcción de una capa arable más estable en Oxisoles degradados (Amézquita et al., 2004).

Las especies de pasto *Braquiaria* (actualmente incluidas en el género *Urochloa*) son de amplia importancia en la ganadería tropical por su adaptación relativa a suelos ácidos y de baja fertilidad. Sin embargo, la tolerancia a la acidez y al aluminio no es uniforme entre especies y genotipos; existe variación natural en rasgos de raíz y en mecanismos de exclusión o tolerancia al aluminio, por lo que la respuesta al encalado puede diferir entre materiales forrajeros evaluados bajo las mismas condiciones (Arroyave et al., 2013; Rao et al., 2016; Worthington et al., 2021).

El Sorgo forrajero constituye otra alternativa relevante para sistemas productivos en ambientes limitantes, debido a su plasticidad agronómica, su tolerancia relativa a la sequía y la capacidad de su sistema radical para explorar capas más profundas del suelo. Estas características explican su valor como cultivo forrajero en contextos tropicales y subtropicales, aunque su rendimiento sigue dependiendo del manejo de la fertilidad y de la reducción de restricciones químicas del suelo (Bustos, 1968; Assefa et al., 2010; Tari et al., 2013).

Con base en este contexto, la presen-

te investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de cal dolomita sobre la corrección de la acidez del suelo y sobre la producción de biomasa verde y seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú (recientemente re-clasificado como *Urochloa brizantha*) y *Brachiaria humidicola* (actualmente *Urochloa dictyoneura*, y Sorgo Forrajero (*Sorghum vulgare*) en suelos degradados de tierra firme del municipio de Riberalta, Beni, Bolivia.

Materiales y Métodos

Ubicación del Área de Estudio

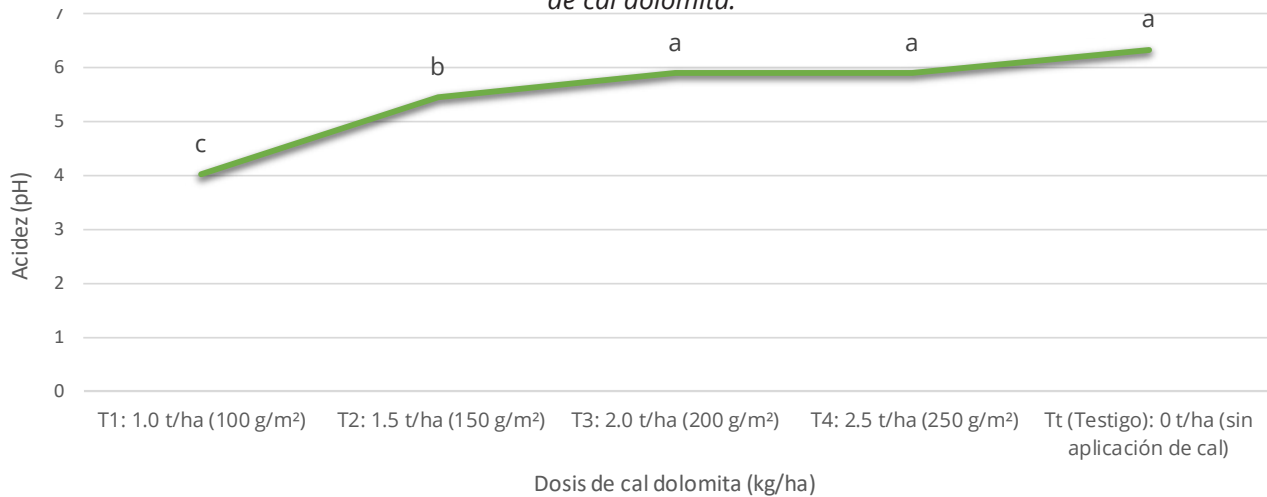
Este estudio fue realizado durante el período 2021-2023 en dos localidades: una parcela en la propiedad de la familia Giordano (11°01'09" S, 65°57'12" O) y otra en propiedad de la familia Cabrera (11°1'15.49" S, 65°55'41.73" O) en el municipio de Riberalta, departamento del Beni, Bolivia.

Climatológicamente, los parámetros fueron los mismos; los terrenos tienen la altitud de 170 msnm, con una precipitación media anual de 1700 mm, presentando una temperatura meda de 25°C con una humedad relativa media del 85%.

Los suelos estudiados, son oxisoles de tierra firme, pH inicial de 4.4; clasificado como un suelo fuertemente ácido frente a los patrones internacionales de clasificación de suelos.



Figura 1.- Variación del pH del suelo 120 días después de la aplicación de la enmienda con diferentes dosis de cal dolomita.



*Letras iguales representan valores estadísticamente iguales

Diseño experimental

Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental (parcela) tuvo una superficie de 100 m² (10 m x 10 m).

Los tratamientos consistieron en la apli-

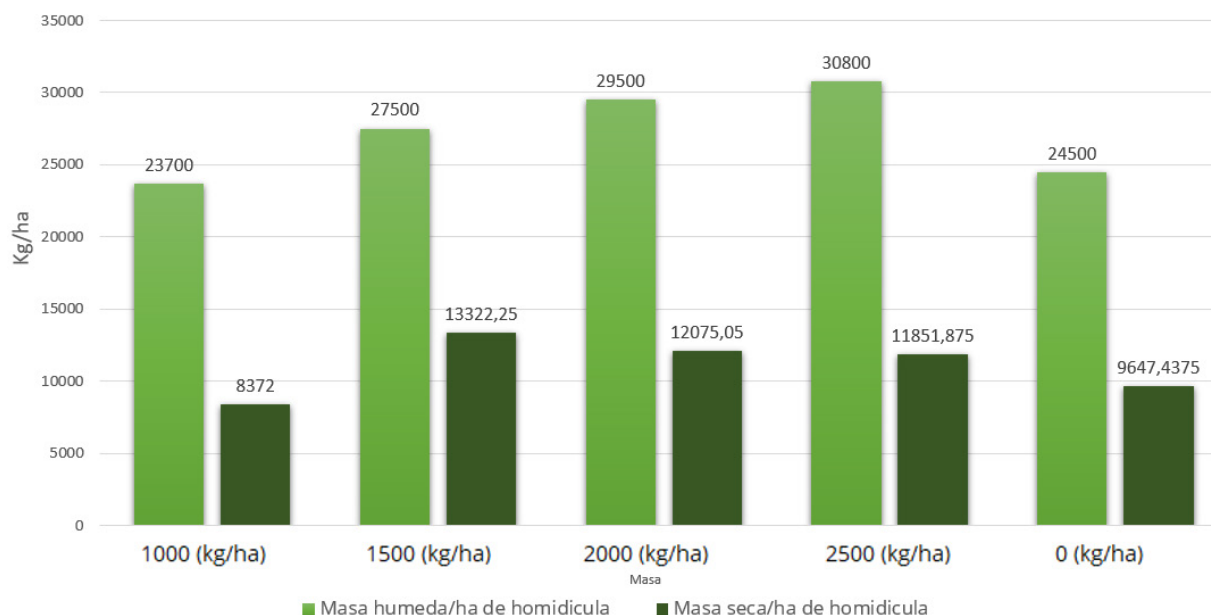
cación de diferentes dosis de cal dolomita:

- T1: 1,0 t/ha (100 g/m²)
- T2: 1,5 t/ha (150 g/m²)
- T3: 2,0 t/ha (200 g/m²)
- T4: 2,5 t/ha (250 g/m²)
- Tt (Testigo): 0,0 t/ha (sin aplicación de cal).

Figura 2.- Producción de biomasa húmeda y seca de pasto Urochloa brizantha (Brachiaria brizantha cv. Marandú) en suelos de tierra firme con diferentes enmiendas de cal dolomita.



Figura 3.- Producción de biomasa húmeda y seca en Kg/ha de pasto *Urochloa dictyoneura* (*Brachiaria humidicola*) en suelos de tierra firme con diferentes enmiendas de cal dolomita.



Manejo del ensayo

El área experimental se limpió y aró a una profundidad de 20 cm. La enmienda calcárea se aplicó al voleo en forma uniforme 30 días antes de la siembra en las cantidades establecidas en los tratamientos. Además, se aplicó una fertilización de base distribuyendo 2 kg de NPK 16:16:16 en cada parcela de 100 m². Antes de la siembra se realizó un segundo arado para la incorporación de la enmienda y el fertilizante. La siembra fue efectuada en líneas con un espaciamiento de 30 cm x 60 cm y con el uso de un punzón. Para el control de las malezas se utilizó por única vez el herbicida de acción sistémica, glifosato.

Muestreo y Análisis de Datos

Al inicio del ensayo y 30 días después del enclado, se tomaron muestras de suelo

para el análisis del efecto de la enmienda. Posteriormente, a los 120 días post-siembra, se evaluó nuevamente el pH con envíos de muestras suelo al laboratorio del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT) en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Además se realizó el muestreo colectando biomasa verde de las tres especies de pasto en áreas de 4 m² de cada parcela de los 4 tratamientos y del testigo, se pesó y se retiró una cantidad de 500 gramos de material húmedo por tratamiento para determinar secar en horno eléctrico a temperaturas entre 80 a 100°C hasta alcanzar un peso constante. Los valores de biomasa verde y seca se extrapolaron a toneladas por hectárea (t/ha).

Para determinar la significancia estadística entre tratamiento se aplicó Análisis de varianza al 5% de error y casos de $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$ se utilizó la prueba de



Tukey para determinar la diferencia mínima significativa entre medias para todas las variables.

Resultados

En el caso de la variable pH determinada en el suelo, el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($F_{\text{calculado}} = 12 > F_{\text{tabla}} = 3.6$). A través de la prueba de Tukey se estable-

Urochloa dictyoneura, sometido al análisis de varianza al 5% de error determino que no existe diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos aplicados y el testigo (Figura 2 y Figura 3).

El Análisis de varianza aplicado para las variables biomasa humedad y seca del pasto *Urochloa brizantha* al 5% de error determinó un $F_{\text{calculado}}$ menor que $F_{\text{crítico}}$ lo



Foto 1.- Sorgo forrajero en suelo de tierra firme con aplicación cal dolomita a los 120 días crecimiento.

ció una diferencia mínima significativa de 0.25 unidades de pH (Figura 1).

El efecto de la aplicación de cal dolomita en diferentes dosis fue evaluado con la biomasa seca y húmeda de los pastos Braquíaria *Urochloa brizantha* y

que indica que no existe diferencia significativa entre tratamiento aplicados (Figura 2).

El Análisis de varianza aplicado para las variables biomasa humedad y seca del pasto *Urochloa dictyoneura* 5% de error

determino un $F_{\text{calculado}}$ mayor que $F_{\text{crítico}}$ lo que indica que existe diferencia significativa entre tratamientos aplicados. A través de la prueba de Tukey se estableció una diferencia mínima significativa (Figura 3).

Los rendimientos alcanzados con Sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) cuando aplicadas enmiendas al suelo con diferentes dosis de cal dolomita y sometidos al Análisis de Varianza al 5% de error determino valor de $F_{\text{calculado}}$ mayor que $F_{\text{crítico}}$ lo que expresa una diferencia estadística significativa en los tratamientos aplicados y el tratamiento testigo. La prueba de Tukey presento diferencia mínima significativa entre tratamiento siendo los doses de 1,5 tn/ha y 2,0 tn/ha estadísticamente iguales y diferentes de los demás tratamientos y el testigo (Tabla1).

Tratamientos	Biomasa húmeda (kg/ha)	Prueba de Tukey (al 5% de error)
Tt: 0 kg de cal dolomita/ha	4354	a
T1: 1000 kg de cal dolomita/ha	4260	a
T2: 1500 kg de cal dolomita/ha	13234	b
T3: 2000 kg de cal dolomita/ha	15886	b
T4: 2500 kg de cal dolomita/ha	7889	c

Tabla 1.- Producción de biomasa húmeda de pasto *Sorghum vulgare* en suelos de tierra firme con diferentes enmiendas de cal dolomita

Discusión

Los resultados mostraron que la aplicación de cal dolomita incrementó el pH del suelo de manera consistente, con la

respuesta más alta en la dosis de 2,5 t/ha (T4). Esta tendencia coincide con lo descrito para suelos tropicales ácidos, donde el encalado reduce la acidez activa y el aluminio intercambiable, además de aumentar la disponibilidad de Ca y Mg y mejorar el ambiente químico del suelo para el crecimiento vegetal (Espinosa & Molina, 1999; Fageria & Baligar, 2008).

En sistemas agrícolas sobre Oxisoles también se ha observado que la corrección de la acidez, aun cuando no elimine todas las restricciones químicas, puede mejorar la eficiencia del fertilizante y el desempeño del cultivo (Carvalho & Nascente, 2018).

En *Urochloa brizantha* no se detectaron diferencias estadísticas significativas en biomasa entre tratamientos, lo que sugiere que, en las condiciones del ensayo y dentro del periodo de evaluación, esta especie toleró razonablemente la acidez inicial o no expresó una respuesta marcada a las dosis de cal aplicadas. Esta interpretación es compatible con la literatura que muestra una amplia variación interespecífica y genotípica en pastos *Brachiaria (Urochloa spp.)* frente a suelos ácidos y toxicidad por aluminio; por ello, la respuesta al encalado no debe asumirse como uniforme entre especies o cultivares (Arroyave et al., 2013; Rao et al., 2016; Worthington et al., 2021).

Urochloa dictyoneura, en cambio, presentó una tendencia positiva en biomasa a medida que aumentó la dosis de cal do-



lomita, con mejores valores en los tratamientos de mayor encalado. En términos agronómicos, esto sugiere que la reducción de la acidez del suelo y el mayor aporte de Ca y Mg favorecieron su crecimiento bajo las condiciones locales del experimento. No obstante, esta respuesta debe interpretarse junto con la fertilización de base aplicada a todas las parcelas, ya que la productividad final resulta de la interacción entre corrección de acidez y disponibilidad de nutrientes, y no exclusivamente del efecto aislado de la cal (Bernardi et al., 2018; Carvalho & Nascente, 2018).

Para el Sorgo Forrajero, las dosis de 1,5 y 2,0 t/ha generaron la mayor producción de biomasa húmeda, mientras que la dosis más alta no superó a estos tratamientos. Este patrón sugiere que el cultivo respondió favorablemente a una corrección intermedia de la acidez, pero no necesariamente a un incremento lineal de la dosis. Dado que el Sorgo es un cultivo con buena plasticidad agronómica y tolerancia relativa a ambientes restrictivos, una mejora moderada del ambiente químico del suelo puede traducirse en respuestas productivas importantes; sin embargo, la magnitud de la respuesta depende de la interacción entre suelo, clima, manejo y material genético (Bustos, 1968; Assefa et al., 2010; Tari et al., 2013).

Conclusiones

La aplicación de cal dolomita mejoró la reacción del suelo en los Oxisoles evaluados, y la dosis de 2,5 t/ha produjo el mayor incremento de pH entre los tratamientos estudiados. En términos prácticos, esto confirma que el encalado constituye una herramienta efectiva para corregir parcialmente la acidez en suelos degradados de tierra firme de Riberalta.

Bajo las condiciones del ensayo, *Urochloa brizantha* no mostró diferencias estadísticas significativas en producción de biomasa entre tratamientos, mientras que *Urochloa dictyoneura* respondió favorablemente a las dosis más altas de cal. Estos resultados indican que la respuesta al encalado fue dependiente de la especie evaluada y que no todas las Braquiarias forrajeras reaccionan del mismo modo frente a la corrección de la acidez.

En Sorgo Forrajero, las dosis de 1,5 y 2,0 t/ha de cal dolomita produjeron los mayores rendimientos de biomasa húmeda. Por tanto, para las condiciones edáficas y de manejo de este estudio, el encalado con dosis intermedias resultó más eficiente para este cultivo que la dosis máxima aplicada. Se recomienda validar estos resultados en evaluaciones de mayor duración y con seguimiento complementario de variables químicas del suelo y calidad nutritiva del forraje.



Bibliografía consultada

Amézquita, E., Thomas, R. J., Rao, I. M., Molina, D. L., & Hoyos, P. (2004). Use of deep-rooted tropical pastures to build-up an arable layer through improved soil properties of an Oxisol in the Eastern Plains (Llanos Orientales) of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103(2), 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.017>

Arroyave, C., Tolrà, R., Thuy, T., Barceló, J., & Poschenrieder, C. (2013). Differential aluminum resistance in *Brachiaria* species. *Environmental and Experimental Botany*, 89, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.01.001>

Assefa, Y., Staggengborg, S. A., & Prasad, V. P. V. (2010). Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: A review. *Crop Management*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1094/CM-2010-1109-01-RV>

Bernardi, A. C. de C., Bueno, J. O. de A., Laurenti, N., Santos, K. E. L., & Alves, T. C. (2018). Efeito da calagem e fertilizantes aplicados à taxa variável nos atributos químicos do solo e custos de produção de pastagem de capim Tanzânia manejadas intensivamente. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, 12(4), 368–382.

Bustos, W. (1968). Cultivo del sorgo. *El Campesino (Chile)*, 99(8), 14–19.

Carvalho, M. da C. S., & Nascente, A. S. (2018). Application of lime, phosphogypsum and fertilization rates affect soil

fertility and common bean development in no-tillage system in a Cerrado Oxisol. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 40, e39322. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.39322>

Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. Instituto de la Pota-sa y el Fósforo (INPOFOS).

Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2008). Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. *Advances in Agronomy*, 99, 345–399. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)00407-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00407-0)

Rao, I. M., Miles, J. W., Beebe, S. E., & Horst, W. J. (2016). Root adaptations to soils with low fertility and aluminium toxicity. *Annals of Botany*, 118(4), 593–605. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw073>

Tari, I., Laskay, G., Takács, Z., & Poór, P. (2013). Response of sorghum to abiotic stresses: A review. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(4), 264–274. <https://doi.org/10.1111/jac.12017>

Worthington, M., Perez, J. G., Mussurova, S., Silva-Cordoba, A., Castiblanco, V., Arango, J. A., Jones, C., Fernandez-Fuentes, N., Skot, L., Dyer, S., Tohme, J., Di Palma, F., Arango, J., Armstead, I., & De Vega, J. (2021). A new genome allows the identification of genes associated with natural variation in aluminium tolerance in *Brachiaria* grasses. *Journal of Experimental Botany*, 72(2), 302–319. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa469>.



Estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociados al Consumo Eléctrico del Campus Universitario de la UABJB en Riberalta, Bolivia.

Autor: Jaime Antonio Cortez Vallejo¹

1: Instituto de Investigaciones Forestales de la Amazonía, Universidad Autónoma del Beni José Ballivián. Riberalta, Bolivia.

RESUMEN

Los países del mundo, incluido Bolivia, tomaron conciencia sobre los efectos adversos del cambio climático y asumieron posiciones contundentes en los diferentes tratados internacionales para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) y limitar el calentamiento global. Entre los GEI más importantes se encuentran el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Concordante con los principios de los tratados internacionales y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el estudio estima las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al consumo de electricidad del campus de la Universidad Autónoma del Beni José Ballivián (UABJB) en Riberalta durante la gestión 2024. La metodología se basa en el enfoque Tier 1 de las Directrices del IPCC, utilizando datos de consumo eléctrico obtenidos de facturas de suministro y factores de emisión internacionales provenientes del IPCC, la Agencia Internacional de Energía y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. El consumo anual registrado fue de 227.214 kWh, lo que corresponde a emisiones estimadas de 90,89 t CO₂ equivalente. Los resultados constituyen una línea base para estrategias institucionales de reducción de emisiones y la evaluación de alternativas energéticas renovables, particularmente sistemas solares fotovoltaicos.

Palabras Clave: cambio climático, diésel, generación eléctrica, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, CO₂ equivalente.



Introducción

La Agenda 30 contempla 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establecidos por la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015), que abarcan las dimensiones social, económica y ambiental para el logro de un desarrollo sostenible del mundo y es el ODS 13 “Acción por el Clima” que hace referencia a la toma de medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, asegurando un futuro sostenible.

El cambio climático actual se debe principalmente al aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI) derivados de actividades humanas, especialmente la combustión de combustibles fósiles (IPCC, 2023). Por consecuencia varios países del mundo se han adheridos a acuerdos internacionales para la reducción de sus emisiones y la mitigación de los efectos adversos del cambio climático (UNFCCC, 2015).

El gas natural y el petróleo incluyendo sus derivados como el diésel, representaron cerca del 90% de las fuentes de energía primaria en Bolivia (Ministerio de Hidrocarburos y Energías, 2022); en la región de la Amazonía norte, concretamente en el municipio de Riberalta hay una dependencia histórica del diésel para la generación de suministro eléctrico, aunque existen algunos proyectos destinados a generar el cambio y migrar a energía solar fotovoltaica e integrarla al Sistema Integrado Nacional (SIN) del Estado Plurinacional de Bolivia.

La Universidad Autónoma del Beni José

Ballivián (UABJB), regional Riberalta, en la realización de sus actividades académicas, de investigación, extensión e interacción social tiene un consumo de energía eléctrica, misma que es suministrada a su campus universitario por la Empresa Nacional de Electricidad Corporación Sistema Riberalta (ENDE Riberalta), que genera electricidad a partir del combustible fósil no renovable diésel. Cabe resaltar que el mismo es un hidrocarburo líquido importado por Bolivia.

A nivel mundial, se establece en el Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), que los gobiernos y corporaciones deben calcular, actualizar y monitorear sus emisiones país, para ello es vital su cuantificación bajo un enfoque estandarizado, tal como el enfoque Tier 1 del IPCC. La estimación de los GEI en el campus universitario de la UABJB, regional Riberalta, durante la gestión 2024 se basó en este enfoque y utilizó factores de emisión de la base de datos internacional del IPCC (IPCC, 2006); los resultados están expresados en CO₂ equivalente.

Importante establecer que este estudio basado es un punto de partida vital, reconociendo que el objetivo a largo plazo es impulsar metodologías más precisas, como el Nivel 2 del IPCC, que usa factores de emisión específicos de cada país, por ende, la metodología desarrollada sienta las bases para futuras investigaciones más avanzadas.

El objetivo principal de este artículo es desarrollar un marco metodológico prác-





Figura 1.- Imagen aérea del Campus Universitario de la UABJB Riberalta.

tico y replicable, basado en las directrices del enfoque Tier 1 del IPCC, para estimar los GEI (expresadas en CO₂ equivalente) a partir del consumo de electricidad (en kWh) del campus de la UABJB, regional Riberalta, durante la gestión 2024.

Adicionalmente de la generación de datos de las emisiones emitidas en el campus universitario, se tiene un propósito estratégico de dotar de un elemento clave para la toma de decisiones institucionales que permitan la formulación de estrategias de reducción de CO₂, el fortalecimiento de proyectos de cambio de la matriz energética hacia fuentes renovables como la solar fotovoltaica, y contribuir a los inventarios nacionales de GEI.

Materiales y métodos

El artículo desarrollado estuvo enmarcado en un estudio de caso y es una investigación del tipo cuantitativa, aplicada y descriptiva con revisión bibliográfica.

Se realizó un análisis detallado y minucioso del consumo eléctrico en el campus universitario de la UABJB, localizado en el municipio de Riberalta con coordenadas 10° 59' 41.26" de latitud sur y 66° 3' 40.43" longitud oeste, de la provincia Vaca Diez en departamento del Beni en el estado plurinacional de Bolivia, durante los 12 meses de la gestión 2024, utilizando las facturas de consumo eléctrico emitidas por ENDE Riberalta para los cinco medidores implementados en la Universidad; el estudio cuantifica el consumo en kWh y su equivalente monetario en Bs, con una

perspectiva mensual y anual acumulada (Figura 1).

Para calcular y estimar las emisiones de los GEI se hizo uso del método Tier 1 del IPCC, que tiene como base la aplicación de estadísticas energéticas nacionales y factores de emisión predeterminados, el mismo permitió calcular las tres emisiones más importantes de gases de efecto invernadero GEI, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) y expresarlas en términos de CO₂ y CO₂ equivalente (CO₂-eq.). Este método asume que, durante la combustión, el carbono del combustible como el diésel, tiene un factor de oxidación de 0,98 a 1,00 y se convierte en CO₂.

Señalar que las emisiones de CO₂, respecto a las del CH₄ y del N₂O, representan un porcentaje mucho mayor, sin embargo, la estimación de las emisiones de estos dos últimos gases es importante por sus Potenciales de Calentamiento Global (GWP) significativamente más altos que el del CO₂, dado ello es que se los expresa

en (CO₂-eq), para un cálculo más completo y preciso.

El método Tier 1 establece factores de emisión predeterminados para estos dos gases de efecto invernadero, el CH₄ y el N₂O, esto conlleva un grado de incertidumbre, debido a que a que su fuente proviene de un juicio experto basado en la Directrices del IPCC de 1996 y que son aplicados para combustiones a altas temperaturas, sin control de emisiones y condiciones estables, sin considerar otro tipo de factores operacionales, por tanto la precisión de cálculo de las emisiones de estos dos gases es menor respecto a la del CO₂

Se usaron diversas bases de datos oficiales como las de las Directrices del IPCC de 2006, la de Factores de Emisión (EFDB) del IPCC, la de Factores de Emisión de la IEA 2023. Los datos extraídos fueron analizados y sistematizados en hojas de cálculo.

Son cinco pasos utilizados para el cálculo de las emisiones de los GEI y expresa-

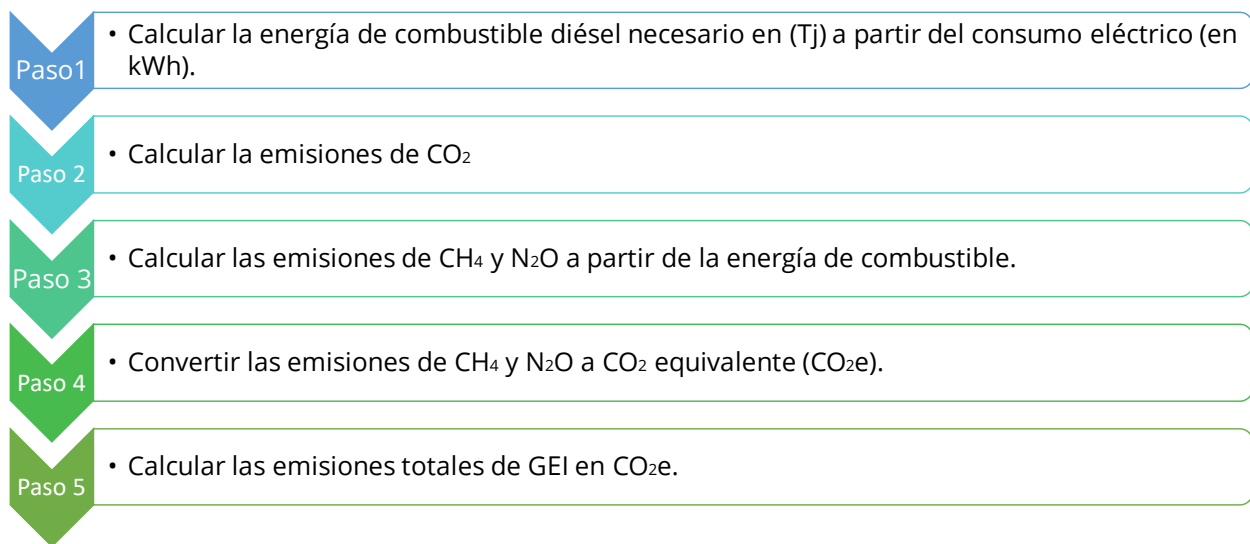


Figura 2.- Pasos utilizados para el cálculo de las emisiones de los GEI.



dos e CO₂-eq. (Figura 2).

Resultados

En función a un análisis detallado del consumo eléctrico en el campus universitario en la gestión 2024, se cuantificó el consumo en kWh y su equivalente monetario en Bs; el consumo de energía eléctrica fue de 227.214 kWh y de Bs. 341.203,44.

La Tabla N°1 muestra que el mayor nivel de consumo de energía eléctrica corresponde a los meses de octubre, noviembre y diciembre con 71.205 kWh correspondiente a aproximadamente un 31% del consumo total.

Período	Importe por Energía (Bs)	Consumo (KWh)
ENERO	18.289,21	12.415
FEBRERO	25.059,25	16.942
MARZO	25.059,25	16.942
ABRIL	25.694,82	17.227
MAYO	30.802,25	20.927
JUNIO	26.440,26	17.744
JULIO	30.625,42	20.484
AGOSTO	21.214,89	14.120
SEPTIEMBRE	28.984,30	19.208
OCTUBRE	37.939,92	25.262
NOVIEMBRE	37.234,61	24.399
DICIEMBRE	33.859,26	21.544
TOTAL	341.203,44	227.214

Tabla 1.- Consumo Eléctrico en kWh y Bs. del Campus Universitario de la UABJB Riberalta.

El de menor consumo es el mes de enero con 12.415,00 kWh que representa un 5,5%, tal situación se puede apreciar en la Figura 3.

La UABJB Regional Riberalta, consume energía eléctrica generada por ENDE Riberalta a partir de diésel y a pesar que esta es la entidad que genera las emisiones de GEI, la universidad es la consumidora final de esta energía, por lo cual las mismas implican que son parte de la Huella de Carbono institucional de la Universidad.

Los factores de emisión consolidados por cada kilovatio-hora (kWh) de electricidad generadas y expresadas en Tn CO₂/kWh y Tn CO₂eq/kWh se visibilizan en la Tabla 2, apreciándose la enorme diferencia entre el factor del CO₂ de 0,40 y los CO₂eq, del CH₄ y N₂O, para ello se tomó como base factores de emisión de diversas fuentes autorizadas (IPCC, IEA, EPA) y los factores de emisión promedio de la red eléctrica de Bolivia.

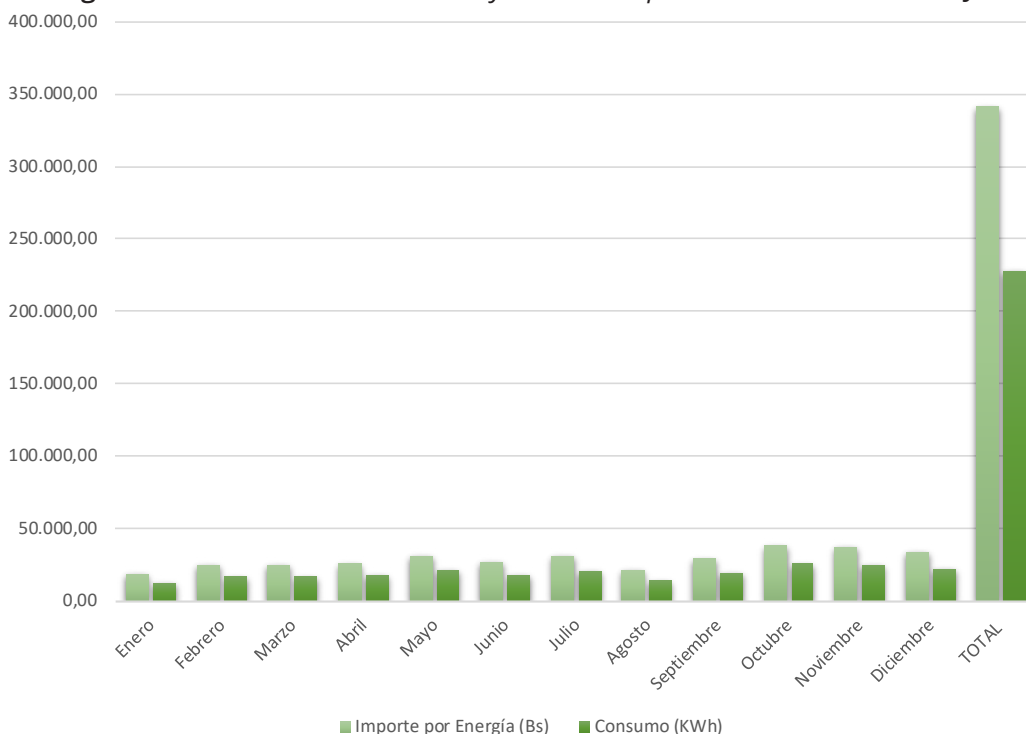
Tipo de Emisión	Factor de Emisión por kWh (kg CO ₂ /kWh)
CO ₂	0,395
CH ₄ (en CO ₂ eq)	0,003
N ₂ O (en CO ₂ eq)	0,002
Total, GEI (en CO₂eq)	0,400

Tabla 2.- Factores de Emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por kWh de Electricidad

En función del consumo total del servicio de energía eléctrica de 227.214 kWh del Campus Universitario y los factores de emisión establecidos, bajo el enfoque de la metodología Tier 1, las emisiones totales de GEI alcanzaron a 90,890 kg CO₂eq, aproximadamente 90,89 toneladas de CO₂eq (Tabla 3).



Figura 3. Consumo Eléctrico en Kwh y Bs. del Campus Universitario de la UABJB Riberalta.



Tipo de Emisión	Emisiones (kg)	Emisiones (Tn)
CO ₂	89.760	89,76
CH ₄ (en CO ₂ eq)	680	0,68
N ₂ O (en CO ₂ eq)	450	0,45
Total GEI (en CO₂eq)	90.890	90,89

Tabla N° 3.- Emisiones de GEI Totales Atribuidas al Consumo Eléctrico de la UABJB Riberalta

El desglose del total de emisiones de CO₂eq durante los 12 meses de la gestión 2024 atribuidas al campus universitario se reflejan en la Tabla N°4 .

Periodo	Consumo (KWh)	Emisiones de CO ₂ e (Tn)
ENERO	12.415	4,97
FEBRERO	16.942	6,78
MARZO	16.942	6,78
ABRIL	17.227	6,89

Periodo	Consumo (KWh)	Emisiones de CO ₂ e (Tn)
MAYO	20.927	8,37
JUNIO	17.744	7,1
JULIO	20.484	8,19
AGOSTO	14.120	5,65
SEPTIEMBRE	19.208	7,68
OCTUBRE	25.262	10,1
NOVIEMBRE	24.399	9,76
DICIEMBRE	21.544	8,62
TOTAL	227.214	90,89

Tabla N° 4.- Emisiones de GEI Mensual Atribuidas al Consumo Eléctrico de la UABJB Riberalta

En el global de las emisiones de GEI, el CO₂ es ampliamente mayoritario en peso, respecto a las del Metano y Dióxido de Nitrógeno, que sin embargo son incluidas en el cálculo y expresadas en términos de CO₂ equivalente, debido al alto Potencial de Calentamiento Global (GWP) que po-



seen.

Discusión

Para la provisión del servicio de energía eléctrica en el país, Bolivia ha desarrollado el Sistema Interconectado Nacional (SIN), con fuentes de energías no renovables y renovables. En diversas zonas rurales del país el servicio de energía eléctrica es muy limitado y en algunos casos inexistente, particularmente en el departamento del Beni y su región rural norte amazónica, por lo cual sus poblaciones tienen dependencia de combustibles fósiles, concretamente del diésel para la generación de energía eléctrica, en tal sentido la cuantificación de los GEI emitidos tiene un carácter estratégico (Ministerio de Hidrocarburos y Energías, 2022).

En este contexto, la estimación de 90,89 t CO₂-eq. asociadas al consumo anual de 227.214 kWh en el campus universitario de la UABJB en Riberalta constituye una línea base institucional útil para la gestión ambiental y energética. La magnitud de estas emisiones refleja la intensidad de carbono de un sistema eléctrico abastecido principalmente por generación térmica a partir de diésel.

Los resultados muestran que el CO₂ representa la mayor parte de las emisiones, mientras que CH₄ y N₂O aportan una fracción menor en masa, pero deben incluirse en términos de CO₂ equivalente debido a sus mayores potenciales de calentamiento global. Este enfoque es consistente con los lineamientos metodológicos interna-

cionales para inventarios de GEI y evita subestimar el impacto climático total de la combustión de combustibles fósiles.

Desde una perspectiva metodológica, el estudio confirma la utilidad del enfoque Tier 1 como herramienta práctica para instituciones que buscan iniciar procesos de cuantificación de huella de carbono. No obstante, debe reconocerse que este nivel metodológico emplea factores de emisión por defecto y, por tanto, introduce un grado de incertidumbre mayor que enfoques Tier 2 o Tier 3, que incorporan factores nacionales, características tecnológicas específicas o datos medidos. En consecuencia, los valores obtenidos deben interpretarse como una estimación robusta de referencia, adecuada para planificación institucional, pero susceptible de perfeccionamiento en estudios futuros.

La distribución mensual del consumo y de las emisiones sugiere que la demanda eléctrica del campus no es homogénea a lo largo del año. Los meses con mayor consumo generan, en consecuencia, mayores emisiones atribuibles, lo que evidencia que las estrategias de reducción no deberían limitarse únicamente a cambiar la fuente energética, sino también a mejorar la gestión de la demanda, la eficiencia de equipos, la racionalización del consumo y la planificación operativa institucional. En este sentido, la Agencia Internacional de Energía ha señalado que la eficiencia energética sigue siendo uno de los instrumentos más costo-efectivos para reducir



emisiones en múltiples sectores.

Los hallazgos también tienen relevancia estratégica para la discusión sobre transición energética en contextos amazónicos. Bolivia ha mantenido una alta dependencia de combustibles fósiles en su matriz energética, y aunque existen avances en diversificación, las regiones periféricas continúan enfrentando restricciones estructurales para acceder a sistemas más limpios. En este marco, una línea base como la generada por este estudio permite justificar técnica e institucionalmente proyectos orientados a sustituir parcial o totalmente el consumo eléctrico de origen fósil mediante energía solar fotovoltaica, especialmente en instalaciones universitarias con consumo concentrado y demanda predecible.

Adicionalmente, el estudio se alinea con el marco más amplio de compromisos internacionales de mitigación del cambio climático. El Acuerdo de París establece la necesidad de reducir emisiones en todos los niveles de gobernanza, y el IPCC ha reiterado que la mitigación efectiva requiere acciones coordinadas no solo a escala nacional, sino también en instituciones, ciudades y organizaciones. Desde esa lógica, la cuantificación de emisiones en una universidad pública amazónica no solo tiene valor académico, sino también institucional y político, al aportar evidencia para la toma de decisiones y para la construcción de una cultura de responsabilidad climática.

En síntesis, los resultados obtenidos no deben interpretarse únicamente como una cifra anual de emisiones, sino como un instrumento de gestión. La principal fortaleza del estudio radica en haber traducido datos administrativos ordinarios —las facturas eléctricas— en información climáticamente relevante y comparable.

Su principal limitación es la dependencia de factores de emisión genéricos y la ausencia de información tecnológica detallada sobre el sistema de generación que abastece al campus. Por ello, futuras investigaciones podrían avanzar hacia metodologías más precisas, incorporar factores nacionales o específicos del sistema eléctrico local, y evaluar escenarios comparativos de reducción mediante eficiencia energética, generación fotovoltaica o sustitución progresiva del diésel.

Conclusiones

- Se estimó que el consumo eléctrico anual del campus de la UABJB en Riberalta, equivalente a 227.214 kWh durante la gestión 2024, generó aproximadamente 90,89 t CO₂ equivalente, estableciendo una línea base institucional de emisiones.
- Los resultados confirman que, en contextos donde la electricidad proviene de generación térmica basada en diésel, el consumo eléctrico institucional constituye una fuente relevante de emisiones indirectas de gases de efecto invernadero.

La aplicación del enfoque Tier 1 del



IPCC resultó adecuada como metodología inicial para cuantificar emisiones de forma estandarizada, replicable y útil para la gestión institucional, aunque futuros estudios podrían mejorar la precisión mediante factores de emisión más específicos.

La información generada aporta una base técnica para orientar estrategias institucionales de reducción de emisiones, incluyendo medidas de eficiencia energética y la evaluación de alternativas renovables como la energía solar fotovoltaica.

El estudio demuestra la utilidad de transformar datos administrativos rutinarios, como las facturas de electricidad, en indicadores climáticos relevantes para la planificación universitaria y la toma de decisiones en sostenibilidad..

Bibliografía Consultada

IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

IPCC. (2024). IPCC Emissions Factor Database. Recuperado de <https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/IPCC-Emissions-Factor-Database>

EPA - United States Environmental Protection Agency. (2025). GHG Emission Factors Hub. Recuperado de <https://www.epa.gov/climateleadership/ghg-emission-factors-hub>

IEA - International Energy Agency. (2019). Energy Efficiency Indicators 2019. OECD/IEA. <https://doi.org/10.1787/d7fd87b9-en>

IEA - International Energy Agency. (2024). Emissions Factors 2024 - Data product. Recuperado de <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/emissions-factors-2024>

Ministerio de Hidrocarburos y Energías - Bolivia. (2022). Balance Energético Nacional 2021. La Paz: MHE.

Ramos, E., García, M., & López, C. (2018). Estimación de la huella ecológica en estudiantes del programa de Administración de Empresas de la Universidad de la Amazonia. *Revista Universidad de la Amazonia*, 15(2), 89-102.

UNFCCC. (2015). Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

Carrasco Huamán, S. (2021). Huella de carbono en Latinoamérica como herramienta de medición de impacto ambiental en Instituciones privadas, 2017-2021. *Ciencia Latina Revista Científica*.



“Ciencias de Bosques Amazónicos” es una revista de difusión investigativa de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma del Beni “José Ballivián que aglutina aportes del Instituto de Investigaciones Forestales de la Amazonía, la Carrera de Ingeniería Forestal y la Carrera de Ingeniería en Industrias Forestales.

El desarrollo de las investigaciones, así como la edición e im-



presión de la revista fue posible gracias a dos proyectos ejecutados en un consorcio liderado por Medicus Mundi Mediterránea:

- “Salud Planetaria: Desafíos y Oportunidades en el Norte de la Amazonía Boliviana”, financiado por la Agència Catalana de Cooperació al Desenvolupament del Gobierno de Cataluña.



- “Salud Planetaria en el Norte de la Amazonía Boliviana”, financiado por la Cooperación Valenciana de la Generalitat Valenciana.

Los artículos de la revista fueron elaborados por los respec-



tivos autores en base de investigaciones primarias realizadas en el Área Experimental El Siringal, dentro del Campus Universitario de la UABJB-Riberalta y en bosques y comunidades de la Amazonía boliviana. En algunos manuscritos se utilizó inteligencia artificial únicamente como apoyo para la corrección de redacción, ortografía y puntuación, sin que ello comprometa el contenido, el análisis ni el rigor científico de las investigaciones presentadas.

El contenido de esta publicación es responsabilidad exclusiva de los autores y la FCF-UABJB y no refleja necesariamente la opinión del Gobierno de Cataluña o la Generalitat Valenciana.

Pardo Molina, G., A. Zonta Fronza y V.A. Vos (Eds). (2026). Ciencias de Bosques Amazónicos, 1. FCF-UABJB, Riberalta, Beni, Bolivia.



