



Revista

FORESTAL TROPICAL

Universidad Autónoma Gabriel René Moreno
Volumen 5 (1), 2026



Revista Forestal Tropical

Volumen 5 (1)

ISSN: 2789-0945

Comité editorial

- Edgar Ponce, Ph. D. (Editor en Jefe)
- Bonifacio Mostacedo, Ph. D.
- Eduardo Antonio Sandoval, Ph. D.
- Lincoln Quevedo, Ph. D.
- Daniel Villarroel, Ph. D.
- Juan Carlos Montero, Ph. D.

Junio, 2026

Revista Forestal Tropical

Universidad Autónoma Gabriel René Moreno

Carrera de Ingeniería Forestal

Km 8 1/2 Carretera al Norte (El Vallecito)

Email: rtf@uagrm.edu.bo

Página web: <https://ojs.uagrm.edu.bo/forestal-tropical>

Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

Agradecimientos

La Revista expresa su profundo agradecimiento a los revisores de este número: Daniel Larrea, Moisés Mendoza, Marisol Toledo y Bonifacio Mostacedo.

CONTENIDO

Editorial

- 1** La importancia de conservar germoplasma forestal
(*Edwin Magariños*)

Artículos científicos

- 3** El otro valor del bosque: estudios de caso de algunos productos no maderables como medios de vida de comunidades indígenas en Chiquitos y Bajo Paraguá, Bolivia (*Eduardo Antonio Sandoval*)
- 31** Estimación de la biomasa aérea con el paquete BIOMASS de R: Un estudio de caso en el Bosque Experimental Elías Meneses, Santa Cruz, Bolivia
(*Edgar Ponce*)
- 52** Fenología del aguái (*Chrysophyllum gonocarpum*) en el bosque Seco Chiquitano del Jardín Botánico Municipal de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia (*Betty Flores Llampá y Marilyn Castillo Alvares*)

Editorial

La importancia de conservar germoplasma forestal

Edwin Magariños

Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz-Bolivia. edwinmagarinos@uagrm.edu.bo

Cuando se habla de pérdida de bosques, generalmente pensamos en incendios forestales, áreas deforestadas o paisajes degradados a consecuencia de actividades humanas y efectos naturales. Estos son impactos visibles que son una preocupación permanente y que además se pueden calcular en miles de hectáreas afectadas. Pero, por otro lado, también existe una pérdida silenciosa que ocurre en los bosques y que puede ser más difícil revertirla - la erosión de la diversidad genética.

El término germoplasma forestal, puede resultar ajeno a nuestro conocimiento, pero básicamente nos estamos refiriendo a las semillas de los árboles presentes en nuestros bosques. La información de herencia que lleva el germoplasma, permite a las especies forestales adaptarse, evolucionar y sobrevivir frente a condiciones cambiantes, así como la capacidad de resistir a sequías, plagas y enfermedades, adaptarse a temperaturas extremas o recuperarse a disturbios naturales. En otras palabras, el germoplasma forestal representa el alto potencial ecológico que contribuye directamente a la sostenibilidad de nuestros bosques. Es muy importante que este concepto adquiera mayor conocimiento y aplicación, principalmente en el contexto del cambio climático, la fragmentación de ecosistemas y la permanente presión sobre los recursos forestales.

Los últimos 20 años, las instituciones públicas y privadas, han ejecutado actividades significativas en relación a la conservación de los recursos genéticos forestales. Por ejemplo, se han implementado bancos de semillas *ex situ*, huertos semilleros, colecciones clonales, ensayos de procedencias - progenies y programas de mejoramiento forestal, entre otros, los cuales contribuyen a conservar la diversidad biológica - ecológica de las especies.

A pesar de los avances, aún es preocupante que muchas especies forestales tropicales no están en las colecciones de germoplasma, ya sea *in situ* y *ex situ*. En otros casos, aunque varias especies están en los bancos de semillas, la diversidad genética almacenada no refleja la riqueza de las poblaciones naturales. A todo esto, se suma que algunas especies tienen semillas recalcitrantes que dificultan su almacenamiento a largo plazo, lo que representa un desafío técnico aún no resuelto.

Frente a esta realidad, la experiencia técnica-científica acumulada, nos muestra que aún no tenemos suficientes estrategias de conservación de germoplasma. La conservación tanto *in situ* como *ex situ* deben aplicarse como estrategias complementarias. Por su parte, los bancos de semillas constituyen una valiosa herramienta de respaldo de conservación frente a los incendios forestales, eventos climáticos, acciones antrópicas, plagas - enfermedades o cualquier otra amenaza capaz de afectar en el corto plazo a las poblaciones forestales.

Entonces, debemos entender que "conservar no solo es almacenar". La conservación genética tiene sentido cuando logramos la restauración de ecosistemas, plantaciones forestales, mejoramiento genético y fortalecimiento de los medios de vida de las comunidades dependientes de los bosques. El germoplasma forestal bien conservado, debe convertirse en una herramienta para el desarrollo sostenible y no ser un recurso aislado dentro de cámaras de almacenamiento o colecciones especializadas.

Es así que nos corresponde fortalecer la articulación interinstitucional entre universidades, centros de investigación, bancos de germoplasma, jardines botánicos, instituciones forestales y cooperación, que forman parte de la responsabilidad en la gestión, manejo y control de los recursos naturales y principalmente del germoplasma forestal. También es importante promover sistemas y mecanismos de cooperación local y regional, asegurando que se mantengan y amplíen los esfuerzos de conservación genética forestal a largo plazo.

Este número de la Revista Forestal Tropical, busca contribuir a esta reflexión. Más allá de los avances científicos y tecnológicos alcanzados en los últimos años, la conservación del germoplasma forestal no debe considerarse una actividad secundaria dentro de la gestión forestal, sino una inversión estratégica para la conservación de los ecosistemas y el bienestar de las generaciones futuras. Cada semilla conservada representa una oportunidad para restaurar un bosque, fortalecer una población o enfrentar los desafíos ambientales.

ARTICULO CIENTÍFICO

El otro valor del bosque: estudios de caso de algunos productos no maderables como medios de vida de comunidades indígenas en Chiquitos y Bajo Paraguá, Bolivia

Eduardo Sandoval Hurtado

Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia.
eduardosandoval@uagrm.edu.bo.

RESUMEN

Ante un escenario de deforestación sin precedentes en las tierras bajas de Bolivia, demostrar el valor del bosque a partir de los bienes y servicios ambientales que estos generan, en particular el potencial de los productos forestales no maderables (PFNM), es de gran importancia para aportar al debate sobre la conservación de los bosques. Con este propósito, se realizó un estudio de caso para evaluar las experiencias en recolección y procesamiento de productos forestales no maderables (PFNM) de ocho comunidades indígenas en la región chiquitana y el Bajo Paraguá, en Santa Cruz, Bolivia. Se revisó la literatura existente para identificar los PFNM aprovechados y luego se aplicó una visita y encuesta a cada una de las comunidades seleccionadas para el estudio. También se aplicaron criterios de discriminación para clasificar a los PFNM según su potencial para avanzar en la producción a mayor escala. Los resultados mostraron que 12 especies entre árboles, palmeras y hierbas, están siendo aprovechadas comercialmente por las comunidades con el apoyo de organizaciones no gubernamentales. Los PFNM han sido objeto de agregación de valor en una primera y segunda transformación, pero solo asaí y almendra chiquitana han completado la cadena de valor hasta lograr productos acabados y listos para consumo final, el resto está en una escala artesanal con volúmenes comerciales ínfimos que se agotan rápidamente. Las especies potenciales a ser promovidas a escala comercial e industrial son asaí (*Euterpe precatoria*), almendra chiquitana (*Dipterix alata*) y cusi (*Attalea speciosa*). Estas tres especies son abundantes, cuentan con fuerte apoyo institucional, tienen alta demanda del mercado y generan los mejores beneficios para las familias recolectoras. Para cinco PFNM, los beneficios para el recolector superan hasta en un 100 % el salario de un jornal de trabajo rural; el resto está por debajo. Se encontró un apoyo institucional de hasta diez organizaciones en un mismo PFNM y una debilidad de apoyo en otros PFNM emergentes. Se concluye que 12 especies están siendo aprovechadas comercialmente por las comunidades, pero solo asaí y almendra chiquitana han completado la cadena de valor hasta lograr productos acabados y listos para el consumo final, mientras que el resto está en camino. Del mismo modo, en cinco especies los beneficios para las familias son mayores al costo de oportunidad del tiempo utilizado en su recolección.

Palabras clave: aceite, asaí, plantas medicinales, productos forestales no maderables, pulpa, recolección

The alternative value of the forest: A case study of certain non-timber products as livelihoods for indigenous communities in Chiquitos and Bajo Paraguá, Bolivia

ABSTRACT

In light of an extraordinary deforestation crisis in Bolivia's lowlands, it is crucial to illustrate the significance of forests through the goods and environmental services they provide, particularly the potential of non-timber forest products (NTFPs). This study aimed to assess the experiences related to the collection and processing of NTFPs among nine indigenous communities located in the Chiquitania region and Bajo Paraguá in Santa Cruz, Bolivia. A comprehensive review of existing literature was conducted to identify the NTFPs in use, followed by visits and surveys administered to each selected community. Discrimination criteria were employed to categorize the NTFPs based on their potential for larger-scale production. The findings revealed that twelve species, including trees, palms, and herbs, are being commercially harvested by these communities with assistance from non-governmental organizations. While NTFPs have experienced value addition through both primary and secondary processing, only açai and almendra chiquitana almond have completed the value chain, resulting in finished products ready for consumer use; the remaining products are produced at a craft scale with minimal volumes that are quickly depleted. The species identified as having the potential for promotion on an industrial commercial scale include açai (*Euterpe precatoria*), Almendra Chiquitana (*Dipterix alata*), and cusi (*Attalea speciosa*). These three species are characterized by their adequate abundance, robust institutional backing, significant market demand, and the capacity to provide substantial benefits to collecting families. For five NTFPs, the advantages for collectors surpass the daily wage of rural labor by as much as 100%, whereas the others fall below this threshold. Institutional support from as many as ten organizations was identified for the same NTFP, while a lack of support was noted for other emerging NTFPs. It is concluded that 12 species are currently being commercially utilized by the communities; however, only açai and Chiquitana almond have fully developed their value chains to produce finished goods that are ready for final consumption, while the remaining species are still progressing towards this goal. Additionally, for five of these species, the advantages gained by the families surpass the opportunity cost associated with the time invested in their collection.

Keywords: acai, fruit gathering, medicinal plants, non-timber forest products, oil, pulp

INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales brindan bienes y servicios ambientales que son aprovechados por los agentes económicos, desde las comunidades rurales, hasta consorcios industriales, siendo la madera el bien con mayor impacto económico. Para las comunidades rurales de las tierras bajas de Bolivia, los productos forestales no maderables (PFNM) contribuyen a su seguridad alimentaria, medicina natural, construcción de sus viviendas y en algunos casos, generan ingresos al ser comercializados, como la castaña (*Bertolletia excelsa*) (Larrea-Alcazar 2021) y el asaí (*Euterpe precatoria*) que se comercializan en el mercado internacional. Otros productos como la almendra chiquitana (*Dipteryx alata*), el copaibo (*Copaifera langsdorffii*), el majo (*Oenocarpus bataua*), entre otros, son tradicionalmente utilizados por las poblaciones nativas como parte de sus medios de vida. En los últimos 20 años, los PFNM han despertado el interés de organizaciones de desarrollo rural, que han promovido procesos productivos en un intento de agregar valor al bosque, que normalmente es visto como un obstáculo para el avance de la frontera agrícola.

En Bolivia, la frontera agrícola en las tierras bajas del este y en el norte amazónico avanza inexorablemente, alcanzando pérdidas por deforestación de más de trescientas mil hectáreas por año, para la producción de cultivos industriales como la soya, el sésamo, el girasol, entre otros. Otro problema, aún más grave, son los incendios forestales de grandes dimensiones, que desde 2019 no dan tregua a los bosques, arrasando millones de hectáreas cada año. Ante este escenario, demostrar el valor del bosque a partir de los bienes y servicios ambientales que estos generan, específicamente del potencial que representan los PFNM disponibles en los bosques, es de mucha importancia. Un análisis del valor económico de los PFNM, es un buen insumo para aportar al debate de la importancia de mantener los bosques en pie. Villavicencio et al. (2024), muestran la importancia de realizar estudios de valoración de los PFNM en países donde estos son aprovechados.

Para esta investigación, se plantearon las siguientes preguntas: a) ¿Cuáles son los PFNM que se están aprovechando actualmente en los bosques tropicales de Bolivia?, b) ¿Para cuáles de estos productos se han desarrollado cadenas de valor hasta llegar al mercado?, c) ¿Cuáles de los PFNM tienen potencialidad de convertirse en bienes comercialmente viables?, d) ¿Cuáles son los beneficios económicos del aprovechamiento de PFNM para las familias recolectoras?

Hasta la fecha, el PFNM más importante en cuanto a volumen y valor comercial es la castaña (*Bertolletia excelsa*) y, recientemente, está cobrando importancia el asaí (*Euterpe precatoria*); no obstante, los bosques amazónicos poseen abundancia de otras especies como el majo (*Oenocarpus bataua*), cuya pulpa tiene gran potencial para entrar al mercado local. En el mismo sentido, los bosques secos chiquitanos, poseen gran abundancia de almendra chiquitana (*Dipteryx alata*) cuya semilla tiene gran valor nutritivo aportando no sólo a la seguridad alimentaria local sino también al incremento de ingresos económicos de poblaciones rurales (Coímbra 2016a).

El aprovechamiento de PFNM es una práctica milenaria y tradicional de los pueblos rurales y, sobre todo, de las comunidades indígenas. Ellos ven el bosque y los ecosistemas como su gran almacén de donde se proveen de bienes ambientales que luego son usados como comestibles, medicina, cosméticos, tejidos, elementos de construcción de viviendas, partes de herramientas, etc.

En este documento, se realizó una revisión del estado actual del conocimiento sobre los productos forestales no maderables (PFNM) con mayor potencial, con el fin de ofrecer recomendaciones a las organizaciones de cooperación internacional para que dirijan sus apoyos hacia la promoción de su industrialización y comercialización a gran escala. En este sentido, el objetivo de este trabajo ha sido evaluar el potencial del uso sostenible y comercial de los PFNM, haciendo especial hincapié en ocho comunidades de la región chiquitana y del Bajo Paraguá, en el departamento de Santa Cruz, Bolivia.

METODOS

El método aplicado en este estudio es un diseño no experimental, basado en el formato de estudio de casos, y ha consistido en tres etapas: revisión de literatura, encuesta a actores clave, y priorización de PFNM.

- a) En la revisión de la literatura se buscó información sobre PFNM que son extraídas actualmente por las comunidades y la sociedad civil. La búsqueda se realizó a nivel de todo el país, para luego concentrarse en las experiencias con apoyo de la cooperación, que se vienen desarrollando en el departamento de Santa Cruz, particularmente en la zona de Chiquitos y del Bajo Paraguá.
- b) La encuesta a actores clave, fue para recabar información primaria, clasificada en tres grupos: a) Organizaciones de cooperación, b) Asociaciones comunitarias que trabajan con PFNM y, c) Empresas transformadoras de PFNM. En este sentido, personas clave de las siguientes organizaciones fueron encuestadas: Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN), Fundación para la conservación del bosque chiquitano (FCBC), Cooperación Alemana (GIZ - Probosque II), Apoyo para el campesino del oriente boliviano (APCOB), Fundación Helvetas Bolivia. Igualmente, líderes y comunarios clave de las siguientes comunidades fueron entrevistados: Municipio de San José: Comunidades indígenas Qituquiña, San Ceferino e Ipiás, Municipio de Roboré: Comunidad indígena Yororobá, Municipio de Concepción: Comunidad indígena Río Blanco y Palmarito de la Frontera, Municipio de Lomerío: Comunidad de Todos Santos, y Municipio de San Ignacio de Velasco: Comunidad Indígena Porvenir (Bajo Paraguá).
- c) Luego se hizo la priorización de PFNM con potencial para llegar al mercado. La priorización se hizo con base en criterios de valoración que se encuentran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Criterios para la valoración de potencialidad de los productos no maderables

N°	Criterios	Valoración (%)
C1	Existe información sobre abundancia	10
C2	Existen organizaciones apoyando el desarrollo de los PFNM	20
C3	Existe evidencias de oferta disponible	10
C4	Existe demanda actual en el mercado nacional	10
C5	Existe demanda actual en el mercado internacional	10
C6	Existen canales de comercialización	10
C7	Existen la participación de la empresa privada	10
C8	Existen beneficios para las familias recolectoras	20
	Total %	100

RESULTADOS

PFNM actualmente aprovechadas en las Tierras Bajas de Bolivia

Se logró consultar un total de 27 documentos, entre artículos científicos, capítulos de libros, tesis de grado y reportes técnicos que mencionan PFNM aprovechados en Bolivia.

En el norte amazónico (Pando, Beni, norte de La Paz), los PFNM que se extraen de los bosques para uso propio y/o se comercializan en el mercado local son: castaña (*Bertholletia excelsa*), asaí (*Euterpe precatoria*), copuazú (*Theobroma grandiflorum*), majo (*Oenocarpus bataua*), motacú (*Attalea phalerata*), jatata (*Geonoma deversa*) y sangre de grada (*Croton draconoides*). En el Territorio Indígena y Parque Nacional Isiboro-Sécure (TIPNIS) (trópico de Cochabamba) se utilizan extracto de semillas de Almendrillo (*Dipteryx odorata*), aceite de motacú (*Attalea phalerata*), uña de gato (*Uncaria tomentosa*), frutas de azucaró (*Spondias mombin*), vainilla (*Vanilla* spp.), cacao silvestre (*Theobroma cacao*), jatoba: mate de la corteza del paquió (*Hymenaea courbaril*), sangre de drago (*Croton lechleri*, *Croton* spp.), palma marfil (*Phytelephas macrocarpa*), jipijapa (*Carludovica palmata*) y aceite de copaiba (*Copaifera* spp.). Otros productos aprovechados son la fibra de garabatá (*Bromelia hieronymi*), productos artesanales de chonta loro (*Aiphanes truncata*), pulpa de chima (*Bactris gasipaes*) y chonta (*Astrocaryum murumuru*).

En el departamento de Santa Cruz, en el caso de los PFNM de la región chiquitana, de acuerdo a las fuentes primarias consultadas, se reportan las siguientes especies y productos: semillas de almendra chiquitana (*Dipteryx alata*), aceite de pesoé (*Pterodon emarginatus*), copaibo (*Copaifera langsdorsffii*), totaí (*Acrocomia aculeata*), cusí (*Attalea speciosa*), palma real (*Mauritia flexuosa*) y motacú (*Attalea phalerata*), aceites medicinales de alcanfor (*Hyptis carpinifolia*), paja carona (*Elyonurus muticus*), cuchi (*Astronium urundeuva*), ambaibilla (*Piper tuberculatum*) y matricaria (*Hyptis mutabilis*), pulpa de mangaba (*Hancornia speciosa*) y piquí (*Caryocar brasiliense*). Todos estos productos tienen un enorme valor ecológico y social para los pobladores, pues dependen de ellos para su subsistencia y desarrollo humano. La cooperación extranjera tiene un papel importante en seguir apoyando el uso, la transferencia del conocimiento local y la conservación del acervo etnobotánico que poseen los pueblos rurales y los pueblos indígenas.

Todos estos productos tienen un enorme valor ecológico y social para los pobladores, pues dependen de ellos para su subsistencia y desarrollo humano. La cooperación internacional tiene un papel importante en seguir apoyando el uso, la transferencia del conocimiento local y la conservación del acervo etnobotánico que poseen los pueblos rurales y los pueblos indígenas.

Cadenas de valor de los PFNM en la Chiquitania y Bajo Paraguá

La incursión de las comunidades en el procesamiento comercial de los PFNM, está directamente relacionada con el nivel de apoyo de instituciones de desarrollo presentes en las tierras bajas de Bolivia. En la zona de estudio, se encontró el trabajo en PFNM de las siguientes organizaciones no gubernamentales: Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN), Fundación para la Conservación del bosque Chiquitano (FCBC), Cooperación Alemana GIZ proyecto Probosque, Apoyo para el Campesino del Oriente Boliviano (APCOB), PRODECO, Visión Mundial, WWF, CEPAC, Gobierno Municipal de San José, Fundación Natura, CIPCA, FAO y otras, las cuales han venido colaborando en los últimos 20 años en temas de administración financiera, comercialización, equipamiento, establecimiento de viveros y reproducción de plantas, construcción de infraestructura, capacitación en buenas prácticas de cosecha, procesamiento industrial y vinculación con la empresa privada. Las ONGs que arrancaron este proceso

Cuadro 2. Productos forestales no maderables que se aprovechan en Bolivia

Especies	Parte utilizada	Producto	Mercado	Fuentes
Alcanfor (<i>Hyptis carpinifolia</i>)	Hojas	Aceite	Nal.	Toledo (1996)
Almendra chiquitana (<i>Dipteryx alata</i>)	Semilla	Nueces tostadas	Nal./ Inter.	Angulo <i>et al.</i> (2021), Coímbra 2016a, Villarroel <i>et al.</i> (2015)
Almendrillo (<i>Dipteryx odorata</i>)			Nal.	Reitzenstein (2003)
Ambaibilla (<i>Piper tuberculatum</i>)	Hojas	Aceite	Nal.	Palacios <i>et al.</i> (2009)
Asaí (<i>Euterpe precatoria</i>)	Fruto	Pulpa	Nal.	Peralta <i>et al.</i> (2009)
Azucaró (<i>Spondias mombin</i>)	Fruto	Fruto	Uso propio	Reitzenstein (2003)
Cacao silvestre (<i>Theobroma cacao</i>)	Semilla	Pasta de cacao	Nal.	Reitzenstein (2003), Angulo <i>et al.</i> (2021),
Castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>)	Semilla	Nueces	Inter.	Peralta <i>et al.</i> (2009)
Chima (<i>Bactris gasipaes</i>)				
Chonta loro (<i>Aiphanes truncata</i>)				Angulo <i>et al.</i> (2021), Aguilar (2008)
Copaibo (<i>Copaifera langsdorsffii</i>)	Resina	Aceite de copaibo	Nal.	Reitzenstein (2003), Angulo <i>et al.</i> (2021),
Copuzú (<i>Teobroma grandiflorum</i>)	Fruto	Pulpa	Nal.	Peralta <i>et al.</i> (2009)
Cuchi (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	Hojas	Aceite	Nal.	Villegas y Leaño (2007)
Cusi (<i>Attalea speciosa</i>)	Semilla	Aceite	Nal.	Angulo <i>et al.</i> (2021)
Garabatá (<i>Bromelia hieronymi</i>)	Hojas/tallo	Bolsos y carteras	Nal.	Angulo <i>et al.</i> (2021),
Jatata (<i>Geonoma deversa</i>)	Hojas	Paños de hojas	Nal.	Peralta <i>et al.</i> (2009), Moraes y Sarmiento (1999), Angulo <i>et al.</i> (2021)
Jipijapa (<i>Carludovica palmata</i>)	Hoja	Artesanías	Nal.	Reitzenstein (2003)
Majo (<i>Oenocarpus bataua</i>)	fruto	Leche de majo	Nal.	Peralta <i>et al.</i> (2009), Angulo <i>et al.</i> (2021),
Mangaba (<i>Hancornia speciosa</i>)	Fruto	Pulpa	Nal.	Coímbra (2016b)
Matricaria (<i>Hyptis mutabilis</i>)	Hojas	Aceite	Nal.	Toledo (1996)
Motacú (<i>Attalea phalerata</i>)	Semilla	Aceite	Nal.	Peralta <i>et al.</i> (2009), Reitzenstein (2003), Aguilar (2008)
Paja carona (<i>Elyonurus muticus</i>)	Hojas	Aceite	Nal.	Bagliani <i>et al.</i> (2025)
Palma marfil (<i>Phytelephas macrocarpa</i>)				Reitzenstein (2003)
Paquió (<i>Hymenaea courbaril</i>)	Corteza	Mate	Uso propio	Reitzenstein (2003)
Pesoé (<i>Pterodon emarginatus</i>)	Semilla	Aceite	Nal.	Coímbra (2016b)
Piquí (<i>Caryocar brasiliense</i>)	Fruto	Pulpa	Nal.	Coímbra (2016b)
Sangre de grada (<i>Croton draconoides</i> y <i>Croton lechleri</i>)	Resina	Aceite	Nal.	Peralta <i>et al.</i> (2009), Reitzenstein (2003)
Totaí (<i>Acrocomia aculeata</i>)	Fruto	Pulpa	Nal.	Ramírez (2021)
Uña de gato (<i>Uncaria tomentosa</i>)	Tallo	Partes de tallo	Nal.	Reitzenstein (2003)
Vainilla (<i>Vanilla</i> spp.)				Reitzenstein (2003)

fueron la FAN y la FCBC hace más de 20 años, y las otras se han ido sumando paulatinamente. Queda claro que las ONGs apoyan mediante proyectos cuya vida es de pocos años, de manera que en un tiempo las comunidades cuentan con el apoyo de unas y en otro tiempo cuentan con el apoyo de otras. De acuerdo con Larrea-Alcazar *et al.* (2021), las cadenas de valor para los PFNM están determinadas por la demanda del mercado y por el nivel de generación de valor agregado en alguno o todos los eslabones de la cadena, impulsando la diferenciación e innovación, y se basan en un enfoque de mercado.

A continuación, se presenta la información sobre el desarrollo de cadenas de valor para cada una de las especies reportadas en el área de estudio, enriquecida con los datos de primera mano de las mujeres y hombres líderes, colectados por el autor a través de las encuestas en las ocho comunidades visitadas durante este estudio.

1. Asaí (*Euterpe precatoria*)

El asaí, es una palmera que habita los bosques amazónicos de Bolivia, habita en los departamentos de Pando, Beni, Santa Cruz y el norte de La Paz. En las décadas de los años 70, 80 y 90, esta especie sufrió una fuerte explotación por la extracción del palmito (primordio apical), provocando la disminución de la abundancia, ya que cortaban la planta (esta palma no tiene capacidad de rebrote). Afortunadamente, a partir de los años 2000 en adelante, surgieron iniciativas para aprovechar la pulpa del fruto, y desde entonces la cooperación internacional ha venido apoyando fuertemente iniciativas comunitarias para el uso sostenible del asaí. Uno de estos casos es el de la comunidad indígena Porvenir, en la región del Bajo Paraguá, en Santa Cruz, que empezó en el año 2010 de la mano de la Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN) hasta convertirse en la actualidad en una industria comunitaria con certificación FSC con acceso al mercado internacional. La pulpa del asaí es un producto con amplio mercado internacional y mercado nacional en crecimiento. En el departamento de Pando el asaí se aprovecha comercialmente en cinco municipios: Filadelfia, Porvenir, Puerto Rico, Santa Rosa del Abuná y Cobija (Avila, 2023). Hoy, existen grupos organizados de comunidades de Pando, norte de La Paz y norte del Beni, que cosechan asaí y entregan a industrias despulpadoras instaladas en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra.

Cadena de valor.- La cadena de valor del asaí aquí descrita, se basa en la experiencia de la Asociación de Productores del Bosque de la Comunidad Indígena Porvenir, parte de la Central Indígena del Bajo Paraguá (CIBAPA) (Figura 1).

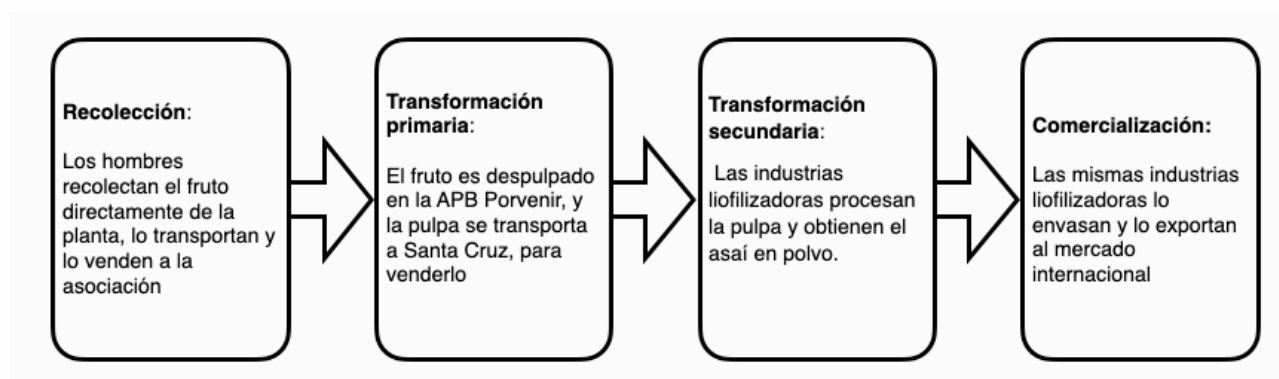


Figura 1. Cadena de valor de la industria de la pulpa de asaí en la Comunidad Porvenir

Abundancia.- La abundancia natural del asaí es variable, dependiendo de la región, por ejemplo, en el norte de La Paz, se han reportado abundancias de 175 palmas/ha (comunidad Carmen Pecha) (Sandoval, 2015) y 75 palmas/ha (Comunidad Bella Altura) (Quenevo *et al.* 2007), mientras que, en Pando, encontraron abundancia de 23 palmas/ha (Peralta *et al.* 2009). Por lo visto, la abundancia del asaí en los bosques naturales es tan variable que depende directamente del tipo de suelo y la humedad. La mejor forma de determinar la abundancia en un determinado bosque, es realizando un inventario forestal. En la zona Bajo Paragúa, en la comunidad Porvenir, la abundancia es de 52 plantas/ha (Saucedo, 2014).

Nivel de procesamiento.- La Norma Boliviana NB 36009:2021 establece que la pulpa de asaí debe ser extraída en un tiempo no mayor a 72 horas después de cosechado el fruto (Ávila 2023). El transporte del fruto es generalmente en motocicletas y el costo está incluido en el precio de la fruta que es entregada a la despulpadora en la Comunidad Porvenir a un promedio de Bs 2,3 por kilo de fruta (Ávila 2023). La primera transformación es la extracción de la pulpa (mesocarpo) en máquinas despulpadoras, luego es almacenada en freezers horizontales. El transporte de la pulpa hacia las industrias en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, se realiza en camiones frigoríficos con capacidad entre 10 a 15 toneladas (Ávila 2023). La segunda transformación puede generar dos tipos de productos: a) productos comestibles a base de asaí, y b) asaí liofilizado. En el caso de los comestibles, la pulpa es procesada en helados y jugos, mientras que en el caso del asaí liofilizado, la pulpa pasa por el proceso de deshidratación a través de estufas industriales, cuyo producto final es asaí en polvo listo para la exportación en el mercado internacional (commodity). En Bolivia operan tres empresas liofilizadoras: NATUR S.R.L., GCP Import Export, EBA (empresa del Estado), con dos plantas, una en La Paz y la otra en el Trópico de Cochabamba (Ávila 2023), y la empresa Biofood.

Oferta y capacidad industrial instalada.- La capacidad industrial para el asaí debe evaluarse en las dos fases de procesamiento, la primera, la capacidad instalada para la producción de pulpa, y la segunda, la capacidad instalada para la liofilización de asaí. En el caso de la oferta actual para la producción de pulpa, Ávila (2023) trató de dar ciertas luces, pero sin precisar un dato; sin embargo, indica que las organizaciones comunitarias productoras de asaí de Pando, asociadas a la Federación Departamental de Asaí y Frutos Amazónicos (FEDAFAP), lograron producir 114 toneladas de pulpa en el año 2022. Según datos propios de la Comunidad Porvenir, tiene una capacidad industrial de 200 toneladas/año, pero está produciendo solo al 50 % de su capacidad. Puede afirmarse que la oferta de pulpa de asaí está alrededor de 214 toneladas/año y se tiene una capacidad industrial instalada cercana a las 500 toneladas/año. En el caso de la liofilización de la pulpa de asaí, la empresa Natur SRL tiene una capacidad instalada para procesar 250 toneladas de pulpa/año, de las cuales se obtienen 40 toneladas de asaí liofilizado. Ávila (2023) da cuenta de que la empresa EBA tendría la capacidad de procesar 500 toneladas por año (de las cuales se obtendrían 80 toneladas de asaí liofilizado), sin contar con la capacidad instalada de Biofood, por lo tanto, existe una capacidad instalada para producir 120 toneladas/año de asaí liofilizado.

Demanda del mercado.- En Bolivia, el mercado nacional aún está en desarrollo. Las capacidades instaladas de las empresas aseguran la transformación de cantidades grandes, pero el mercado nacional no puede absorber toda la producción (Ávila 2023). La cantidad estimada y con demanda creciente, ha sido de 400 tn para el año 2021 (Ávila 2023). El asaí liofilizado de Bolivia es exportado en un 97 % por NATUR SRL, la primera liofilizadora ubicada en el Parque Industrial de Santa Cruz de la Sierra. Otra empresa es Biofood (ubicada también en Santa Cruz), que ha comenzado a exportar recientemente. Los países de destino han sido Reino Unido, Países Bajos, Colombia y Estados Unidos (Ávila 2023).

2. Copaibo (*Copaifera langsdorffii*)

El copaibo es un árbol de la familia Fabaceae que se distribuye en sitios húmedos de la Chiquitanía. Mide hasta 25 metros de altura, con una corteza externa grisácea. Las flores nuevas son blancas y crema al envejecer; son hermafroditas (masculinas y femeninas). Su fruto es una vaina leñosa redondeada de dos a tres centímetros con una semilla única, negra, cubierta parcialmente por una carnosidad anaranjada. Por

la médula del tronco fluye una oleorresina llamada "aceite", sustancia con amplias propiedades medicinales como desinflamante, analgésico y cicatrizante. Florece entre marzo y julio. Fructifica desde noviembre a diciembre. Las semillas son dispersadas por aves y mamíferos que consumen el arilo carnoso del fruto (Coímbra *et al.* 2016).

Cadena de valor.- La cadena de valor aquí descrita, se basa en la experiencia de la Asociación de Medicina Natural de la comunidad Yororobá (municipio Roboré) y la Asociación de mujeres emprendedoras las Pioneras de la comunidad Río Blanco (municipio Concepción) (Figura 2).

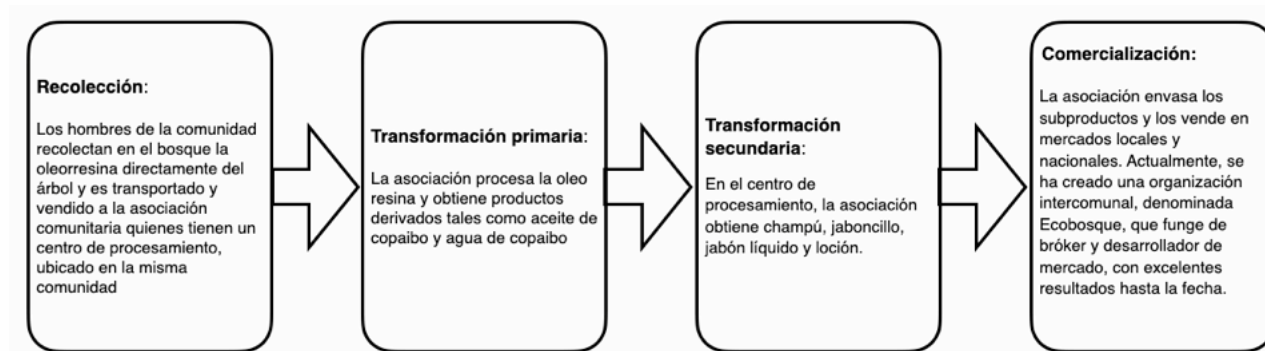


Figura 2. Cadena de valor de la industria del aceite de copaibo

Abundancia.- Díaz-Villarroel y Villarroel (2020) realizaron un estudio en dos bosques comunitarios en el municipio de Roboré donde encontraron abundancias entre 1,9 y 2,4 arb/ha. Los comunarios reportan que el copaibo se encuentra distribuido en manchas en sitios húmedos, mayormente en laderas que siguen cursos de agua.

Nivel de procesamiento.- El proceso de extracción de la oleorresina comienza con la marcación de los árboles en el bosque, estableciendo así un rodal de cosecha permanente. En estos árboles, a la altura de 1 m del suelo, se perfora con un taladro hasta llegar a la médula, luego se inserta un tubo de 1 pulgada de diámetro y 30 cm de largo y se coloca un tapón en el extremo externo. Se deja que la oleorresina drene al tubo y en 30 días se retorna al bosque para recoger la oleorresina en botellas. En el centro de procesamiento de la comunidad, se procede a separar el agua del aceite y a envasarlo por separado. En la comunidad Río Blanco, la asociación tiene un centro de procesamiento, donde tiene la capacidad de elaborar productos acabados a base de oleorresina de copaibo, mientras que en Yororobá, solo llegan hasta la obtención y separación de agua de copaibo y aceite de copaibo.

Oferta y capacidad industrial instalada.- De acuerdo con las entrevistas, por ejemplo, en la Comunidad de Yororobá, el rodal está compuesto de 80 árboles y en la Comunidad Río Blanco tenían un rodal de 300 árboles, de los cuales quedan 40 ya que el resto murió por el incendio forestal en 2020. En la Comunidad El Rancho (municipio de San Javier) hay 237 árboles en 60 hectáreas (WWF 2025). La comunidad Yororobá, viene produciendo alrededor de 1 litro de aceite y 4 litros de agua al año. En Río Blanco se obtenía entre 18 y 24 l/año (cuando se cosechaban los 300 árboles). De acuerdo con estos datos, en general, un árbol puede producir alrededor de 0,36 litros/año. La oferta, por lo tanto, está directamente relacionada con la cantidad de árboles marcados para cosecha, de manera que mientras más grande sea el rodal, mayor será la oferta de la oleorresina. En la chiquitanía, actualmente las comunidades que vienen aprovechando el copaibo son: Santa Mónica y Río Blanco en el municipio de Concepción, San Rafaelito en el municipio de San Ignacio, Yororobá y Quitunuquiña en el municipio de Roboré y El Rancho en el municipio de San Javier. Delgado *et al.* (2018), indican que, en 2018, en total se produjeron 191 litros, mientras que la demanda nacional era de al menos 299 l/año.

Demanda del mercado.- Los principales mercados para el aceite de copaibo son Europa y Estados Unidos. En Bolivia, de acuerdo con un estudio del IBCE (2007), la demanda chilena de aceite de copaibo por la industria farmacéutica y cosmetológica (Laboratorios Chile) era de 6 mil litros anuales; no obstante, actualmente la extracción de aceite de copaibo en la Chiquitania apenas cubre las demandas locales y regionales, existiendo una demanda nacional insatisfecha de 1262 l/año (Delgado *et al.* 2018; IBCE 2007).

3. Almendra chiquitana (*Dipteryx alata*)

La almendra chiquitana (*Dipteryx alata* Vogel) es un árbol de la familia Fabaceae, con altura media de 7 m, pudiendo alcanzar más de 15 m en terrenos fértiles o por competencia con otros árboles. La copa tiene forma redondeada o de sombrilla. El tronco rara vez es recto y su corteza es de color gris claro, con placas descamantes. La almendra chiquitana es un árbol característico e indicador del Cerrado Chiquitano, cuyos tipos de vegetación son localmente llamados "campos", "arboledas" o "pampa-monte". También se encuentra en las serranías y en el Abayoy, extensa formación vegetal arbustiva ubicada entre los municipios de San José de Chiquitos y Roboré (Coímbra 2016b). Villarroel *et al.* (2015) dan cuenta de que la almendra chiquitana tiene alta probabilidad de ser encontrada en la zona central de la Chiquitania y en la zona de Buena Vista y Terebinto en el departamento de Santa Cruz. Vennetier *et al.* (2012) reportan que antes de que llegara a la chiquitania la Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano (FCBC), la almendra chiquitana no tenía un valor económico, tampoco se conocía su valor nutricional excepcional ni su potencial en sistemas agroforestales (SAF) y silvopastorales (SSP). Según la encuesta realizada, el 46% de las familias de las comunidades productoras tenían por lo menos un árbol de almendra en su patio, que dejaban por tradición, para sombra. En las zonas agrícolas, las almendras eran eliminadas como planta indeseable y pocas las dejaban por ser grandes.

Cadena de valor.- La cadena de valor aquí descrita se basa en la experiencia de la Asociación Integral de las Mujeres de Palmarito, Asociación Medicinal Natural de Yororobá y la Asociación Productos del Bosque San Ceferino, ubicadas en el municipios de Concepción, Roboré y San José, respectivamente (Figura 3).

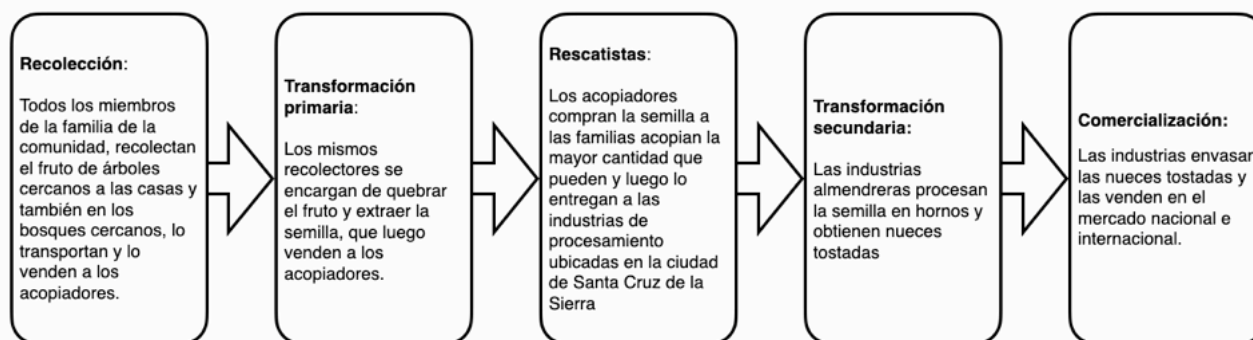


Figura 3. Cadena de valor de la industria de la nuez de almendra chiquitana

Las comunidades, donde se aprovecha la almendra chiquitana, se han organizado en asociaciones comunitarias, conformadas por mujeres y hombres. Varias de estas asociaciones, con ayuda de las organizaciones de cooperación, han construido centros de acopio y poseen máquinas quebradoras y herramientas manuales tales como carretillas, machetes, baldes. El precio del principal producto de la almendra chiquitana, nuez tostada, es un valor creciente, el año 2025 cerró con 120 Bs/kg.

Abundancia.- La abundancia de la almendra chiquitana es muy variable, dependiendo del tipo de suelo, las condiciones climáticas y del tipo de Cerrado. Villarroel *et al.* (2015) indican que se han encontrado abundancias promedio de 49 ind/ha (± 20), pero a nivel de formaciones vegetales como el cerrado

chiquitano de 33 árboles/ha y 45 árboles/ha en sabanas arboladas, mientras que en las formaciones de abayoy puede llegar hasta 193 árboles/ha. Según Coímbra (2016a), la almendra chiquitana se encuentra en los bosques naturales en todos los municipios de la Chiquitania, distribuida en aproximadamente 2,5 millones de hectáreas con vegetación de Cerrado, siendo esta especie una de las bioindicadoras.

Nivel de procesamiento.- En Bolivia, no se encontró investigación sobre la industrialización de productos derivados de la almendra chiquitana, mientras que en Brasil se ha estudiado desde sus componentes químicos, hasta mecanismos industriales de aprovechamiento. El nivel de procesamiento del fruto de la almendra chiquitana ha sido el resultado de prueba y error de organizaciones de desarrollo como MINGA, FCBC, FAN y otras. La almendra chiquitana tiene un procesamiento simple, empezando por la recolección del fruto, y pasando por el quebrado del mismo y la extracción de la semilla. De hecho, la semilla ya puede convertirse en un producto acabado para degustar la nuez en su estado más puro y orgánico. Coímbra (2016a) indica que las semillas se consumen tostadas, pero, además, al moler las semillas se obtiene harina con la cual se elaboran bebidas, tales como el "chocolate" de almendra, o bien se mezcla con yuca para preparar "masaco". Con un molido grueso se mezclan con miel de caña para hacer tablillas. Con las semillas crudas molidas se elabora "chicha" o la deliciosa sopa de almendra. El producto mayormente comercializado es la semilla tostada, más conocida como nuez, la cual llega al mercado nacional de la mano de empresas comercializadoras como Ecomanos, Minga, Silvicultura Chiquitos. Almendra Chiquitana, Cannavalia (Guzmán en preparación). En general, los rendimientos en el quebrado de los frutos para extraer la semilla no sobrepasan 1 a 1,5 kilos de semillas por hora, y en promedio se quebran 600 frutos para obtener 1 kg de semillas (Vennetier *et al.* 2012, Coímbra 2016a).

Oferta y capacidad industrial instalada.- Si bien la almendra chiquitana se distribuye de forma natural por toda la región chiquitana, los recolectores no van a más de 3 a 5 km de distancia de sus viviendas. Igualmente, el rendimiento en semillas de los frutos es bajo (7%) y los precios que pagan los acopiadores son bajos, por lo que la recolección del fruto se restringe a sitios con abundancias altas, con buena accesibilidad y próximos a comunidades. En las comunidades recolectoras, se completa el primer eslabón de la cadena de valor, es decir, existen depósitos (casas) de acopio de la semilla ya extraída del fruto. El procesamiento de tostado, empaque y almacenamiento de producto acabado lo realizan las empresas en sus instalaciones industriales ubicadas en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra. Estas industrias poseen equipos tales como tostadoras industriales de mediana capacidad, así como máquinas para el empaque en pequeños envases destinados al consumidor final. Según Vennetier *et al.* (2012), una planta adulta en una zona limpia puede producir entre 500 y 2000 frutos, es decir, entre 7,5 y 40 kg de nuez tostada por año. Datos actuales de Guzmán (en preparación) indican que, en el año 2023, las cinco empresas procesadoras de almendra compraron un total de 21,7 toneladas de semillas, dato que de alguna manera representa la oferta de semillas de dicho año. Esta sería la oferta actual de este PFNM.

Demanda del mercado.- Si bien no hay un estudio sobre el tamaño de la demanda del mercado nacional para la almendra chiquitana, se sabe que esta es creciente. Las empresas que se dedican al procesamiento y comercialización de este producto, indican que cada año no logran satisfacer la demanda de sus clientes. Un estudio de la GIZ (2018), determinó que los volúmenes de demanda potencial de las tres ciudades (Santa Cruz, La Paz y Cochabamba), alcanzan a 65.676 kilogramos de almendra tostada o sin tostar, entera y/o broken por año. Del total de 21,7 toneladas de semillas procesadas en el año 2023, dos empresas (Silvicultura Chiquitos y Minga) han exportado 12,0 toneladas a los Estados Unidos y Canadá (Guzmán en preparación), mientras que el resto fue comercializado en el mercado nacional.

4. Cusi (*Attalea speciosa*)

El cusi es una imponente palmera muy abundante en las tierras bajas de Bolivia, que crece principalmente en las provincias de Velasco, Ñuflo de Chávez y Guarayos del departamento de Santa Cruz. De las semillas se extrae el aceite de cusi para uso doméstico e industrial. Crece en colinas y terrenos secos en desnivel con periodos de buena precipitación pluvial y largos periodos secos. También crecen en terrenos planos, arenosos o arcillosos, en orillas de bajíos. Forma manchas de grandes extensiones con densidades de más de 100 árboles/ha (Moreno y Moreno 2006). El cusi tiene una increíble capacidad para desarrollarse casi como un monocultivo en terrenos recién desforestados, sobre todo favorecido por los incendios forestales que escarifican las semillas en el suelo, por lo que el cusi es considerado una plaga por los agricultores. El cusi se distribuye desde Brasil, Bolivia, Surinam y Guyana. Una población extensa se encuentra en las provincias de Guarayos, Ñuflo de Chávez y Velasco en el departamento de Santa Cruz. También se encuentra a lo largo del río Madre de Dios en los departamentos de Beni y Pando (Rémillard *et al.* 2012).

Cadena de valor.- La cadena de valor aquí descrita se basa en la experiencia de la Comunidad Rio Blanco y la Asociación Integral de Mujeres de Palmarito (TCO Monteverde, Concepción) (Figura 4).

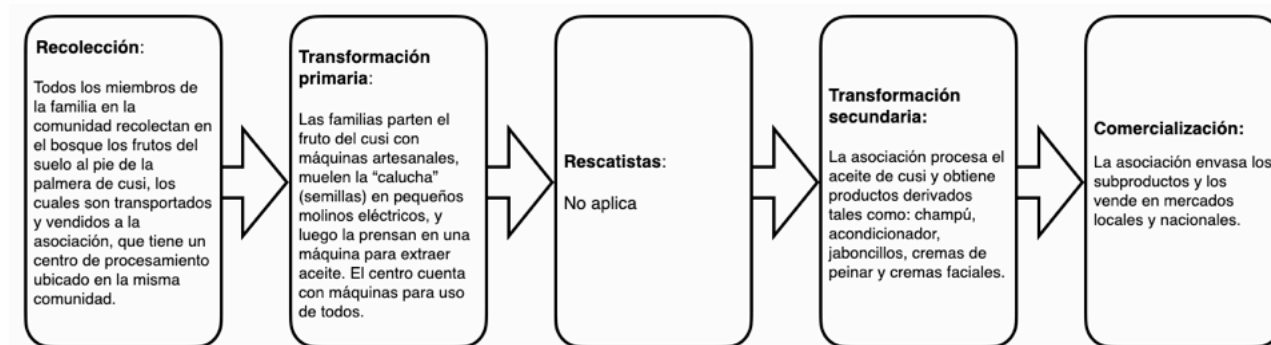


Figura 4. Cadena de valor de la industria del aceite de cusi

Abundancia.- Rémillard *et al.* (2012), en su estudio en 8 municipios de la Chiquitanía, indican que la abundancia promedio es de 40,7 palmas/ha en edad productiva y 2,54 racimos/palma. Asimismo, estos autores reportan que la extensión territorial que ocupan los bosques con cusi en el Municipio de San Ignacio de Velasco supera por mucho la superficie en la provincia de Guarayos y concluyen que si bien el acceso por carretera, la densidad por hectárea y la tradición cultural del aprovechamiento del cusi pueden favorecer el aprovechamiento en gran escala en Guarayos, el potencial existente en la chiquitanía es enorme.

Nivel de procesamiento.- El proceso artesanal de producción consiste en partir los cocos con hachas o con máquinas artesanales, asar las almendras, molerlas y separar el aceite en agua hervida. Se considera que las propiedades de este aceite son diferentes de las del aceite virgen (prensado en frío), ya que el calor altera las características físicas y químicas de los ácidos grasos. Sin embargo, la asociación de mujeres de Palmarito de la Frontera, apoyada por las organizaciones FAN-Biocomercio y la FCBC, ya cuenta con una prensa hidráulica diseñada para la extracción semiartesanal del aceite en frío, logrando obtener un aceite de muy buena calidad. Existe experiencia de aprovechamiento y procesamiento artesanal del cusi en la provincia Guarayos, desde hace muchos años. No obstante, si bien hay grupos, tanto en Ascensión de Guarayos como en la comunidad de Yotaú (municipio El Puente), que se dedican a la transformación y la comercialización de productos tales como aceite de cusi, champú, crema de enjuague, jabón y jaboncillo, estos no han podido desarrollarse, ni siquiera permanecer en el tiempo por

la falta de apoyo en la comercialización y en el fortalecimiento organizacional-empresarial, hecho que puede deberse a la falta de cultura y visión empresarial de estos emprendimientos comunitarios (Rémillard *et al.* 2012).

Weigend *et al.* (2015) indican que las semillas son ricas en ácido graso láurico con 45,1%, seguido por ácido mirístico. Por su parte, Rémillard *et al.* (2012) indican que el 66% de la semilla está compuesto por aceite láurico. El residuo de la semilla, una vez extraído el aceite, contiene fibras, proteína y grasas que pueden ser comercializadas como alimento para animales. Su contenido nutricional contiene 20% de carbohidratos, 11,5 % de fibras, 13% de proteína y 44% de aceite, teniendo propiedades nutricionales, muy interesantes para la crianza de animales. Otro dato es el expuesto por Rémillard *et al.* (2012), quienes señalan que, en 2008, la FCBC en Alto Paraguá apoyó la formación de un grupo de trabajo de las comunidades de Colorado y de Candelaria denominado "Asociación integral de desarrollo de la comunidad de Colorado (ASIDECCOL)". Se propuso instalar una máquina para la quiebra motorizada del coco para la extracción de semillas, las cuales podían ser vendidas a la empresa INDELCUSI. La asociación logró vender una camionada de semillas, pero con utilidades negativas, por lo que la alianza no prosperó, y más bien se optó, con el apoyo de INDELCUSI y FCBC, por conformar una red de recolecto-quebrador de 9 comunidades del Alto Paragua donde cada comunidad dispone de su centro casero de acopio y periódicamente ASIDECCOL realiza la compra de semilla y la envía a INDELCUSI.

Oferta.- Rémillard *et al.* (2012) son optimistas con el potencial industrial que significa la existencia de más de 230000 hectáreas de bosque natural con presencia de cusi maduros en la chiquitanía, para justificar su aprovechamiento, que podrían producir cientos de miles de toneladas de frutos por año, y movimientos económicos de millones de dólares, sin necesidad de talar una sola planta. Como ejemplo, la Mancomunidad de Campamento, Colorado y Candelaria en su plan de manejo de 4000 ha, tiene el potencial de producir 1,5 toneladas/ha por año, generando un total potencial aprovechable de 6280 toneladas de fruto por año.

Demanda del mercado.- Un estudio de mercado revela que en Bolivia existen cinco industrias que compran cusi para producir aceite, a saber: Amazonas 45mil litros, Indelcusi 34 mil litros, Guaguazu 15 mil litros, I. Andrade 10 mil litros, Akaseisa 9000 litros (Remillard *et al.* 2012).

5. Pesoé (*Pterodon emarginatus*)

El pesoé, se encuentra distribuido en el bosque chiquitano en la provincia Ángel Sandoval, por la zona de San Matías-Las Petas y en la provincia San José de Chiquitos-Roboré (Jardim *et al.* 2003). El Pesoé es un árbol maderable, de la familia Fabaceae, hasta 25 m de altura, tronco de hasta 40 cm de diámetro, corteza externa conchuda, color gris claro. Copa frondosa, follaje denso, las hojas son compuestas de color verde claro. Flores en espigas cortas, cremas; frutos aplanados de 5 cm de largo, de color gris claro al madurar, semilla alada, chata casi plana y rica en aceite. La madera es dura, con densidad de 0,94 g/cm³. Se usa en la construcción de casas para horcones y vigas. El aceite extraído de las semillas es usado por las mujeres indígenas para curar resfríos, hinchazón y dolor de barriga, entuerto (limpieza del bajo vientre cuando las mujeres desembrazan), pasmo, heridas infectadas, carachas y dolor de muela (Vargas y Jordán 2003). Sandoval (2016) probó el aceite para el control de termitas, consiguiendo buenos resultados como repelente, pero no como insecticida..

Cadena de valor.- La cadena de valor aquí descrita se basa en la experiencia de la Comunidad Ipiás (Municipio San José de Chiquitos) y la Asociación medicinal natural de Yororobá (municipio de Roboré) (Figura 5).

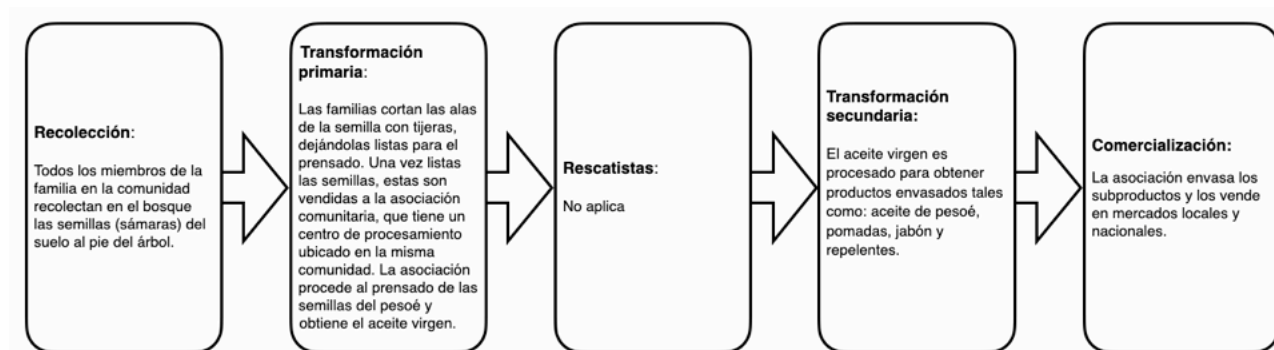


Figura 5. Cadena de valor de la industria del aceite de pesoé

Abundancia.- En un estudio de abundancia de pesoé realizado por la FAN (en preparación) en 2025 en la zona de Ipiás (municipio de San José de Chiquitos), se encontraron abundancias de 66 árboles/ha con diámetros mayores a 10 cm.

Nivel de procesamiento.- Actualmente, las primeras experiencias de procesamiento del pesoé en Bolivia se vienen desarrollando en las comunidades de Ipiás y Yororobá, en los municipios de San José y Roboré, respectivamente, como se dijo antes, con fuerte apoyo de la FAN. Las familias de estas dos comunidades, han conformado grupos de trabajo y han iniciado con la cosecha de la semilla al pie de los árboles. Las semillas se colocan en sacos de yute y se transportan a hombro hasta la comunidad. Luego, cada recolector, debe cortar las "alas" de la semilla con tijeras, dejándolas listas para el prensado. Las semillas, son vendidas a la asociación comunitaria de Ipiás, donde se cuenta con un centro de procesamiento provisto de una prensa diseñada exclusivamente para el prensado del pesoé. La asociación de Ipiás procede al prensado de las semillas y obtiene el aceite virgen, el cual es procesado para obtener productos tales como: aceite de pesoé, pomadas, pastillas y otros productos.

Oferta y capacidad industrial instalada.- La oferta de aceite de pesoé está directamente relacionada a la capacidad de las familias para recoger las semillas del bosque, puesto que la abundancia de este árbol es enorme en todo el territorio chiquitano. Como un ejemplo, en la comunidad de Ipiás se han procesado 800 kg de semilla, obteniéndose 80 litros de aceite, pero las familias apenas han recolectado de los árboles próximos a la comunidad, dejando el bosque entero sin cosechar. La prensa que disponen es eléctrica, y tiene una capacidad de prensar hasta 40 kg por día, obteniéndose un total de 4 litros de aceite virgen por día. Esto equivale, trabajando 255 días útiles al año, a una capacidad de 1020 litros/año.

Demanda del mercado.- No se tiene información sobre la demanda del mercado nacional. De acuerdo a las expectativas de las mujeres líderes comunales de Yororobá e Ipiás, la demanda puede crecer si se tiene apoyo en marketing y se capacita a la comunidad en la elaboración de nuevos productos derivados del aceite de pesoé.

6. Totáí (*Acrocomia aculeata*)

En forma natural, el género *Acrocomia* se distribuye en grandes poblaciones, en áreas abiertas de sabanas y bordes de bosque, muy rara vez formando bosques maduros, entre 200-700 m.s.n.m. de altitud y con mayor frecuencia en áreas ganaderas (Morales 2014). La palmera totáí pertenece a la familia *Arecaceae*; es muy rústica, arborescente, perennifolia, palma fructífera, nativa de bosques tropicales con precipitación entre 1500 y 2000 mm/año y temperaturas entre 15 y 35 °C, altitudes desde 150 hasta 1000 msnm. La especie *A. aculeata* es resistente a plagas y enfermedades, y resiste a grandes variaciones

climáticas, alcanzando alturas de más de 15 m (Aldara *et al.* 2015). Ramírez (2019), en su estudio morfológico de *A. aculeata* en Paraguay, reportó que una palma produce una media de 8,47 racimos/planta con una máxima de hasta 15,2 racimos/planta, un peso de 4,35 kg/racimo y un peso máximo de 9,9 kg/racimo.

Cadena de valor.- La cadena de valor aquí descrita se basa en la experiencia de la Comunidad Quitoquiña (Municipio San José de Chiquitos) (Figura 6).

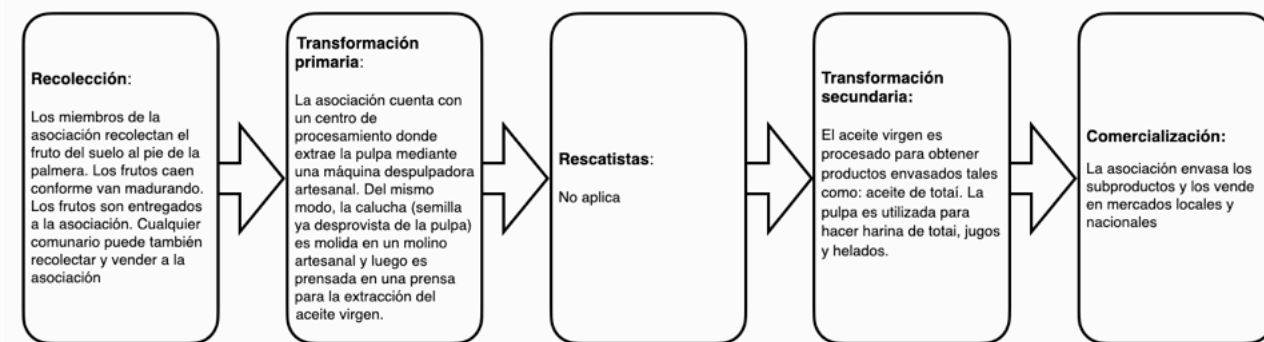


Figura 6. Cadena de valor de la industria del aceite de totaí

Abundancia.- Un estudio de Lozada & Moraes (2013) realizado en San José de Chiquitos (Quitoquiña fue uno de los sitios de estudio), sobre la relación de la regeneración natural de totaí en terrenos con y sin presencia de ganado, demostró que hay mayor abundancia en sitios con ganado. La regeneración natural del totaí (*Acrocomia aculeata*) está directamente relacionada y favorecida por la presencia del ganado, lo cual era de esperarse porque el fruto es un alimento de forraje para el ganado vacuno. Se encontró una abundancia de hasta 1000 palmas/ha.

Nivel de procesamiento.- En la comunidad de Quitoquiña, el procesamiento es artesanal. En la comunidad se ha creado la "asociación de mujeres árbol dulce y curativo". Han empezado a trabajar con el fruto del totaí desde el año 2022. Recolectan el fruto del suelo, de los alrededores de la comunidad, de sitios donde pastorea el ganado, luego lo dejan secar y posteriormente lo prensan en máquinas artesanales para extraer el aceite virgen de totaí. Es un procesamiento simple y artesanal. Hasta donde se pudo averiguar, Quitoquiña es la única comunidad que está realizando el aprovechamiento de totaí en la región chiquitana por ahora. Aldara *et al.* (2015), en su estudio sobre la posibilidad de usar el aceite de totaí para fabricar biodiesel en Brasil, indican que esta especie podría convertirse en un recurso renovable alternativo para la producción de biodiesel, debido a sus altas tasas de productividad. El totaí tiene buenas perspectivas no solo debido a su alto rendimiento de aceite por hectárea, sino por sus propiedades, fisicoquímicas. La baja viscosidad del aceite, especialmente del núcleo, podría ser un aspecto interesante para su uso como lubricante.

Oferta y capacidad industrial instalada.- La comunidad Quitoquiña, tiene un territorio de 4600 ha, y un área con presencia de totaí de 700 ha, donde ramonea el ganado. De acuerdo con los registros de la asociación, de 7,774 kg de fruto de totaí, se obtienen 2,15 litros de aceite virgen. Según Calani (2024), aproximadamente el 5,55 % del peso total del fruto corresponde a la semilla, y que de ello se obtiene un rendimiento promedio de aceite de las semillas del 25,1 %. La capacidad instalada en Quitoquiña es de alrededor de 4,6 litros/día; es decir, que, produciendo a un turno por día, de lunes a viernes (255 días hábiles/año), se estaría con una capacidad de producir 1224 litros de aceite virgen/año.

Demanda del mercado.- Existen estudios de análisis de la posibilidad de producción de biodiesel a partir del aceite de totaí con datos alentadores de su factibilidad técnica (Aldana *et al.* 2015). Pero no se ha encontrado un estudio que refleje la demanda teórica que se tendría en Bolivia. Tomando en cuenta el enfoque de la cooperación, de generar oportunidades de ingresos adicionales para las familias indígenas de zonas boscosas en el oriente boliviano, y considerando el sondeo empírico realizado por la FAN, se considera que puede generarse una gran demanda por los dos productos obtenidos en la comunidad de Quitoquiña, producción que podría ser fácilmente escalable a muchas otras comunidades, dada la alta abundancia del totaí.

7. Palma real (*Mauritia flexuosa*)

La palma real, pertenece a la familia Arecaceae, es una palmera con estípote solitario, de hasta 40 m, de altura y entre 30 y 60 cm de diámetro, con hojas palmadas de hasta 4,5 m de longitud. La palmera es dioica, con flores masculinas y femeninas en pies distintos, aunque es difícil diferenciar las palmas machos de las hembras hasta la floración (Pérez, 2018). *M. flexuosa* es una de las palmeras más abundantes en la región amazónica; se distribuye desde Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Venezuela, las Guayanas, Trinidad y Brasil. Habita en zonas pantanosas mal drenadas, puede llegar a producir 290 kg de fruto por palmera. Su fruto tiene múltiples usos de alto valor en la industria de alimentos y cosmética por las características fisicoquímicas que contiene (ACEAA-Conservación Amazónica 2022). En la zona del Bajo Paraguá, la palma real se encuentra en las cercanías del Parque Noel Kempff Mercado, habitando en sabanas arboladas y llanuras de inundación por las aguas del Río Paraguá, en la época de crecidas (Pérez 2018). El fruto es una drupa elipsoide de hasta 7 cm de longitud y 5 cm de diámetro. El peso varía de 40 a 80 g. El epicarpio es escamoso, de color pardo a rojo oscuro. El mesocarpio es suave, amiláceo y aceitoso, de color amarillo, anaranjado rojizo, generalmente con una semilla. Es un fruto comestible y contiene una gran reserva de beta-caroteno (vitamina A), cinco veces mayor que la zanahoria y la espinaca, volviéndose un recurso inigualable para la dieta de niños y madres gestantes, por sus múltiples contribuciones en la formación del bebé. La pulpa contiene vitaminas, lípidos, proteínas, minerales, aceite entre 12-24 % y proteína entre 2,3-3,7 %, fósforo 27 mg/100 gramos de pulpa y provitamina A de 4,6 mg/100 g. de pulpa, la más alta encontrada en la naturaleza (Trujillo *et al.* 2011).

Cadena de valor.- La cadena de valor aquí descrita se basa en el estudio Pérez (2018) sobre el potencial de Palma Real, comunidad Porvenir, en la TCO CIBAPA del municipio de San Ignacio de Velasco (Figura 7).

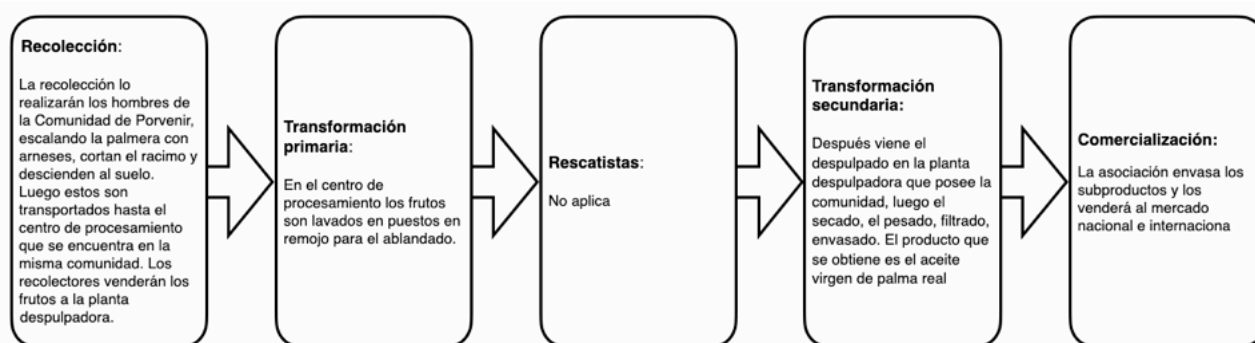


Figura 7. Cadena de valor de la industria del aceite de palma real

Abundancia.- Pérez (2018) realizó un estudio de palma real en la TCO CIBAPA en Bajo Paraguá, y encontró una abundancia de 164 palmas/ha en el sitio sartenejal, 50 en isla de monte y 31 en las sábanas inundables, dando un total general de 149 palmas femeninas/ha y 95 palmas masculinas/ha.

Nivel de procesamiento.- El aceite de Palma Real se obtiene a partir de la misma pulpa. El despulpador se lo hace en la industria de la APB Porvenir. La pulpa se seca en un horno hasta un 22% de humedad y de ahí se prensa la pulpa para obtener el aceite.

Oferta y capacidad industrial instalada.- De acuerdo con Pérez (2018), el potencial del peso de fruta que produce el ecosistema en Porvenir es de 29513 toneladas de fruta por año y en base a datos de rendimiento de conversión de pulpa a aceite en tres países, el autor estima un rendimiento promedio del 5%, cuyo potencial de aceite a producir es de 1476 toneladas de litros/año. La planta de Porvenir, para convertir la pulpa de la palma real en aceite, requiere instalar una zaranda exclusiva para ese uso.

Demanda del mercado.- Según Pérez (2018), la demanda potencial estimada para aceite de palma real procedente de la Comunidad Porvenir, es de 10 toneladas de litros/año, lo que significa que, en caso de aprovechar todo el potencial de frutos, se tendrá un exceso de aceite para la exportación.

8. Plantas medicinales: Alcanfor, Paja Carona, Ambaibilla, Matricaria y Cuchi

El Alcanfor (*Hyptis carpinifolia*) es una hierba que pertenece al género *Hyptis*, el cual es uno de los más grandes con cerca de 290 especies. Las plantas de este género están caracterizadas por sus tricomas glandulares que producen aceites esenciales con un fuerte aroma. *El alcanfor*, pertenece a la familia *Lamiaceae*, es una especie conocida popularmente como rosmaninho y mata pasto, y sus hojas son utilizadas como medicina natural para curar resfríos y reumatismo.

La matricaria (*Hyptis mutabilis*) es una hierba o arbusto erecto que alcanza un tamaño de hasta 2 m de alto, aromático; tallos jóvenes vellosos o puberulentos con aguijones pequeños en los ángulos. Especie muy común, se encuentra en áreas alteradas a una altitud de 200-1600 m desde el sur de los Estados Unidos hasta Sudamérica y en las Antillas, pero quizás nativa de Brasil. Tiene propiedades diuréticas, carminativas, se usa para curar heridas y llagas (Flora bonaerense 2025).

La Ambaibilla (*Piper tuberculatum*), es una planta semiarborescente que crece hasta 6 m de alto y su tallo engrosa no más de 20 cm de diámetro, con muchas ramas en la parte baja dándole el aspecto de arbusto. Sus hojas y tallos son utilizados como insecticida contra la mariposa *Diatrea sacharallis*, considerada plaga. La especie se distribuye desde México hasta Brasil y crece en potreros, áreas abandonadas, caminos y bosques secundarios (Mundo Forestal 2025). En la medicina tradicional peruana es utilizado en humanos y animales domésticos como antiinflamatorio y desinfectante de heridas, puesto que contiene las amidas isobutílicas, pirrolidina, dihidropiridona y piperidina (Palacios *et al.* 2009).

La Paja Carona (*Elionurus muticus*) es una gramínea, cuyas hojas son filiformes, en su mayoría basales, ligeramente aromáticas cuando se aplastan con fuerte olor a limón. Es de porte bajo, de nomás de 50 cm de altura, pero muy ramificada con hojas largas y muy delgadas como la paja brava. Se distribuye en América, África y Asia. Se han reportado varios usos en la medicina popular y es un antioxidante natural y fuente de compuestos bioactivos útiles. Posee propiedades antibacterianas, antifúngicas, citotóxicas y antimicrobianas y tiene potencial como productor de aceites aromáticos, ya que su resina contiene más del 90% de citral y constituye una fuente alternativa de extracción de aceite (Bagliani *et al.*, 2025).

El cuchi (*Myracrodruon urundeuva*) es una especie leñosa de gran porte. Es muy apetecida para horcones, vigas y postes de alambrado por su madera muy dura. En Tarija y Chuquisaca es conocida como urundel o urunday y en los valles secos de Cochabamba y Santa Cruz le llaman quichi. Sus hojas y su corteza tienen propiedades medicinales. Su resina es usada para elaborar jabón casero, sus hojas sirven como forraje para animales, la corteza, hojas y raíz son usadas en medicina tradicional, ya sea como infusión, la jalea, obtenida al cocer la parte interna de la corteza, es utilizada para curar fracturas y torceduras. La infusión de hojas sirve para curar heridas, inflamaciones y úlceras, inflamaciones vaginales, del colon y del

útero externo no específicas. La infusión de la corteza tiene efectos astringentes, usada para tratar diarreas (Toledo 1996).

Cadena de valor de plantas medicinales.- La cadena de valor aquí descrita se basa en la experiencia de la Comunidad Todos Santos (Municipio de San Antonio de Lomerío) y los métodos de recolección y procesamiento son los mismos para todas las especies (Figura 8).

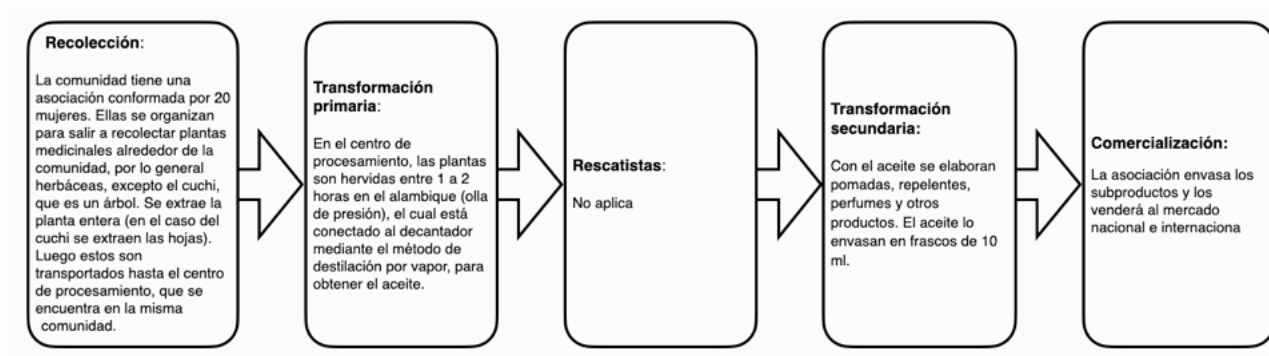


Figura 8. Cadena de valor de la industria del aceite de plantas medicinales

Abundancia.- Todas las especies de este acápite, tienen una gran abundancia en el paisaje de la Comunidad de Todos Santos, como en gran parte del territorio en el municipio de Lomerío. El alcanfor, es una hierba rastrera que se encuentra en cualquier patio creciendo a pleno sol. La paja carona es una gramínea que se lo encuentra en los sitios libres de vegetación arbórea, cubriendo el paisaje de sabana, y sobre todo en las orillas del camino. La ambaibilla es menos abundante que alcanfor, matricaria y paja carona, pero es muy fácil de encontrar en los potreros y orillas del camino. Finalmente, el cuchi es un árbol típico del bosque seco chiquitano y se lo encuentra en el bosque alto con abundante regeneración a orillas de camino o en sitios desmontados.

Nivel de procesamiento.- En el caso del alcanfor, la matricaria y la paja carona, se arranca toda la planta de raíz. En el caso de la ambaibilla y el cuchi, se cortan las ramas con una tijera. El material es embolsado y trasladado al centro de procesamiento que tiene la Asociación Nasumanka (hojitas que sanan), conformada por 20 mujeres de la comunidad de Todos Santos, en el municipio de Lomerío. En el centro de procesamiento, las plantas son hervidas entre 1 y 2 horas en una olla alambique, luego se conectan con el extractor de aceite o decantador y se espera que se separe todo el aceite del vapor. El mismo proceso se aplica a todas las especies aquí mencionadas. La recolección la realizan por grupos de 5 mujeres por vez, durante medio día, generalmente en las mañanas, para de inmediato procesar las hojas frescas por la tarde. El periodo ideal para la cosecha es entre los meses de enero y junio, época en que las plantas están verdes. Con el aceite recogido, se elaboran diferentes productos tales como pomadas, repelentes, perfumes, fricción, pomada secante, y muchos otros. El aceite lo envasan en frasquitos de 10 ml y lo venden a razón de 10 Bs/ml para el alcanfor, cuchi y paja carona, pero el precio sube a 16 Bs/ml para aceite de ambaibilla y matricaria, ya que su rendimiento es menor. El rendimiento industrial es el siguiente:

- Alcanfor: de 13 kg se obtienen entre 5 y 11 ml de aceite
- Paja carona: de 13 kg se obtienen 25 ml de aceite
- Ambaibilla: de 13 kg se obtienen 5 ml de aceite
- Matricaria: de 13 kg se obtienen 5 ml de aceite
- Cuchi: de 13 kg se obtienen entre 20 y 25 ml de aceite

Oferta y capacidad industrial instalada.- Trabajando a un turno de 8 horas diarias, 3 mujeres destilan 2 bolsas de 13 kg de plantas cada una, obteniendo entre 10 y 50 ml de aceite, dependiendo de la especie. El centro de procesamiento consta de equipos para aplicar el proceso de obtención de aceite por decantación, que consiste en una cocinilla a gas, una olla alambique, un decantador y el matraz para recoger el aceite. Considerando que la destilación de 2 bolsas les toma 2 horas de trabajo al grupo de 3 mujeres, significa que en un día normal de 8 horas podrían destilar 8 bolsas/día. De cada bolsa se obtiene entre 5 y 25 ml de aceite, dependiendo de la especie, lo que indica una producción de aceite de 40 a 200 ml/día. Trabajando todo el año (255 días hábiles), se tendría una capacidad de producir entre 10,2 a 51 litros/año de aceites esenciales de plantas medicinales.

Demanda del mercado.- Hasta el momento, no se ha llevado a cabo un análisis de la demanda; sin embargo, cada vez que producen aceite a partir de estas plantas aromáticas, se agota por completo al ser ofrecido en las ferias del mercado local de Concepción y Santa Cruz de la Sierra.

Beneficios para las familias recolectoras

Asaí.- En la comunidad Porvenir en el Bajo Paraguá (municipio de San Ignacio), cerca de 100 personas se benefician con el trabajo en la recolección y procesamiento del asaí. Los varones se dedican a recolectar el fruto de la palma en el bosque distante a 7 km; lo transportan en moto y lo venden a la APB Porvenir, puesto en la planta, a razón de 2,3 Bs/kg. El rendimiento de cosecha al comenzar la temporada es de 80 kg/día, asciende hasta 130 kg/día y al finalizar baja a 70 kg/día. Un cosechador en promedio entrega 90 kg de fruta de lunes a viernes, obteniendo hasta 207 Bs/día en 8 horas de trabajo. Los hombres son libres de cosechar todos los días mientras dure la zafra (marzo a octubre). Las mujeres participan en el procesamiento en la planta industrial, les pagan 10 Bs/hora y trabajan en turnos de 6 horas diarias. El periodo total del procesamiento de la pulpa es de 6 a 8 meses al año (CFV/FSC Bolivia, 2023).

Copaibo.- En Río Blanco, de un árbol se extraen entre 100 y 200 ml de aceite y agua cada mes. La producción es variable y depende de la cantidad de lluvias. El litro de aceite de copaibo se vende al consumidor final en el mercado nacional por 800 Bs. Lo fraccionan en envases de 15 ml (20 Bs) y 20 ml (25 Bs). Solo pueden cosechar los hombres, porque tienen la creencia de que, si una mujer va a cosechar, el árbol no bota el aceite. La cosecha les toma todo el día, incluyendo el recorrido de ida y vuelta. Van siempre dos personas y, en promedio, recogen 5 litros por rodal de 40 árboles, entre aceite y agua, lo que daría un valor de 4000 Bs/mes por la venta del aceite. Los fondos se manejan de forma comunal, pero se paga por los días trabajados tanto a los hombres que cosechan como a las mujeres que procesan separando el aceite del agua en el centro de procesamiento en la Comunidad. En el caso de la Comunidad de Yororobá, se reporta que de un árbol, al inicio, se extraen 30 ml de aceite y 5 ml de agua en cada cosecha, pero después del incendio, el rodal de 80 árboles solo rinde ½ litro cada 15 días, es decir, 1 L/mes. El aceite de copaibo en envase de 20 ml se vende en 30 BS, es decir, a razón de 1500 Bs/litro. El aceite lo venden a un ciudadano brasileño quién comercializa a Brasil. A los recolectores la Asociación les paga a razón de 0,5 Bs/ml, es decir, que los dos hombres reciben 250 Bs por la cosecha de ½ litro cada 15 días, lo que daría un beneficio de Bs 125/día de trabajo.

Almendra chiquitana.- De acuerdo con la entrevista a las mujeres líderes de las asociaciones de las comunidades visitadas, en el caso de la comunidad de Yororobá, una persona logra cosechar 4 bolsas quintaleras/día, y para quebrar 1 bolsa requiere 1 día de trabajo obteniendo 3 kg de semilla cruda/bolsa. Luego la semilla es vendida a la Asociación en 100 Bs./kg. La asociación lo tuesta en el horno y lo vende en el mercado nacional al consumidor final a razón de 120 Bs./kg (precio del año 2025). Realizando el cálculo del beneficio del recolector, se tiene que por 5 días de trabajo (1 día de recolección y 4 días de quebrado) recibe 1200 Bs, por lo tanto, un beneficio de 240 Bs./día. En el caso de la Comunidad Palmarito de la Frontera, las familias recolectoras venden la semilla de almendra a la persona rescatista a razón de 50 Bs/kg para luego entregarla al empresario que la industrializa, ganando la comisión respectiva. En este caso, siendo el rendimiento de cosecha y de quebrado similar, el beneficio es de 120

Bs/día. La diferencia es que ellos venden a precio de mayorista y se ahorran el trabajo del tostado y la comercialización.

Cusi.- De acuerdo con las entrevistas realizadas en el año 2025, en Palmarito, una persona puede recoger hasta 15 bolsas quintaleras en 1 día; la quiebra les toma $\frac{1}{2}$ día/bolsa y el prensado 1 día. De 1 bolsa de fruto, se obtienen 3 kg de calucha y rinden 1 L. de aceite, por lo que en total obtendría 15 litros de aceite. La asociación vende el aceite a una empresa cochabambina que les paga a precio de mayorista a 60 Bs/Lt., resultando en 900 Bs por los 15 Lt de aceite y un total de 9,5 días de trabajo, obteniendo un beneficio de 95 Bs/día. En el caso de la Comunidad Río Blanco, los comunarios recogen hasta 10 bolsas quintaleras en 1 día por persona, y lo transportan en moto o camioneta; luego, en 5 días quiebra el fruto y en el centro de procesamiento hace el molido y prensado en $\frac{1}{2}$ día, obteniendo 10 L de aceite. Este aceite lo vende a la asociación a razón de 150 Bs/Lt. Es decir que una persona utilizó 6,5 días de trabajo y en compensación recibió 1500 Bs, a razón de 231 Bs/día. Luego la asociación fracciona el aceite en frascos de 60 ml y lo vende a razón de 20 Bs/frasco al consumidor final en el mercado nacional, obteniéndose un ingreso bruto de 320 Bs/litro (de eso debe descontarse trabajo, envase y gastos de comercialización para conocer la utilidad final).

Pesoé.- De acuerdo a los datos de la Asociación de la Comunidad de Ipias, se paga 10 Bs/kg de semillas. Dos personas llegan a cosechar 50 kg al día. De este modo, un cosechador puede estar ganando 250 Bs al día. En el centro de procesamiento del pesoé, las socias se pagan 12 Bs/hora, lo que genera un jornal de 96 Bs/día de trabajo. El trabajo de procesamiento de la semilla para obtener los productos derivados lo realizan los miembros de la asociación, y ellos se pagan por su día de trabajo. Llevan su contabilidad en registros escritos y a fin de año, con ayuda de FAN, realizan su balance anual y distribuyen sus utilidades para la compra de materiales, envases y lo que sobra se divide entre los socios y socias que han trabajado.

Totaí.- De acuerdo con los datos proporcionados por la asociación de la comunidad Quituquiña, la única que está aprovechando este recurso por ahora, de 7,18 kg de fruta se obtienen 6,82 kg de fruta pelada y de 7,774 kg de calucha pelada se obtienen 2,152 L de aceite. Cualquier persona de la comunidad puede recoger fruto de totaí y venderle a la Asociación, la cual le paga 20 Bs por bolsa quintalera. La calucha machucada, la asociación la paga a 50 Bs/kg. La asociación fracciona el aceite en envases de 20 ml que vende a 30 Bs y en envases de 15 ml a 25 Bs, al consumidor final en el mercado local de San José o Santa Cruz de la Sierra. Una persona logra recoger dos bolsas quintaleras por día de fruto de totaí. Tomando en cuenta los datos de tiempos, un recolector de totaí estaría ganando 40 Bs/día cuando entrega frutos sin pelar.

Palma real.- Los beneficios para las familias son empleo directo para los hombres, por un lado, en la recolección de los frutos de las palmas en el bosque y su transporte hasta la planta industrial ubicada en la comunidad Porvenir, y por otro lado, empleo directo para las mujeres de la comunidad, quienes participan en el despulpado en la planta industrial. Este modelo de negocio ya está consolidado en la producción de pulpa de asaí desde hace más de 10 años y ahora simplemente van a incorporar un nuevo producto, la pulpa de palma real. No obstante, al no estar este recurso en producción, aún no se conoce cuál será el beneficio en Bs/día para los recolectores.

Plantas medicinales.- Los días de cosecha, se organizan en grupos de 5 mujeres y salen a la cosecha toda una mañana. Recorren a pie, recolectando las plantas aromáticas en sitios cercanos a la comunidad y las transportan en bolsas diferentes. Logran recolectar entre todas dos bolsas quintaleras, cuyo peso es de 7 kg cada una. Para la extracción del aceite, trabajan en grupos de 3 mujeres en la tarde, el mismo día que se cosechan las plantas, para evitar perder el ingrediente activo de las mismas. La extracción del aceite de las dos bolsas les toma un tiempo de 2 horas. De aquí se deduce que se ha trabajado un total de 20 horas en la recolección (5 mujeres x 4 horas) y 6 horas en la destilación (3 mujeres x 2 horas), haciendo un total de 26 horas, para obtener entre 5 y 25 ml de aceite en total. Tomando en cuenta que 1 ml se vende en 10 Bs, entonces obtienen un ingreso bruto de entre 50 y 250 Bs en total. Al distribuir esto entre las 26 horas, se obtiene un beneficio de 10 Bs/hora de trabajo, lo que, traducido a un día de 8 horas, se tendría un beneficio de 80 Bs/día de trabajo.

En el Cuadro 3, se presenta una estimación del beneficio que llegarían a percibir por su trabajo las familias recolectoras en cada uno de los PFSM.

Cuadro 3. Estimación de beneficio por la recolección de PFSM

Comunidad	Especie	Producto	Unidad	Trabajo (N° días)	Cantidad producida	Precio de venta (Bs/Unidad)	ventas (Bs)	Beneficio recolector (Bs/día)
Ipias	Pesoe	Semilla	Kg	2	50	10	500	250
Ipias	Pesoe	Aceite	hora	1	8	12	96	96
Palmarito	Cusi	Aceite	Lt	9,5	15	60	900	95
Palmarito	Almendra	Semilla	Kg	5	12	50	600	120
Porvenir	Asaí	Fruta	Kg	1	90	2,3	207	207
Porvenir	Asaí	Pulpa	hora	1	8	10	80	80
Quitiquiña	Totaí	Fruto	Bolsa quintalera	1	2	20	40	40
Rio Blanco	Cusi	Aceite	Lt	6,5	10	150	1500	231
Todos Santos	Plantas medicinal	Aceite	ml	3,1	25	10	250	77
Yororobá	Copaibo	Aceite	ml	2	500	0,5	250	125
Yororobá	Almendra	Semilla	kg	5	12	100	1200	240

Indudablemente, los beneficios que obtienen las familias recolectoras, son diferentes entre unas y otras especies. De acuerdo a los hallazgos basados en los registros empíricos de los recolectores, el principal beneficio es la generación de ingresos adicionales a sus ingresos tradicionales, lo que viene a mejorar su economía. Otro dato es que el trabajo en recolección de los PFSM no compite con sus actividades rutinarias, ya que se organizan para realizarlo en "días libres", fines de semana o bien una vez a la semana, o en las primeras o últimas horas del día. En términos económicos, los beneficios hay que dividirlos en dos grupos de actores. El primero está conformado por los recolectores de los PFSM, quienes entregan la materia prima a las asociaciones o a los rescatistas y reciben un pago por unidad entregada. El segundo grupo son las asociaciones conformadas por familias de la comunidad, las cuales se hacen cargo de la administración de la compra de la materia prima, el procesamiento de los productos derivados y la comercialización de los productos en el mercado nacional.

En el caso de los recolectores, el pago está relacionado con el tiempo de trabajo en un día de 8 horas, habiéndose encontrado honorarios muy por encima del precio del jornal rural actual de 100 Bs/día

(pesoé, asaí, almendra chiquitana, cusi, copaibo); sin embargo, también se encontraron honorarios por debajo del jornal rural (plantas medicinales y totaí). En estos casos se requiere incorporar técnicas para mejorar la eficiencia en el uso del tiempo en la recolección, de lo contrario, provocará desmoralización y las familias abandonarán los emprendimientos. Otra opción es subir el precio de venta del producto final. En el caso de las asociaciones, los beneficios corresponden a las utilidades que se generan por la venta de los productos con valor agregado al consumidor final. Ellos llevan registros de contabilidad básica y aplican un balance a fin de año. Las utilidades las utilizan para la compra de materiales e insumos para la siguiente gestión. Algunas asociaciones destinan un porcentaje para la comunidad, como una especie de regalía. Las actividades productivas, en varias de las asociaciones, sobre todo las más antiguas, ya han alcanzado la autonomía financiera y se mueven con sus propios fondos.

PFNM con potencial para avanzar en la producción a mayor escala

Las doce especies estudiadas en este trabajo, una vez sometidas a la valoración de ocho criterios (Cuadro 4), logran cierta importancia jerárquica por ser más potenciales para promoverlas al siguiente nivel con miras a buscar su producción a escala comercial e industrial. Este es el caso de la almendra chiquitana con el mejor puntaje de prioridad de 100/100, seguida del asaí con 95/100, cusi con 70/100 puntos y copaibo con 65/100. Los demás PFNM están con puntajes entre 50/100 y 60/100.

Cuadro 4. Calificación del nivel de potencialidad para producción a escala comercial. C1: Existe evidencia suficiente sobre abundancia; C2: Existen organizaciones apoyando el desarrollo de los PFNM; C3: Existen evidencias de oferta disponible; C4: Existe demanda actual en el mercado nacional; C5: Existe demanda actual en el mercado internacional; C6: Existen canales de comercialización; C7: Existe la participación de la empresa privada; C8: Existen beneficios para las familias recolectoras.

Especie	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Total
Alcanfor (<i>Hyptis carpinifolia</i>)	0	20	10	10	0	0	0	10	50
Almendra chiquitana (<i>Dipteryx alata</i>)	10	20	10	10	10	10	10	20	100
Ambaibilla (<i>Piper tuberculatum</i>)	10	20	10	10	0	0	0	10	60
Asaí (<i>Euterpe precatoria</i>)	10	20	10	10	5	10	10	20	95
Copaibo (<i>Copaifera langsdorsffii</i>)	0	20	5	10	10	0	0	20	65
Cuchi (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	10	20	10	10	0	0	0	10	60
Cusi (<i>Attalea speciosa</i>)	10	10	10	10	10	0	10	10	70
Matricaria (<i>Hyptis mutabilis</i>)	0	20	10	10	0	0	0	10	50
Paja carona (<i>Elyonurus muticus</i>)	10	20	10	10	0	0	0	10	60
Palma real (<i>Mauritia flexuosa</i>)	10	10	10	0	10	0	0	20	60
Pesoé (<i>Pterodon emarginatus</i>)	10	20	10	5	0	0	0	20	65
Totaí (<i>Acrocomia aculeata</i>)	10	20	10	10	0	0	0	10	60

A la luz de estos resultados, es pertinente realizar las siguientes observaciones. Primero, las especies con mayor potencial son la almendra chiquitana, el asaí y el cusi, cuya principal ventaja radica en la abundancia natural del recurso presente en el bosque. Esto implica que no es necesario invertir en la domesticación de la especie para su manejo en monocultivos, sino que es suficiente con recolectarlo del bosque bajo un esquema de manejo sostenible. No obstante, se requiere la participación activa de la empresa privada en los eslabones de transformación y comercialización de los productos derivados de estas especies. De estos tres, el cusi es la especie más antigua en términos de aprovechamiento, pero contradictoriamente es la que menos ha avanzado en su procesamiento a gran escala. A la vez, el cusi es el que genera muy poco beneficio para las familias recolectoras, y en general, no pasa de una actividad artesanal de recolección de la fruta, partido de la semilla y obtención del aceite. Segundo, en el caso del

asaí sin embargo, ya se ha involucrado la empresa privada con la industrialización a nivel de liofilización y el producto está siendo destinado a un creciente mercado internacional. En este caso, las familias recolectoras han logrado un beneficio que supera con creces el costo de oportunidad del trabajo rural definido en 100 Bs/día. Tercero, en el caso de la almendra chiquitana, también se ha logrado la industrialización de la nuez tostada, como un superalimento, dirigido tanto al mercado nacional como al internacional, en ambos casos se registra una demanda insatisfecha. Sin embargo, las familias aún no consolidan un beneficio que supere el jornal rural, pues es recién en 2025 que les han pagado el kg de semilla cruda a Bs 120/kg, pero en 2024 solo obtuvieron 55 Bs/kg, cuyo precio no logra superar el valor del jornal rural.

DISCUSIÓN

Abundancia del recurso

No hay duda de que la abundancia en términos de número de individuos por área, definirá en última instancia una decisión para embarcarse en un emprendimiento a escala comercial de un PFNM, de manera que se pueda garantizar la cosecha de un producto sin agotar la especie, condición necesaria para garantizar su manejo sostenible en el tiempo. De acuerdo a los hallazgos en este trabajo, hay evidencia suficiente para asegurar que, de las 12 especies estudiadas, no todas tienen evidencia de abundancia suficiente para consolidar su producción a gran escala. En el caso del Asaí en Bajo Paraguá la abundancia de 52 palmas/ha (Saucedo 2014), es menor a lo reportado en el norte de la Paz (175 palmas/ha en comunidad Carmen Pecha, y 75 palmas/ha en comunidad Bella Altura (Sandoval, 2015 y Quenevo *et al* 2007 respectivamente), pero es mayor que en Pando donde (Peralta, *et al.* 2009) reportan 23 palmas/ha, de todos modos el potencial es enorme, ya que los comunarios de Porvenir apenas logran aprovechar 3000 de las 39 mil ha que tiene su área de manejo (Comunicación personal de Rolvis Pérez). En el caso del Copaibo, Díaz-Villarroel y Villarroel (2020) reportan abundancias entre 1,9 y 2,4 arb/ha en Roboré; esta baja abundancia, sumada al volumen cosechado por árbol (0,36 l/año), podría no ser sostenible para abastecer al mercado. En el caso del Cusi, es suficiente ver el paisaje para dar la razón a Rémillard *et al.* (2012), quienes auguran un enorme potencial de cusi en la chiquitanía, incluso mayor que en Guarayos. En el caso de la Almendra chiquitana, las comunidades que se dedican a la recolección, indican que cosechan de los árboles más cercanos a sus casas, pero que el resto se queda sin cosechar. En general, la especie se distribuye en toda la Chiquitanía de manera abundante, como lo indica Coímbra (2016a) y lo respaldan los datos de Villarroel *et al.* (2015) con abundancias de 49 ind/ha (± 20). En el caso de Palma Real de Bajo Paraguá, esta es gregaria, con abundancia suficiente para abastecer a la planta desulpadora de Porvenir (Pérez 2018), lo que la hace potencial para una escala comercial. En el caso del totaí, no hay duda de la suficiente abundancia (1000 palmas/ha) (Lozada y Moraes 2013). En el caso del Pesoé, no se encontraron datos de abundancia en la zona de estudio, por lo que solo se tiene una estimación realizada por FAN en 2025 de 66 árboles/ha. Adicionalmente a este dato, los comunarios de Ipiás indican que el recurso es abundante y que apenas cosechan de los árboles más cercanos, quedando el resto sin aprovechar (comunicación personal de María Antonia Castedo). Finalmente, en el caso de las plantas medicinales, tanto las plantas herbáceas, abundantes (comunicación personal de Rosario Cuasase), como lo es también el cuchi (Villegas y Leño, 2007), de manera que no habría problema de su agotamiento.

Si bien los estudios de abundancia disponibles no son precisamente de los sitios en los cuales se están aprovechando estas especies, la evidencia empírica de la misma para estas especies está totalmente respaldada por el conocimiento local de los pobladores indígenas de las regiones donde estas especies habitan.

Demanda del mercado

Si bien el incursionar en el aprovechamiento sostenible de un producto forestal no maderable es a menudo una decisión de la organización de apoyo, queda claro que, a pesar de que la abundancia de la especie sea suficiente, no puede darse por hecho que será un proyecto exitoso si no se tiene la demanda real del mercado, la que es una garantía y una motivación muy fuerte para continuar con el emprendimiento. Pensar en que, si no hay demanda, esta puede ser creada por los expertos de marketing, no es descabellado, pero no garantiza que, en un mercado competitivo, el consumidor final vaya a aceptar el producto.

De las 12 especies estudiadas, diez tienen evidencia empírica comprobada de demanda nacional, ya que todo lo que por ahora se produce se agota de inmediato: asaí, copaibo, almendra, cusi, totaí y plantas medicinales. A nivel internacional, existe demanda para asaí, copaibo, cusi y palma real; los derivados de estas tres especies son por demás conocidos y comercializados en el mercado internacional para la industria cosmética, principalmente (Ávila 2023, Díaz-Villarreal y Villarreal 2020). Asaí es el segundo fruto silvestre más representativo del Amazonas, con Brasil como el principal exponente, que consume el 90% de su producción total (850 toneladas/año), dado que para los brasileños ya es un hábito consumir asaí. El mercado internacional, además de Brasil, lo constituyen Colombia, Estados Unidos, España, Francia, Reino Unido, Holanda y Alemania. El uso del asaí en estos países es tan variable, desde helados, yogurt, jugos, bebidas energéticas naturales, bebidas gaseosas, productos de alta nutrición (nutracéuticos), hasta cosméticos (Ávila 2023). Por su lado, el aceite de cusi tiende a seguir los precios de los aceites láuricos, siendo el aceite de coco y de palma una referencia de ello en el mercado mundial. En los últimos 20 años, el precio de todos los aceites en general tiende a subir (Rémillard *et al.* 2012). El producto principal de la palma real es el aceite de buriti (nombre brasileño) y los países compradores son Francia, España, Alemania y Corea del Sur (ACEAA-Conservación Amazónica 2022). Un producto emergente con enorme potencial de crecimiento es sin duda la nuez tostada de almendra chiquitana, porque ya está presente en el mercado de Canadá con demanda insatisfecha (comunicación personal de Silda García). De hecho, todos los años las empresas que se dedican a procesar y comercializar la almendra chiquitana, se quedan sin la suficiente materia prima, pero no es porque no haya abundancia del recurso, sino porque no hay suficiente volumen recolectado del fruto.

Beneficios para las familias recolectoras

Para que una actividad productiva de un PFM sea atractiva para las comunidades rurales, se requiere que el beneficio supere el costo de oportunidad del recolector, por ejemplo, el valor del jornal rural. Si el precio de mercado del producto no cubre los costos de producción, costos de procesamiento y costos de recolección, incluyendo las utilidades de los agentes económicos que participan en los eslabones de la transformación y comercialización, entonces a quien se castigará será el agente económico del primer eslabón, es decir, el recolector, y, por lo tanto, este no estará económicamente motivado para participar en la cadena de valor. Esto ya se lo ha visto en el cusi en la zona de Guarayos, donde el precio pagado al recolector por un día de trabajo, no llega ni al valor del jornal rural (Rémillard *et al.* 2012). Lo mismo ha pasado en los recientes años en el caso de la almendra chiquitana.

En el caso del cusi, según datos del año 2010 (Rémillard *et al.* 2012), una persona en promedio quiebra de 5 a 8 kg de semilla/día, si se toma en cuenta que el kg vende en menos de 1 dólar, resulta que el quebrador obtiene 6 \$us por un día de trabajo, sin tomar en cuenta el tiempo y costo de recolección, el cual varía en función a la distancia y accesibilidad de los cusisales. Se estima el "sueldo" de un recolector-quebrador entre 3 y 4 \$us por día. El jornal de mano de obra no calificada en la zona está entre 7 \$us y 11 \$us, por lo tanto, la recolección y quebrado de coco es una actividad antieconómica que solo se justifica si no hay otras alternativas de trabajo. Esta es la razón por la que son las mujeres indígenas, con sus hijos

y abuelos, quienes se dedican a esta actividad. Queda claro que los costos de recolección, transporte y quebrado no permiten a los emprendimientos comunitarios ser competitivos frente a procesos industriales, por lo que se ven obligados a obtener el aceite por sí mismos y llegar al consumidor final. Quizá, acceder a un mercado justo (fairtrade), podría ser una alternativa viable. Como respuesta, Rémillard *et al.* (2012) propusieron un sistema de manejo forestal para las comunidades Colorado y Candelaria en 4000 ha en la zona de Alto Paragúa, posibilitando un ingreso de 12 \$us/día o más para una persona, sin tener que abandonar su hogar, además de poder dedicarse a trabajar en su chaco para generar alimentos para autoconsumo (elemento fundamental de la cultura Chiquitana). Una planta de procesamiento mediana, con capacidad de transformar 20000 toneladas de frutos anualmente, podría generar unos 200 empleos en esta zona y generar un movimiento de casi un millón de dólares solo en la compra de materia prima.

El valor del bosque

Desde el punto de vista de la valoración del bosque, tiene mucho sentido que las ONG insistan en promover el aprovechamiento de los productos no maderables, cualesquiera que estos sean, pues al hacerlo, automáticamente se está agregando valor adicional al bosque, además del valor de la madera. Es decir, un bosque ya tiene un valor V_1 representado por la madera, pero si se agrega el aprovechamiento de un PFNM y este es económicamente exitoso, entonces el valor del bosque será V_1+V_2 , y así sucesivamente. Por lo tanto, el valor económico del bosque irá aumentando conforme se vayan agregando productos financieramente viables. Entonces conviene aumentar esfuerzos por incorporar productos no maderables al mercado, ya que, por un lado, esto aumenta el valor económico del bosque, pero por otro, genera ingresos adicionales para las familias rurales, a menudo importantes más para las mujeres que para los hombres, ya que son ellas las que se quedan en casa y dedican horas de descanso a la recolección de estos. Un bosque con mayor valor monetario por hectárea, será un bosque con mejor argumento para evitar su cambio de uso al sistema de producción agropecuaria.

El beneficio recibido por los comunarios en la recolección de los PFNM genera ingresos y empleos complementarios, contribuyendo a la valoración del bosque (Tapia-Tapia 2008). La percepción de que valorar los PFNM es valorar el bosque la comparten autores como Pastrana-Aguirre *et al.* (2019), quienes indican que en Ecuador los PFNM son importantes en la economía local y su aprovechamiento es una alternativa viable para el manejo y conservación de bosques, motivando a que las comunidades valoren económica, social y ambientalmente el bosque. En la misma línea, Pastrana-Aguirre *et al.* (2025) indican que los PFNM del bosque seco tropical de Colombia, brindan beneficios socioeconómicos significativos a los medios de vida de la población étnica, siendo las categorías de uso medicinal, alimentario y forrajero las que brindan los mayores beneficios económicos (6830,9 USD/año)

CONCLUSIONES

En la región chiquitana y el Bajo Paragúa, se han encontrado 12 especies entre árboles, palmeras y hierbas, cuyos PFNM están siendo aprovechados comercialmente por las comunidades con el apoyo de organizaciones no gubernamentales, a saber, y por orden de importancia, las siguientes especies: asaí, almendra chiquitana, copaibo, cusí, pesoé, totaí y cinco especies de plantas medicinales. Palma Real forma parte de este grupo, pero aún no se inició el aprovechamiento.

Los PFNM han sido objeto de agregación de valor en una primera y segunda transformación, pero solo asaí y almendra chiquitana han completado la cadena de valor hasta lograr productos acabados y listos para consumo final. El resto de las especies aún está en una primera etapa de transformación de materia prima a aceites esenciales y harinas, y si bien se tienen los primeros ensayos de segunda transformación con valor agregado para uso final, esto no pasa de una escala artesanal con volúmenes ínfimos que se agotan rápidamente.

Las especies más potenciales para promoverlas a escala comercial e industrial son el asaí, la almendra chiquitana y el cusi. Estas tres especies poseen abundancia suficiente, fuerte apoyo institucional, alta demanda del mercado y generan los mejores beneficios para las familias recolectoras. Existen otras tres especies que pueden escalar próximamente: el totaí tiene demanda y potencial industrial para aceite automotriz, la palma real produce un aceite con mercado internacional asegurado para la industria cosmética y el pesoé tiene alto potencial como ingrediente activo para la industria farmacéutica. En cinco de los PFNM (asaí, copaibo, almendra chiquitana, cusi y pesoé), los beneficios que genera el trabajo de recolección superan hasta en un 100 % el salario de un jornal de trabajo rural.

AGRADECIMIENTOS

Un justo agradecimiento para todas las mujeres y hombres líderes de las asociaciones comunitarias que trabajan con los productos no maderables y que han compartido conmigo su tiempo y su valiosa información de su experiencia vivida en el trabajo con los PFNM, ellos son: Polonia Supepí (Rio Blanco), Erika Pérez (Yororoba), Maria Antonia Castedo y Carlos Chuvé (Ipias), Liliana Justiniano (San Ceferino), Agustina Aponte (Palmarito de la frontera), Rosario Cuasase (Todos Santos) y Elia Pesa (Quitiquiña). Así también mis agradecimientos por compartir su información y el acceso a las comunidades, a mis colegas Ruth Delgado (FAN), Neil Aponte y Rosa Lenny Cuellar (FCBC), Orlando Melgarejo (Probosque II), Tomas Cuasase (APCOB) y Marco Antonio Urey (Helvetas Bolivia).

LITERATURA CITADA

- Aguilar, F. 2008. Análisis de información secundaria sobre manejo forestal, procesamiento y comercialización de productos no maderables provenientes de palmeras de chonta (*Astrocaryum murumuru*) y motacú (*Attalea phalerata*). Proyecto BOLFOR II. Santa Cruz, Bolivia.
- Angulo, A.; Benneker, C.; Ascarrunz, N. y Gómez, H. (Eds.). 2021. Productos forestales no maderables en Bolivia: experiencias de comercialización. Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz, Bolivia.
- Aldara da Silva, C.; Fabiano de Azedias, A.; Pereira de Souza, R.; Gilmar Clemente Silva, C. y Atabani A. E.. 2015. The prospects of using *Acrocomia aculeata* (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49:1213-122.
- ACEAA-Conservación Amazónica. 2022. Programa Empoderamiento Local. Estudio y análisis de mercado para la palma real (*Mauritia flexuosa*), majo (*Oenocarpus bataua*) y copoazú (*Theobroma grandiflorum*) en la ciudad de Cobija. Folleto Técnico, La Paz, Bolivia, 20 p.
- Ávila, M. 2023. Estudio de la oferta y demanda de mercado de asaí e innovación de productos y tecnología para su producción. Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz, Bolivia.
- Bagliani, M.; Vía do Pico, G.; Solís-Neffa, V. y Sara E. 2025. Análisis exploratorio de la amplitud ambiental y requerimientos ecológicos para identificar áreas potenciales de muestreo y cultivo de *Elionurus muticus* (Poaceae) en América del Sur. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 96:e965555. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2025.96.5555>
- Calani, M. 2024. Potencial oleífero de las semillas de totai (*Acrocomia totai* Mart.) en el municipio La Guardia, Santa Cruz, Bolivia. Instituto Nacional de Investigación Forestal. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Santa Cruz, Bolivia.
- CFV/FSC Bolivia, 2023. Diagnóstico socioeconómico de la Comunidad Indígena Porvenir. Documento interno de trabajo. Consejo Boliviano para la Certificación Forestal Voluntaria/Asociación de productores del Bosque Porvenir. Santa Cruz, Bolivia.
- Coímbra, J. 2016a. Almendra Chiquitana (*Dipteryx alata*). Guía para su aprovechamiento, manejo y cultivo. Fundación para la conservación del bosque chiquitano. Editorial FCBC. Santa Cruz, Bolivia.
- Coímbra, J. 2016b. Guía de Frutos Silvestres Comestibles de la Chiquitania. Editorial FCBC. Segunda edición. Santa Cruz, Bolivia.

- Coímbra, J.; Flores, R. y Valenzuela, W. 2016. Guía de Buenas Prácticas para la Extracción de Aceite de Copaibo Chiquitano (*Copaifera Langsdorffii*). Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano (FCBC). Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Delgado, R.; Navarro, P. y Trujillo, R. 2018. Estudio sobre el estado actual y avances en las cadenas productivas del cusi, copaibo y almendra chiquitana. Documento Técnico (no publicado). Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN), Proyecto Gestión Integral de Bosques para la Reducción de la Deforestación - PROBOSQUE/GIZ, Santa Cruz.
- Díaz-Villaruel, F. y Villaruel, D. 2020. Estructura poblacional y espacial del copaibo (*Copaifera langsdorffii* Desf.) en las comunidades de Quitunuquiña y Yororobá (Roboré, Santa Cruz, Bolivia). *Kempffiana* 2020 16(1): 28-41.
- Flora bonaerense. 2025. Yerba del lucero. <https://florabonaerense.blogspot.com/2018/05/yerba-del-lucero-hyptis-mutabilis.html>
- GIZ. 2018. Análisis de mercado de la almendra chiquitana. Ficha Informativa PROBOSQUE.
- Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE). 2007. Biocomercio sostenible: promoviendo el desarrollo con productos nativos de Bolivia. Comercio Exterior 155.
- Jardim, A.; Killeen, T. J. y Fuentes, A. 2003. Guía de Árboles y Arbustos del Bosque Seco Chiquitano, Bolivia. Fundación Amigos de la Naturaleza, Santa Cruz, Bolivia.
- Larrea-Alcázar, D.; Saavedra, J.; Poma, A.; Caballero, S.; Arteaga, L. y Terán, M. 2021. Experiencias y lecciones aprendidas de la venta grupal de castaña de la TCO Tacana II a una empresa beneficiadora de castaña de Riberalta (Bolivia). Pp: 42-64. En: Angulo, A.; Beneker, C.; Ascarrunz, N. y Gómez, H. (Eds.). Productos forestales no maderables en Bolivia: experiencias de comercialización. Instituto Boliviano de Investigación Forestal, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Lozada, S. y Moraes, M. 2013. Estructura poblacional del totaí (*Acrocomia aculeata*, Arecaceae) según presencia de ganado en localidades de Beni y Santa Cruz (Bolivia). *Ecología en Bolivia* 48(2): 72-86.
- Mendoza, Z.; Rivera, M. y Granda, V. 2019. Productos forestales no maderables de los bosques secos de Zapotillo, Loja, Ecuador. *Revista Arnaldoa* 26 (2): 575-594.
- Moraes R. M. (Ed.). 2014. Palmeras útiles de Bolivia: Las especies mayormente aprovechadas para diferentes fines y aplicaciones. Herbario Nacional de Bolivia - Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 148 p.
- Moraes, M. y Sarmiento, J. 1999. La *jatata* (*Geonoma deversa* (Poit.) Kunth, Palmae) - un ejemplo de producto forestal no maderable en Bolivia: uso tradicional en el Este del departamento de La Paz. *Revista de la Sociedad Boliviana de Botánica* 2 (2): 183-196.
- Moreno, J. Y Moreno, A. 2006. El cusi (*Attalea speciosa*) y su aprovechamiento en la chiquitania. Fundación Amigos de la Naturaleza. Santa Cruz, Bolivia.
- Mundo Forestal. 2025. Cordoncillo. Mundo Forestal San José Costa Rica. <https://www.elmundoforestal.com/portfolio/cordoncillo/>
- Palacios, Z.; Delgado, G.; Moreno, M.; Kato, M. y Rojas, C. 2009. Actividad antifúngica in vitro de extractos crudos de *Piper tuberculatum*. *Revista Peruana de Biología*, 16 (2): 209-214.
- Pastrana-Aguirre, G.; Ortiz-Valdés, C.; Velásquez-Penagos, J. y Quimbayo-Cardona, M. 2025. Valoración económica de productos forestales no maderables del bosque seco tropical: etnia Pijao, Natagaima, Tolima, Colombia. *Revista Agronomía Mesoamericana* 36: 61822.
- Peralta, C.; Vos, V.; Llanque, O. y Zonta, A. 2009. Productos del bosque. Potencial social, natural y financiero en hogares de pequeños productores de la Amazonia. Proyecto ForLive. Universidad Autónoma del Beni José Ballivián. Riberalta, Bolivia. 178 pág.
- Pérez, R. 2018. Determinación de áreas de aprovechamiento y potencial productivo de palma real en la zona del Bajo Paraguá. Cooperación Alemana GIZ. Santa Cruz, Bolivia.
- Quenevo, C.; Mamio, S.; Zúñiga, G. 2007. Plan de manejo de palmeras de la comunidad indígena Bella Altura, TCO Tacana, municipio de San Buenaventura, departamento de La Paz. La Paz, Bolivia.
- Ramírez, E. 2019. Caracterización morfológica, productiva y ambiental de poblaciones naturales de *Acronomia acuelata* (Locq.) Lodd. Ex Mart.) en el Departamento de Itapúa, extremo sur de Paraguay. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

- Rémillard, U.; Flores, R.; Fernández, X. y Rivera, C. 2012. El cusi *Attalea speciosa*: Perspectivas para el desarrollo económico local. Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano. Santa Cruz, Bolivia.
- Reitzenstein, E. 2003. Potenciales para la Comercialización de Productos Forestales No Maderables (PFNM) del Territorio Indígena y Parque Nacional Isiboro-Sécure (TIPNIS) Informe sobre un estudio de mercado. Proyecto MAPZA (GFA/GTZ), La Paz, Bolivia.
- Sandoval, E. 2015. Subplan General de Manejo Forestal de Asaí (*Euterpe precatoria*), Unidad de Producción Forestal Carmen Pecha. Instrumento de gestión forestal. La Paz, Bolivia.
- Sandoval, D. 2016. Evaluación de repelencia a la humedad y ataque de termitas (*Cryptotermes brevis*), del aceite de Pesoé (*Pterodon emarginatus*) en dos tipos de maderas, Ochoó (*Hura crepitans*) y Yesquero negro (*Cariniana estrellensis*). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Santa Cruz, Bolivia.
- Saucedo, F. 2014. Plan General de Manejo Forestal de la Comunidad Indígena Porvenir. Santa Cruz, Bolivia.
- Tapia-Tapia, M. y Reyes-Chilpa, R. 2008. Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable. Revista Madera y Bosques 14(3): 95-112
- Toledo, M. 1996. Etnobotánica de los chiquitanos de la región de Lomerío, en Santa Cruz, Bolivia. *Ecología en Bolivia* 27: 31-42.
- Trujillo-González, J. M., Torres Mora, M. A. y Santana-Castañeda, E. 2011. *La palma de Moriche (Mauritia flexuosa L.f.) un ecosistema estratégico*. Orinoquia, 15(1): 62-70.
- Vargas, I. y Jordán, C. 2003. Principales plantas útiles del Bajo Paraguá: guía de campo. Fundación Amigos de la Naturaleza. Santa Cruz, Bolivia.
- Vennetier, C.; Peltier, P. y Coimbra, J. 2012. Valorizar la Almendra Chiquitana, *Dipteryx alata* (Vogel), ¿Una estrategia para mitigar el impacto ambiental del desarrollo agropecuario en Bolivia? Revista Bois et Forêts des Tropiques 311(1): 35-48. <https://doi.org/10.19182/bft2012.311.a20509>
- Villarroel, D.; Mostacedo, B.; Toledo, M.; Antezana, M. y Del Valle, A. 2015. Densidad, estructura poblacional y regeneración natural de la almendra chiquitana. En: Mostacedo, B. y Villarroel, D. (Eds.). Identificación de Variedades, Ecología y Productividad de la Almendra Chiquitana (*Dipteryx alata*). Santa Cruz, Bolivia.
- Villegas, Z. y Leño, C. 2007. Ecología y silvicultura de especies menos conocidas cuchi, *Astronium urundeuva* (Allemao) Engl. Anacardiaceae. Proyecto BOLFOR / Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz, Bolivia
- Villavicencio, J.; Herrera, F. y Ochoa, J. 2024. Valoración Económica de Productos Forestales no Maderables del Parque Turístico Nueva Loja. Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar, 8(4): 13240-13258.
- Weigend, M.; Luebert, F.; Gottschling, M.; Hilger, H. H. y Miller, J. S. 2015. Economic potential of Cusi (*Orbigynya phalerata*) seeds: Fatty acid composition and market value. Journal of Applied Botany and Food Quality, 88: 123-130.
- WWF. 2025. Cusi y copaibo. World Wild Found. <https://www.wwf.org.bo/?371970/Cusi-y-copaibo-aceites-que-curan-y-embellecen-mientras-mejoran-la-vida-de-mujeres-chiquitanas>

ARTICULO CIENTÍFICO

Estimación de la biomasa aérea con el paquete BIOMASS de R: Un estudio de caso en el Bosque Experimental Elías Meneses, Santa Cruz, Bolivia

Juan Edgar Ponce

Instituto de Investigaciones Forestales (INIF), Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno, Campus Universitario El Vallecito, Km 8 al Norte, Santa Cruz, Bolivia. <https://orcid.org/0000-0001-5750-833X>. Email: juanponce@uagrm.edu.bo

RESUMEN

La estimación de la biomasa aérea de los árboles presenta una alta variabilidad espacial y se utilizan diferentes métodos para su determinación, lo cual genera una incertidumbre en la cuantificación del carbono y del dióxido de carbono. El objetivo del trabajo fue aplicar un método automatizado para cuantificar la biomasa aérea con la menor incertidumbre. La toma de datos se realizó en una parcela de 2.25 ha en el Bosque Experimental Elías Meneses (BEEM) que se encuentra dentro la Reserva Forestal El Choré. La metodología utiliza las funciones del paquete BIOMASS del entorno de R para corregir la taxonomía vegetal y, con base en esto, asignar la densidad de la madera desde un repositorio, estimar la altura total por un modelo local (muestra de mediciones de diámetro y altura), por un modelo con base en una región geográfica y con base en las coordenadas geográficas, y la cuantificación de la biomasa aérea por árbol. Los resultados mostraron 19 órdenes, 40 familias y 116 especies forestales y con un 88.3% de individuos correctamente clasificados y una biomasa aérea de 227.91 t/ha, siendo las familias Moraceae, Euphorbiaceae, Annonaceae, Chrysobalanaceae, Phyllanthaceae y Meliaceae las que presentaron las mayores biomásas aéreas; mientras que las especies *Hura crepitans*, *Clarisia racemosa*, *Pseudolmedia laevis*, *Licania oblongifolia*, *Richeria grandis* y *Ficus boliviana* son las de mayor biomasa aérea. Aplicando la simulación de Monte Carlo, el modelo alométrico es el componente que presentó la mayor incertidumbre, mientras que el diámetro tuvo la menor incertidumbre. En este trabajo se concluye que las funciones del paquete BIOMASS de R permiten automatizar la estimación de la biomasa aérea de los bosques tropicales minimizando los errores y aumentando la precisión.

Palabras clave: biomasa aérea, Bosque Experimental Elías Meneses, BIOMASS, Modelo local, Propagación de errores

Estimation of aboveground biomass using the BIOMASS package in R: A case study in the Elías Meneses Experimental Forest, Santa Cruz, Bolivia

ABSTRACT

Estimating aboveground biomass in trees demonstrates significant spatial variability, and various methods are employed for its assessment, leading to uncertainty in the quantification of carbon and carbon dioxide. This study aims to implement an automated approach to quantify aboveground biomass with minimal uncertainty. Data collection was conducted in a 2.25 ha plot within the Elías Meneses Experimental Forest (BEEM), situated in the El Chore Forest Reserve. The methodology utilizes the functions of the BIOMASS package in the R environment to rectify plant taxonomy and subsequently

assign wood density from a database, estimate total height using a local model (derived from a sample of diameter and height measurements), a model based on geographic region, and a model based on coordinates, thereby quantifying aboveground biomass per tree. The findings revealed 19 orders, 40 families, and 116 forest species, with 88.3% of individuals accurately classified and an aboveground biomass of 227.91 t/ha. The families Moraceae, Euphorbiaceae, Annonaceae, Chrysobalanaceae, Phyllanthaceae, and Meliaceae displayed the highest aboveground biomass, while the species *Hura crepitans*, *Clarisia racemosa*, *Pseudolmedia laevis*, *Licania oblongifolia*, *Richeria grandis*, and *Ficus boliviana* exhibited the greatest aboveground biomass. Through Monte Carlo simulation, the allometric model revealed the highest uncertainty, whereas the diameter presented the least uncertainty. This research concludes that the functions of the BIOMASS package in R facilitate the automated estimation of aboveground biomass in tropical forests, thereby reducing errors and enhancing accuracy.

Keywords: aboveground biomass, BIOMASS, Elías Meneses Experimental Forest, local model, Error propagation

INTRODUCCIÓN

La cuantificación precisa de la biomasa de los árboles en un área forestal es importante para comprender el ciclo global del carbono y apoyar estrategias de conservación y manejo forestal sostenible. El paquete BIOMASS de R ha surgido como una herramienta para estandarizar y mejorar la estimación de la biomasa aérea, teniendo en cuenta la valoración de la incertidumbre y el uso de datos alométricos regionales (Réjou-Méchain *et al.* 2017). La Amazonia almacena grandes cantidades de carbono, con una alta variabilidad espacial y métodos utilizados en las estimaciones de biomasa, lo cual genera una incertidumbre en los balances de carbono y en la evaluación de emisiones por deforestación y quemadas (Saatchi *et al.* 2007). Los árboles con dimensiones mayores concentran la mayor parte de la biomasa, por lo tanto, es importante efectuar una medición correcta (Benítez-Romero *et al.* 2022).

La estimación de la biomasa aérea está basada en ecuaciones alométricas que relacionan el diámetro, la altura total y la densidad de la madera (Nogueira *et al.* 2012). La utilización de modelos locales de altura-diámetro permite una mayor precisión de las estimaciones en comparación con los modelos regionales o pantropicales, especialmente en bosques con diferentes tipos ecológicos (Fareed y Numata 2025). Asimismo, la utilización de la densidad de la madera y una precisa identificación taxonómica son factores importantes para reducir los errores (Fearnside 1997).

El avance de sensores remotos, como LiDAR, imágenes hiperespectrales y radar de apertura sintética (SAR), junto con algoritmos de aprendizaje automático, ha mejorado la capacidad de estimar la biomasa a escalas espaciales mayores y con mayor precisión (Lu *et al.* 2016, Madhab y Dev, 2018, Jilo *et al.* 2025). La integración de datos de campo y los obtenidos de los sensores remotos, así como la inclusión de variables ambientales (topografía, suelo, clima), incrementa la robustez de los modelos y permite generar mapas que incluyan toda la variabilidad espacial de la biomasa (Su *et al.* 2025, Ayushi *et al.* 2024, Chen *et al.* 2025)

El paquete BIOMASS del entorno R automatiza la corrección de la identificación de especies corrigiendo a diferentes niveles: orden, familia, género y especie. Asimismo, estimada la densidad de la madera, ajusta diferentes modelos locales de altura-diámetro y propaga la incertidumbre en cada paso de los cálculos, promoviendo la transparencia y la reproducibilidad (Réjou-Méchain *et al.* 2017). En adición, es posible la integración de datos de sensores remotos (LIDAR, GEDI) y las técnicas de aprendizaje

automático que permiten escalar las estimaciones a grandes extensiones y mejorar la representación de la heterogeneidad estructural del bosque (Fareed *et al.* 2025).

En la estimación de la biomasa de los árboles, la cuantificación de la incertidumbre asociada a la inferencia estadística es importante, ya que se tienen varias fuentes de errores como: errores en la medición de las variables, la selección de ecuaciones alométricas y el tamaño de las unidades de muestreo. Por lo tanto, se recomienda enfocar el muestreo en árboles grandes y utilizar parcelas de mayor tamaño para capturar la mayor variabilidad (Brown *et al.* 1995). El paquete BIOMASS de R cuantifica la propagación de errores y la incertidumbre en las estimaciones, las mismas que son esenciales para la robustez estadística (da Costa *et al.* 2025).

Las estimaciones precisas de biomasa son fundamentales para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, proyectos REDD+ y la planificación de la conservación de la vegetación arbórea (Rodríguez y Freitas, 2025). Por otro lado, la generación de mapas de biomasa con imágenes de alta resolución apoya en la toma de decisiones y en la evaluación de impactos de degradación, deforestación e incendios forestales (Saatchi *et al.* 2007). En el Cuadro 1, se presentan los principales hallazgos y aportes para la estimación de la biomasa aérea de los árboles.

Cuadro 1. Principales enfoques en la estimación de la biomasa aérea de árboles

Tema	Principales hallazgos y aportes	Citas bibliográficas
Estandarización y BIOMASS	Herramienta robusta para la estimación de la biomasa aérea y la cuantificación de la incertidumbre en bosques tropicales	Réjou-Méchain <i>et al.</i> 2017
Modelos alométricos locales	Mejoran la precisión en comparación con los modelos genéricos	Bojórquez <i>et al.</i> 2020, Amanuel <i>et al.</i> 2024, Jilo <i>et al.</i> 2025
Integración de sensores remotos	Aumentan la exactitud y cobertura espacial de las estimaciones	Lu <i>et al.</i> 2016, Ghosh y Behera 2018, Chave <i>et al.</i> 2014, Marchesan <i>et al.</i> 2019

La aplicación de modelos y herramientas como BIOMASS debe considerar las particularidades ecológicas y florísticas del área de estudio, como en el Bosque Experimental Elías Meneses en Santa Cruz, Bolivia, para asegurar la validez de las estimaciones. El desarrollo de modelos ajustados localmente y la evaluación rigurosa de la incertidumbre son pasos clave para obtener resultados confiables y útiles para la gestión forestal y la investigación científica (Bojórquez *et al.* 2020, Amanuel *et al.* 2024).

La biomasa aérea de los bosques en Bolivia se estima aproximadamente en 9,77 gigatoneladas (Gt) y el 90,1% (8,8 Gt) se concentra en los departamentos de Santa Cruz, Beni, Pando y La Paz; de los cuales 3,51 Gt están en Santa Cruz y 2,58 Gt en el Beni; con densidades entre 200 - 300 t ha⁻¹ (Villarroel *et al.* 2022). En los bosques tropicales húmedos la cantidad de biomasa almacenada puede llegar hasta 500 t ha⁻¹ y en los bosques secundarios puede ser menor que 100 t ha⁻¹ (Mostacedo *et al.*, 2008). En cambio, en un área del bosque seco chiquitano se estimó una biomasa de 213 t ha⁻¹ en el bosque hidrofítico y 209 t ha⁻¹ en el bosque semideciduo (Paz-Roca y Mostacedo, 2020).

Pereira *et al.* (2025), señalan que en el caso de un modelo altura-diámetro para un área del bosque amazónico del Brasil, los modelos asintóticos y en especial el cuadrático son los que tienen un mejor ajuste y una mayor precisión que los modelos de Feldpausch *et al.* (2012) y Chave *et al.* (2014). Por otro

lado, un modelo de regresión con un coeficiente que representa a una altura asintótica (altura máxima de un árbol) fue el que mejor se ajustó para estimar la altura total a partir del diámetro, generando diferencias significativas con otras regiones de la Amazonia (Nogueira *et al.* 2012).

La incertidumbre en la estimación de la biomasa aérea está relacionada con la copa de los árboles y en el bosque amazónico de Brasil fue estimada en base del volumen del fuste, la densidad de la madera y un factor de expansión de la biomasa y los mejores modelos alométricos utilizaron el diámetro del árbol al cuadrado, la altura del árbol y la densidad de la madera que permitieron reducir los errores en la estimación de la biomasa aérea (Benítez-Romero *et al.* 2022). El error de las mediciones de la biomasa en la Amazonía del Brasil fue de $\pm 20\%$, $\pm 57 \text{ Mt ha}^{-1}$ con relación a la media y con un intervalo de confianza del 95%. El promedio de biomasa aérea global varió de 228 a 342 Mt ha^{-1} calculado por una simulación de Montecarlo (Brown *et al.* 1995).

Por lo expuesto, el presente trabajo tiene el objetivo de comprobar la eficiencia del paquete BIOMASS de R en la estimación de la biomasa aérea de los árboles de un área del Bosque Experimental Elías Meneses; esto significa automatizar procesos para la corrección de nombres científicos, la asignación de densidades de madera promedio, la selección de ecuaciones alométricas locales, la estimación de alturas en base a la localización y la cuantificación de la incertidumbre en las estimaciones.

MÉTODOS

Área de estudio

El Bosque Experimental Elías Meneses (BEEM) está localizado en el Municipio de Yapacaní, dentro de la Provincia Ichilo del Departamento de Santa Cruz a unos 209 km al noroeste de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra ($16^{\circ}38' \text{ S}$, $64^{\circ}30' \text{ O}$), con elevaciones que oscilan entre 170 y 200 m (Acosta y Aguanta, 2006). Esta área se encuentra dentro de la Reserva Forestal El Choré y fue concedida a la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno (UAGRM) en 1988 para desarrollar trabajos de investigación. La Reserva Forestal El Chore está disminuyendo su cobertura forestal como consecuencia de la deforestación y en beneficio de la agricultura y de áreas antrópicas (Pinto 2006).

Datos de la estación meteorológica de San Juan de Yapacaní, reportan una precipitación media anual de 1000 - 2000 mm, con una temperatura promedio de 24°C , con una época lluviosa bien marcada de noviembre a abril y una época seca de junio a octubre (Farel, 2006). El Bosque Experimental Elías Meneses (BEEM) cubre una superficie de 112043 ha y, geográficamente, se ubica entre las coordenadas $64^{\circ} 45'$ y $64^{\circ} 25'$ de longitud oeste y $16^{\circ} 40'$ y $16^{\circ} 25'$ de latitud sur.

Toma y análisis de datos

La toma de datos se realizó en las parcelas permanentes de muestreo implementadas por la UAGRM en el Bosque Experimental Elías Meneses (BEEM). Para una correcta identificación de las especies forestales, muestras botánicas fueron recolectadas por especialistas del Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado (MHNNKM). De hecho, estas muestras se encuentran debidamente procesadas en el Herbario

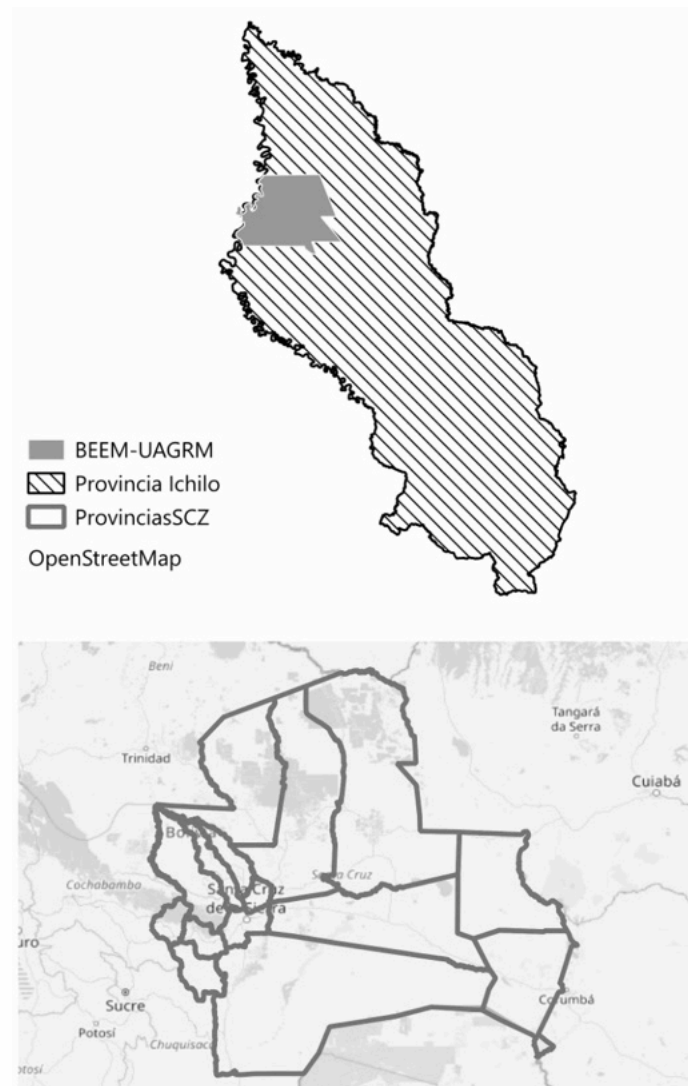


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el Bosque Experimental Elías Meneses (BEEM)

Regional (USZ) del Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, para su consulta. Por otro lado, a partir de una muestra de árboles se han obtenido datos de diámetro y altura para generar un modelo local para la estimación de la altura.

El paquete BIOMASS de R es una herramienta especializada para estimar la biomasa aérea (AGB) y su incertidumbre en bosques tropicales. Tiene varias funciones para la corrección taxonómica de las especies, la estimación de la densidad de la madera (WD), la construcción de modelos de altura-diámetro (HD) y la incertidumbre asociada. Además de manejar datos biológicos, el paquete tiene funciones para la gestión y corrección de coordenadas de árboles y parcelas, como la interpolación de coordenadas y el manejo de datos del GPS. La función principal es AGBmonteCarlo, que permite conocer la propagación de errores para calcular la biomasa aérea a nivel de parcela. En resumen, permite procesar datos de inventario forestal, asignar valores de la densidad de la madera y de la altura y finalmente calcular la biomasa aérea con un análisis robusto de la incertidumbre (Réjou-Méchain *et al.* 2017), tal como se muestra en la Figura 2.

En realidad, BIOMASS agiliza el procedimiento del cálculo de la biomasa aérea. En el caso de la medición del diámetro del árbol, es la variable de entrada, aunque las mediciones del diámetro presentan errores por diversas causas y es necesaria una verificación cuidadosa para corregir algunos errores obvios. En el caso de la densidad de la madera, esto es, el peso seco en horno dividido por el volumen verde de madera presenta una alta variación entre las especies de árboles (Chave *et al.* 2009) y, en realidad, esta característica no se mide para arboles individuales en los inventarios forestales y con BIOMASS se asigna un valor de la densidad a cada árbol a partir de una base de datos de la densidad de la madera global (GWD) y basado en la identidad taxonómica. De hecho, la función *getWoodDensity* asigna este valor a cada uno de los árboles; asimismo, se pueden agregar valores adicionales de la densidad de la madera utilizando la función *addWoodDensityData* (Réjou Méchain *et al.* 2017). Las características de estas funciones se presentan en el Cuadro 2.

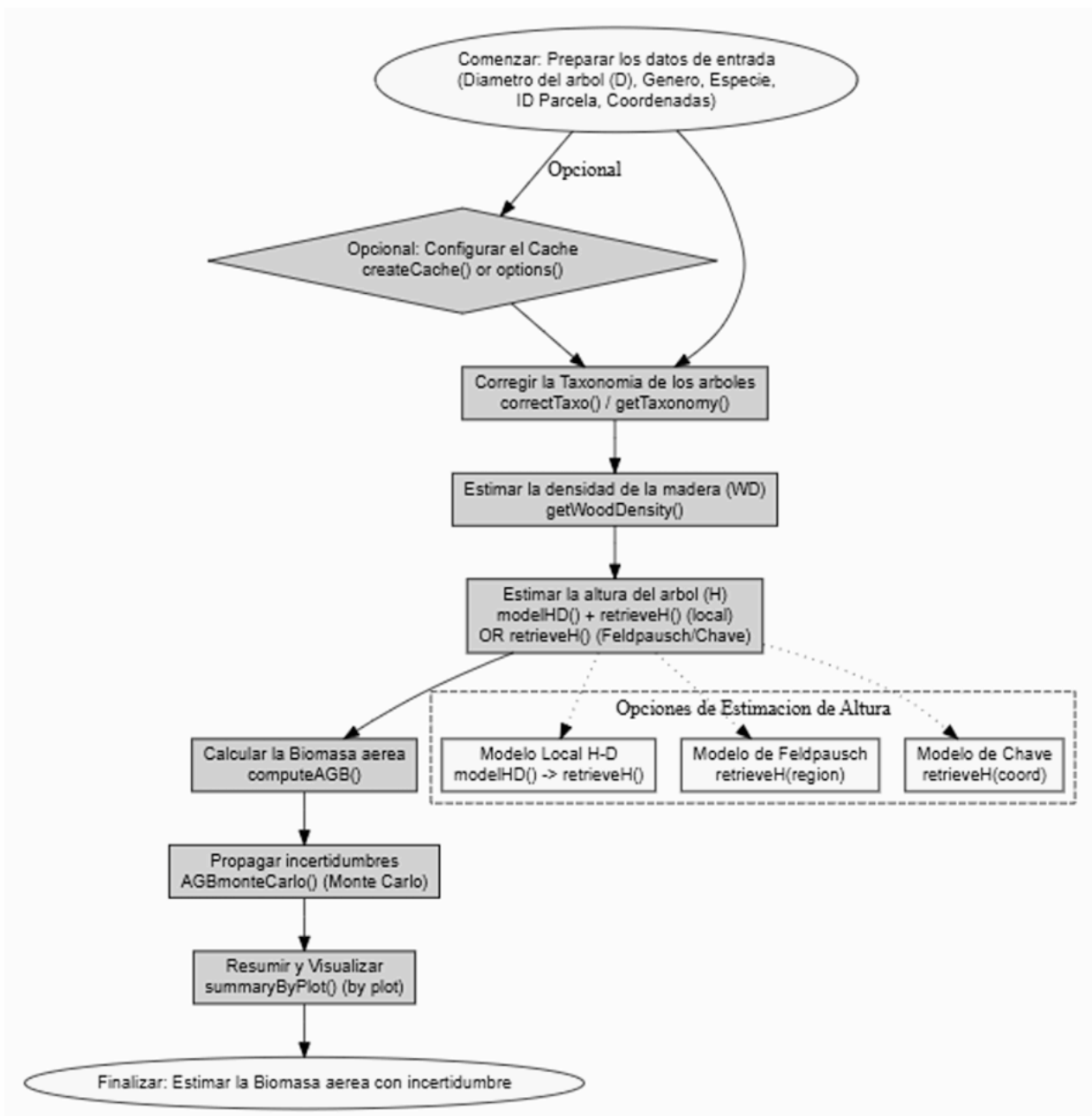


Figura 2. Diagrama de flujo de la librería BIOMASS

Cuadro 2. Funciones de BIOMASS para corrección taxonómica y asignación de la densidad de la madera.

N	Función	Propósito
1	correctTaxo	Corrige errores tipográficos en los nombres científicos de los árboles para asegurar que las especies estén correctamente identificadas y se pueda asignar la densidad de madera adecuada. Para esto se utiliza la base de datos global en línea del Servicio de Resolución de Nombres Taxonómicos (TNRS).
2	getWoodDensity	Encuentra la densidad de la madera para cada árbol basándose en su especie, género o familia. Para asignar este valor se utiliza una gran base de datos global con los nombres estandarizados (Chave <i>et al.</i> 2009 y Zanne <i>et al.</i> 2009)

Los modelos utilizados por la librería BIOMASS para este ajuste son lineales y no lineales. Se tienen dos modelos logarítmicos, uno lineal y otro no lineal, y los modelos de Weibull y de Michaelis; la función modelHD permite estimar los parámetros de los modelos y conocer el grado de ajuste de cada uno de ellos (Réjou-Mechain *et al.* 2017). Los métodos utilizados para el ajuste de la altura en función del diámetro (Cuadro 3).

Cuadro 3. Modelos lineales y no lineales para estimar la altura en base de la medición del diámetro

N	Modelo	Ecuación	Fuente
1	log1	$\log(H) = a + b * \log(D)$	Baskerville (1972)
2	log2	$\log(H) = a + b * \log(D) + c * \log(D)^2$	Baskerville (1972)
3	Weibull	$H = a * (1 - \exp(- (D/b)^c))$	Weibull (1951)
4	Michaelis	$H = (A * D)/(B + D)$	Michaelis-Menten (1913)

La estimación de la biomasa aérea se efectuó utilizando modelos pantropicales. La función computeAGB tiene dos métodos para calcular la biomasa aérea, dependiendo de si se tienen datos de altura o no. Si se dispone de datos de altura se calcula utilizando la ecuación 4 del estudio de Chave *et al.* (2014), con la siguiente ecuación:

$$AGB = 0,0673 * (WD * H * D^2)^{0,976}$$

Donde:

AGB es la biomasa aérea en Mg o toneladas

WD es la densidad de madera en g/cm³

H es la altura del árbol en m

D es el diámetro del árbol en cm

En el caso de que no se disponga de las alturas, la estimación de la biomasa aérea se calcula utilizando las coordenadas del sitio para incorporar una variación de la relación altura-diámetro a través de una variable ambiental y la ecuación a utilizar es la siguiente:

$$AGB = \exp(-2,024 - 0,896 * E + 0,920 * \log(WD) + 2,795 * \log(D) - 0,0461 * (\log(D)^2))$$

Donde:

E es una medida del estrés ambiental que se estima a partir de las coordenadas del sitio

WD es la densidad de la madera en g/cm³

D es el diámetro del árbol en cm

Para evaluar la incertidumbre en la estimación de la biomasa aérea se utilizó el enfoque de simulación de MonteCarlo a través de la función AGBmonteCarlo de BIOMASS. Este método permite la propagación de los errores a través de los pasos necesarios para calcular la biomasa aérea. a) densidad de la madera, se incorporó la desviación estándar asociada a las estimaciones, la cual se obtiene a través de la función getWoodDensity, b) altura de los árboles, se utilizó el error estándar residual de los modelos de altura-diámetro, c) diámetro del árbol, se puede especificar un valor de desviación único o utilizar el método "chave2004", que aplica un error mayor al 5% de las mediciones y uno menor al 95% restante, en este trabajo se utilizó el método "chave2004", d) modelo alométrico, para propagar los errores atribuidos a esta fuente se ha utilizado la altura del modelo local (Réjou-Méchain *et al.* 2017).

La función de propagación de errores de BIOMASS genera una distribución posterior de la biomasa aérea calculando: a) la media, mediana y desviación estándar de la biomasa aérea, b) intervalos de credibilidad al 95%, y c) una matriz de simulaciones que contiene los resultados de cada iteración (1000 iteraciones). En este proceso se considera cada componente del modelo como determinista (usando solo el valor medio de sus parámetros) uno a la vez (Molto *et al.* 2013).

RESULTADOS

Taxonomía de especies forestales

La verificación de la taxonomía de las especies forestales en las parcelas de estudio se realizó utilizando la función *correctTaxo* de la librería de BIOMASS. Esta corrección es vital ya que la asignación de la densidad de la madera en g/cm³ está en función de las categorías de género y especie. Se tiene que el 88,34% de los árboles no tenían errores tipográficos, en un 9,5% no fueron encontradas las especies debido a que se identificó solamente hasta el nivel de género. Asimismo, solo el 2,2% de los árboles fueron corregidos hasta el nivel de especie. Esto significa que un alto porcentaje de los árboles (88,34%) no presentaron errores tipográficos (Figura 3).



Figura 3. Corrección taxonómica de especies forestales

Con base en el género y la especie corregidos, se recuperó la taxonomía a nivel de orden y familia de acuerdo con el sistema de clasificación de las angiospermas y según criterios filogenéticos (APG III). De las 19 categorías de orden encontradas, el 27,7% de los árboles corresponden al orden de los Malpighiales, el 27,5% al orden de los Rosales, el 16,3% al orden de los Magnoliales y el 10% al orden de los Arecales, siendo los principales órdenes. El orden Malpighiales agrupa a 8 familias y siendo las más importantes Dichapetalaceae y Violaceae; mientras que el orden Rosales agrupa a 4 familias y siendo la más importante Moraceae; en el caso del orden Magnoliales agrupa a 2 familias, siendo las Annonaceae la más importante.

En el caso de las familias, se tienen 40 categorías, siendo la familia Moraceae la que tiene más árboles y representa el 25,4% y agrupa a géneros importantes como *Pseudolmedia*, *Poulsenia* y *Clarisia*. Seguido de la familia Annonaceae que representa el 15,8% con géneros importantes como *Duguetia* y *Unonopsis*. Luego se encuentra la familia Arecaceae con el 10% de los individuos y con el género *Astrocaryum* como el más importante. La familia Violaceae representa el 9,7% de los árboles con el género *Leonia* (Figura 4).

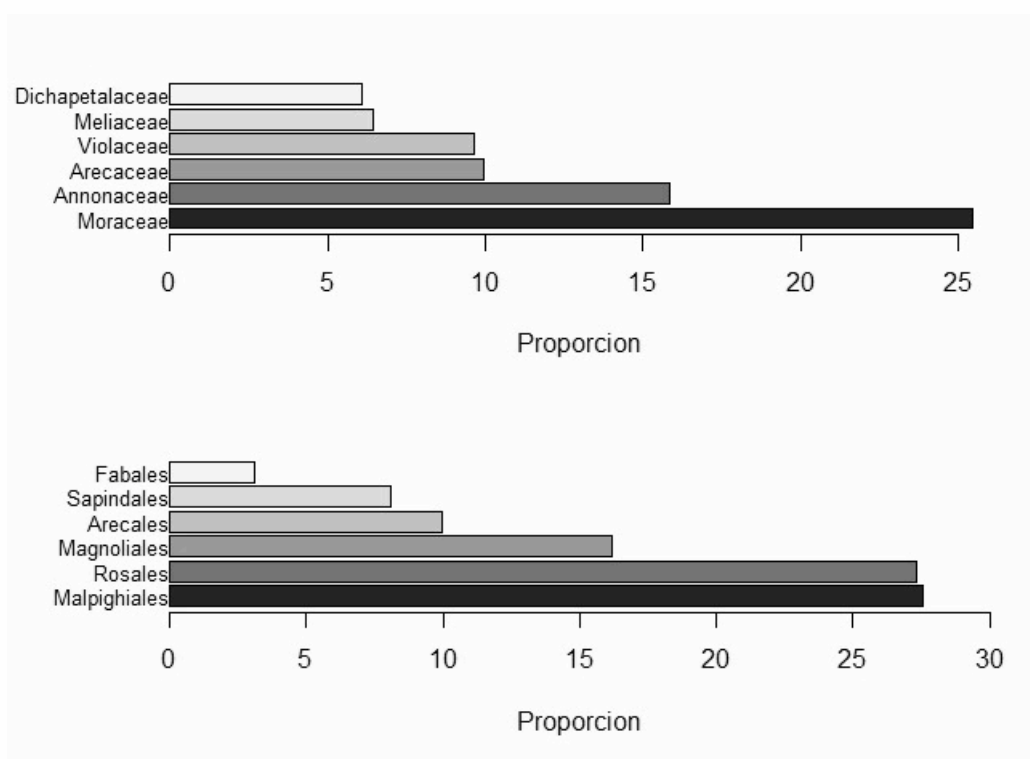


Figura 4. Presencia de árboles a nivel de orden y familia

Determinación de la densidad de madera

La densidad de la madera en g/cm^3 se obtuvo con base en la especie y en promedios por género y parcela. Un 68,4% de los datos de densidad se obtuvieron con base en la clasificación botánica hasta el nivel de especie, un 28,8% como promedio de la densidad por género y un 2,8% como un promedio de la parcela. Asimismo, el 27,37% de los árboles presentaron densidades de madera entre 0,579 y 0,626 g/cm^3 , y un 23,44% con densidades de madera entre 0,626 y 0,673 g/cm^3 (Figura 5).

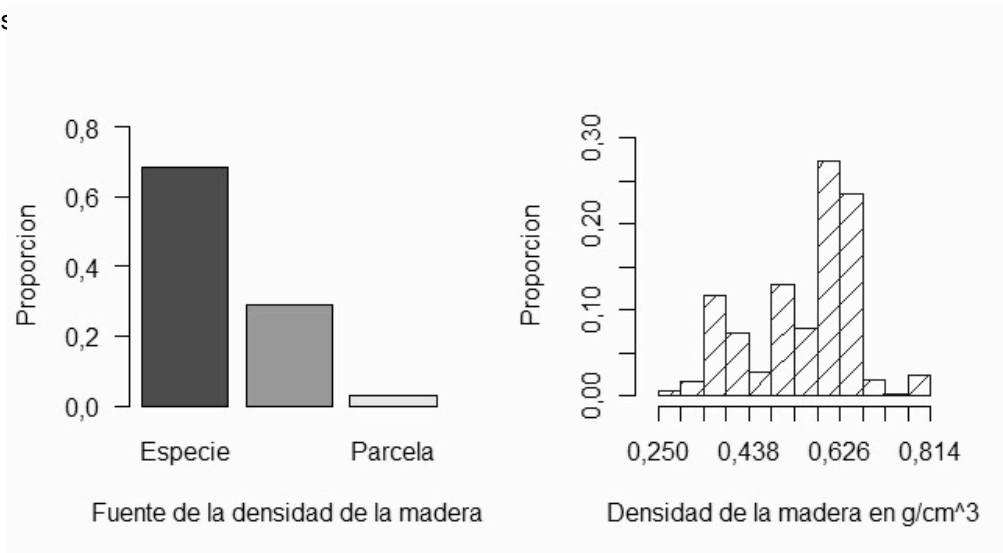


Figura 5. Fuente de la densidad de la madera y su distribución

Estimación de la altura de árboles

Una muestra de las parcelas permanentes del BEEM de 632 árboles con mediciones de diámetro, altura total y altura de fuste se utilizó para generar un modelo local que permita estimar la altura en función del diámetro. La altura total de los árboles presentó un promedio de 20,2 m, una mediana de 19,5 m y con valores que varían entre 11,7 m a 27,8 m. Estos datos han sido ajustados para generar un modelo local de H-D aplicando modelos lineales y no lineales. Las métricas utilizadas para evaluar los cuatro modelos de relación altura-diámetro (H-D) mostraron que el modelo log2 (polinomial de segundo orden) presento el menor error estándar residual (RSE) con un valor de 4,56 y el menor sesgo promedio (Average_bias) con un valor de 0,0076 (Figura 6).

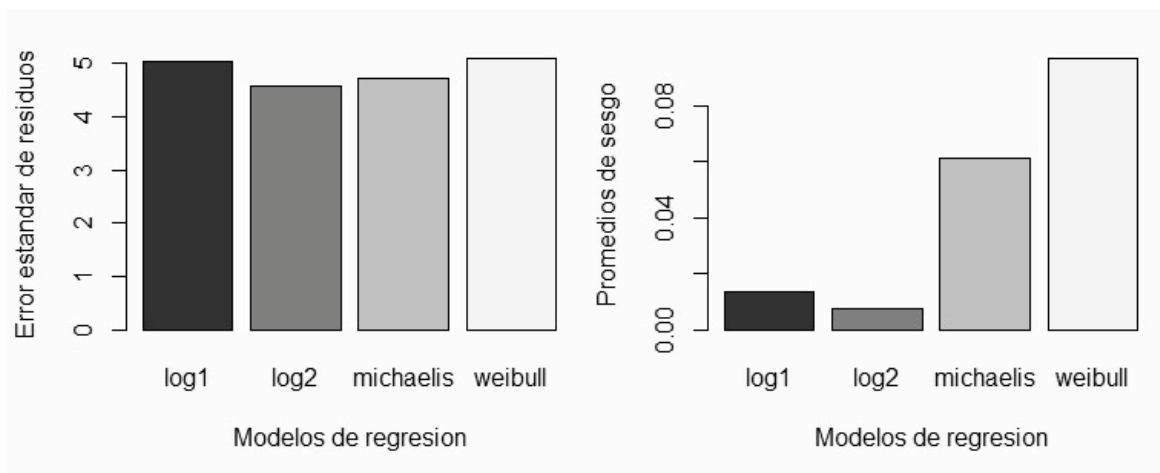


Figura 6. Métricas para evaluar la precisión de los modelos lineales y no lineales

Se han recuperado las alturas de los árboles de tres fuentes: a) modelo local, b) modelo de Feldpausch y c) modelo de Chave. En el primer caso, se ha recuperado la altura de los árboles que han sido estimados por el mejor modelo local (log2) utilizando la función retrieveH de BIOMASS. Por otro lado, se han recuperado las estimaciones de la altura por el modelo de Feldpausch con base de una región geográfica que en este caso fue Brazilian Shield (región del escudo brasileño). Finalmente, se han obtenido las estimaciones de la altura por el método de Chave, el mismo que se basa en el promedio de coordenadas geográficas decimales de la localización de las parcelas (Long: -64,50782 y Lat: -16,63848). Comparando la estimación de la altura de los árboles por los tres modelos, se obtuvieron altos grados de asociación entre ellos. Las alturas presentan curvas de distribución asimétricas a la derecha, debido a que las mayores frecuencias se encuentran concentradas en los valores más bajos de altura. Por otro lado, los modelos presentaron un alto grado de asociación, ya que entre el modelo local y el modelo de Feldpausch se tiene un 0,991 (99,1% de asociación); entre el modelo local y el modelo de Chave un 0,996 (99,6% de asociación) y finalmente, entre el modelo de Feldpausch y el modelo de Chave un 0,999 (99,9% de asociación). Esto corrobora la validez del uso de modelos diferentes al modelo local para estimar la altura de los árboles (Figura 7).

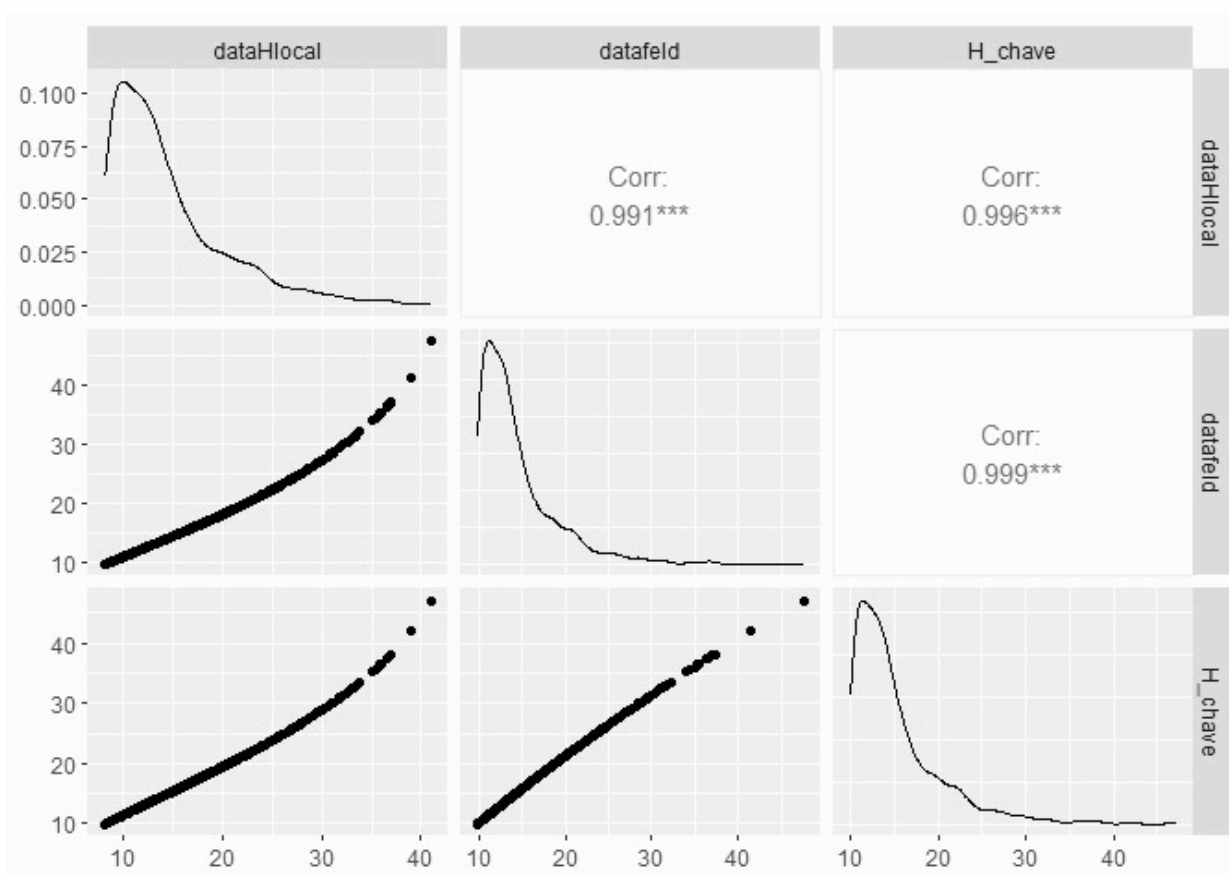


Figura 7. Correlación entre diferentes fuentes de estimación de la altura de árboles

Diámetro de árboles

La distribución del diámetro de los árboles presenta una curva con asimetría a la derecha, ya que las mayores proporciones se encuentran en las categorías de diámetro más bajas. El 77,9% de los árboles presentan diámetros menores o iguales a 21 cm; mientras que un 91,9% presentan diámetros menores o iguales a 34 cm. Esto significa que solo un 8,1% presenta diámetros superiores a 34 cm (Figura 8).

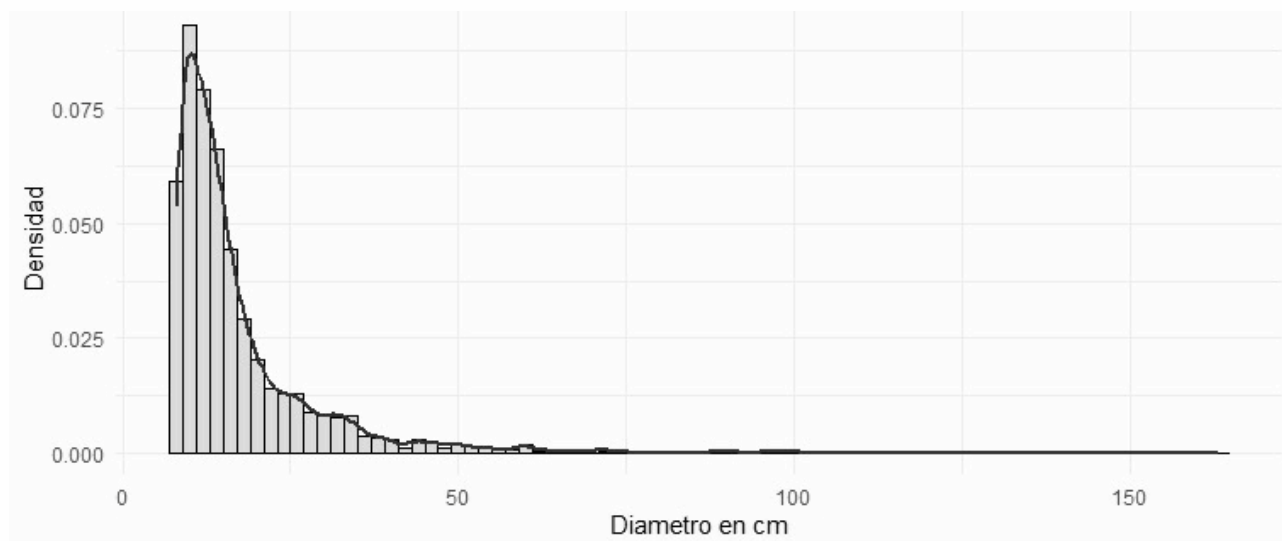


Figura 8. Distribución del diámetro de los árboles

Estimación de la biomasa aérea

Las variables que se utilizaron para calcular la biomasa aérea presentan relaciones en cuanto a sus distribuciones, ya que los histogramas del diámetro, la altura del modelo local (dataHlocal), la altura del modelo de Feldpausch, y la altura del modelo de chave tienen asimetrías a la derecha, las mismas que tienen relación con la estimación de la biomasa de los árboles que presenta una concentración en los valores bajos. Asimismo, se observó una alta relación entre la biomasa aérea y las variables de entrada, con presencia de algunos valores atípicos, ya que se tienen muy pocos árboles en las clases diamétricas superiores.

La biomasa aérea total presenta 227,91 t/ha con una media, por árbol, de 0,138 t/ha y variando desde 0,0048 hasta 9,72 t/ha, distribuida en el caso de los órdenes botánicos en Malpighiales con un 32,4% de la biomasa aérea total, Rosales (32,0%), Magnoliales (8,9%), Sapindales (7,5%), Malvales (4,1%), Fabales (3,6%) siendo los 6 principales órdenes. En el caso de las familias botánicas, se tiene a las Moraceae con 29,8% de la biomasa aérea total, seguidas de Euphorbiaceae con 12,6%, Annonaceae con 8,7%, Chrysobalanaceae con 7,4%, Phyllanthaceae con 5,8%, Meliaceae con 5,1%, representando las 6 principales familias con biomasa aérea (Figura 9).

En la parcela han sido identificadas 116 especies forestales y de estas 6 especies presentan las mayores proporciones de biomasa aérea total de 227,91 t/ha, alcanzando 96,45 t/ha que representa el 42,31%. Estas especies son: el Ochoó (*Hura crepitans*) con 21,06 t/ha (9,2%), Isirí (*Clarisia racemosa*) con 20,5 t/ha (8,9%), Ojoso colorado (*Pseudolmedia laevis*) con 18,39 t/ha (8,1%), Mondadiente (*Licania oblongifolia*) con 15,95 t/ha (6,9%), Coquino colorado (*Richeria grandis*) con 10,6 t/ha (4,6%), Bibosi colorado (*Ficus boliviana*) con 9,94 t/ha (4,4%), tal como se muestra en la Figura 10.

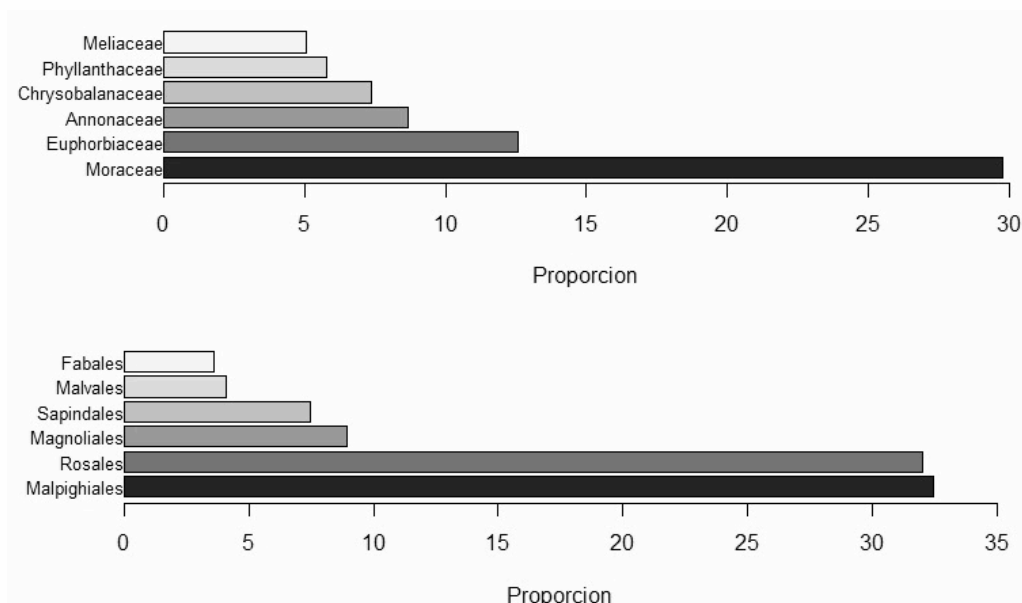


Figura 9. Biomasa aérea distribuidos por orden y familia botánica

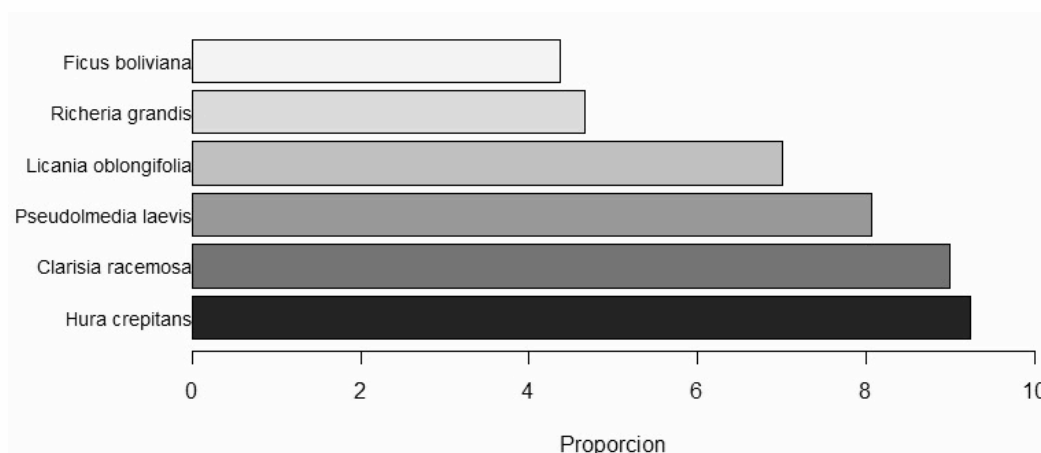


Figura 10. Principales especies con biomasa aérea en t/ha

La especie *Hura crepitans* presenta una distribución donde el 60% de la biomasa aérea presenta valores menores o iguales a 0,515 t/ha y un 76,7% con valores menores o iguales a 1,03 t/ha, considerando que el máximo de biomasa es de 3,09 t/ha; de manera similar la especie *Clarisia racemosa* tiene un 68,4% valores de biomasa menores o iguales a 0,647 t/ha y un 89,5% con valores menores o iguales a 1,284 t/ha y un máximo de biomasa de 3,832 t/ha. En el caso de la especie *Pseudolmedia laevis*, un 79,8% son valores de biomasa menores o iguales a 0,1099 t/ha y un 93,1% son valores menores o iguales a 0,2118 t/ha, con un valor máximo de 0,9251 t/ha. Finalmente, la especie *Licania oblongifolia* presenta un 59,4% de los valores de biomasa menores o iguales a 0,392 t/ha y un 81,2% con valores menores o iguales a 0,774 t/ha y un máximo de biomasa de 2,302 t/ha (Figura 11).

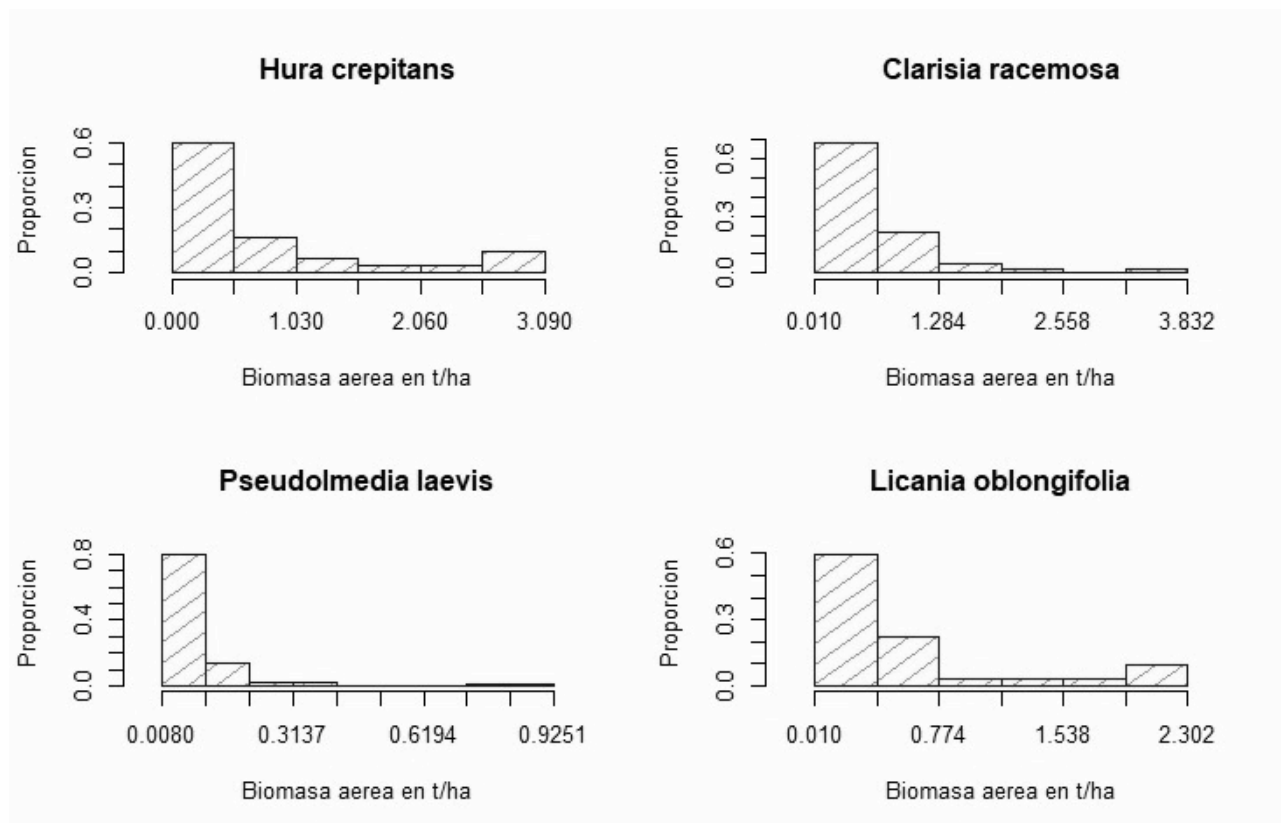


Figura 11. Distribución de la biomasa aérea en especies forestales

Propagación de errores

La biomasa aérea total y su incertidumbre asociada se estimaron mediante la propagación de errores a través de 1000 simulaciones de Monte Carlo. Los errores incorporados incluyeron la incertidumbre en la densidad de la madera, el error estándar residual de los modelos de altura-diámetro, el error de las mediciones de diámetro y los errores atribuidos al modelo alométrico.

El análisis de la incertidumbre reveló que los mayores rangos intercuartílicos corresponden al modelo alométrico y a las mediciones de altura con valores de 36,42 t/ha y 35,66 t/ha y con desviaciones estándar de 9,33 t/ha y 9,28 t/ha. Asimismo, los intervalos de confianza al 95% para el componente modelo alométrico fueron de 210,82 a 247,24 t/ha y para la altura de 211,09 a 246,75 t/ha. En contraste, los menores rangos intercuartílicos corresponden a las mediciones de densidad de la madera y del diámetro con valores de 32,62 t/ha y 27,14 t/ha y con desviaciones estándar de 8,25 t/ha y 7,03 t/ha. En adición, los intervalos de confianza al 95% para la densidad de la madera fueron de 213,38 a 246,01 t/ha y para el diámetro de 215,39 a 242,53 t/ha. Por lo tanto, la mayor incertidumbre se atribuye al modelo alométrico seguido de la altura, luego la densidad de la madera y finalmente la medición del diámetro con la menor incertidumbre (Figura 12).

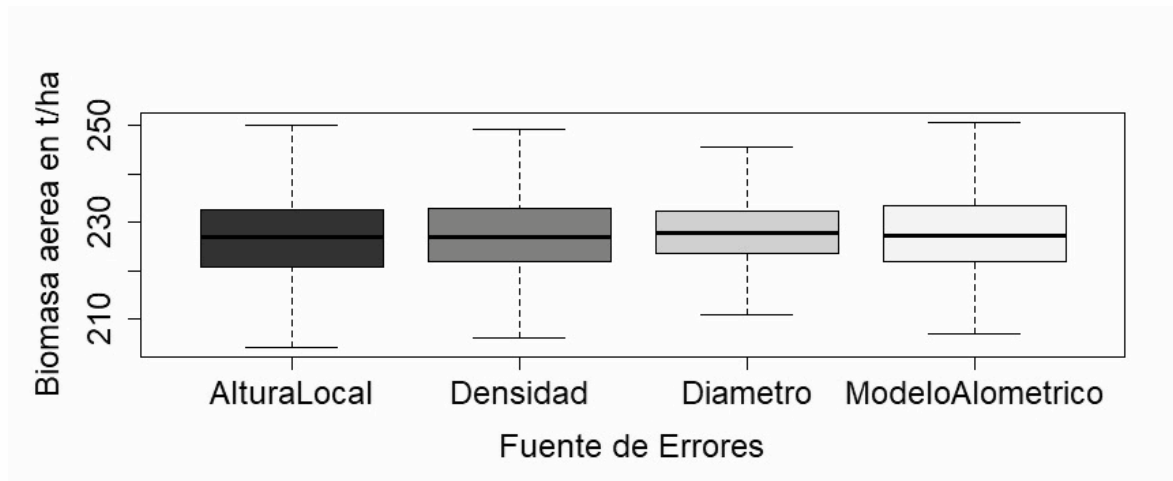


Figura 12. Propagación de errores en la estimación de la biomasa aérea

DISCUSIÓN

Taxonomía de especies forestales

La aplicación de las funciones de BIOMASS para corregir la base de datos, reportó que un 88,34% estaban correctos hasta el nivel de especie y solo un 2,2% eran incorrectos y fueron corregidos. Esto significa que se tienen registros verdaderos y el número de especies es el real y se pueden tomar decisiones correctas (Boyle *et al.* 2013). Este alto porcentaje de árboles correctamente clasificados se atribuye a la toma de muestras botánicas y posterior identificación por expertos del Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado (MHNNKM).

La corrección de la taxonomía de las plantas fue posible utilizando la información disponible en la web. Es el caso del Servicio de Resolución de Nombres Taxonómicos (SRNT) que estandariza los nombres científicos de las plantas analizando y corrigiendo nombres científicos con errores ortográficos. Asimismo, se tienen otros paquetes en el lenguaje R que permiten verificar la taxonomía de los árboles (Chamberlain y Szöcs 2013). La diversidad del estrato arbóreo de la parcela (2.25 ha) del Bosque Experimental Elías Meneses (BEEM), registró 1655 individuos, pertenecientes a 19 órdenes, 40 familias y 118 especies, Las familias de mayor importancia son Moraceae, Annonaceae y Arecaceae. Esta diversidad de árboles es inferior a lo encontrado en un bosque amazónico preandino del Parque Nacional Madidi, mientras que las familias de importancia son similares (Araujo-Murakami *et al.* 2005).

Determinación de la densidad de la madera

La determinación de la densidad de la madera se efectuó en un 68,4% con base en la clasificación del estrato arbóreo a nivel de especie y utilizando una base de datos global de la densidad. Este repositorio digital cuenta con 16469 registros de diferentes fuentes (Zanne *et al.* 2009). Los restantes valores de la densidad fueron asignados con base en promedios por género y parcela, lo cual permite disminuir los sesgos atribuidos a esta variable en la estimación de la biomasa aérea (Flores & Coomes, 2011). Esta asignación de la densidad de la madera en función de la identificación botánica de los árboles es importante para disminuir la incertidumbre debido a la gran variabilidad que presenta y el efecto que tiene en las estimaciones de biomasa y carbono (Fearnside 1997).

En cuanto a los valores de la densidad de la madera, un 76% de los árboles presentan densidades que varían entre 0,48 y 0,814 g/cm³, lo cual se aproxima a lo encontrado por Sullivan y otros (2025) que presentan densidades entre 0,5 y 0,8 g/cm³ para condiciones similares al área de estudio. La media de la densidad de la madera fue de 0,55 g/cm³ y una mediana de 0,58 g/cm³, lo cual es inferior a lo encontrado por Mostacedo y otros (2008) que tienen un promedio de 0,62 g/cm³ para un bosque seco de la Chiquitania y por Fearnside (1997) que encontró un promedio de 0,65 g/cm³, lo cual puede atribuirse a la variabilidad entre individuos de la misma especie y a las condiciones ambientales de las áreas de estudio.

Estimación de la altura de los árboles

La relación diámetro-altura puede ser ajustada a modelos lineales y no lineales y puede ser de dos o tres parámetros (Mehtatalo *et al.* 2015). En el caso de los datos de la muestra de las parcelas, el modelo de mejor ajuste resultó ser el logarítmico cuadrático, ya que presentó el menor error estándar relativo (4,56); este es un modelo no lineal asintótico y este resultado coincide con lo obtenido por Pereira *et al.* (2025) en el noreste amazónico del Brasil. El uso del modelo asintótico para estimar la altura de los árboles mejora la precisión de la estimación de la biomasa aérea. Aunque para mejorar la precisión se podría incluir una variable de estrés climático como la variabilidad de la temperatura, precipitación y la intensidad de sequía (Chave *et al.* 2014). Asimismo, el uso de la tecnología LiDAR es eficiente para estimar las alturas y la biomasa aérea (Rejou-Mechain *et al.* 2017).

Los modelos de estimación de altura de Feldpausch (en base a las regiones) y de Chave (en base a las coordenadas geográficas), si bien tienen mayores errores estándar relativos en comparación con el modelo local, presentaron altos niveles de asociación con el modelo local, ya que el coeficiente de correlación es alto con 0,99. La altura de los árboles es un importante factor alométrico y debe incluirse en las estimaciones de la biomasa aérea para reducir los errores en las reservas de carbono y en las emisiones debidas a la deforestación (Feldpausch *et al.* 2012). El promedio de la altura total de los árboles obtenidos a través del modelo local es de 20,2 m, variando de 11,7 m a 27,8 m, lo cual contrasta a lo encontrado en un bosque amazónico preandino con un promedio de 27,62 m y variando de 22 a 33 m (Araujo-Murakami *et al.* 2005), lo cual se atribuye a factores del ambiente como precipitación, temperatura y sequías.

Estimación de la biomasa aérea

La biomasa aérea estimada con el paquete de BIOMASS es de 227,91 t/ha, el mismo que es inferior a lo encontrado por Keller *et al.* (2001) en el Bosque Nacional Tapajos en Brasil con 372 t/ha; por Nogueira-Lima *et al.* (2012) con 252,6 t/ha en un bosque amazónico al Noroeste en el Brasil, por Nascimento y Laurance (2002) con 397,7 t/ha; esto puede atribuirse a que las dimensiones de los árboles en las parcelas del Bosque Experimental Elías Meneses presentaron dimensiones muy bajas en diámetro y altura y con una distribución asimétrica muy pronunciada a la derecha.

Por otro lado, en comparación con los bosques de Bolivia, la biomasa aérea de 227,91 t/ha sigue siendo inferior, ya que en el Parque Noel Kempff Mercado se encontró una biomasa aérea de 326 t/ha para un bosque húmedo y 260 t/ha para un bosque seco (Araujo-Murakami *et al.* 2006). En contraste, la biomasa aérea estimada es mayor a lo encontrado en el bosque seco y en el bosque de transición chiquitano-amazónico en el Departamento de Santa Cruz con biomásas entre 160 y 170 t/ha (Mostacedo *et al.*, 2008), lo cual se atribuye a las condiciones ambientales de los tipos de bosques. Por otro lado, en el bosque chiquitano se ha obtenido una biomasa de 213 t/ha en un bosque hidrofítico y 209 t/ha en un

bosque semidecíduo (Mostacedo y Paz-Roca, 2020), los cuales son similares a los del estudio. Esto podría atribuirse a la estructura del bosque.

La familia Moraceae es la más importante ya que representa un 29,8% de la biomasa aérea total y también es la que presenta la mayor abundancia de árboles con una presencia del 25,4%, lo cual es similar a lo encontrado en un bosque amazónico en Guarayos, Bolivia (Flores-Valencia *et al.* 2016). Las especies de mayor importancia con relación a la biomasa aérea son *Hura crepitans*, *Clarisia racemosa*, *Pseudolmedia laevis*, y *Licania oblongifolia*. En el caso del Ojoso colorado (*Pseudolmedia laevis*) también presenta una alta abundancia, lo cual coincide con lo encontrado en los bosques amazónicos de Bolivia (Araujo-Murakami *et al.* 2015).

Propagación de errores

Es importante analizar como la incertidumbre individual de los parámetros impacta sobre la estimación final de la biomasa aérea (Brown *et al.* 1995 y Molto *et al.* 2013). La función AGBmonteCarlo de BIOMASS permite una integración holística de los errores, generando distribuciones de parámetros en lugar de estimaciones puntuales (enfoque bayesiano), lo cual es vital cuando se aplican métodos no destructivos y generando una mayor transparencia en los inventarios de informes de carbono (Rejou-Mechain *et al.* 2017).

La mayor fuente de la incertidumbre en la estimación de la biomasa aérea es atribuida al modelo alométrico, lo cual coincide con Molto *et al.* (2013), y esto podría deberse a que los modelos pantropicales utilizados en la función computeAGB presentan un error residual intrínseco derivado de la enorme variabilidad en las estructuras de los árboles y que no pueden ser explicados totalmente por el diámetro, altura y densidad de la madera (Rejou-Mechain *et al.* 2017 y Reyes *et al.* 2025). En contraste, las mediciones de diámetro presentan los menores errores y poca influencia en la incertidumbre final, esto podría atribuirse a que el diámetro es generalmente la variable más fácil de adquirir en campo (Brown *et al.* 1995).

CONCLUSIONES

Con base en los objetivos planteados en el presente trabajo, las conclusiones son las siguientes:

El paquete BIOMASS del entorno de R presenta funciones que permiten automatizar la estimación de la biomasa aérea de los árboles en los bosques tropicales, disminuyendo la incertidumbre con base en las correcciones de la taxonomía vegetal para una correcta selección de la densidad de la madera de un repositorio con varias fuentes de información.

La altura total estimada por el modelo local, modelo en base a la región geográfica (Feldpausch) y modelo en base a un promedio de coordenadas (Chave) no presenta diferencias significativas y, por lo tanto, estos dos últimos modelos pueden ser utilizados en la estimación de la biomasa aérea cuando no se tienen los datos de la altura. Adicionalmente, estas variables presentan una buena relación con la biomasa aérea estimada.

La biomasa aérea es de 227,91 t/ha, la cual se considera como una cantidad leve en los bosques tropicales. Los órdenes botánicos con mayor biomasa aérea fueron Malpighiales, Rosales y Magnoliales, mientras que las familias con mayor biomasa fueron Moraceae, Euphorbiaceae y Annonaceae. En relación con las especies, las que presentaron las mayores biomásas fueron Ochoó (*Hura crepitans*), Isirí (*Clarisia racemosa*), Ojoso colorado (*Pseudolmedia laevis*) y Mondadiente (*Licania oblongifolia*).

Los componentes del modelo alométrico y el modelo local de diámetro-altura son las principales fuentes en la cuantificación de la incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa aérea, mientras que la densidad de la madera y las mediciones del diámetro presentan los menores errores, esto significa, una menor contribución a la incertidumbre.

LITERATURA CITADA

- Acosta, L. Y Aguanta, F. 2006. Lista preliminar de los mamíferos del Bosque Experimental Elías Meneses, Santa Cruz, Bolivia. *Kempffiana*, 2(1): 144-149.
- Amanuel, W., Tadesse, C., Molla, M., Getinet, D. y Mekonnen, Z. 2024. Allometric equation for estimating aboveground biomass of *Acacia-Commiphora* forest, southern Ethiopia. *Journal of Ecology and Environment*. 48:20. <https://doi.org/10.5141/jee.24.036>
- Araujo Murakami, A., Jørgensen, P. M., Maldonado, C., Paniagua Zambrana, N. Y., Cardona Peña, V., Quintana, D. de la, Fuentes, A. F., Miranda, T. y Seidel, R. 2005. Estructura y diversidad de plantas leñosas en un bosque amazónico preandino en el sector del Río Quendeque, Parque Nacional Madidi, Bolivia. *Ecología en Bolivia: Revista del Instituto de Ecología*, 40(3): 304-324.
- Araujo-Murakami, A., Arroyo Padilla, L., Killeen, T. J. y Saldias Paz, M. 2006. Dinámica del bosque, incorporación y almacenamiento de biomasa y carbono en el Parque Nacional Noel Kempff Mercado. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/PER01000268980>
- Araujo-Murakami, A., Daniel, V., Molina, G., Vos, V., Parada, G., Arroyo Padilla, L. y Killeen, T. J. 2015. Diversidad arbórea de los bosques de Tierra Firme de la Amazonia Boliviana. *Kempffiana*, 11, 1-28.
- Ayushi, K., Babu, K. N., Ayyappan, N., Nair, J. R., Kakkara, A. y Reddy, C. S. 2024. A comparative analysis of machine learning techniques for aboveground biomass estimation: A case study of the Western Ghats, India. *Ecological Informatics*, 80: 102479. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102479>
- Baskerville, G. L. 1972. Use of Logarithmic Regression in the Estimation of Plant Biomass. *Canadian Journal of Forest Research*, 2(1): 49-53. <https://doi.org/10.1139/x72-009>
- Benitez-Romero, F. M. B., Jacovine, L. A. G., Torres, C. M. M. E., Ribeiro, S. C., da Rocha, S. J. S. S., Novais, T. de N. O., Gaspar, R. de O., da Silva, L. F., Vidal, E., Leite, H. G., Staudhammer, C. L. y Fearnside, P. M. 2022. Aboveground biomass allometric models for large trees in southwestern Amazonia. *Trees, Forests and People*, 9: 100317. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100317>
- Bojórquez, A., Martínez-Yrizar, A., Búrquez, A., Jaramillo, V. J., Mora, F., Balvanera, P. y Álvarez-Yépez, J. C. 2020. Improving the accuracy of aboveground biomass estimations in secondary tropical dry forests. *Forest Ecology and Management*, 474: 118384. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118384>
- Boyle, B., Hopkins, N., Lu, Z., Raygoza Garay, J. A., Mozzherin, D., Rees, T., Matasci, N., Narro, M. L., Piel, W. H., Mckay, S. J., Lowry, S., Freeland, C., Peet, R. K. y Enquist, B. J. 2013. The taxonomic name resolution service: An online tool for automated standardization of plant names. *BMC Bioinformatics*, 14(1): 16. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-14-16>
- Brown, I. F., Martinelli, L. A., Thomas, W. W., Moreira, M. Z., Ferreira, C. a. C. y Victoria, R. L. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: An example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 75: 175-189.
- Chamberlain, S. A. y Szöcs, E. 2013. taxize: Taxonomic search and retrieval in R. *F1000Research*. <https://doi.org/10.12688/f1000research.2-191.v2>
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S., Swenson, N. y Zanne, A. 2009. Towards a Worldwide Wood Economics, *Spectrum. Ecology letters*, 12: 351-366. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>

- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., ... Vieilledent, G. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10): 3177-3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chen, Z., Yang, X., Pan, X., Wu, T., Lei, J., Chen, X., Li, Y. y Chen, Y. 2025. Estimating Forest Aboveground Biomass in Tropical Zones by Integrating LiDAR and Sentinel-2B Data. *Sustainability*, 17(8): 3631. <https://doi.org/10.3390/su17083631>
- da Costa, J., Barni, P., Sotta, E., Carim, M., Cunha, A., Guedes, M., Aparicio, P., Oliveira, L., Barbosa, R., Fearnside, P., Nascimento, H. y Toledo, J. 2025. Dense Forests in the Brazilian State of Amapá Store the Highest Biomass in the Amazon Basin. *Sustainability*, 17: 5310. <https://doi.org/10.3390/su17125310>
- Fareed, N. y Numata, I. 2025. Evaluating the impact of field-measured tree height errors correction on aboveground biomass modeling using airborne laser scanning and GEDI datasets in Brazilian Amazonia. *Trees, Forests and People*, 19: 100751. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100751>
- Fareed, N., Numata, I., Cochrane, M. A., Novoa, S., Tenneson, K., Melo, A. W. F. de, da Silva, S. S., Oliveira, M. V. N. d', Nicolau, A. y Zutta, B. 2025. Aboveground biomass modeling using simulated Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) waveform LiDAR and forest inventories in Amazonian rainforests. *Forest Ecology and Management*, 578: 122491. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122491>
- Farell, M. E. 2006. La ictiofauna del Rio Ibabo (Santa Cruz, Bolivia) en época de aguas altas. *Kempffiana*, 2(1): 4-34.
- Fearnside, P. M. 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 90(1): 59-87. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03840-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03840-6)
- Feldpausch, T. R., Lloyd, J., Lewis, S. L., Brienen, R. J. W., Gloor, M., Monteagudo Mendoza, A., Lopez-Gonzalez, G., Banin, L., Abu Salim, K., Affum-Baffoe, K., Alexiades, M., Almeida, S., Amaral, I., Andrade, A., Aragão, L. E. O. C., Araujo Murakami, A., Arets, E. J. M. M., Arroyo, L., Aymard C., G. A., ... Phillips, O. L. 2012. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences*, 9(8): 3381-3403. <https://doi.org/10.5194/bg-9-3381-2012>
- Flores, O. y Coomes, D. A. 2011. Estimating the wood density of species for carbon stock assessments. *Methods in Ecology and Evolution*, 2(2): 214-220. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00068.x>
- Flores-Valencia, M., Araujo-Murakami, A., Cabrera-Severich, P., Zuck, D., Molina-Olivera, A., Lazarte-Chispa, M., Moreno, G., Km, V. y Norte, C. 2016. Diversidad y composición florística de los bosques amazónicos del Sur de la Amazonia en el sector Kenia, Guarayos, Bolivia, *Kempffiana* 12 (1): 20-46.
- Jilo, D., Birhane, E., Tadesse, T. y Ubuy, M. H. 2025. Aboveground Biomass Models for Common Woody Species of Lowland Forest in Borana Woodland, Southern Ethiopia. *Forests*, 16(5): 823. <https://doi.org/10.3390/f16050823>
- Keller, M., Palace, M. y Hurtt, G. 2001. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil: Examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management, New Directions in Tropical Forest Research*, 154(3): 371-382. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00509-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00509-6)
- Lu, D., Chen, Q., Wang, G., Liu, L., Li, G. y Moran, E. 2016. A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems. *International Journal of Digital Earth*, 9(1): 63-105. <https://doi.org/10.1080/17538947.2014.990526>
- Madhab, S. Y Behera, M. D. 2018. Aboveground biomass estimation using multi-sensor data synergy and machine learning algorithms in a dense tropical forest. *Applied Geography*, 96: 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.05.011>

- Marchesan, J., Alba, E., Schuh, M. S., Favarin, J. A. S. y Pereira, R. S. 2020. Aboveground biomass estimation in a tropical forest with selective logging using Random Forest and LiDAR data. *Floresta*, 50(4): 1873-1882. <https://doi.org/10.5380/rf.v50i4.66589>
- Mehtätalo, L., Miguel, S. de y Gregoire, T. 2015. Modeling height-diameter curves for prediction. *Canadian Journal of Forest Research*, 45: 826-837. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0054>
- Michaelis, L. y Menten, M. L. 1913. Die Kinetik der Invertinwirkung. *Biochem*, 49: 333-369.
- Molto, Q., Rossi, V. y Blanc, L. 2013. Error propagation in biomass estimation in tropical forests. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(2): 175-183. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2012.00266.x>
- Mostacedo, B., Villegas, Z., Licona, J. C., Alarcon, A., Leaño, C., Peña, M. y Poorter, L. 2008. Dinámica de la biomasa en áreas de manejo forestal sujetos a diferentes intensidades de aprovechamiento (Documento Técnico No. 3; p. 45). Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz, Bolivia.
- Nascimento, H. y Laurance, W. 2002. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: A landscape-scale study. *Forest Ecology and Management*, 168: 311-321. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(01\)00749-6](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(01)00749-6)
- Nogueira, A. J., Suwa, R., de Mello Ribeiro, G. H. P., Kajimoto, T., dos Santos, J., da Silva, R. P., de Souza, C. A. S., de Barros, P. C., Noguchi, H. y Ishizuka, M. 2012. Allometric models for estimating above-and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 277: 163-172.
- Paz-Roca, M. A. y Mostacedo, B. 2020. Biomasa aérea de árboles en bosques secos de la Ecorregión Chiquitana en Alta Vista, Santa Cruz, Bolivia. *Kempffiana*, 16(2): 1-15.
- Pereira, A. L., Nascimento, H. E. M., Guedes, M., Hilário, R. y Toledo, J. J. 2025. Tree height-diameter allometry and implications for biomass estimates in Northeastern Amazonian forests. *PeerJ*, 13: e18974. <https://doi.org/10.7717/peerj.18974>
- Pinto, J. 2006. Evolución del paisaje y estado de conservación de la Reserva Forestal El Chore. *Kempffiana*, 2(1): 45-56.
- Réjou-Méchain, M., Tanguy, A., Piponiot, C., Chave, J. y Hérault, B. 2017. biomass: An R package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forests. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(9): 1163-1167. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12753>
- Reyes, G., Andrés-Mauricio, J. y Hernández, S. 2025. Fuentes de error más comunes en la estimación y mapeo de la biomasa aérea de los bosques al usar datos de campo y de sensores remotos. Consideraciones en la Península de Yucatán. *Desde el Herbario CICY-DHCICY*, (17): 18-24.
- Rodrigues, J. C. y de Almeida, C. F. P. 2025. Accessing the spatial distribution of aboveground biomass in tropical mountain forests using regression kriging simulation: A geostatistical approach for local-scale estimates. *Ecological Processes*, 14(1): 44. <https://doi.org/10.1186/s13717-025-00590-4>
- Saatchi, S. S., Houghton, R. A., Dos Santos Alvalá, R. C., Soares, J. V. y Yu, Y. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, 13(4): 816-837. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01323.x>
- Su, Y., Wu, Z., Zheng, X., Qiu, Y., Ma, Z., Ren, Y. y Bai, Y. 2025. Harmonizing remote sensing and ground data for forest aboveground biomass estimation. *Ecological Informatics*, 86: 103002. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103002>
- Sullivan, M. J. P., Phillips, O. L., Galbraith, D., Almeida, E., de Oliveira, E. A., Almeida, J., Dávila, E. Á., Alves, L. F., Andrade, A., Aragão, L., Araujo-Murakami, A., Arets, E., Arroyo, L., Cruz, O. A. M., Baccaro, F., Baker, T. R., Banki, O., Baraloto, C., Barlow, J., ... Zwerts, J. A. 2025. Variation in wood density across South American tropical forests. *Nature Communications*, 16(1): 2351. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56175-4>
- Villaruel, D., Rodríguez-Montellano, A., Araujo-Murakami, A., Camargo, R., Martínez-Ugarteche, M. T., Ledezma, R., Jørgensen, P. M., Klitgaard, B. B., Miliken, W., Pardo, G., Vos, V. A., Parada, G. A., Crezee, B., Feldpausch, T. R., Gutierrez-Sibauty, G., Viscarra, L. J., Killeen, T. J., Álvarez-Severiche, C., Paca, R.

C., ... Proença, C. E. B. 2022. Estimación y modelamiento de la distribución espacial de la biomasa vegetal aérea para Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 57(1): 5-18.

Weibull, W. 1951. A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, 18,:293-297. <https://doi.org/10.1115/1.4010337>

Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Ilic, J., Jansen, S., Coomes, D. A., Lewis, S. L., Miller, R. B., Swenson, N. G., Wiemann, M. C. y Chave, J. 2009. Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. En *Dryad*. Dryad. <https://doi.org/10.5061/dryad.234>

ARTICULO CIENTÍFICO

Fenología del aguái (*Chrysophyllum gonocarpum*) en el bosque Seco Chiquitano del Jardín Botánico Municipal de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

Betty Flores Llampá¹ y Marilin Castillo Alvares¹

¹Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno,, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Email de contacto: bettyfloreslla@gmail.com,

Betty Flores <https://orcid.org/0000-0003-0802-4528>

Marilin Castillo Alvares <https://orcid.org/0009-0003-6611-1803>

RESUMEN

La fenología del aguái (*Chrysophyllum gonocarpum*, Sapotaceae) fue estudiada en el Bosque Seco Chiquitano del Jardín Botánico de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Se monitorearon 52 individuos entre los años 2022 y 2024. Los resultados evidenciaron una floración bimodal con picos en enero-abril y agosto-noviembre. Este proceso exhibió un comportamiento dual: una fase asincrónica entre septiembre y diciembre (0.35) y eventos concentrados de sincronía en enero (0.80) y febrero (0.78). Por su parte, la fructificación mostró cohortes solapadas y una limitada producción de frutos maduros, vinculada a la escasez de polinizadores y la depredación. La foliación se mantuvo constante todo el año, con picos de brotación asociados a la disponibilidad hídrica. Conocer esta dinámica fenológica permite predecir la oferta alimenticia para la fauna silvestre y servir como base científica directa para optimizar la colecta sostenible de semillas en los meses de alta sincronía, planificar proyectos de restauración ecológica eficientes, gestionar la conservación de la vida silvestre local y aprovechar de manera segura sus recursos.

Palabras clave: bosque seco chiquitano, fenología, floración, foliación, fructificación.

Phenology of Aguái (*Chrysophyllum gonocarpum*) in the Chiquitano Dry Forest of Municipal Botanical Garden of Santa Cruz de la Sierra city, Bolivia

ABSTRACT

The phenology of aguái (*Chrysophyllum gonocarpum*, Sapotaceae) was studied in the Chiquitano Dry Forest of the Santa Cruz de la Sierra city of Botanical Garden, Bolivia. A total of 52 individuals were monitored between the year of 2022 and 2024. The results revealed a bimodal flowering pattern with peaks in January-April and August-November. This process exhibited a distinct dual behavior: a highly asynchronous phase between September and December (0.35) and concentrated events of high synchrony in January (0.80) and February (0.78). Conversely, fruiting showed overlapping cohorts and limited production of mature fruits, linked to pollinator scarcity and predation. Leafing remained constant

throughout the year, with flushing peaks associated with water availability. Understanding this phenological dynamic allows for predicting food supply for wildlife and serving as a direct scientific baseline to optimize sustainable seed collection during high-synchrony months, plan efficient ecological restoration projects, manage local wildlife conservation, and safely exploit its resources.

Keywords: Chiquitano dry forest, flowering, foliation, fruiting, phenology

INTRODUCCIÓN

La fenología comprende el estudio de las fases o actividades periódicas del ciclo biológico de las plantas, tales como la brotación, floración, fructificación y caída de sus hojas, y cómo estas responden a los cambios en las condiciones climáticas (Fenner 1998, Shen et al. 2015). Estos ciclos biológicos de las plantas, juegan un rol muy importante en la dinámica de las comunidades, así como en la sincronización de la disponibilidad de recursos y los ciclos reproductivos de polinizadores, dispersores y herbívoros (Van Schaik et al. 1993).

Chrysophyllum gonocarpum (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl. es un árbol nativo de Sudamérica, comúnmente conocido como aguái y pertenece a la familia Sapotaceae. Su distribución abarca principalmente los bosques de tierras bajas y estribaciones montañosas de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay. Según Araujo-Murakami (2019), la especie habita climas húmedos pluviales hasta húmedos estacionales, es más frecuente en la Amazonia occidental y/o preandina y subandina. *Chrysophyllum gonocarpum* tiene árboles que alcanzan alturas de 15 a 30 metros en condiciones óptimas de selva primaria, sus frutos son carnosos, dulces y constituyen una fuente primaria de alimento de aves y mamíferos frugívoros (Araujo-Murakami 2019), facilitando la dispersión de semillas a larga distancia y contribuyendo a la estructura y composición de la vegetación (Howe y Smallwood 1982). Asimismo, las flores de *C. gonocarpum* atraen una diversidad de insectos nectarívoros que promueven la polinización entomófila y fortalecen las redes tróficas en hábitats fragmentados (Van Schaik et al. 1993).

Desde el punto de vista etnobotánica y farmacológica, el género *Chrysophyllum* es altamente valorado por las propiedades nutritivas de sus frutos, y sus hojas y el tallo se utiliza en la medicina tradicional por sus propiedades curativas en las comunidades rurales de zonas tropicales (Doan et al. 2018; Emudainohwo et al. 2015), por ejemplo los guaraníes de las Misiones de Argentina preparan de la corteza de *C. gonocarpum* una medicina contra la debilidad (Martinez Covretto 2012). Por otro lado, los análisis químicos de la corteza, hojas y frutos del género *Chrysophyllum* han demostrado la presencia de nueve compuestos antioxidantes polifenólicos y saponinas con potencial terapéutico contra patógenos resistentes y estrés oxidativo, además, contienen vitaminas, proteínas y otros nutrientes (Ademoye et al. 2018, Emudainohwo et al. 2015, Luo et al. 2002). En Brasil han realizado un ranking de los frutos comestibles más promisorios y dentro del cual se incluyó a la especie de *Chrysophyllum gonocarpum* (Luo et al. 2002, Teixeira et al. 2019). A pesar de la relevancia ecológica y socioeconómica de *C. gonocarpum*, la información sobre su fenología reproductiva en Bolivia es limitada. Esta escasez de datos precisos sobre los patrones de floración y fructificación obstaculiza tanto la planificación de las cosechas como el desarrollo de estrategias para su manejo sostenible y conservación. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo caracterizar y analizar los patrones fenológicos de *C. gonocarpum* en el bosque Seco Chiquitano del Jardín Botánico Municipal de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

MÉTODOS

Área de estudio

El estudio fue realizado en el Jardín Botánico Municipal de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, el cual está localizado a 8,5 km al este de la ciudad (17° 46'15" S 63° 04'11" O) a una altitud de 375 m s.n.m. (Figura 1). El clima es termo tropical pluvioestacional subhúmedo (Navarro 2011), con periodo húmedo de noviembre a abril y un periodo seco de mayo a octubre. La topografía es terreno plano y atravesado por el arroyo Guapilo. Según Navarro (2011), el Jardín Botánico se encuentra en la provincia biogeográfica Cerradense Occidental dentro del sector Chiquitano Cruceño. Según Araujo-Murakami (2019) en el Jardín Botánico, existen dos tipos de bosques: el bosque semideciduo chiquitano y el bosque inundable chaqueño. El bosque semideciduo chiquitano se caracteriza por presentar árboles relativamente grandes con alturas de entre 10 y 15 metros, donde predominan las familias Mimosaceae, Phytolaccaceae, Nyctaginaceae, Apocynaceae, Fabaceae, Lauraceae y Sapotaceae. Por otro lado, el bosque chaqueño presenta árboles más pequeños con alturas que van de 4 a 6 metros, donde las familias Rhamnaceae, Ulmaceae, Myrtaceae, Bromeliaceae y Cactaceae (Uslar *et al.* 2004).

Caracterización de *Chrysophyllum gonocarpum*

Chrysophyllum gonocarpum, pertenece a la familia Sapotaceae; es perennifolio o semideciduo que alcanza alturas de 10 a 30 m (Coimbra 2014, Judkevich *et al.* 2019, López *et al.* 2018). El tronco es recto con corteza rugosa y presencia de látex blanquecino, la madera posee una densidad media-alta y es utilizada en construcciones y carpintería (Judkevich *et al.* 2019). Las hojas son simples, alternas, coriáceas y de forma lanceolada a elíptica y presentan una venación pinnada prominente y un color verde oscuro brillante en el haz (Judkevich *et al.* 2019). Las flores son pequeñas, actinomorfas y hermafroditas, dispuestas en fascículos axilares, la corola es de color blanco-verdoso o amarillento (Judkevich *et al.* 2019). Los frutos son bayas globosas u ovoideas, con marcadas costillas longitudinales (carácter que le da el epíteto *gonocarpum*); al madurar, se tornan amarillos o anaranjados y la pulpa es poco abundante, con niveles de dulzura muy variables (López *et al.* 2018). Las semillas son planas de color café oscuro brillante, con una cicatriz lateral y pueden variar de 1 a 5 semillas (Coimbra, 2014).

Muestreo y registro de datos

Para establecer los periodos de floración y fructificación de *Chrysophyllum gonocarpum* se seleccionaron 52 árboles mayores a 10 cm de DAP, debido a que los árboles de este diámetro o mayores, tendrían mayor probabilidad de reproducción (Bullock y Solís-Magallanes 1990). Los árboles seleccionados fueron enumerados, marcados y georreferenciados (Figura 1), para facilitar su posterior ubicación y el mayor número de árboles seleccionados se encuentra entre 21 y 30 cm de DAP. Las observaciones fueron realizadas quincenalmente desde junio de 2022 hasta agosto de 2024 con binoculares. La producción de nuevas hojas se registró observando la presencia de yemas y brotes en el ápice de las ramas. La floración se registró observando la presencia de botones florales hasta la antesis de las últimas flores. La fructificación se registró desde el desarrollo de los (frutos inmaduros de coloración verde) hasta completar su desarrollo (presentan cambios de color en el pericarpio de color amarillento). La intensidad de los eventos fenológicos se determinó siguiendo la metodología presentada por Vílchez *et al.* (2004). El cual consistió en 3 categorías: 0 = ausencia de fenofase, 1 = presencia de fenofase poco intensa (hasta el 25% de la copa del árbol con presencia de fenofase), 2 = fenofase intermedia (26 a 50% de la copa del árbol), 3 = fenofase intensa (51 a 75% de la copa presenta fenofase) y 4 = fenofase (76 a 100%).



Figura 1. Mapa de ubicación de los árboles de aguái seleccionados para el monitoreo fenológico en el Jardín Botánico Municipal de Santa Cruz Bolivia.

Análisis de datos

Para representar la intensidad de cada fenofase: botón floral, flor abierta, fruto inmaduro, fruto maduro, hojas nuevas de *C. gonocarpum*, se calculó un porcentaje promedio de los valores registrados por mes y por año de evaluación de todos los individuos. La estadística descriptiva se realizó mediante histogramas con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2020). Para determinar el índice de actividad sincrónica de la fenofase mensual, se determinó al dividir el número de individuos en una determinada fenofase entre el número de individuos muestreados. Es considerado asincrónico cuando el valor es $< 0,25-0,5$; es considerado sincrónico intermedio cuando el valor es de $0,5-0,75$ y altamente sincrónico cuando el valor es $> 0,75$ (Duarte-Vargas *et al.* 2020).

RESULTADOS

Como resultado de los 52 árboles de *Chrysophyllum gonocarpum* monitoreados, se encontró que la presencia de flores abiertas de septiembre a diciembre fue considerada asincrónica con un valor promedio de 0,35. En cambio, la floración en enero y febrero fue altamente sincrónica con valores de 0,80 y 0,78, respectivamente. La presencia de frutos inmaduros presentó una asincronía con un valor de 0,40. La fenofase de hojas nuevas presentó una sincronía intermedia con un valor promedio de 0,72, la cual estuvo presente de enero a diciembre. La caída de las hojas de *C. gonocarpum* fue considerada de alta a medianamente sincrónica (mayo = 81%, junio = 98%, julio = 94% y agosto = 68%).

Floración

La presencia de botones florales se registró de agosto a diciembre de 2022 y la mayor intensidad de producción de botones florales se registró en diciembre ($x = 60,88$; $ES = 4,28$). En el monitoreo del 2023 y 2024, la mayor intensidad de botones florales se registró en enero ($x = 56,90$; $ES = 4,11$; $x = 34,49$; $ES = 2,27$; respectivamente). En el 2023, del total de árboles monitoreados, el 56% presentó dos eventos de floración; uno de los eventos inició en enero y duró hasta abril, y el segundo evento fue de agosto a noviembre. En cambio, en 2024 solo se observó un evento de floración, el cual coincidió con el pico del año anterior (Figura 2). Los meses con ausencia de botones florales fueron de mayo a julio. Las diferencias en la intensidad de la floración entre meses y años fueron estadísticamente significativas ($f = 17,23 < 0,0001$; $f = 18,03$; $p < 0,0001$, respectivamente).

La fenofase de flor abierta se observó de septiembre a diciembre de 2022 y la mayor intensidad se registró en septiembre ($x = 4,52$; $ES = 1,29$). En el 2023 se registró flor abierta en dos eventos, el primero de enero a marzo y el segundo de septiembre a diciembre, y no se registraron flores abiertas de abril a agosto (Figura 3). La mayor intensidad de flor abierta se registró en noviembre ($x = 11,08$; $ES = 3,08$) y seguida de enero. En el 2024, la mayor intensidad de flor abierta se registró en enero ($x = 12,01$; $ES = 1,29$); en marzo no se registraron flores abiertas; en abril solo un árbol presentaba flor abierta; y de mayo a agosto en ninguno de los árboles se registraron flores abiertas.

Fructificación

La presencia de frutos inmaduros de *Chrysophyllum gonocarpum* en el 2022 se observó desde junio hasta octubre y una mayor intensidad en agosto ($x = 7,99$; $ES = 2,40$) y octubre ($x = 5,82$; $ES = 1,22$), en el 2023, la presencia de frutos inmaduros se observó desde febrero hasta octubre y la mayor intensidad de frutos inmaduros se registró en marzo ($x = 23,21$, $ES = 7,16$) y julio ($x = 16,70$, $ES = 3,36$), en el 2024, los frutos inmaduros se observó desde enero hasta agosto y la mayor intensidad de frutos inmaduros se observó en enero ($x = 14,75$, $ES = 2,31$). Por otro lado, cabe destacar que de mayo a julio el 54% de los árboles presentaban frutos inmaduros de dos a tres tamaños (frutiolos, frutos pequeños y grandes) en el mismo árbol, lo cual correspondía al 50% de los árboles y los restantes árboles no presentaron frutos (Figura 4).

Los frutos maduros se presentaron con mayor intensidad en el mes de julio ($x = 6,25$; $ES = 2,26$) y agosto ($x = 5,25$; $ES = 2,41$) del 2022, en el 2023 se registró mayor intensidad de frutos maduros en febrero ($x = 2,50$; $ES = 1,50$) y en el 2024 solo en marzo se registró frutos maduros en una intensidad muy baja ($x = 0,20$; $ES = 0,20$) y los restantes meses no fueron observados frutos maduros (Figura 5).

Producción de hojas nuevas

El monitoreo de la fenofase de producción de hojas nuevas en *Chrysophyllum gonocarpum* de junio de 2022 hasta agosto de 2024 mostró patrones variables, destacando variaciones significativas entre meses y años ($f = 51,66$; $p < 0,0001$ y $f = 197,91$; $p < 0,0001$). En 2022, la producción de hojas nuevas se observó desde agosto hasta diciembre, con una mayor intensidad en septiembre ($x = 22,66$; $ES = 0,89$) y diciembre ($x = 37,15$; $ES = 2,14$), la cual se extendió hasta enero de 2023, aunque en menor intensidad ($x = 21,51$; $ES = 1,34$). En 2024 (monitoreo hasta agosto), se registró mayor intensidad de producción de hojas nuevas en mayo ($x = 33,40$; $ES = 2,44$) y enero ($x = 30,94$; $ES = 2,22$), con mínimos en agosto (Figura 6).

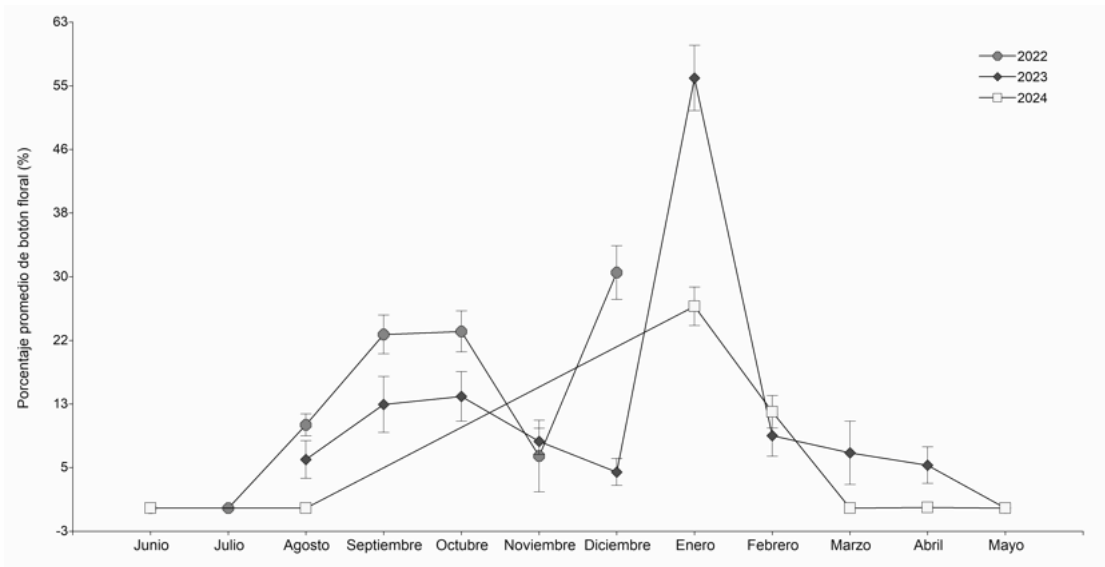


Figura 2. Porcentaje promedio de botones florales de *C. gonocarpum* registrados de junio 2022 a mayo de 2024 en el Jardín Botánico Municipal de Santa Cruz, Bolivia.

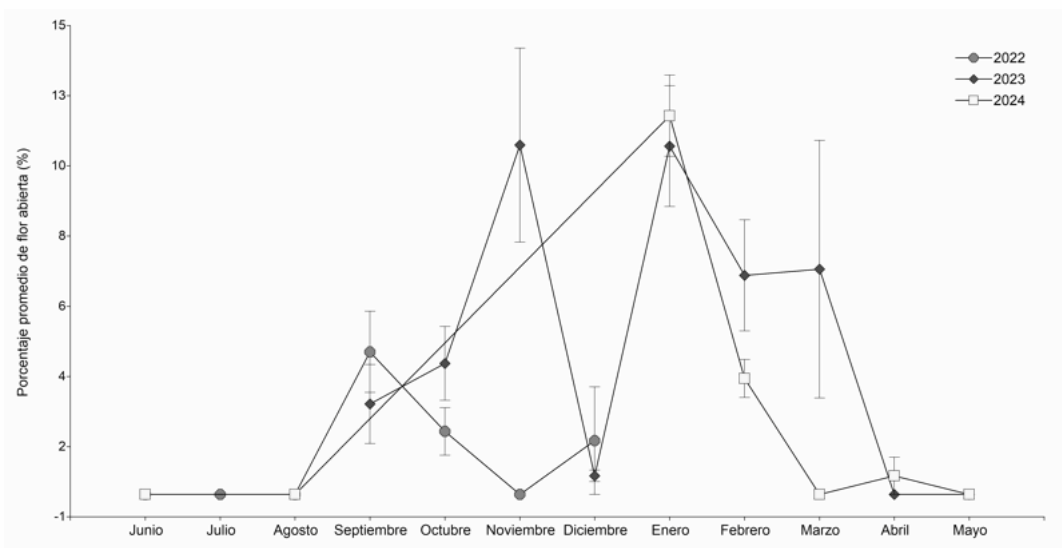


Figura 3. Porcentaje promedio de flor abierta de *C. gonocarpum* registrado de 2022 a 2024.

DISCUSIÓN

La intensidad y sincronía intermedias de la fenofase de *Chrysophyllum gonocarpum* observadas pueden estar relacionadas con el tiempo requerido para su desarrollo y conversión de una fenofase a la otra. Ya que la floración fue tan efímera que, en la mayoría de los casos, ocurrió entre una observación y la siguiente, pasando de botón floral a flor abierta y sin haber sido registrada la flor abierta, esto se puede ver con el bajo porcentaje de registro (de 4% a un máximo de 12%). Por lo tanto, la intensidad de la flor abierta no refleja la sincronía e intensidad de la fenofase. Estos resultados sugieren, que el registro de la floración requiere un monitoreo más frecuente, al menos semanal o un monitoreo mucho más frecuente. Asimismo, se ha documentado que las especies que florecen varias veces al año tienden a tener episodios cortos de floración (Bawa et al. 2003). Los valores máximos de floración registrados en otros estudios realizados en Brasil indican de octubre a diciembre (Jurandy da Cruz 1994) y de septiembre a

diciembre (Felippi *et al.* 2008), este evento coincide con uno de los periodos de floración de *C. gonocarpum*. Nuestros datos, muestran una variación con respecto a los estudios de Brasil, principalmente en el segundo periodo de floración. Esta variación puede estar relacionada con factores exógenos, endógenos y evolutivos, entre los factores exógenos podemos mencionar, condiciones climáticas, actividad de los agentes polinizadores, la viabilidad del polen, factores antropogénicos, entre otros (Williams-Linera y Meave, 2000).

Producción de flores y frutos

La presencia de botones florales entre agosto y enero en *C. gonocarpum* coincide con los patrones observados para Sapotaceae en bosques estacionales, donde la actividad reproductiva suele sincronizarse con la transición de la época seca a la húmeda (Frankie *et al.* 1974). El patrón bimodal de la floración también se ha documentado en otras especies de las familias Sapotaceae, Fabaceae y Moraceae (Monasterio y Sarmiento 1976). Los mismos autores indican que la capacidad de algunas especies de repetir la floración en distintos momentos del año se interpreta como una respuesta adaptativa a la variabilidad climática. En cambio, Williams-Linera y Meave (2000) indican que la floración bimodal o trimodal es una estrategia adaptativa frente a factores climáticos y ecológicos. Por otro lado, la capacidad de continuar produciendo nuevas flores de manera continua a lo largo de una temporada aumenta la posibilidad de una polinización exitosa, lo cual aumenta el éxito reproductivo y la producción de frutos (Ahmad *et al.* 2021). El tiempo de duración de la flor abierta también influye en el éxito reproductivo; Felippi *et al.* (2008) registraron una duración aproximada de 24 horas de permanencia de las flores abiertas de *C. gonocarpum*, tiempo en que tendrían que recibir polen compatible para tener éxito reproductivo.

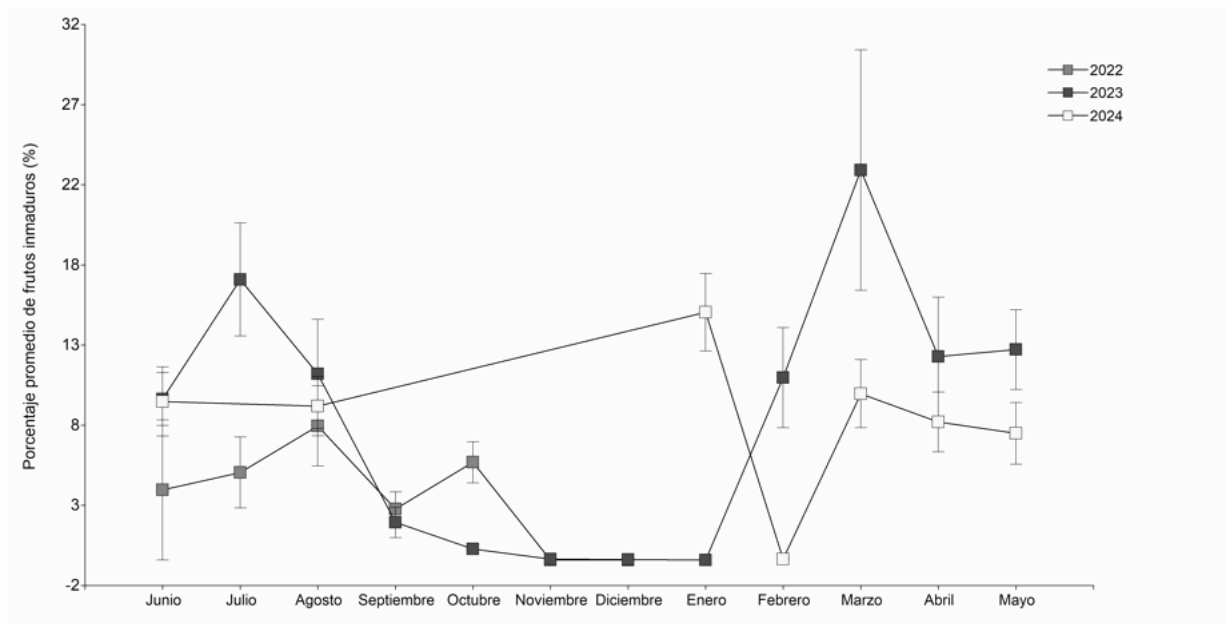


Figura 4. Porcentaje promedio de frutos inmaduros de *C. gonocarpum* registrado de 2022 a 2024.

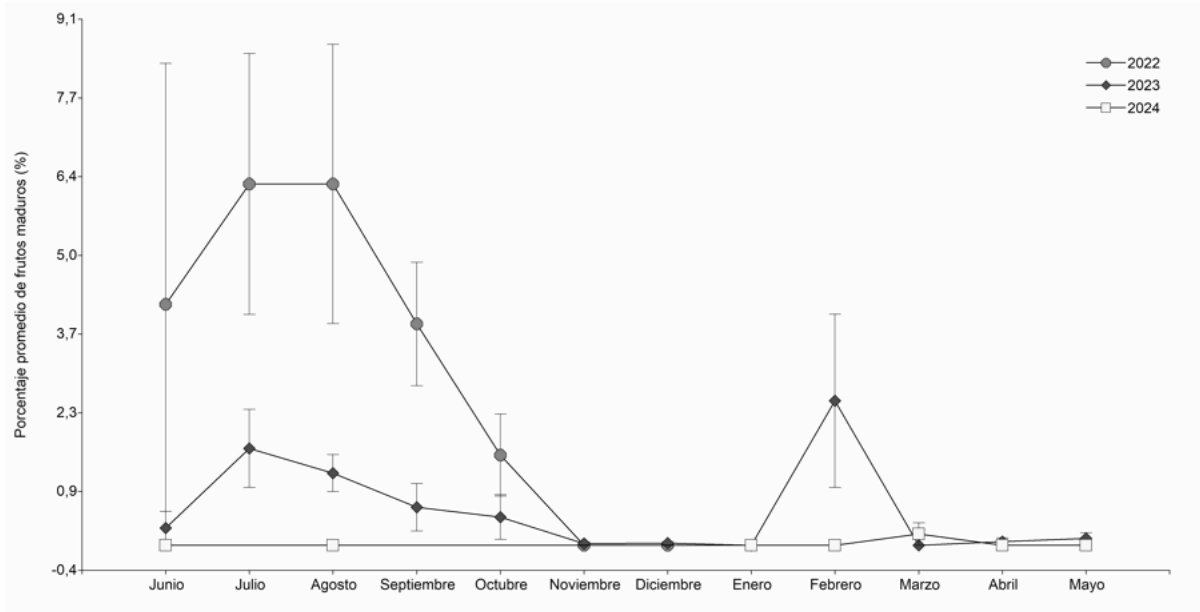


Figura 5. Porcentaje promedio de frutos maduros de *C. gonocarpum* registrados de 2022 a 2024.

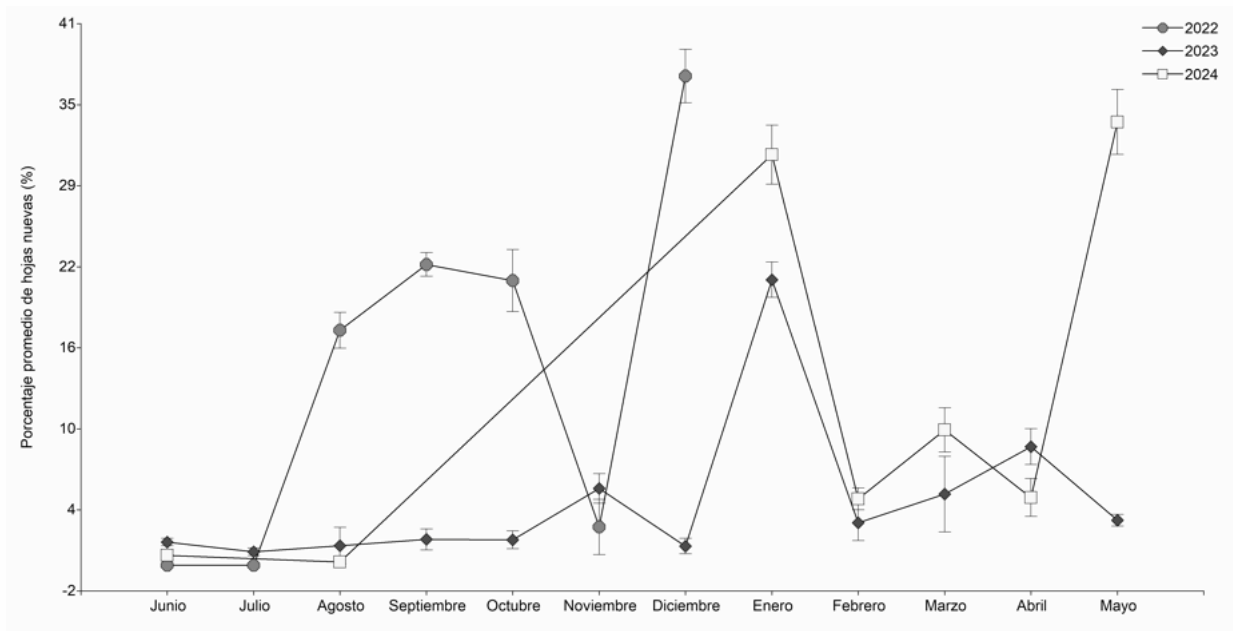


Figura 6. Porcentaje promedio de hojas nuevas de *C. gonocarpum* registradas de 2022 a 2024.

La marcada disminución de frutos maduros hacia 2024, a pesar de la alta producción de botones, podría estar relacionada con la limitación de polinizadores, el aborto de frutos y la depredación antes de la maduración de los frutos (depredación predispersión). La discrepancia entre la floración masiva y la baja maduración podría estar vinculada a la depredación predispersiva, común en esta familia Sapotaceae (Janzen 1971). Felipii *et al.* (2008) reportaron altas tasas de aborto de flores e indicaron que los factores como sequía, viento o lluvias fuertes pueden provocar aborto floral y reducir la formación de frutos.

El hallazgo de frutos de tres tamaños diferentes (frutiolos, pequeños y grandes) en un mismo árbol entre mayo y julio es un indicador de asincronía intraindividual. Este fenómeno ha sido documentado en especies del género *Chrysophyllum* en bosques neotropicales, donde el solapamiento de cohortes asegura una oferta constante de alimento para la fauna frugívora (Van Schaik *et al.* 1993). Esta característica es vital desde el punto de vista ecológico, ya que convierte a *C. gonocarpum* en una especie de sustento para aves y mamíferos durante periodos de escasez de otros frutos (Justiniano y Fredericksen 2000, Terborgh 1986).

Producción de hojas nuevas

Los patrones observados en la producción de hojas nuevas de *Chrysophyllum gonocarpum* durante 2022-2024 muestran variaciones entre diferentes meses y años, típicos de especies arbóreas tropicales que mantienen la fotosíntesis continua, pero ajustan la renovación de sus hojas con la disponibilidad hídrica (Daubenmire 1972, Van Schaik *et al.* 1993, Wright 1996). Los picos recurrentes de diciembre a enero (ej. 2022: $x = 22,66$, $x = 37,15$; 2023-2024: $x \sim 21-31$) coinciden con el inicio de la estación lluviosa en esta región (Santa Cruz, Bolivia), donde algunos estudios indican que los pulsos pluviométricos activan brotaciones apicales para maximizar la captura de CO_2 (Kikuzawa y Ackerly 1999, Reich y Borchert 1984).

CONCLUSIONES

En cuanto a la sincronía de la floración en *C. gonocarpum* tuvo un comportamiento dual marcado, entre septiembre y diciembre fue altamente asincrónica (0,35), mientras que en enero y febrero fue altamente sincrónica (0,80 y 0,78, respectivamente).

El 56% de la población arbórea mostró dos picos de floración anuales (enero-abril y agosto-noviembre), con diferencias mensuales e interanuales, donde la mayor intensidad de flores abiertas presentó una variación interanual.

Del total de la población monitoreada, solo el 54% presentó frutos inmaduros y los restantes, aunque florecieron, no llegaron a producir frutos. Asimismo, se observó un solapamiento fenológico interno entre mayo y julio al sostener simultáneamente hasta tres cohortes distintas de desarrollo de frutos (frutiolos, frutos pequeños y grandes).

La presencia de hojas nuevas se mantuvo en una sincronía intermedia (0,72) y una presencia ininterrumpida de enero a diciembre, lo que ratifica la persistencia fotosintética de la especie. Sin embargo, la tasa de foliación varió significativamente entre meses y años, alcanzando picos máximos vinculados a las transiciones hídricas en diciembre de 2022.

Conocer la dinámica fenológica de *C. gonocarpum*, permite optimizar la colecta sostenible de semillas en los meses de alta sincronía para los proyectos de restauración ecológica y el aprovechamiento sostenible de recursos medicinales y nutritivos, lo que permite predecir la disponibilidad de alimento para la fauna silvestre.

AGRADECIMIENTOS

Al Jardín Botánico Municipal de Santa Cruz de la Sierra, por permitirnos el acceso a sus instalaciones y brindar las facilidades necesarias para el desarrollo del trabajo de campo. A la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno (UAGRM), por el apoyo institucional fundamental para la ejecución de este estudio. Asimismo, expresamos nuestro especial agradecimiento a Daniel Soto y Fernando del Águila, por su valiosa guía en la ubicación e identificación de los árboles de aguái. Finalmente, destacamos la participación activa de Daniela Choré García, David Rivero, Fabiana Saavedra Yovio, Iván Pérez, José Bily Aucachi, Juan Carlos Rengel Mejia, Karina Estrada, Lisbeth Cerezo, Natalia Salvador, Richard Chaca y Shirley Coronado Alpiri, quienes colaboraron en las distintas etapas del monitoreo, siendo su apoyo indispensable para la toma de datos y el éxito de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Ademoye, M. A.; Lajide, L.; Owolabi, B. J. y Onubogu, C. C. 2018. GC-MS Analysis of raw and roasted seeds of *Chrysophyllum albidum*, a medicinal plant used for the treatment of tuberculosis. *Int. J. Sci. Res. Manag.* 6(08):1-11.
- Ahmad, M.; Uniyal, S. K.; Batish, D. R.; Rathee, S.; Sharma, P. y Singh, H. P. 2021. Flower phenological events and duration pattern is influenced by temperature and elevation in Dhauladhar mountain range of Lesser Himalaya. *Ecological Indicators* 129(107902):1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107902>
- Araujo-Murakami, A.; Alvarez, S.; Gutierrez, G.S. y Melgar, D.G. 2019. Plantas del Jardín Botánico Municipal de Santa Cruz de la Sierra; Volumen III: Frutales. Gobierno Autónomo Municipal de Santa Cruz de la Sierra, Santa Cruz, Bolivia, 290 pp.
- Bawa, K. S.; Kang, H. y Grayum, M. 2003. Relationships among time, frequency, and duration of flowering in tropical rain forest trees. *American Journal of Botany* 90(6): 877-887.
- Bullock, S. H. y Solis-Magallanes, J. A. 1990. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica* 22(1): 22-35.
- Coimbra, M.D.J. 2014. Guía de frutos Silvestres comestibles de la Chiquitania. Editorial FCBC. Santa Cruz, Bolivia. 112pp.
- Daubenmire, R. 1972. Phenology and other characteristics of tropical semi-deciduous forest in north-western Costa Rica. *The Journal of Ecology* 147-170.
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. 2020. InfoSfostat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>
- Doan, H. V.; Riyajan, S.; Iyara, R. y Chudapongse, N. 2018. Antidiabetic activity, glucose uptake stimulation and α -glucosidase inhibitory effect of *Chrysophyllum cainito* L. stem bark extract. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18: 267-277. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2328-0>
- Duarte-Vargas, J. H.; Melo, O.; Mora-Delgado, J.; Castañeda-Serrano, R. y Váquiro, H. 2020. ¿Como estimar la etapa fenológica de los árboles con un método práctico? *Agroforestería Neotropical* 10:39-46.
- Emudainohwo, J.O.T.; Erhirhie, E.O.; Moke, E.G. y Edje, K.E. 2015. A comprehensive review on ethno-medicine, phytochemistry and ethnopharmacology of *Chrysophyllum albidum*. *Journal of Advances in Medical and Pharmaceutical Sciences*, 3(4):147-154.
- Felippi, M.; Grossi, F.; Nogueira, A. y Kuniyoshi, Y.S. 2008. Fenología e Germinação de sementes de aguai, *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. y Eichl.) Engl. *Floresta* 38(2): 229-243.

- Howe, H. F. y Smallwood, J. 1982. Ecology of seed dispersal. Annual Review of Ecology and Systematics 13: 201-228.
- Janzen, H. D. 1971. Seed Predation by Animals. Annual Review of Ecology and Systematics 2: 465-492.
- Judkevich, M.D.; Alayón, L.P. y Gonzalez, A.M. 2019. Morfología-anatomía floral del Aguái: *Chrysophyllum gonocarpum* (Sapotaceae). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 54:85-86.
- Jurandyr da Cruz, A. 1994. Fenología de cinco especies arbóreas tropicais de Sapotaceae correlacionada a variáveis climáticas na Reserva Ducke. Manaus, Am. Acta Amazonica 24: 161-181.
- Justiniano, M. y Fredericksen, T.S. 2000. Fenología de especies arbóreas en bosques secos bolivianos. Biotropica 32: 276-281.
- Kikuzawa, K. y Ackerly, D. 1999. Significance of leaf longevity in plants. Plant Species Biology 14(1): 39-45. <https://doi.org/10.1046/j.1442-1984.1999.00005.x>
- López, A. E.; Alayón, L. P. y Taiariol, D. R. 2018. Aguái (*Chrysophyllum gonocarpum*). PROCISUR IICA. Argentina. 17pp.
- Luo, X.-D., Basile, M. y Kennelly, E. 2002. Polyphenolic antioxidants from the fruits of *Chrysophyllum cainito* L. (Star Apple). Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 1379-1382. <https://doi.org/10.1021/jf011178n>
- Martinez Covretto, R. N. 2012. Estudios etnobotánicos V. Nombres de plantas y su utilidad según los Mbya Guaraní de Misiones, Argentina. Bonplandia 21(2): 109-133.
- Monasterio, M. y Sarmiento, G. 1976. Phenological strategies of plant species in the tropical savanna and the semi-deciduous forest of the Venezuelan Llanos. Journal of Biogeography 3: 325-356.
- Reich, P. B., y Borchert, R. 1984. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. Journal of Ecology 72(1): 61-74.
- Teixeira, N.; Melo, J.C.S.; Batista, L. F.; Paula-Souza, J.; Fronza, P. y Brandão, M.G. L. 2019. Edible fruits from Brazilian biodiversity: A review on their sensorial characteristics versus bioactivity as tool to select research. Food Research International 119: 325-348. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.058>
- Terborgh, J. 1986. Community aspects of frugivory in tropical forests. Pp 371-384. En: Estrada, A. y Fleming, T. H. (Eds.). Frugivores and seed dispersal. Junk, Netherlands. Springer. Vol 15. https://doi.org/10.1007/978-94-009-4812-9_32
- Uslar, Y. V.; Mostacedo, B. y Saldias, M. 2004. Composición, estructura y dinámica de un bosque seco semideciduo en Santa Cruz, Bolivia. Ecología en Bolivia 39(1): 25-43.
- Van Schaik, C.P.; Terborgh, J.W. y Wright, S. J. 1993. The phenology of tropical forests: Adaptive significance and consequences for primary consumers. Annual Review of Ecology and Systematics 24:353-377.
- Vílchez, B.; Chazdon, R. L. y Redondo, A. 2004. Fenología reproductiva de cinco especies forestales del bosque secundario tropical. Kurú: Revista Forestal Mesoamericana 1(2):1-10.
- Williams-Linera, G. y Meave, J. 2000. Patrones fenológicos. Pp. 407-437. En: Guariguata, M. R. y Kattan, G. H. (Eds.). Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales. LUR, San José, Costa Rica. 677pp.
- Wright, S.J. 1996. Phenological responses to seasonality in tropical forest plants. Pp. 440-460. En: Mulkey, S. S.; Chazdon, R. L. y Smith, A. P. (Eds.). Tropical Forest Plant Ecophysiology. Springer, Boston, MA, US. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1163-8_15