



Modelo productivo para el **cultivo de yopo** (*Mimosa trianae* Benth) en el departamento del Meta

Autores

Diana Elisa Correa Pinilla | Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas
Jessica Moreno Barragán | Sandra Liliana Castañeda-Garzón
Adriana María Molina Romero | Ferney Giovanny López Hernández
Hebert Camargo Tamayo | Jhon Jairo Zuluaga Peláez
Juan Carlos Campos Pinzón | Manuel Eduardo Ostos Triana



Modelo productivo para el **cultivo de yopo** *(Mimosa trianae Benth)* en el departamento del Meta

Autores

Diana Elisa Correa Pinilla | Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas
Jessica Moreno Barragán | Sandra Liliana Castañeda-Garzón
Adriana María Molina Romero | Ferney Giovanny López Hernández
Hebert Camargo Tamayo | Jhon Jairo Zuluaga Peláez
Juan Carlos Campos Pinzón | Manuel Eduardo Ostos Triana



Modelo productivo para el cultivo de yopo (*Mimosa trianae* Benth) en el departamento del Meta. / Diana Elisa Correa Pinilla [y otros nueve] – Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2023.

136 páginas (Colección Transformación del Agro)

Incluye fotografías, gráficos y tablas.

ISBN e-Book: 978-958-740-686-3

1. *Mimosa* 2. Cultivo 3. Fenología 4. Propagación vegetativa 5. Siembra 6. Producción de biomasa 7. Insectos dañinos 8. Indicadores económicos 9. Meta (Colombia).

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA

Centro de Investigación La Libertad. Kilómetro 17, vía Puerto López, Meta. Código postal 502008, Colombia.

Centro de Investigación Nataima. Kilómetro 9, vía Espinal-Chicoral, Tolima. Código postal 733520, Colombia.

Esta publicación es el resultado del proyecto “Evaluación de especies arbustivas y arbóreas para uso múltiple en diferentes agroecosistemas de Colombia”, ID 1001200, financiado por transferencia del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Colección: Transformación del Agro

Tipología: Modelo productivo

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Edición: Liliana Elvira Gaona García

Corrección de estilo: Nathalie De la Cuadra N.

Diseño: Mónica Cabiativa

Diagramación: María Paula Berón Ramírez

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Asociación de Asaderos del Meta por su disposición y participación para la realización de este estudio, que fue liderado por el presidente de la asociación, Jesús Elías Benavides Ladino.

Citación sugerida: Correa Pinilla, D. E., Gutiérrez Vanegas, A. J., Moreno Barragán, J., Castañeda-Garzón, S. L., Molina Romero, A. M., López Hernández, F. G., Camargo Tamayo, H., Zuluaga Peláez, J. J., Campos Pinzón, J. C., & Ostos Triana, M. E. (2023). *Modelo productivo para el cultivo de yopo (Mimosa trianae Benth) en el departamento del Meta*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7406863>

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

11	Autores
16	Siglas
17	Presentación

Capítulo I Área geográfica y entorno ambiental

20	Área geográfica
21	Entorno ambiental
21	Clima y zonas de vida
21	Precipitación
24	Temperatura
26	Zonas de vida
27	Suelos y geomorfología

19

Capítulo II Taxonomía y clasificación, descripción botánica y fenología

36	Taxonomía y clasificación
39	Fenología
42	Estado de conservación
43	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.
43	Taxonomía y clasificación
46	Usos

35

Capítulo III Características morfológicas de la colección forestal del Centro de Investigación La Libertad

47

Capítulo IV Propagación

57

Capítulo V Sistemas de siembra

63

64 Densidad de siembra

64 Sistemas de siembra

70 Agroforestería

71 Silvopastoriles

Capítulo VI Prácticas culturales

77

Capítulo VII Crecimiento, producción de biomasa, interceptación de la lluvia, sombra y propiedades dendroenergéticas

89

90 Modelo de crecimiento

91 Biomasa de raíces finas

91 Densidad lineal de raíces finas

97 Costo nutritivo

101 Propiedades dendroenergéticas

Capítulo VIII Insectos asociados al yopo (*Mimosa trianae* Benth) en el piedemonte del departamento del Meta

103

104 Psyllidos

108 *Empoasca* spp. (Hemiptera: Cicadellidae)

108 *Pandeleteius* spp. (Coleoptera: Curculionidae)

109 Geometridae

Capítulo IX Indicadores económicos

115

125 Referencias

Lista de figuras

Figura 1	Localización geográfica del departamento del Meta	20
Figura 2	Precipitación total anual 1981-2010 en el departamento del Meta	22
Figura 3	Precipitación mensual 1981-2010 en el departamento del Meta	23
Figura 4	Temperatura media anual 1980-2010 en el departamento del Meta	24
Figura 5	Temperatura media mensual 1981-2010 en el departamento del Meta	25
Figura 6	Unidades de paisaje	28
Figura 7	Paisaje de montaña	29
Figura 8	Relieves de abanicos en paisaje de piedemonte	30
Figura 9	Paisaje de lomeríos	31
Figura 10	Paisaje de altillanura	32
Figura 11	Paisaje de planicie aluvial	33
Figura 12	Estructuras del árbol de yopo (<i>M. trianae</i>)	38
Figura 13	Calendario fenológico, fases reproductivas del yopo (<i>M. trianae</i>)	40
Figura 14	Etapas de desarrollo de la inflorescencia	41
Figura 15	Etapas de desarrollo del fruto	42
Figura 16	Estructuras del árbol <i>A. peregrina</i>	45
Figura 17	Características de los árboles de yopo (<i>M. trianae</i>)	51
Figura 18	Características de los árboles de yopo (<i>M. trianae</i>) en el Centro de Investigación La Libertad	52
Figura 19	Hojas de yopo (<i>M. trianae</i>)	53

Figura 20	Características morfológicas evaluadas en las hojas de yopo (<i>M. trianae</i>)	54
Figura 21	Plántulas de yopo (<i>M. trianae</i>) en germinadores	59
Figura 22	Selección de material vegetal y trasplante de plántulas de yopo (<i>M. trianae</i>)	60
Figura 23	Plántulas de yopo (<i>M. trianae</i>)	61
Figura 24	Plantaciones lineales de yopo (<i>M. trianae</i>)	65
Figura 25	Barrera rompevientos o cortinas rompevientos	66
Figura 26	Banco dendroenergético	67
Figura 27	Yopo (<i>M. trianae</i>) establecido en banco dendroenergético	67
Figura 28	Rehabilitación de cuencas con yopo (<i>M. trianae</i>)	68
Figura 29	Yopo (<i>M. trianae</i>) asociado a especies nativas para recuperación y rehabilitación de cuencas	69
Figura 30	Sistemas agroforestales con árboles de yopo (<i>M. Trianae</i>), cacao (<i>T. cacao</i>) y plátano (<i>Musa sp.</i>)	70
Figura 31	Cultivos en callejones con árboles de yopo (<i>M. trianae</i>) y cultivos agrícolas	71
Figura 32	Franjas en potreros de especies forestales	72
Figura 33	Franjas de yopo (<i>M. trianae</i>) establecidas en potreros	73
Figura 34	Bosquetes de yopo (<i>M. Trianae</i>) en potreros	74
Figura 35	Bosquetes de yopo (<i>M. Trianae</i>) en potreros y especies nativas	74
Figura 36	Árboles dispersos de yopo (<i>M. trianae</i>) en potreros	75
Figura 37	Árboles de yopo (<i>M. trianae</i>) dispuestos a una distancia preestablecida en los potreros.	76
Figura 38	Proceso de toma de muestra de suelo para análisis	79
Figura 39	Preparación de lotes para el establecimiento de reforestación de especies nativas	81

Figura 40	Ahoyado	83
Figura 41	Muestreo destructivo para determinar nutrientes y carbono	94
Figura 42	Fotografía esférica con lente de 180° de la porosidad de las copas de la especie <i>M. trianae</i>	99
Figura 43	Ensayo de interceptación de agua	100
Figura 44	Adulto y ninfa <i>Heteropsylla</i> sp. (Hemiptera: Psyllidae)	104
Figura 45	Daño por <i>Heteropsylla</i> sp. en rama	106
Figura 46	Enemigos naturales de <i>Heteropsylla</i> sp.	107
Figura 47	Adulto de <i>Pandeletius</i> sp.	109
Figura 48	Larvas de geométridos	110
Figura 49	Mapa de número de asaderos por municipio	116
Figura 50	Leña usada para la preparación de carne a la llanera	117
Figura 51	Motivo de preferencia por el cual se compra la leña de <i>M. trianae</i>	118
Figura 52	Volumen de yopo (<i>M. trianae</i>) vs. total de leña comprada	119
Figura 53	Exceso de demanda de yopo (<i>M. trianae</i>)	121

Lista de tablas

Tabla 1	Unidades de suelo por paisaje	27
Tabla 2	Descriptores de planta para la evaluación de <i>M. trianae</i>	48
Tabla 3	Características morfológicas de las hojas de yopo (<i>M. trianae</i>) de la colección del Centro de Investigación La Libertad	54
Tabla 4	Valores promedio de biomasa de raíces finas de yopo (<i>M. trianae</i>), a los 72 meses de edad, en el Centro de Investigación La Libertad	91
Tabla 5	Valores promedio de densidad de raíces finas de yopo (<i>M. trianae</i>), a los 72 meses de edad, en el Centro de Investigación La Libertad	92
Tabla 6	Valores promedio de longitud y longitud específica de raíces finas de yopo (<i>M. trianae</i>), a los 72 meses de edad, en el Centro de Investigación La libertad	93
Tabla 7	Contenido promedio de biomasa y nutrientes de la especie yopo (<i>M. trianae</i>), a los 68 meses de edad, en el Centro de Investigación La libertad	95
Tabla 8	Biomasa seca y eficiencia del uso de nutrientes de cada componente de la especie yopo (<i>M. trianae</i>), a los 68 meses de edad, en el Centro de Investigación La libertad	97
Tabla 9	Biomasa seca y costos nutritivos de cada componente de la especie yopo (<i>M. trianae</i>), a los 68 meses de edad, en el Centro de Investigación La libertad	98
Tabla 10	Interceptación y transferencia de agua lluvia al suelo por la especie yopo (<i>M. trianae</i>), a los 72 meses de edad, en el Centro de Investigación La libertad	101

Tabla 11	Caracterización fisicoquímica de carbonizados de la especie yopo (<i>M. trianae</i>)	102
Tabla 12	Principales enemigos naturales asociados al yopo (<i>M. trianae</i>)	113
Tabla 13	Costos de establecimiento de la plantación sin arriendo con precios constantes (1 ha)	122
Tabla 14	Costos de mantenimiento y aprovechamiento de la plantación sin arriendo con precios constantes	123
Tabla 15	Flujo de caja neto de la plantación sin arriendo con precios constantes	123



Autores

Diana Elisa Correa Pinilla

Correo electrónico: dcorrea@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2334-3941>

Ecóloga de la Pontificia Universidad Javeriana, especialista en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y magíster en Science Geographical Information Science & Systems-MSc (GISc) de la Universität Salzburg, Austria. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Red de Innovación de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Ha participado en proyectos de investigación relacionados con los sistemas productivos de caucho y forestales, en las áreas de sistemas de información geográfica y modelamiento espacial, sensoramiento remoto, caracterización y tipificación de sistemas de producción y valoración de servicios ecosistémicos.

Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas

Correo electrónico: agutierrez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3700-7321>

Ingeniero agrícola de la Universidad Nacional de Colombia y magíster en Agroforestería Tropical de la Universidad de Ciencia Aplicadas y Ambientales (UDCA). Actualmente está vinculado como investigador máster a la Red de Innovación de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Ha participado en la elaboración y posterior ejecución de proyectos de investigación que buscan la evaluación de tierras para la definición de áreas óptimas, para el emprendimiento de proyectos productivos forestales y de caucho, la valoración de servicios ambientales y la caracterización y tipificación de sistemas de producción.

Jessica Moreno Barragán

Correo: jmorenob@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6784-7626>

Ingeniera forestal de la Universidad del Tolima. Ha participado en investigación en la caracterización de especies forestales nativas, sistema de información para monitoreo, evaluación, seguimiento de plantaciones forestales, evaluación de genotipos de cacao seleccionados por atributos de valor, producción de semillas de calidad de variedades mejoradas y estrategias de vinculación de conocimientos y transferencia de la oferta tecnológica. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación adscrita a la Red de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Libertad.

Sandra Liliana Castañeda-Garzón

Correo: slcastaneda@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1329-6317>

Ingeniera forestal de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, especialista en Producción, Transformación y Comercialización de la Madera de la Universidad del Tolima, magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Genética y Fitomejoramiento de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como investigadora máster de la Red de Innovación de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Ha participado en investigaciones en el área de fitomejoramiento de especies forestales, caucho y palma de aceite. Cuenta con experiencia en coordinación de programas y proyectos de investigación en propagación vegetal, fuentes semilleras, conservación de semillas, bioprospección, sanidad y fisiología vegetal en el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis y en fitomejoramiento en la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF).

Adriana María Molina Romero

Correo: amolinar@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8975-0454>

Economista con maestría en Economía de la Pontificia Universidad Javeriana. Actualmente está vinculada a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Libertad en Villavicencio, Meta, donde se ha desempeñado como investigadora máster adscrita a la Red de Transitorios y Agroindustriales. Ha realizado trabajos en investigación de análisis económicos y financieros, estudios de mercado, caracterizaciones y tipificaciones de sistemas productivos, evaluaciones *ex ante*, *ex post* y de impactos socioeconómicos para ganadería, cultivos transitorios, permanentes y frutales. Adicionalmente, apoya en la construcción de costos de producción para los proyectos de diferentes sistemas productivos que maneja el Centro de Investigación La Libertad.

Ferney Giovanni López Hernández

Correo: ferloz071@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4037-7948>

Técnico en producción agropecuaria del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Ha participado en proyectos de investigación, trabajo de campo y laboratorio, en las áreas de mejoramiento, fitopatología y entomología, de los sistemas de producción de caucho, arroz, forestales, plátano, papaya y soya en la Orinoquia colombiana.

Hebert Camargo Tamayo

Correo: htamayo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7641-5921>

Agronomo de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Ha participado en investigación en sistemas de producción de maíz, soya, jatropha, cacao y forestales, en la caracterización de forestales nativos, monitoreo, evaluación, seguimiento de plantaciones forestales y evaluación de genotipos de cacao seleccionados por atributos de valor. Actualmente se desempeña como asistente técnico de investigación adscrito a la Red de Innovación de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Libertad.

Jhon Jairo Zuluaga Peláez

Correo: jzuluaga@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8302-5227>

Ingeniero forestal de la Universidad del Tolima, magíster en Agroforestería Tropical del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) de Costa Rica y PhD en Ingeniería Forestal de la Universidade Federal de Santa María (UFESM) de Brasil. Está capacitado en áreas de silvicultura, agroforestería, ordenación de bosques, aprovechamiento forestal, manejo de plantaciones y bosques naturales, ecología, impacto ambiental, protección forestal, inventarios forestales, estudios de biomasa, captura de carbono, ciclaje y uso eficiente de nutrientes, productos maderables y no maderables, hidrología forestal, uso y manejo de agua y suelo, recuperación de áreas degradadas, manejo de cuencas hidrográficas, investigación, extensión y participación comunitaria, entre otras. Hace parte del grupo de investigación “Raíces del futuro: manejo del suelo, agua y planta” categorizado por Minciencias en la categoría A1. Actualmente ocupa el cargo de investigador PhD en el Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Juan Carlos Campos Pinzón

Correo: jcampos@agrosavia.co,

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2506-5594>

Profesional en Ingeniería Agroforestal. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Red de Innovación de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Ha participado en proyectos de investigación en manejo integrado de plagas agrícolas en cultivos permanentes y frutales.

Manuel Eduardo Ostos Triana

Correo: mostos@agrosavia.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4855-9407>

Profesional en Mercadeo Agropecuario de la Universidad de los Llanos Orientales. Está vinculado a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), como profesional de apoyo a la investigación en el área de economía; asimismo, ha hecho parte de proyectos de investigación relacionados con procesos de caracterización y tipificación de productores en los sistemas de producción de cebs de ganado bovino en la Orinoquia, sistemas de rotación de arroz, soya y maíz en el piedemonte y la altillanura plana del departamento del Meta, estudio de mercado y costos de producción para la especie forestal del yopo, buenas prácticas apícolas y polinización con abejas *Apis mellifera* en cultivos de importancia económica, y ha participado en el desarrollo del Balance Social de la Corporación.

Siglas

CORMACARENA: Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena.

CN: costo nutritivo.

DAP: diámetro a la altura de pecho.

DLR: densidad lineal de raíces.

EUN: índice de eficiencia del uso de nutrientes.

ET: escurrimiento por el tronco.

H: altura total.

IMA: incrementos medios anuales.

INT: interceptación.

LER: longitud específica de raíces.

PA: precipitación abierta.

PE: precipitación efectiva.

PI: precipitación interna.

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

ZCTI: zona de convergencia intertropical.

Presentación

En la actualidad, a nivel mundial, se aboga por el uso sostenible de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático, y cada vez es más común la implementación de estrategias relacionadas con la agroforestería; con esto se busca generar beneficios ecológicos, ambientales y productivos, así como recuperar o fortalecer el uso de especies forestales nativas que favorecen la conservación de los ecosistemas en los territorios. Sin embargo, el uso de especies forestales nativas se ha visto limitado por la poca disponibilidad de información que permita su establecimiento y manejo adecuado.

De acuerdo con lo anterior, a partir de los resultados de los proyectos de investigación forestal realizados por la Red de Innovación de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), desde 2010, se estructuró el modelo productivo que se presenta en este documento, con el propósito de contribuir a la generación de conocimiento sobre aspectos biológicos, ecológicos, fitosanitarios y socioeconómicos de una especie de yopo (*Mimosa trianae* Benth) en el departamento del Meta, y proporcionar a los productores, asistentes técnicos y extensionistas agropecuarios información para el manejo adecuado de la especie y la toma de decisiones.

El yopo (*M. trianae*) es una especie muy apreciada en la región de la Orinoquia, debido a los múltiples bienes y servicios ecosistémicos que ofrece. Tradicionalmente se utiliza como leña en los hogares y en la cocción del plato típico llamado “mamona”, por su alto valor dendroenergético y el sabor particular que le aporta a la carne. Además, por su rápido crecimiento y sus características de copa y hojas, permite su incorporación y uso en sistemas agroforestales y silvopastoriles, y en

procesos de reforestación y restauración ecológica para la protección de cuencas. A nivel ecológico, la especie soporta una serie de funciones importantes para el sostenimiento de los bosques naturales, como la regulación de los ciclos de agua, carbono y hábitat para aves migratorias, como la reinita estriada (*Setophaga striata*).

Esta publicación se organiza en nueve capítulos en los que se desarrollan aspectos relacionados con área geográfica y entorno ambiental, descripción botánica y fenología, características morfológicas de la colección botánica en el Centro de Investigación La Libertad de AGROSAVIA, propagación, sistemas de siembra, prácticas culturales, crecimiento, desarrollo y características de la especie, insectos asociados e indicadores económicos, con el propósito de que el productor cuente con información suficiente para mejorar la sostenibilidad de su predio.



Capítulo I

Área geográfica y entorno ambiental

Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas
Diana Elisa Correa Pinilla



Área geográfica

El departamento del Meta está localizado en la región de la Orinoquia, entre las coordenadas 01° 36' 52" y 04° 54' 25" de latitud Norte y -71° 04' 38" y -71° 53' 57" de longitud Oeste, y comprende un área aproximada de 85.635 km². Limita al norte con los departamentos de Cundinamarca y Casanare; al sur, con los departamentos de Guaviare y Caquetá; al occidente con el departamento del Huila, y al oriente con el departamento del Vichada (figura 1) (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2004; Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT] & Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena [Cormacarena], 2018).

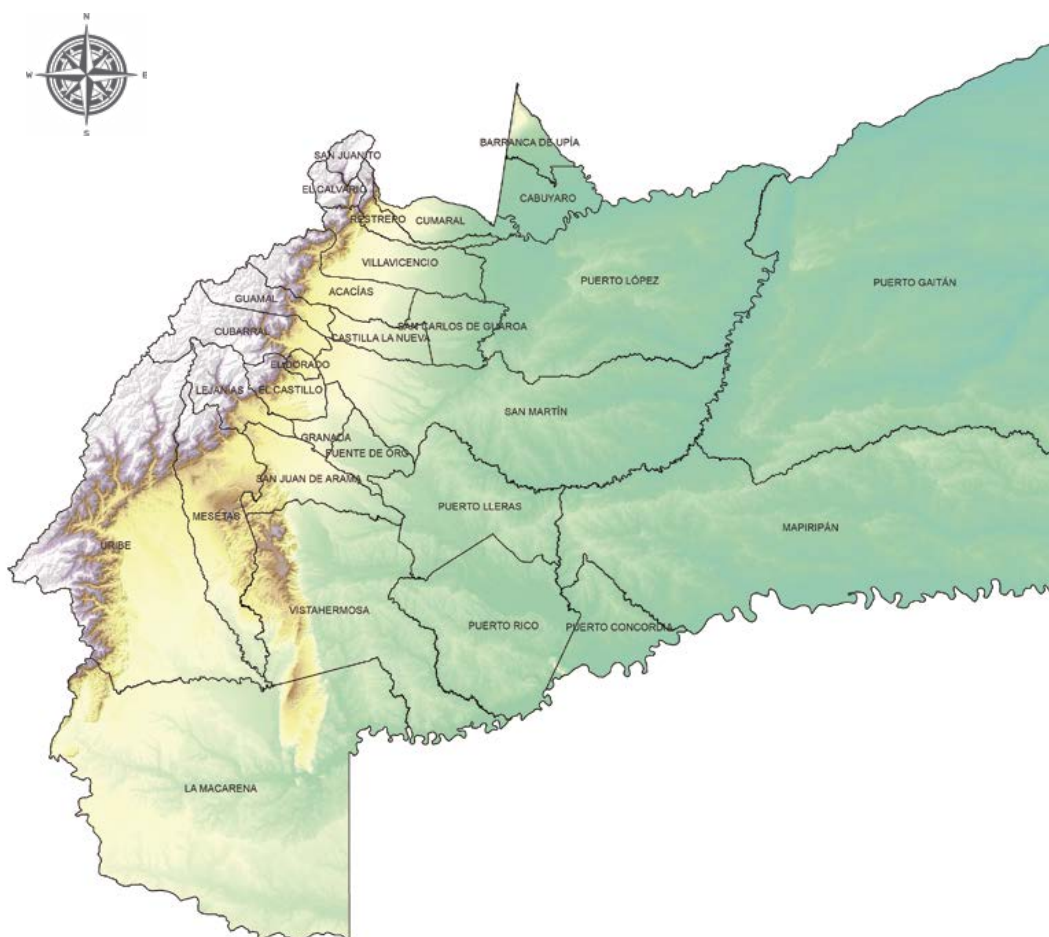


Figura 1. Localización geográfica del departamento del Meta.

Fuente: Elaboración propia, a partir de IGAC (2004)

Entorno ambiental

El yopo (*M. Trianae*) es una especie endémica en la Orinoquia colombiana (Santos-Silva et al., 2015), reportada principalmente en las estribaciones de la cordillera Oriental en paisajes de montaña, piedemonte y planicies de los departamentos de Cundinamarca y Meta, donde crece en altitudes que varían entre 50 y 1.400 m s. n. m. Esta especie también crece a lo largo de los bosques de galería, sabanas naturales y áreas boscosas de los paisajes de montaña, piedemonte y planicie (Acero Duarte, 2005). Sin embargo, en la actualidad, su rango de distribución se ha ampliado debido a que su fácil adaptación a diferentes condiciones ambientales se utiliza en sistemas agroforestales, silvopastoriles y procesos de reforestación y restauración ecológica, en los departamentos de Arauca, Casanare, Guaviare y Vichada.

Clima y zonas de vida

El clima en el piedemonte del departamento del Meta está influenciado principalmente por el sistema montañoso de la cordillera Oriental y la serranía de La Macarena y, en general, por efectos de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), que a su vez determinan las temporadas secas y lluvias en el territorio (IGAC, 2004; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] et al., 2012); asimismo, presenta diferentes pisos térmicos que van desde fríos hasta cálidos.

Precipitación

La distribución espacial de la precipitación en el departamento del Meta presenta una amplia variabilidad, entre 4.000 y 6.000 mm anuales a lo largo del piedemonte de la cordillera Oriental, y entre 2.500 y 3.000 mm anuales en la parte plana (figura 2) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2017a). La distribución anual de la precipitación se caracteriza por ser de tipo monomodal, con una época seca que, usualmente, se registra entre diciembre y marzo, periodo durante el cual los vientos alisios del noreste son dominantes y desplazan hacia el sur la ZCIT, y una época de lluvias que va de marzo a noviembre; asimismo, se presenta un incremento sustancial de la precipitación entre mayo y julio, y durante octubre

(figura 3). Esta situación se da cuando los vientos alisios del sureste empiezan a ser dominantes, lo cual desplaza la ZCIT hacia el norte (IGAC, 2004; Ideam, 2017a; CIAT & Cormacarena, 2018).

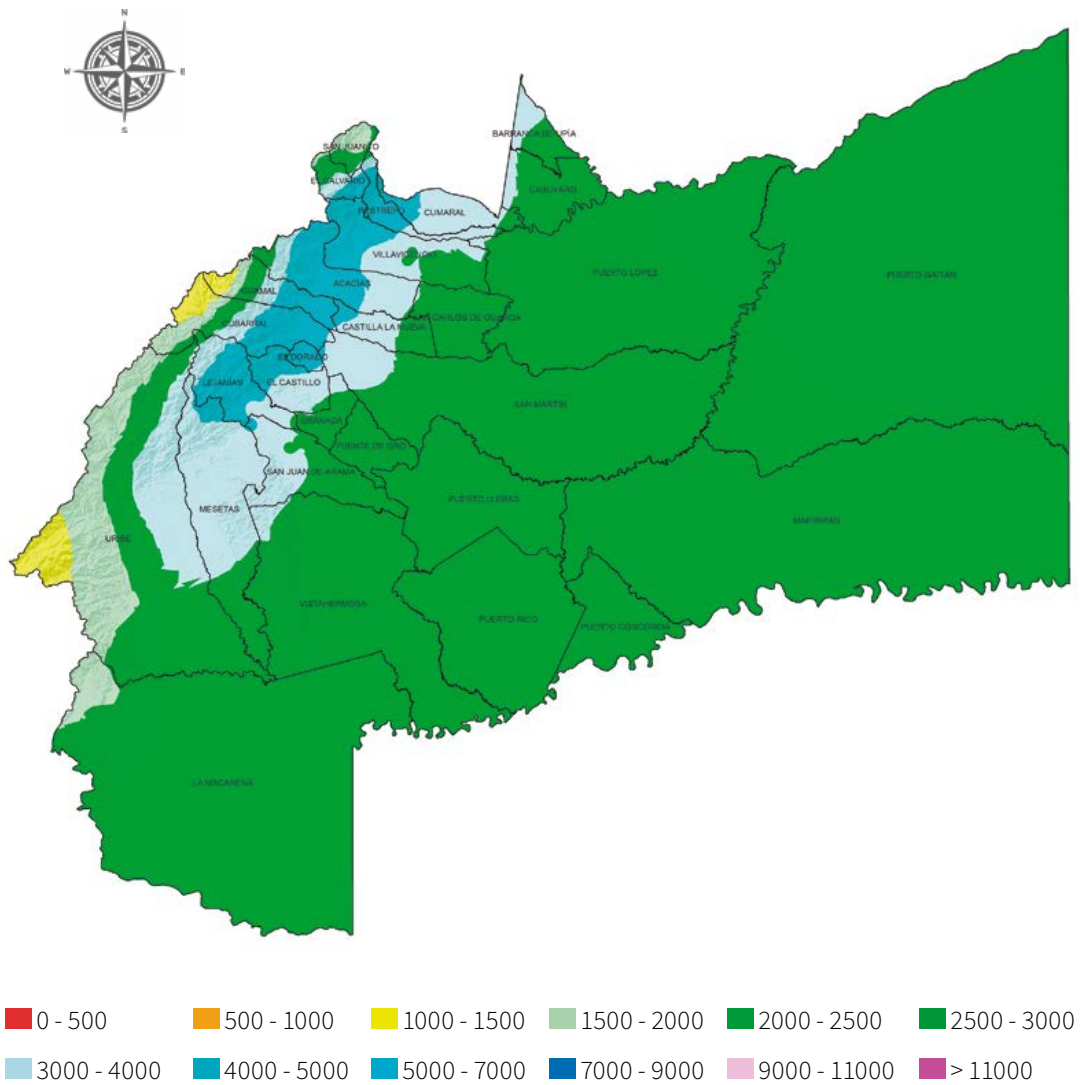


Figura 2. Precipitación total anual 1981-2010 en el departamento del Meta.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Ideam (2017b)

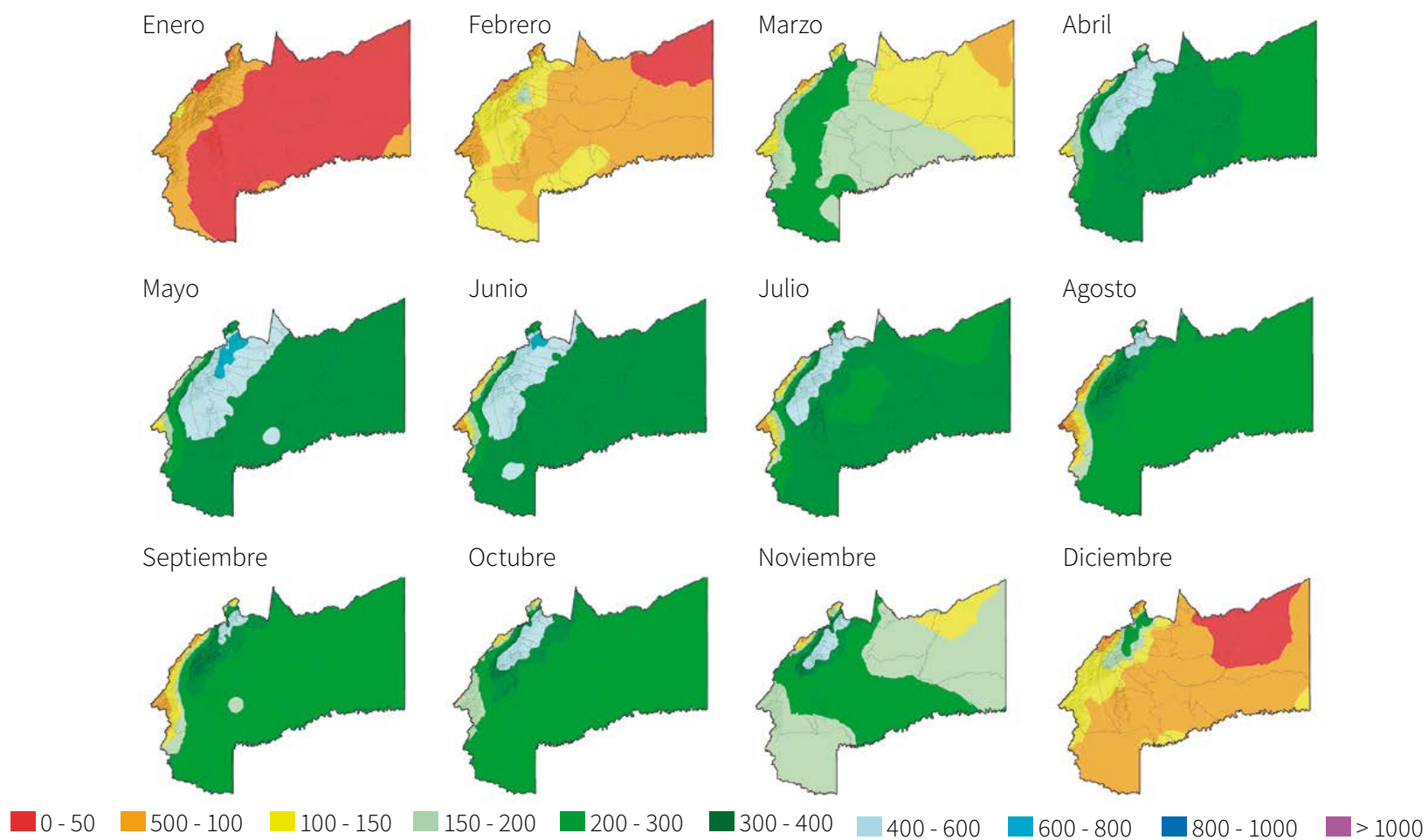


Figura 3. Precipitación mensual 1981-2010 en el departamento del Meta.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Ideam (2017c)

Temperatura

La temperatura promedio anual varía desde los 4 °C en las partes altas de la cordillera Oriental (páramo de Chingaza), hasta los 27 °C, o más, hacia el oriente del departamento en los municipios de Puerto Gaitán y Mapiripán (figura 4). Los registros de las temperaturas medias mensuales más altas coinciden con la época seca en enero, febrero y marzo, y las más bajas durante la época lluviosa de abril a noviembre (figura 5) (IGAC, 2004; Ideam, 2017a; CIAT & Cormacarena, 2018).

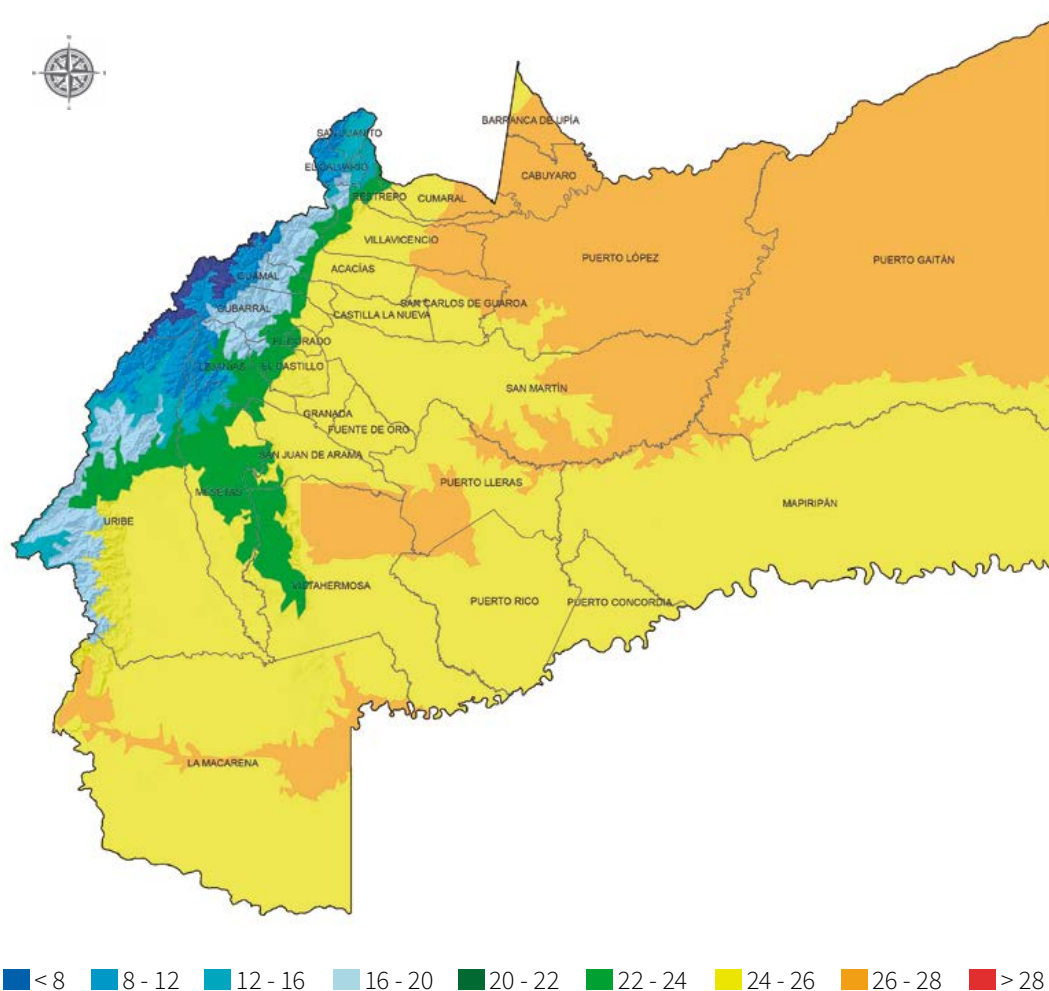


Figura 4. Temperatura media anual 1980-2010 en el departamento del Meta.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Ideam (2017d)

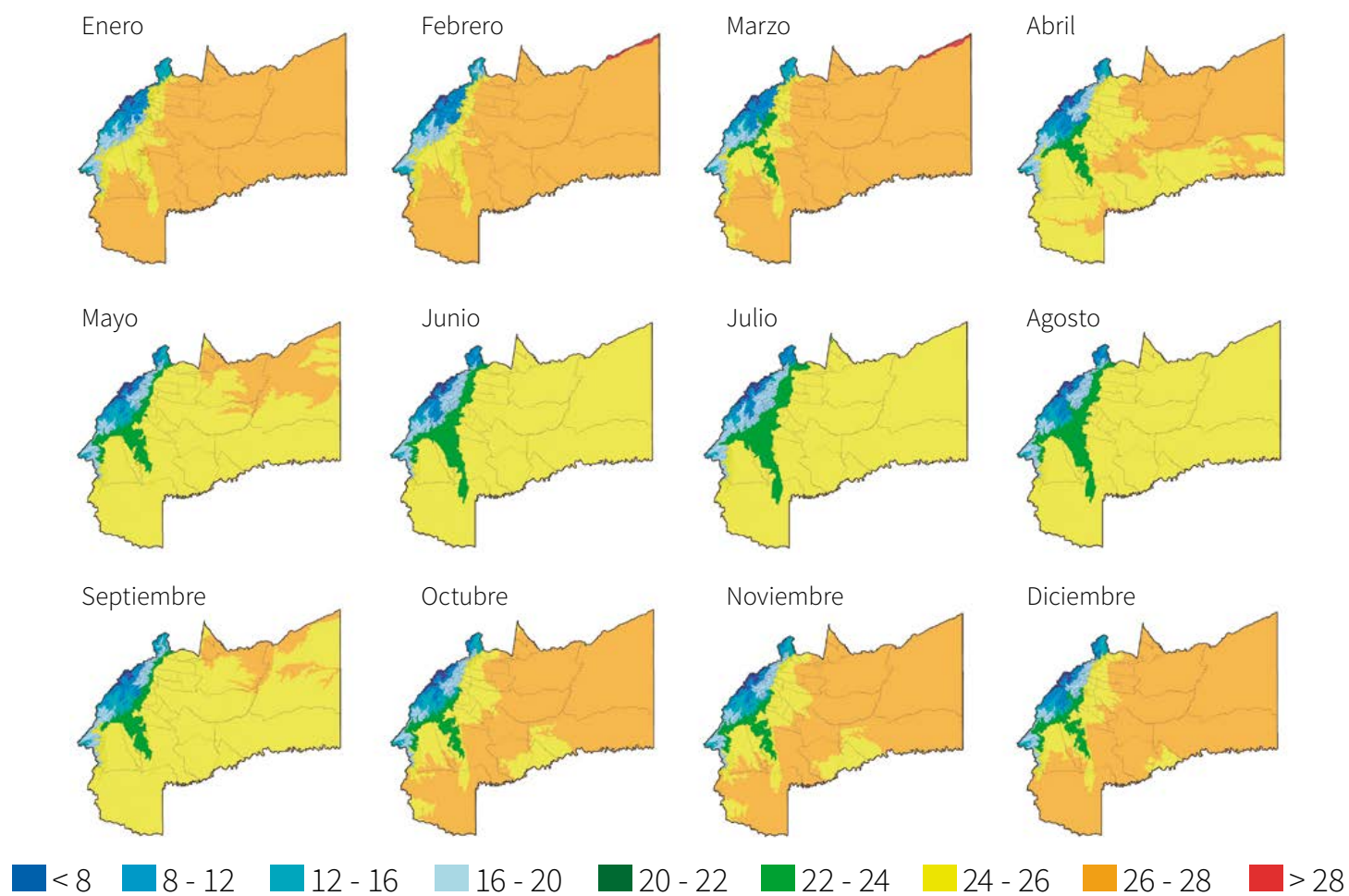


Figura 5. Temperatura media mensual 1981-2010 en el departamento del Meta.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Ideam (2017d)

Zonas de vida

El yopo (*M. Trianae*) es una especie endémica de la región y la cual está distribuida en las zonas de vida bosque muy húmedo tropical (bmh-T), bosque muy húmedo premontano (bmh-PM) y bosque húmedo tropical (bh-T), según la clasificación de Holdridge (1967).

Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM)

Esta formación se extiende a lo largo de la vertiente oriental de la cordillera Oriental, desde el municipio de Cumaral hasta La Macarena, en suelos de los paisajes de piedemonte, lomerío y altiplanicie, principalmente. Tiene como límites climáticos una biotemperatura media anual de 18 a 24°C; se localiza a una altitud entre 900 y 2.000 m s. n. m., y la lluvia supera a la evapotranspiración, lo cual genera un sobrante de agua en el suelo que favorece los requerimientos de humedad de esta especie. La vegetación natural que predomina en esta unidad corresponde a especies que pertenecen a las familias Euforbiaceae, Cesalpiniaceae, Mimosáceae, Boragináceae, Fabáceae, Melastomataceae y Piperáceae (IGAC, 2004; Castaño Uribe, 2002).

Bosque muy húmedo tropical (bmh-T)

Esta zona de vida se localiza entre los paisajes de montaña, serranía (La Macarena) y piedemonte (región central del departamento) de la vertiente oriental de la cordillera Oriental. Tiene como límites climáticos una temperatura media anual de más de 24°C; se localiza altitudinalmente entre 100 y 1.000 metros, con un promedio anual de lluvias superior a los 4.000 mm. Esta zona de vida se encuentra en los municipios de Cumaral, Restrepo, Villavicencio, El Castillo, San Juan de Arama, Vista Hermosa y La Uribe. La vegetación natural que predomina en esta unidad está conformada por especies que pertenecen a las familias Tiliaceae, Bixaceae, Moráceae, Mimosáceae, Bombáceae, Fabaceae y Lauraceae (IGAC, 2004; Castaño Uribe, 2002).

Bosque húmedo tropical (bh-T)

Esta zona de vida es la de mayor área en el Meta (parte central y oriental del departamento), con suelos de paisajes de piedemonte, planicie, valle, lomerío y altiplanicie. Tiene como límites climáticos una biotemperatura superior a los 24°C, un promedio anual de lluvias entre 2.000 y 4.000 mm, y corresponde a la franja altitudinal localizada entre los 100 y 1.000 metros. La vegetación natural de esta unidad está constituida principalmente por especies como *Cecropia peltata* (yarumo), *Cedrela odorata* (cedro amargo), *Ceiba pentandra* (ceiba), *Erisina* sp. (flor morado), *Inga* sp. (guamo), *Ochroma pyramidale* (balso), *Ocotea heterochroma* (laurel amarillo) y *Vitex orinocensis* (cabo de hacha) (IGAC, 2004; Castaño Uribe, 2002).

Suelos y geomorfología

Debido al amplio territorio geográfico donde se desarrolla el yopo (*M. trianae*) por su introducción a nuevas áreas en el departamento y su fácil adaptación a diferentes condiciones edáficas, algunos individuos de esta especie en ambientes naturales han sido reportados en 20 unidades de suelos (tabla 1), correspondientes a los paisajes de piedemonte y planicies aluviales, y algunas unidades de suelos en zonas de altiplanicie, lomeríos y valles (figura 6).

Tabla 1. Unidades de suelo por paisaje

Paisaje	Unidades de suelos
Montaña	MUPef1
Piedemonte	PVAa, PVBa, PVCap, PVDbc, PVEabp, PVGdc2
Lomerío	AVGb, LVGd2, LVKbc1
Altiplanicie	AVAa, AVCa, AVEb, AVlai
Planicie aluvial	RVGay, RVHay, RVJay, RVNax
Valle	VVAax, VVCaxy

Fuente: Elaboración propia

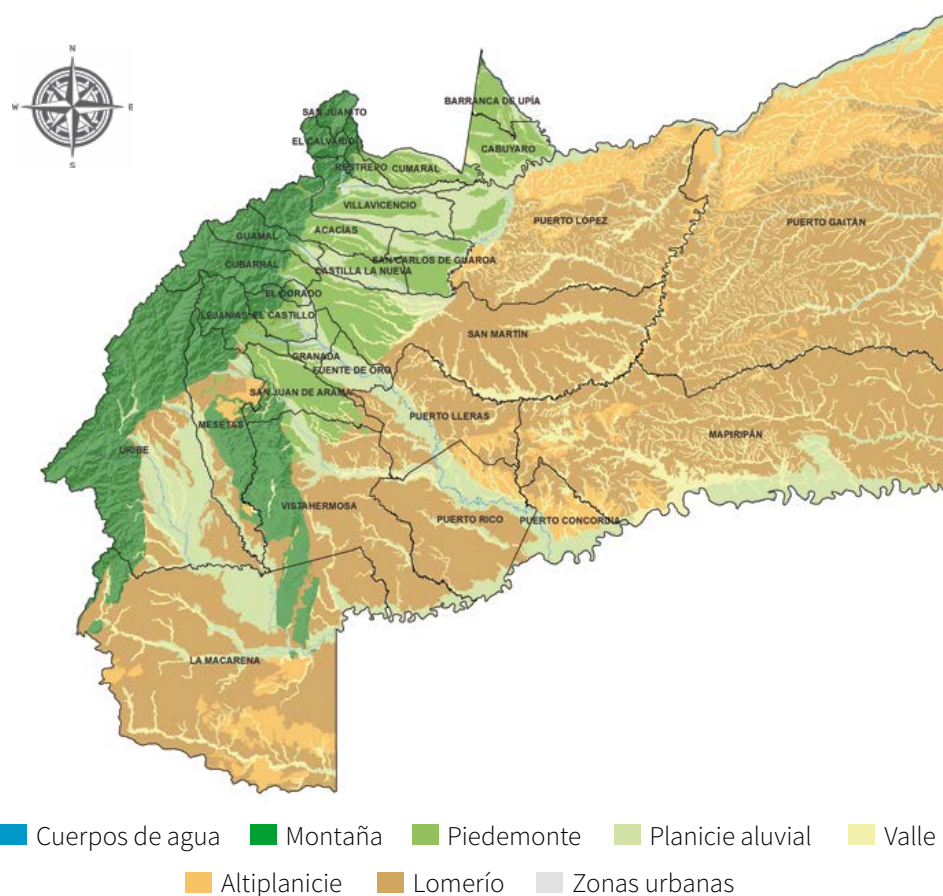


Figura 6. Unidades de paisaje.

Fuente: Elaboración propia, a partir de IGAC (2004)

Montaña

El paisaje de montaña se localiza al oriente del departamento del Meta en el flanco oriental de la cordillera Oriental. Abarca zonas desde los 700 hasta los 3.700 m s. n. m. de los municipios de Acacías, Barranca de Upía, Cubarral, Cumaral, El Calvario, El Castillo, El Dorado, Guamal, La Macarena, Lejanías, Mesetas, Restrepo, San Juan de Arama, San Juanito, Uribe, Villavicencio y Vistahermosa. Los tipos de relieve predominante corresponden a filas-vigas, crestas, crestones y espinazos, de relieve moderadamente quebrado a fuertemente escarpado, con pendientes que varían entre el 12 % y el > 75 % (figura 7). El material parental está conformado por materiales sedimentarios, metamórficos e ígneos (IGAC, 1999, 2004; MADR et al., 2012).



Figura 7. Paisaje de montaña.

Piedemonte

El paisaje de piedemonte se ubica en la base de la cordillera Oriental en los municipios de Vistahermosa, San Juan de Arama, Lejanías, El Castillo, El Dorado, Fuente de Oro, Granada, San Martín, Cubarral, Guamal, Mesetas, San Carlos de Guaroa, Castilla La Nueva, Acacías, Villavicencio, Cumaral, Restrepo, Barranca de Upía, Cabuyaro y Puerto López, y forma una franja estrecha y paralela a la cordillera Oriental, entre los 200 y 700 m s. n. m. (figura 8). Los tipos de relieve predominantes corresponden a terrazas, abanicos, lomas y colinas, donde el material parental está conformado principalmente por sedimentos mixtos aluviales que recubren depósitos de cantos y gravas poco alterados; en algunos sectores, se complementan con arcillas y conglomerados. Las unidades de suelos que conforman este paisaje presentan diferentes grados de evolución, y se encuentran en suelos del orden de los entisoles con un grado bajo de alteración, hasta

suelos del orden de los oxisoles con un grado alto de evolución, bajo contenido de minerales meteorizables y predominio de arcillas de baja actividad (IGAC, 1999, 2004; MADR et al., 2012).



Figura 8. Relieves de abanicos en paisaje de piedemonte.

Lomerío

El paisaje de lomerío se localiza al sur y al oriente del departamento del Meta, en los municipios de Fuente de Oro, La Macarena, Lejanías, Mapiripán, Mesetas, Puerto Concordia, Puerto Gaitán, Puerto Lleras, Puerto López, Puerto Rico, San Carlos de Guaroa, San Juan de Arama, San Martín, Uribe y Vistahermosa, entre 150 y 450 m s. n. m. Se caracteriza por presentar relieves ondulados a quebrados, con pendientes entre el 7 % y el 25 %, y en algunos sectores alcanza pendientes hasta del 50 % (figura 9). Está conformado por las geoformas de cuestras y crestones de origen estructural, y lomas y colinas asociadas con glaciares mixtos de origen fluviogravitacional. Los suelos que conforman este paisaje son de evolución variada, de entisoles a ultisoles (IGAC, 1999, 2004; MADR et al., 2012).



Figura 9. Paisaje de lomeríos.

Altiplanicie

El paisaje de altiplanicie, también conocido como altillanura, está localizado principalmente en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, al noroccidente del departamento, pero también se encuentra en algunas áreas de los municipios de La Macarena, Mapiripán, Mesetas, Puerto Concordia, Puerto Lleras, Puerto Rico, San Juan de Arama, San Martín y Vistahermosa, en altitudes entre 150 y 400 m s. n. m. Geomorfológicamente, la altiplanicie corresponde a una superficie de acumulación de materiales de origen terciario que provienen de la cordillera Oriental y que por efectos de tectonismo fue levantada de la planicie aluvial de los ríos Meta y Guayabero, al igual que en sectores al norte de la serranía de La Macarena y al sur del departamento (figura 10). El relieve varía de plano a ligeramente ondulado, con pendientes entre el 1 % y el 12 %. Las unidades de suelos que conforman este paisaje se caracterizan por ser de evolución baja a muy avanzada, con baja fertilidad natural y niveles altos de aluminio (IGAC, 1999, 2004; MADR et al., 2012).



Foto: Diana Elisa Correa Pinilla

Figura 10. Paisaje de altillanura.

Planicie aluvial

El paisaje de planicie aluvial en el departamento del Meta se localiza a lo largo y ancho de las vegas de grandes ríos como el Upía, Guatiquía, Guayuriba, Meta, Humadea, Ariari, Güejar, Duda, Guayabero y Guaviare, que descienden de la cordillera Oriental y presentan régimen de tipo trenzado, y a medida que la pendiente se suaviza cambian a régimen de tipo meándrico. El material parental de este paisaje lo constituyen básicamente sedimentos aluviales mixtos depositados sobre capas de fragmentos rocosos redondeados, de diferente tamaño y composición (piedra, cascajo y gravilla). La planicie aluvial se caracteriza por presentar relieves de planos a ligeramente ondulados, con pendientes inferiores al 7% y en las cuales se diferencian dos tipos de geoformas. La primera corresponde a los planos de inundación o zonas bajas de las terrazas, donde predominan los suelos poco evolucionados y con mejores contenidos nutricionales, de los órdenes entisoles e inceptisoles; la segunda

corresponde a las terrazas, donde se presentan suelos muy evolucionados de los órdenes oxisoles y ultisoles, que se caracterizan por su pobreza nutricional y alta acidez (figura 11) (IGAC, 1999, 2004; MADR et al., 2012).



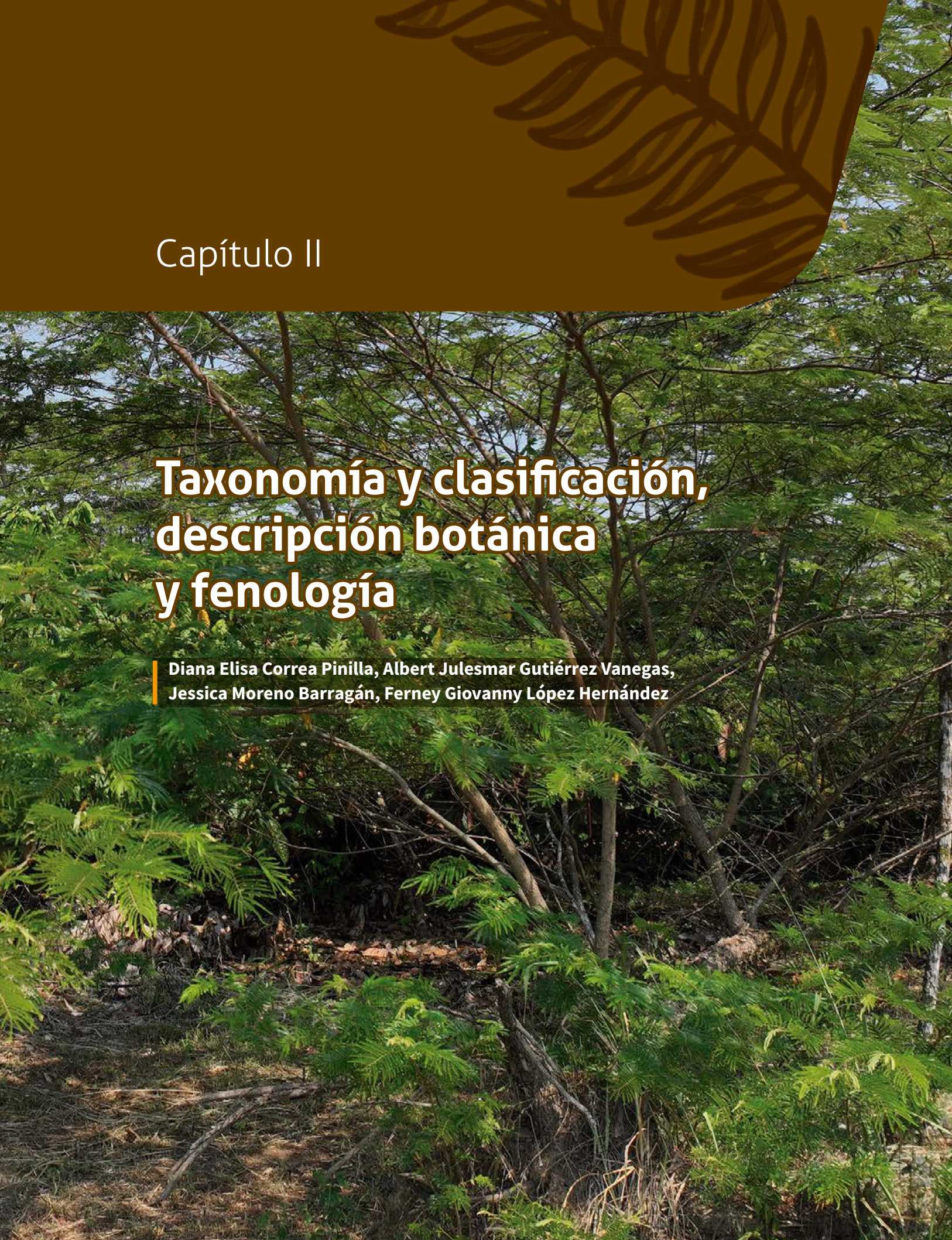
Foto: Edgar Javier Salcedo Albarracín

Figura 11. Paisaje de planicie aluvial.

Valles

El paisaje de valles se encuentra a lo largo de todo el departamento del Meta y forma franjas angostas y alargadas que corren paralelas al cauce de los principales caños que drenan los paisajes de altillanura, lomerío, piedemonte y planicie. Estos presentan topografía plana con microrrelieve planocóncavo y pendientes de 0%-3%; los bordes son cóncavos y los taludes inclinados. Los suelos están constituidos por sedimentos mixtos aluviales, son inundables y encharcables, tienen capas superficiales ricas en materia orgánica y son muy poco evolucionados (IGAC, 1999, 2004; MADR et al., 2012).





Capítulo II

Taxonomía y clasificación, descripción botánica y fenología

Diana Elisa Correa Pinilla, Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas,
Jessica Moreno Barragán, Ferney Giovanny López Hernández

Taxonomía y clasificación

Reino: Plantae.

Filo: Tracheophyta.

Clase: Magnoliopsida.

Orden: Fabales.

Familia: Fabaceae – Mimosaceae.

Género: *Mimosa* L.

Nombre científico: *Mimosa trianae* Benth.

Sinónimos: *Piptadenia opacifolia* Ducke.

Nombre común: yopo.

Nombres comunes relacionados: yopo, yopa, falso yopo, guayacán, yopo pelú.

Descripción botánica

Mimosa trianae Benth

Forma: es un árbol grande que alcanza hasta 25 m de altura y un diámetro del tronco a la altura del pecho (DAP) de 50 cm, (figura 12a) (Acero Duarte, 2005; Carvajal Rojas et al., 2007).

Tronco/ramas: ramas sin espinas, tomentosas, de color marrón. Presenta tricomas simples esparcidos y estrellados en la cara superior de los folíolos, medusiformes y verruciformes ferrugíneos (formas de medusa y verruga, respectivamente) distribuidos en ramas, raquis foliar, eje principal de la panícula, raquis de las espigas y frutos; estrellados sésiles, blanquecinos a amarillos entremezclados por glándulas sésiles,

pateliformes (formas de platillo o disco), doradas en la cara inferior de los foliolos; estrellados sésiles en el cáliz, corola y ovario. Estípulas de 4-10 x 0,2-0,3 mm, de lanceoladas a puntiagudas, sin cilios glandulares (Santos-Silva et al., 2015). La corteza es desprendible en escamas papulosas (figuras 12b y 12c) (Carvajal Rojas et al., 2014).

Hojas: las hojas presentan de 11 a 17 pares de foliolos crecientes, entre 1 y 2,3 cm de largo; raquis entre 9,5 y 13,5 cm, sin inflorescencia, y el segmento de raquis es de 0,7-1 cm de largo. Presentan foliolos decrecientes entre 24 y 40 pares, raquídeo de 5-13 cm de largo, estriada, lámina de 4-5 x 1-2 mm, cartácea-coriácea, oblonga, base truncada, ápice agudo. También presenta márgenes sobre la cara inferior, sin cilios, con color cambiante, haz verde oscuro, ligeramente pubescente a pilosa, envés blanquecino, lanosa y nervadura en dos direcciones; es una nervadura central ramificada que alcanza el ápice. El pedúnculo es de 2-3 mm de grueso por 5 cm de largo; brácteas ausentes (figura 12d) (Santos-Silva et al., 2015).

Flores: las inflorescencias son panículas de espigas sin hojas, con numerosas flores blancas tetrámeras (Giraldo Sánchez, 2020), bisexuadas, sésiles, cáliz de 1 a 1,3 mm de largo, tubular y lanoso; corola de 2 a 2,3 mm de largo, con vellosidades, lacínias erectas y convexas. Tienen filamentos de 3 a 4 mm de largo, libres, blancos; ovario de 0,9 a 1 mm de largo, sésil, glabro a glabrescente; estilo entre 4-5 mm de largo. Craspedios de 3-5 x 0,8-0,9 cm, cartáceos, 5-6 articulados, sésiles, oblongos, base atenuada, ápice agudo a redondeado, de tomentosos a lanosos, color marrón; artículos cuadrangulares o rectangulares, comprimidos; replum (falso tabique) de recto a ligeramente estrecho entre los artículos, 0,5 mm (figura 12e) (Santos-Silva et al., 2015).

Fruto: legumbre aplanada de color café (figura 12f), conformada por 3 a 8 lóculos, en los cuales se desarrollan las semillas.

Semillas: son de color café claro de tipo lomentiforme y miden aproximadamente 2,8 x 3,4 mm (figura 12g). En conformidad con las características de las semillas, un kilo contiene aproximadamente 33.000 semillas.



Figura 12. Estructuras del árbol de yopo (*M. trianae*). a. Árbol; b. Tronco; c. Corteza; d. Hojas; e. Flores; f. Fruto; g. Semillas.

Fenología

Es el estudio de las etapas o actividades repetitivas o periódicas del ciclo de vida de una especie vegetal y su estacionalidad en el curso del año (Borchert et al., 2015; Mantovani et al., 2003). En la mayoría de las especies vegetales, la fenología se enfoca en el estudio de las causas de su sincronización y su relación con factores bióticos y abióticos (Talora & Morellato, 2000). La construcción de calendarios fenológicos y el uso de escalas fenológicas cobra importancia, por cuanto permiten a la vez referirse a observaciones y prácticas de manejo del cultivo en una fase de desarrollo determinado (Pérez de Azkue, 2004).

Alvarado y Raigosa (2007), Neild y Seeley (1977), Janzen (1967), Newstrom et al. (1994) y Borchert (1983) señalan que a partir de las observaciones fenológicas se puede llegar a ciertas conclusiones: 1) la comparación de eventos diferentes para la misma especie en la misma localidad en diferentes épocas; 2) la comparación del mismo evento particular de la misma especie en localidades diferentes; 3) el uso de eventos biológicos como indicadores de la presencia o ausencia de ciertos factores ambientales; 4) la determinación del desarrollo esperado en diferentes localidades; 5) el pronóstico de la incidencia de plagas y enfermedades; 6) el seguimiento a las interacciones planta-animal, como la polinización, la dispersión de semillas y la predación de semillas; 7) la definición de pautas de periodicidad que muestran la distribución anual de los recursos alimenticios disponibles (polen, néctar, semillas y frutos), y 8) a partir de los cambios fenológicos que suceden en el árbol durante su periodo anual de crecimiento, la composición de los residuos (nutrientes) que se adicionan al suelo, según provengan del depósito hojas, ramas, flores o frutos.

Estas interacciones están también relacionadas directamente con la reproducción de las plantas y, recíprocamente, con la alimentación de los animales involucrados (Janzen, 1967; Newstrom et al., 1993). Es así como los patrones estacionales de floración son resultado de la coevolución de las plantas con los polinizadores, los predadores de semillas y las condiciones climáticas (Borchert, 1983).

De acuerdo con las observaciones realizadas para la construcción del calendario fenológico del yopo (*M. trianae*) en el Centro de Investigación La Libertad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), el comportamiento de la fenología de esta especie en el departamento del Meta se encuentra influenciado por el gradiente altitudinal, con variaciones a lo largo de su distribución geográfica; por ejemplo, el inicio de la etapa reproductiva (floración) ocurre inicialmente en la zona de piedemonte y semanas más tarde se presenta en las zonas de planicie, situación que influye en el desarrollo de las etapas posteriores (figura 13).

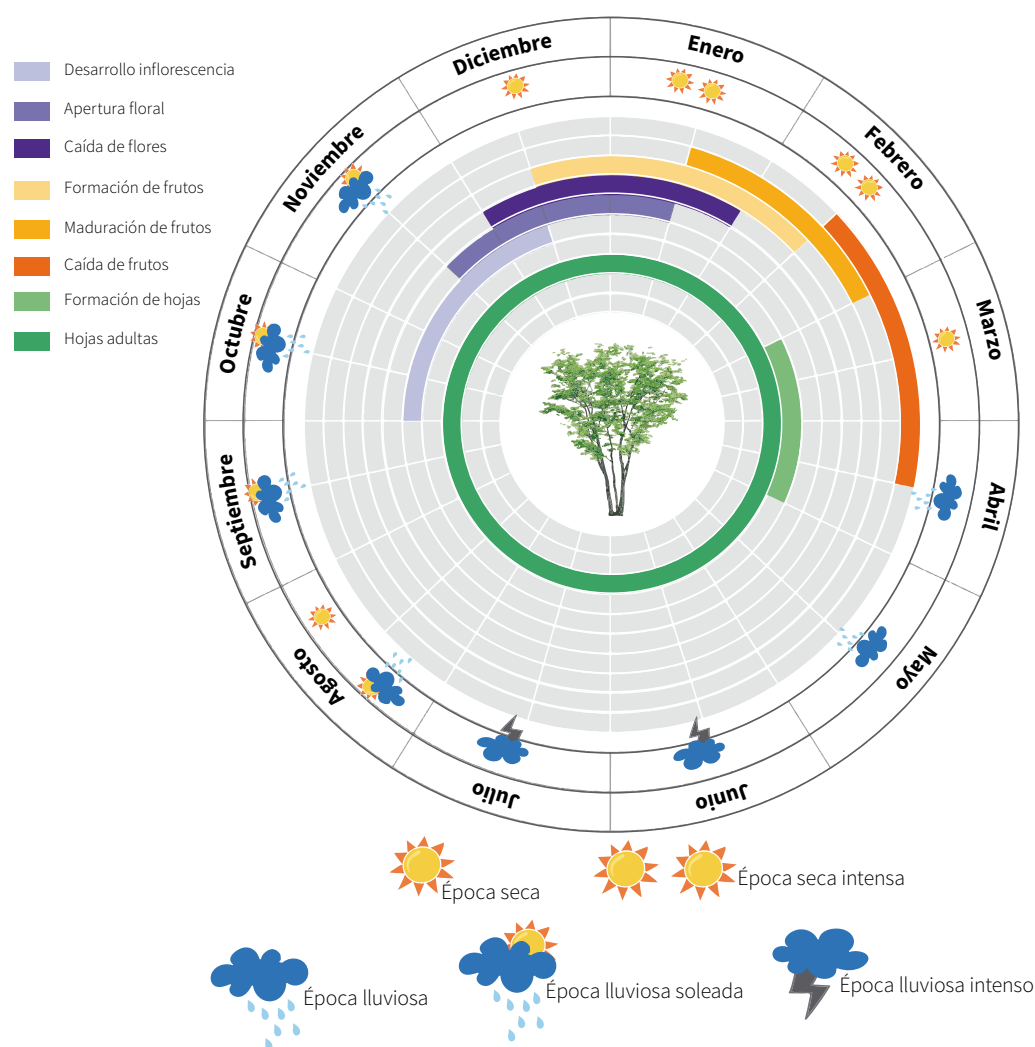


Figura 13. Calendario fenológico, fases reproductivas del yopo (*M. trianae*).

Fuente: Elaboración propia

Floración: el yopo (*M. trianae*) tiene un periodo de floración durante el segundo semestre del año, que comienza entre octubre y noviembre con la aparición de las inflorescencias (figura 14a), las cuales tardan aproximadamente dos meses en desarrollarse (figura 14b), y alcanzan el punto máximo de floración entre diciembre y enero, con la apertura de los botones florales (figura 14c) y su posterior marchitamiento en enero y febrero (figura 14d).



Figura 14. Etapas de desarrollo de la inflorescencia. a. Formación; b. Desarrollo; c. Apertura floral; d. Marchitamiento y caída.

Fructificación: de acuerdo con las observaciones realizadas, la aparición de los primeros frutos se presenta entre diciembre y enero. El proceso de formación, desarrollo (figura 15a) y maduración (figura 15b) de los frutos tarda aproximadamente dos meses, y hay semillas disponibles para la recolección a mediados de febrero y comienzos de marzo.



Figura 15. Etapas de desarrollo del fruto. a. Fruto verde; b. Fruto maduro.

Brote y caída de follaje: aunque el yopo (*M. trianae*) es un árbol perennifolio, pues durante la mayor parte del año presenta buena densidad foliar, se ha observado que entre marzo y abril presenta rebrote foliar.

Estado de conservación

El yopo (*M. trianae*) se encuentra reportado en la lista roja de plantas amenazadas según la Unión Mundial para la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), de acuerdo con los criterios B1ab (iii, iv)¹ (López-Gallego & Morales, 2020). Además, a partir de 2004, la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial de La Macarena (Cormacarena) estableció y reglamentó el aprovechamiento y la movilización de esta especie proveniente de hábitats naturales en el departamento, debido a la alta demanda que tiene para ser usada como combustible.

¹ B1ab (iii, iv): B1: distribución geográfica en la forma de la extensión o presencia de la especie estimada menor de 100 km², y estimaciones indicando el cumplimiento de al menos dos puntos, a saber: 1) severa fragmentada o conocida en una sola localidad y 2) disminución continua, observada en los aspectos iii: área, extensión o localidad del hábitat y iv: número de localidades o subpoblaciones.

Anadenanthera peregrina (L.) Speg.

Durante las dos últimas décadas se han realizado diversos estudios en los departamentos de Arauca y Casanare, en los cuales se describen aspectos como crecimiento, desarrollo y uso del yopo (*M. trianae*) en los departamentos de Meta y Cundinamarca. En estos, se reporta erróneamente a *M. trianae*, pues en realidad se hace referencia a *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg., especie que también es conocida como yopo, yopa, yompa o lomo de caimán (Acero, 2005). Aunque estas dos especies leguminosas pertenecen a la familia de las Fabáceas y comparten el nombre común de yopo y algunos usos similares, son consideradas dos especies independientes por sus características morfológicas, que se pueden diferenciar fácilmente por el tipo y la forma de la corteza, y por el tamaño, la forma y el color de flores, frutos y semillas.

Taxonomía y clasificación

Reino: Plantae.

Filo: Tracheophyta.

Clase: Magnoliopsida.

Orden: Fabales.

Familia: Fabaceae.

Género: *Anadenanthera*.

Nombre científico: *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.

Sinónimos: *Mimosa peregrina* L., *Piptadenia peregrina* (L.) Benth.

Nombre común: yopo.

Nombres comunes relacionados: yopo, yopa, yompa o lomo de caimán.

Descripción botánica de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.

Según la descripción realizada por Bongiorno de Pflinter & Mandrile (1983), *A. peregrina* es un árbol o arbusto que puede medir entre 3 y 18 m, su tronco alcanza hasta 50 cm de DAP y una copa ancha (figuras 16a y 16b). La corteza es delgada, corchosa y rugosa, de color gris o negruzca, lenticelada y a menudo presenta espinas cónicas o proyecciones cuneadas; de allí proviene uno de sus nombres comunes, “lomo de caimán”, ya que se asemeja al lomo de este animal (figura 16c). Las hojas son bipinadas y miden entre 12 y 30 cm de largo, son pubescentes y se vuelven glabras cuando envejecen. El raquis principal es sulcado y tiene de 10 a 30 folíolos o más, cada uno de 2 a 5 cm de largo, son opuestas o subopuestas y presentan de 25 a 80 pares de folíolos membranosos lineares oblongos o lanceolados, rectos o falcados; su superficie superior es de color verde oscura y nítida, y la superficie inferior es pálida (figura 16d). Las flores son membranosas y el cáliz campanulado, pentalobulado y mide entre 0,5 y 2,5 mm de largo; la corola tiene 5 pétalos libres o ligeramente connados y miden de 2 a 3,5 mm de largo. Con 10 estambres libres de 5 a 8 mm de largo, poseen anteras sin glándulas o pequeñas glándulas estipitadas en la yema floral (figura 16e). El fruto es una vaina coriácea o subleñosa, parduzca sin punta, costrosa o verrucosa, ampliamente linear o con forma de cinta de 5 a 35 cm de largo y de 1 a 3 cm de ancho, usualmente contraída entre las semillas (figura 16f). El número de semillas por vaina varía de 3 a 15, son pardas o negras, muy delgadas, planas orbiculares o suborbiculares y tienen de 10 a 20 cm de diámetro (figura 16g).



Figura 16. Estructuras del árbol *A. peregrina*. a. Árbol; b. Tronco; c. Corteza; d. Hojas; e. Flores; f. Fruto; g. Semillas de *A. peregrina*.

Usos

Los primeros reportes de uso de esta especie se remontan a los relatos realizados por el monje jesuita Ramón Pane, en 1496, los cuales se publicaron en 1511 en las crónicas del Nuevo Mundo (*De Orbe Novo Decades*), en las cuales se mencionaba el uso en rituales y ceremonias de un rapé psicoactivo proveniente de la semilla del árbol cohobo o yopo, por parte de tribus indígenas de las Antillas y de la cuenca del Orinoco, ya que se consideraba que el efecto que generaba este alucinógeno les permitiera comunicarse con el mundo de los espíritus (Bongiorno de Pfirter & Mandrile, 1983). El rapé de *A. peregrina* se prepara a partir del tueste y la pulverización de la semilla, y se inhala por las fosas nasales. Según Torres & Repke (2014), para el género de *Anadenanthera* se han identificado cerca de 12 compuestos de alcaloides entre las diferentes especies y las concentraciones de estos pueden variar según la especie, los órganos y las partes vegetativas de las plantas. Para el caso de *A. peregrina*, se han encontrado los compuestos N-dimetiltriptamina (DMT), 5 metoxi-N, N-dimetiltriptamina (5-MeO-DMT) y 5-hidroxi-N, N-dimetiltriptamina o bufotenina, principalmente en las semillas (Bongiorno de Pfirter & Mandrile, 1983).

La madera de esta especie se usa para la construcción, por ejemplo, de bigas u horcones para cercas y corrales; su corteza produce un tanino que se emplea para curtir cueros (Acero Duarte, 2005). Al igual que *M. trianae*, *A. peregrina* se utiliza como leña para uso doméstico y en asaderos para la cocción de la carne llamada “mamona” en los departamentos de Arauca y Casanare; además, agricultores y ganaderos han incorporado esta especie en sistemas agroforestales y silvopastoriles por el sombrío que proporciona.



Capítulo III



Características morfológicas de la colección forestal del Centro de Investigación La Libertad

Sandra Liliana Castañeda-Garzón

En el marco del proyecto de investigación “Evaluación de especies arbustivas y arbóreas para uso múltiple en diferentes agroecosistemas de Colombia”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) (Zuluaga-Peláez et al., 2020), se consolidó un listado de descriptores morfológicos de planta (árbol, fuste, copa y hoja), que se complementó con el registro de descriptores de pasaporte (accesión y recolección), sitio y medio ambiente.

A partir de la información obtenida, se hizo una caracterización morfológica de los árboles presentes en la colección forestal de yopo (*M. trianae*) del Centro de Investigación La Libertad, de AGROSAVIA, ubicado en Villavicencio, Meta, con coordenadas 4°03'50" latitud norte y 7°32'53" longitud oeste y 342 m de altitud. Dicha caracterización consistió en el registro de descriptores (caracteres) de desarrollo vegetal que permiten evaluar la variabilidad fenotípica (rasgos observables) (Castañeda-Garzón, Moreno Barragán et al., 2021) (tabla 2).

Tabla 2. Descriptores de planta para la evaluación de *M. trianae*

Descriptor	Sigla	Autor
Altura del árbol (m)	HT	7, 8
Altura de copa (m)	HC	7
Longitud de la copa (sentido NS) - m	LCNS	7, 8
Longitud de la copa (sentido EW) - m	LCEW	7, 8
Diámetro a la altura del pecho (cm)	DAP	8
Volumen de tronco (m ³)	VOL_TRONCO	5
Diámetro de copa (m)	D_COPA	8*
Número de ramas principales	NRAM	6*
Forma del árbol	FARB	8
Hábito de crecimiento del árbol	HABARB	8
Forma del fuste	FFU	6
Rectitud del fuste	RFU	1*
Ramificación del árbol	RAM	12
Altura de ramificación	HARAM	1*

continúa

Continúa tabla 2

Descriptor	Sigla	Autor
Altura de bifurcación	HB	1*
Dominancia en el eje principal	DEP	1*
Ángulo de inserción de las ramas	AIR	1, 9
Forma de la copa (perfil vertical)	FCV	7*
Forma de la copa (perfil horizontal)	FCH	4*
Densidad de la copa	DNC	10
Tipo de corteza	CORT	11*
Color del tronco	CT	9*
Número de folíolos por hoja	NFH	11*
Forma de la hoja	FH	7, 8*
Borde de la hoja	BORH	7, 8*
Ápice de la hoja	APH	7, 8*
Base de la hoja	BH	7, 8*
Longitud del peciolo (mm)	LPEC	8*
Longitud del peciolo principal (mm)	LPECpal	2*
Longitud del raquis (mm)	LR	2*
Grosor del peciolo (mm)	GPEC	2
Longitud de la hoja (mm)	LH	2
Ancho de la hoja (mm)	ANH	2
Longitud del foliolo (mm)	LHF	2*
Ancho del foliolo (mm)	ANHF	2*
Color de las hojas maduras en el haz	CHMHAZ	8*
Color de las hojas maduras en el envés	CHMENV	8*

*Adaptado de: 1. Acosta-Hernández et al. (2011); 2. Bioversity International & Cherla (2008); 3. Urbina Vallejo (2001); 4. Quiceno Urbina et al. (2016); 5. Gutiérrez Rodríguez et al. (2013); 6. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI, 1996); 7. IPGRI (2000); 8. Kehlenbeck et al. (2015); 9. Ortiz Muñoz et al. (2017); 10. Saavedra-Romero et al. (2016); 11. Thirakul (1998).

Fuente: Castañeda-Garzón, Argüelles-Cárdenas et al. (2021)

La colección de yopo (*M. trianae*) se estableció en un sistema de monocultivo en 2013, a una distancia de siembra de 5x5 m y bajo un arreglo en bloques completos al azar, en 3 repeticiones y 49 individuos por bloque, a partir de un material procedente de un vivero comercial (plántulas). La colección se ubica en un terreno llano, en una zona de planicie y en un entorno de llanura nivelada. La pendiente del terreno es plana (0-0,2 %) y la vegetación general que se encuentra en los alrededores es cultivo y bosque, con buen drenaje. La sobrevivencia registrada fue de 81,63 %.

Árbol: en el momento de la evaluación (04/04/2019), los 122 árboles de 6,2 años exhibieron forma y hábito de crecimiento predominantemente extendidos, fuste cilíndrico y torcido (figuras 17a y 17b). Tiene una altura total promedio de 10,65 m, altura de copa promedio de 6,47 m y diámetro de copa promedio de 7,70 m. Su ramificación es acodillada y se localiza en la parte inferior; presenta en promedio 3 ramas principales (figura 17c) y dominancia parcial del eje inicial sobre las ramas laterales. Sus ramas secundarias se insertan en el fuste en un ángulo entre 61° y 90°; su copa es de forma extendida vista desde el frente y circular irregular vista desde abajo (figura 17d). Además, presenta una densidad de copa intermedia, con corteza papelosa y de tonalidades marrón (Castañeda-Garzón, Moreno Barragán et al., 2021) (figura 18).



Figura 17. Características de los árboles de yopo (*M. trianae*). a. Árbol; b. Tronco; c. Ramificación del tronco; d. Vista de la copa desde abajo.

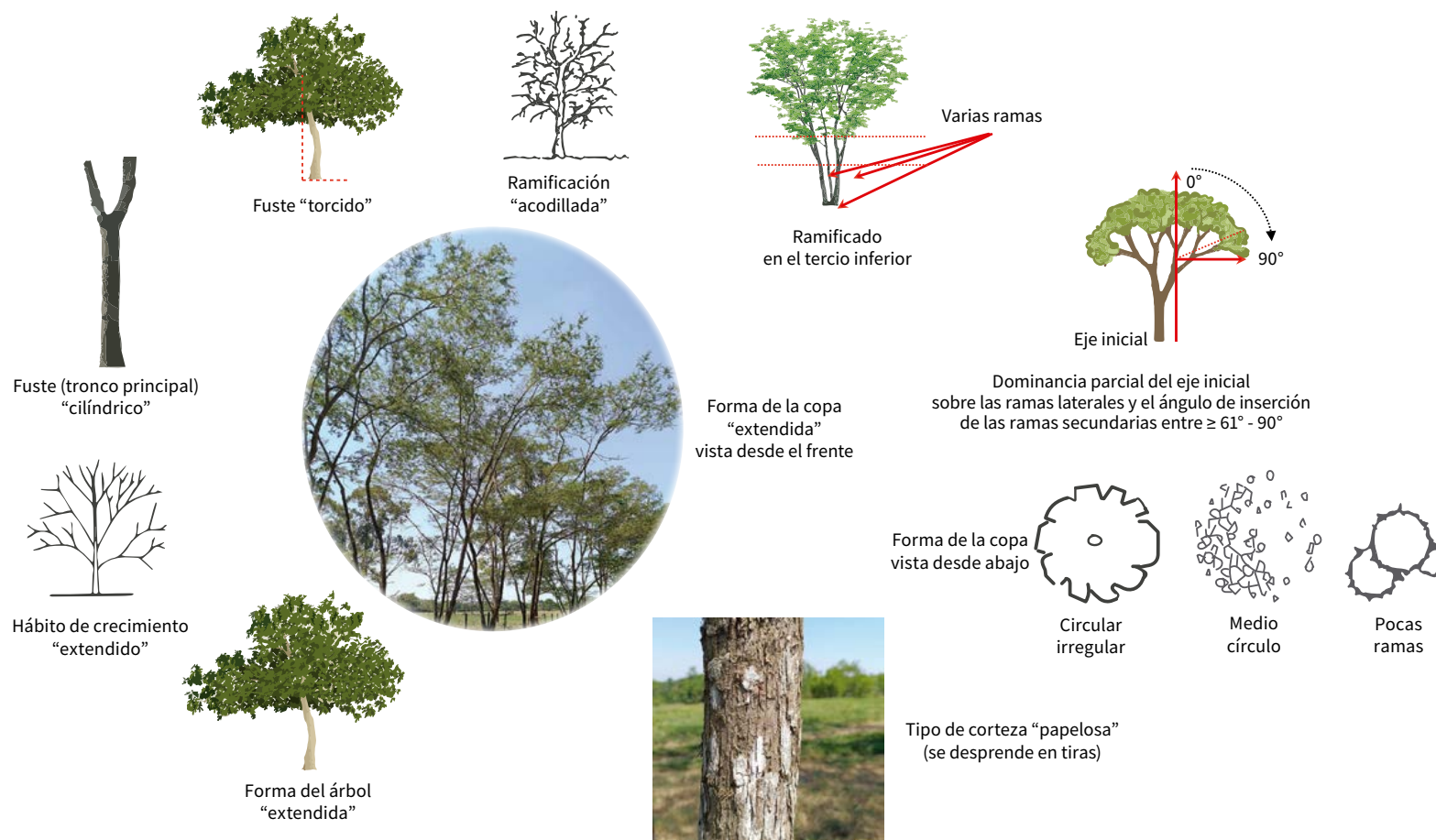


Figura 18. Características de los árboles de yopo (*M. trianae*) en el Centro de Investigación La Libertad.

Fuente: Elaboración propia

Hojas: las hojas maduras del yopo son de color verde amarillento en el haz y verde claro en el envés (figura 19). Son compuestas y cada una está formada por un conjunto de folíolos o pinnas largas (de 10 a 40, 26 en promedio) y decrecientes hasta el ápice; su longitud promedio es de 15,08 cm y el ancho es de 8,86 cm; el peciolo principal mide en promedio 10,57 mm de largo, con un grosor promedio de 1,66 mm, y el eje central de las hojas compuestas (raquis) mide en promedio 8,28 cm. Una pinna es la división de una hoja compuesta y en el yopo la lámina foliar de las pinnas es oblonga, de borde entero, ápice mucronado y base truncada. Son planas y tienen una vena principal, con longitud promedio de 5,48 cm y ancho de 7,58 mm (Castañeda-Garzón, Moreno Barragán et al., 2021) (figura 20 y tabla 3).



Figura 19. Hojas de yopo (*M. trianae*).

Fotos: Sandra Liliana Castañeda-Garzón

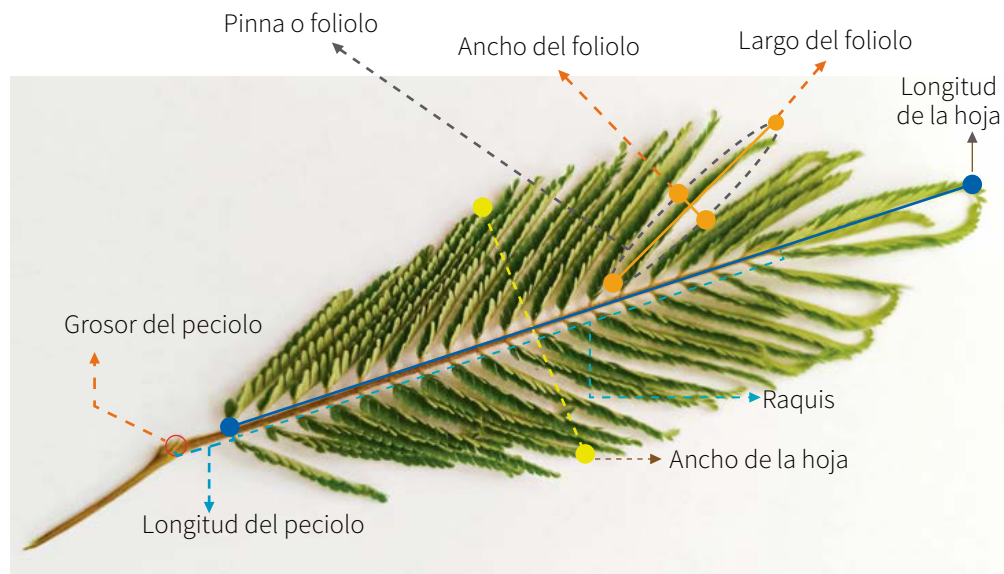


Figura 20. Características morfológicas evaluadas en las hojas de yopo (*M. trianae*).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Características morfológicas de las hojas de yopo (*M. trianae*) de la colección del Centro de Investigación La Libertad

Características	Variable	
Cuantitativas	Número de foliolos (pinnas) promedio por hoja	26
	Longitud promedio de la hoja (cm)	15,08
	Ancho promedio de la hoja (cm)	8,86
	Longitud promedio del peciolo (mm)	10,57
	Grosor promedio del peciolo (mm)	1,66
	Longitud promedio del raquis (cm)	8,28
	Longitud promedio del foliolo o pinna (cm)	5,48
	Ancho promedio del foliolo o pinna (mm)	7,58
Cualitativas	Forma de la lámina foliar	Oblonga
	Ápice de la lámina foliar	Mucronado
	Base de la lámina foliar	Truncada
	Color de las hojas maduras (haz)	Amarillo verdoso
	Color de las hojas maduras (envés)	Amarillo verdoso con tonalidad más clara

Fuente: Elaboración propia

El yopo (*M. trianae*) es una de las especies de flora que está presente en el piedemonte llanero (Cárdenas Torres, 2018) y debido a su importancia cultural en la Orinoquia para la preparación del plato típico llamado “mamona” en los asaderos (Ortega David, 2015), así como en la dinámica del mercado de madera para leña (Molina-Romero et al., 2022) y en el establecimiento de sistemas agroforestales y silvopastoriles (Calle Díaz & Murgueitio Restrepo, 2020), es relevante determinar el estado y las características del recurso presente en la zona de estudio. La fenología, el crecimiento y la diversidad genética del yopo (*M. trianae*) ha sido evaluada en el piedemonte orinocense (Giraldo Sánchez, 2020), y se ha detectado una diferenciación genética moderada en las poblaciones muestreadas.

Giraldo Sánchez (2020) evaluó la morfología de la especie, y respecto a las estructuras vegetativas de 45 árboles en una población silvestre del municipio de Medina (Cundinamarca) y en cercas vivas del municipio de Cubarral (Meta) determinó las dimensiones y los rasgos físicos del árbol (altura y diámetro del fuste), la corteza, las hojas y las estructuras reproductivas (inflorescencias, espiga, flor y fruto). Los resultados dejan ver que el árbol adulto puede superar una altura de 20 m y un diámetro del tronco a la altura del pecho (DAP) de 40 cm; su corteza es fisurada-escamosa y de color café.

En cuanto a la descripción de las hojas, Giraldo Sánchez (2020) evaluó caracteres como: largo de estípula, ancho de la base y del ápice de la estípula, largo y ancho del pulvínulo, largo y ancho del peciolo, ancho de la lámina, largo y ancho de la base del raquis, número de folíolos, y largo y ancho de la estipela terminal. Los resultados obtenidos por esta autora son similares a los que encontraron Castañeda-Garzón, Moreno Barragán et al., (2021) en la colección de trabajo del Centro de Investigación La Libertad, cuya evaluación morfológica incluyó caracteres complementarios para árbol, fuste, copa y hojas. La consolidación de los descriptores propuestos en los dos estudios será útil para la descripción e identificación de la especie.

Al evaluar la variabilidad fenotípica de la colección de trabajo de *M. trianae* en el Centro de Investigación La Libertad, a partir de los métodos de análisis estadísticos descritos por Castañeda-Garzón, Argüelles-Cárdenas et al. (2021), se observó que en *M. trianae* las variables de mayor aporte en la discriminación de los árboles fueron diámetro de copa, volumen de tronco, número de ramas y altura total. En esta colección, se identificaron árboles con potencial de uso maderable, en sistemas agroforestales, como sombrío y producción de leña (Castañeda-Garzón, Moreno Barragán et al., 2021). No obstante, considerando que *M. trianae* es una especie de alto valor para la conservación gracias a su carácter de endemismo en Colombia (Romero, 2022), algunos estudios como los mencionados anteriormente, y complementados con la evaluación de potencial reproductivo y el estado del recurso en el piedemonte del departamento del Meta, cobran importancia para la conservación de sus recursos genéticos, en el contexto de la adaptación al cambio climático.

Capítulo IV

Propagación

Diana Elisa Correa Pinilla, Ferney Giovanni López Hernández,
Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas



La reproducción del yopo (*M. trianae*) es de tipo sexual, a partir de semillas que deben ser colectadas en fuentes semilleras identificadas por el productor y certificadas según la normatividad vigente; también pueden adquirirse en empresas especializadas en la distribución de suministros forestales, las cuales deben garantizar que las semillas hayan sido recolectadas de forma idónea, con porcentajes de germinación y pureza adecuados. La propagación de plántulas de especies nativas en viveros comerciales está regida por la Resolución n.º 0780006 del 25 de noviembre de 2020 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en la cual se establecen los requisitos para el registro de viveros o huertos básicos dedicados a la producción y comercialización de material de propagación para la siembra.

Incluso si las semillas se obtienen a través de fuentes semilleras registradas, es importante verificar su estado de maduración, que estén listas y en condiciones óptimas para garantizar una adecuada germinación y continuar con su dispersión. Las legumbres recolectadas deben seleccionarse, con el objetivo de descartar aquellas que no presenten el grado de maduración o desarrollo óptimo de la semilla, o que presenten lesiones, como perforaciones provocadas por la incidencia de insectos. De esta manera, estarían habilitadas para tolerar los procesos de secado y alcanzar la máxima longevidad (Di Sacco et al., 2020). En cuanto al yopo (*M. trianae*), la vaina va gradualmente adquiriendo su madurez y cuando se seca es de color café, y las semillas se ven bien formadas con una tonalidad café clara.

Siguiendo los resultados obtenidos en pruebas de germinación realizadas en el Centro de Investigación La Libertad, donde se evaluaron cuatro tratamientos pregerminativos (testigo, remojo, choque térmico y escarificación), se encontró que el mejor tratamiento corresponde al choque térmico en agua caliente (95 °C) durante cinco segundos; este permite alcanzar un porcentaje de germinación cercano al 90 % (Gutiérrez Vanegas et al., 2020). En términos generales, el porcentaje de germinación de yopo (*M. trianae*) es superior al 80 %, mucho mayor al que se obtuvo para semillas de pino (*Pinus caribaea*), teca (*Tectona grandis*), melina (*Gmelina arborea*) y acacia (*Acacia mangium*), que alcanzan porcentajes de germinación del 60 %, el 70 % y el 80 %, respectivamente (ICA, 2010).

Para la propagación de las semillas de yopo (*M. trianae*) en condiciones de vivero, se recomienda utilizar camas de germinación de 10 m de largo por 1 m de ancho y 10 cm de profundidad, en las cuales se pueden usar dos tipos de sustrato: uno que corresponde a la mezcla del 50 % de suelo con alto contenido de materia orgánica (tierra negra) y el 50 % de arena (de río); el otro sustrato es aserrín de madera. Cualquiera sustrato que se emplee debe ser desinfectado mediante la aplicación de un fungicida químico y se cubre con plástico negro durante 5-8 días para su posterior uso.

La semilla se siembra al voleo, con una densidad de hasta 2.000 plántulas en 0,5 m². La germinación se inicia entre el tercer o cuarto día a partir de la siembra y el trasplante se puede realizar ocho días después de que comience la germinación, cuando las plántulas presentan desarrollo radicular de 7 cm de alto y la formación de 2 a 3 hojas (figura 21).



Figura 21. Plántulas de yopo (*M. trianae*) en germinadores.

El proceso de trasplante se hace en una bolsa tubular de 8 cm de ancho por 15 cm de largo, colocando las plántulas que presenten buen desarrollo de tallo y raíces, sin entorchamiento (figuras 22a y 22b). Además, se descartan plántulas con hojas amarillentas o marchitas, con daños causados por plagas o enfermedades, daños mecánicos, síntomas de deficiencias nutricionales, entre otras (figura 22c).



Figura 22. Selección de material vegetal y trasplante de plántulas de yopo (*M. trianae*).

Las plántulas en los viveros se mantienen en esas bolsas durante aproximadamente 3 o 4 meses, tiempo durante el cual desarrollan sus estructuras radiculares y alcanzan una altura de 25 cm, desarrollo adecuado para ser trasladadas a campo (figuras 23a y 23b).



Fotos: Ferney Giovanny López Hernández

Figura 23. Plántulas de yopo (*M. trianae*). a. En vivero; b. Plántula apta para trasplante en campo.

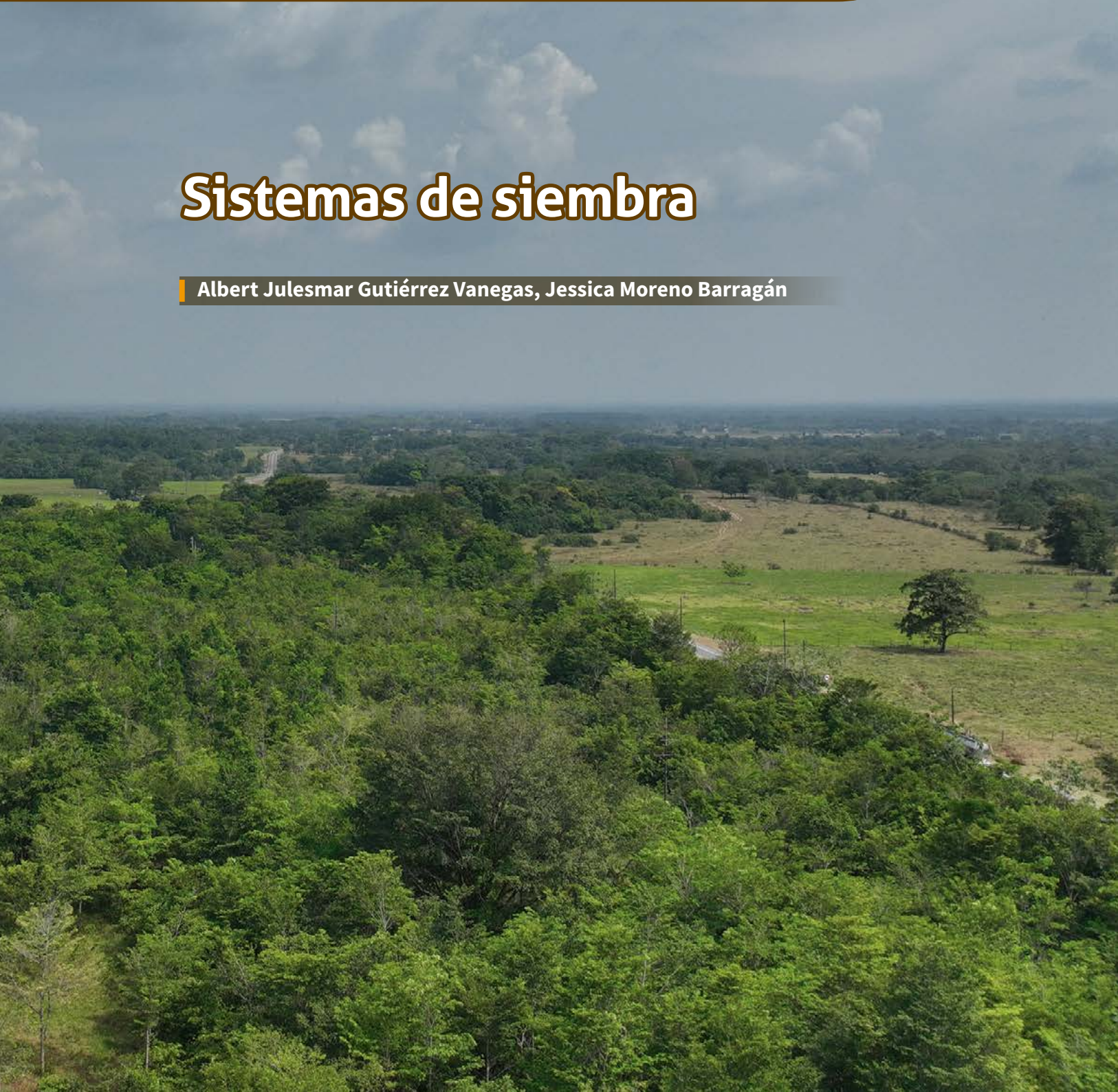




Capítulo V

Sistemas de siembra

Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas, Jessica Moreno Barragán



Densidad de siembra

Según Wei et al. (2005), Hein et al. (2008) y Naji y Sahri (2012), la densidad de plantación es tal vez el parámetro más importante para tener en cuenta en la planificación de una inversión forestal, por cuanto de esta va a depender en gran medida el crecimiento y el rendimiento en los árboles. Esto se debe a que la competencia entre árboles es un efecto del tamaño, la estructura (densidad foliar) y la forma de la copa, y el número, la proximidad y la disposición espacial de estos son a su vez determinados por las distancias de siembra y los arreglos en campo.

La distancia de siembra entre árboles juega un papel importante en el desarrollo óptimo del árbol; el tamaño y la distribución espacial del dosel están relacionados con la cantidad de luz capturada por las hojas; por lo tanto, es importante determinar con adecuados criterios de desarrollo fenológico de la especie por sembrar y las densidades de plantación, para así obtener un buen crecimiento de los árboles, y de esta manera mejorar el sitio de siembra para la producción máxima de biomasa de madera (Vásquez, 2001; Naji & Sahri, 2012).

La densidad óptima de siembra varía con la oferta ambiental (clima), con las condiciones del terreno (edáficas y topográficas), con el sistema de preparación y siembra; no obstante, durante la etapa inicial de los árboles, la densidad de siembra no tiene ningún efecto marcado en el desarrollo de la circunferencia del tronco (o el DAP) del fuste. Sin embargo, a medida que se incrementa la competencia entre las plantas, altas densidades (muchos árboles por área) afectan el desarrollo de los árboles y en cierta medida la sobrevivencia (Dey & Datta, 2013).

Sistemas de siembra

De forma natural, el yopo (*M. trianae*) crece en agrupamientos o asociaciones puras. En la región de la Orinoquia colombiana, esta especie es ampliamente utilizada en cercas vivas, como barreras rompevientos, árboles dispersos en potreros o árboles cultivados en sistemas silvopastoriles y agroforestales (cacao - yopo), procesos de rehabilitación y restauración ecológica para la protección de cuencas por su rápido crecimiento, bancos

dendroenergéticos para la producción de leña y árboles en las bermas de las vías intermunicipales, como protección o paisajismo.

Plantaciones lineales o cercas vivas

Las cercas vivas, llamadas así porque están compuestas de árboles, son plantaciones lineales de un solo surco de una o varias especies arbóreas como yopo (*M. trianae*); casi siempre están complementadas con el uso de alambre de púas. Sus principales funciones son delimitar potreros o propiedades, crear condiciones microclimáticas (sombra), entre otras (Jiménez et al., 2001). Para yopo (*M. trianae*), se recomienda sembrar a distancias de 3 o 4 m entre árboles (figura 24).

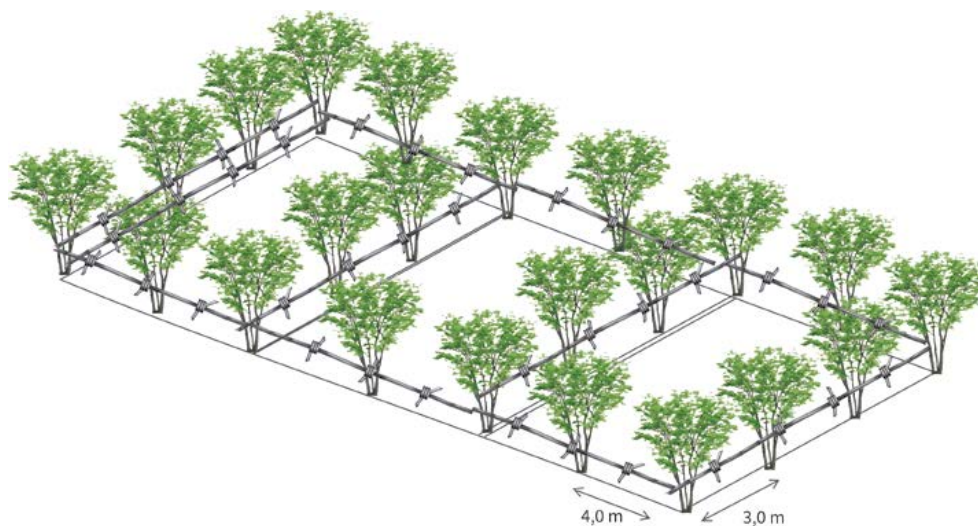


Figura 24. Plantaciones lineales de yopo (*M. trianae*).

Fuente: Elaboración propia

Barrera rompevientos o cortinas rompevientos

Consiste en el establecimiento de hileras de árboles o arbustos de diferentes alturas que forman una barrera opuesta a la dirección predominante del viento (Jiménez et al., 2001). Para esto, se pueden establecer diferentes especies forestales, o solo yopo (*M. trianae*), a distancias de 4x4, aproximadamente, en tres bolillos y en diferentes estratos por edad de siembra, con el fin de reducir el paso del viento (figura 25).

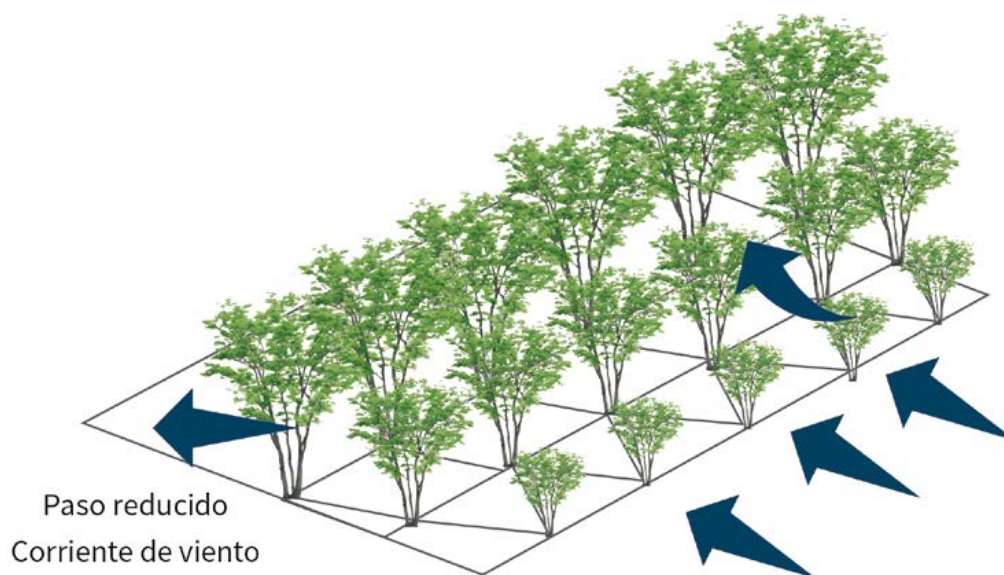


Figura 25. Barrera rompevientos o cortinas rompevientos.

Fuente: Elaboración propia

Bancos dendroenergéticos

Un bosque para leña o dendroenergético es el establecimiento de un rodal forestal (figura 26), cuya explotación permite utilizar un patrón sistémico, cíclico y programado de corte, y así disponer de un abastecimiento permanente de leña en el tiempo (Aristizábal, 2010). El área requerida para establecer un banco dendroenergético puede fluctuar de menos de 0,1 hectáreas a más de 3 hectáreas, utilizando distancias de siembra menores que 2 x 3 m en cuadro (Aristizábal, 2010) o 4 x 3 m (García Velásquez, 2014), e incluso distancias de siembra más amplias que 3 x 3 m y 4 x 4 m (García et al., 2011), o de 5 x 5 m a 6 x 6 m (Gutiérrez Vanegas, 2014), las cuales permiten un desarrollo más grande del fuste, y así obtener un mayor diámetro de este (figura 27). Estas últimas medidas cumplen con las características deseadas para el 70 % de los demandantes de leña, quienes prefieren leña entre 20 y 30 centímetros de diámetro para asar la carne a la llanera, actividad típica en la región.

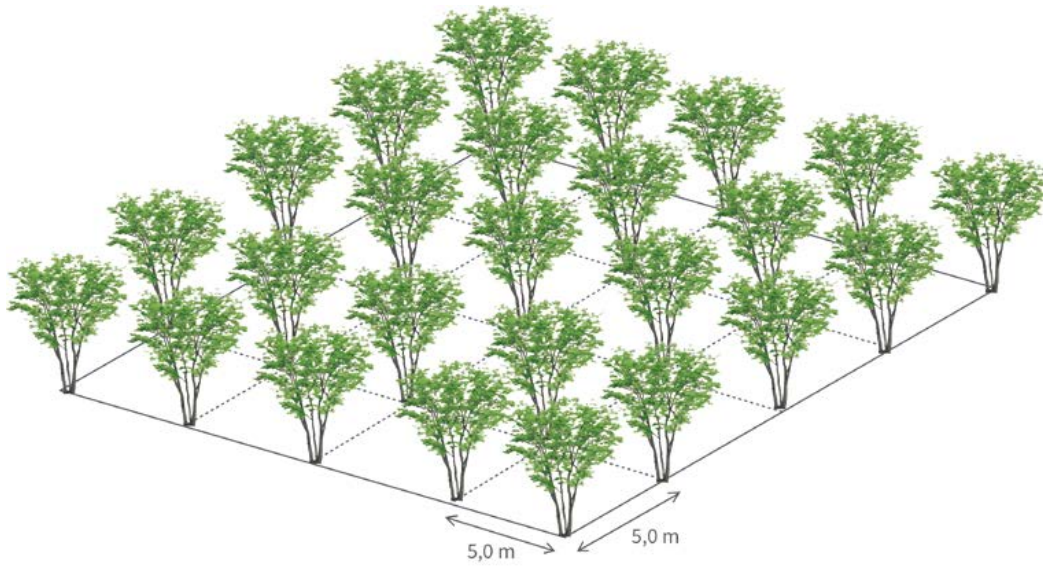


Figura 26. Banco dendroenergético.

Fuente: Elaboración propia



Figura 27. Yopo (*M. trianae*) establecido en banco dendroenergético.

Rehabilitación

Es el proceso de ayudar con el establecimiento de un ecosistema degradado, dañado o destruido. En este sentido, corresponde a una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema cuya salud, integridad y sostenibilidad se ha deteriorado y busca comenzar o facilitar la reanudación de estos indicadores de resiliencia. La rehabilitación no implica volver al estado original, se enfoca en el restablecimiento de manera parcial de elementos estructurales o funcionales del ecosistema deteriorado, así como en la productividad y los servicios ambientales que este provee (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], 2010; MAVDT & Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal [Conif], 2003; Society for Ecological Restoration International [SER], 2004; Ríos, 2011). Para el caso de protección de cuencas, el yopo (*M. trianae*) se siembra al cuadro 3,0 x 3,0 m y 4,0 x 4,0 m (figuras 28 y 29).



Figura 28. Rehabilitación de cuencas con yopo (*M. trianae*).

Fuente: Elaboración propia



Figura 29. Yopo (*M. trianae*) asociado a especies nativas para recuperación y rehabilitación de cuencas.

Agroforestería

Los sistemas agroforestales (SAF) son arreglos del cultivo que dan la posibilidad de tener varios elementos productivos en una misma área. Un SAF es un sistema dinámico que se basa en el concepto de asociar árboles con cultivos en el mismo terreno, simultánea o secuencialmente, para obtener mayores beneficios, diversidad de ingresos y sostenibilidad para la preservación del medio ambiente (Montagnini et al., 2015). La especie yopo (*M. trianae*) se comporta bien bajo sistemas agroforestales. En la Orinoquia, se recomienda su uso como sombrío permanente del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). En este sistema agronómico, usualmente se sugiere que la distancia de siembra del cacao sea de 3 x 3 m en cuadro y que los surcos sean sencillos o dobles y estén a una distancia de 4 x 4 m entre individuos y calles de 16 metros para el yopo. Esto teniendo en cuenta la radiación solar de la zona; es decir, hileras de yopo (*M. trianae*) cada cinco surcos de cacao, orientados de norte a sur (figura 30).

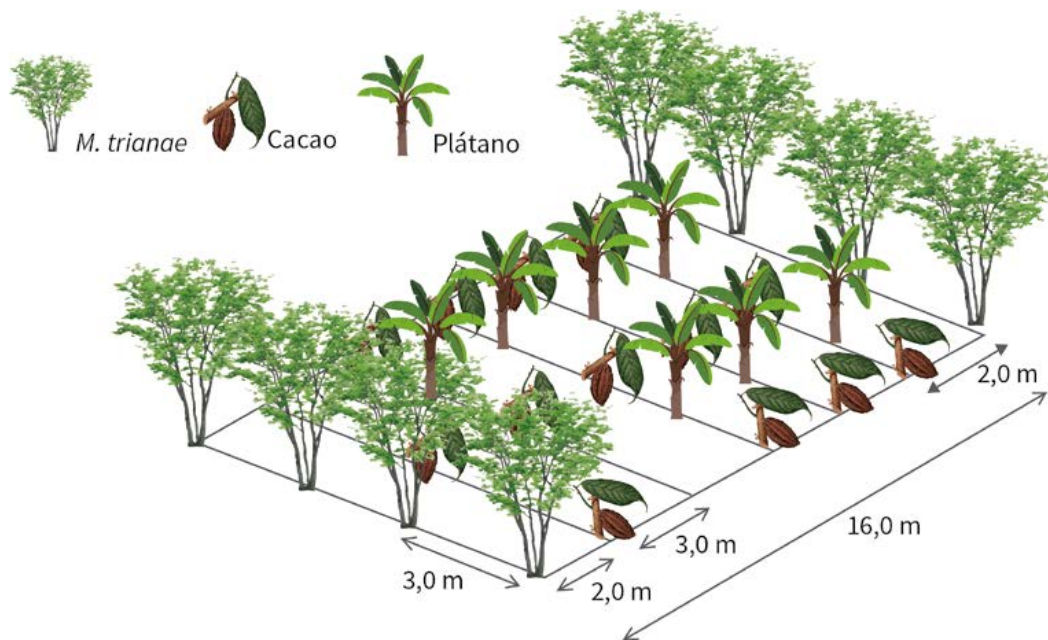


Figura 30. Sistemas agroforestales con árboles de yopo (*M. Trianae*), cacao (*T. cacao*) y plátano (*Musa sp.*).

Fuente: Elaboración propia

Cultivos agrícolas en callejones

Ubicar los surcos de yopo (*M. Trianae*) de norte a sur permite sembrar cultivos anuales o transitorios como yuca (*Manihot esculenta*), maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), arroz (*Oriza sativa*) y soya (*Glycine max*), entre las calles de especies leñosas (árboles de rápido crecimiento como yopo (*M. trianae*)). En este arreglo, se siembran los árboles en surcos dobles al cuadro o tres bolillos a 3,5 x 3,5 m o 5,0 x 5,0 m, y calles entre forestales de 8,0 a 10,0 m donde se siembran los cultivos agrícolas (figura 31).

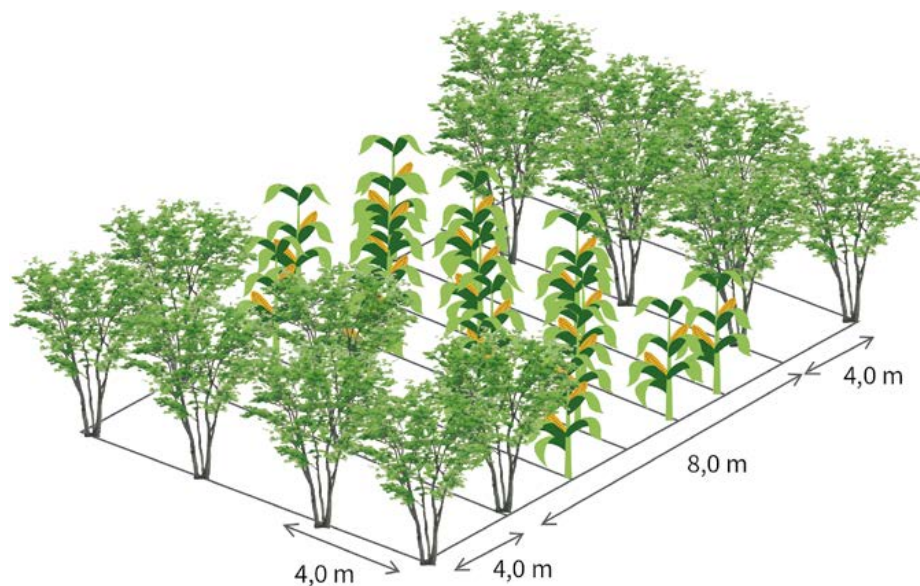


Figura 31. Cultivos en callejones con árboles de yopo (*M. trianae*) y cultivos agrícolas.

Fuente: Elaboración propia

Silvopastoriles

Un sistema silvopastoril es la combinación e interacción en el espacio y tiempo de pasturas y animales con una o varias especies leñosas perennes (árboles y arbustos); se puede dar de forma natural o puede ser el resultado de un establecimiento (cercas vivas, franjas de árboles, bosquetes, árboles dispersos o árboles dispuestos a una distancia preestablecida) destinado a la producción de carne o leche (Pezo & Ibrahin, 1998; Montagnini et al., 2015).

Franjas de árboles en potreros

Para el establecimiento del sistema silvopastoril se trazan franjas o líneas paralelas de 3 a 5 hileras de árboles y se dejan los callejones con pastos (gramíneas), con distancias de 15,0 a 20,0 m para su pastoreo (figuras 32 y 33). Durante el establecimiento se deben proteger los árboles del ganado (Rincón Castillo et al., 2010).

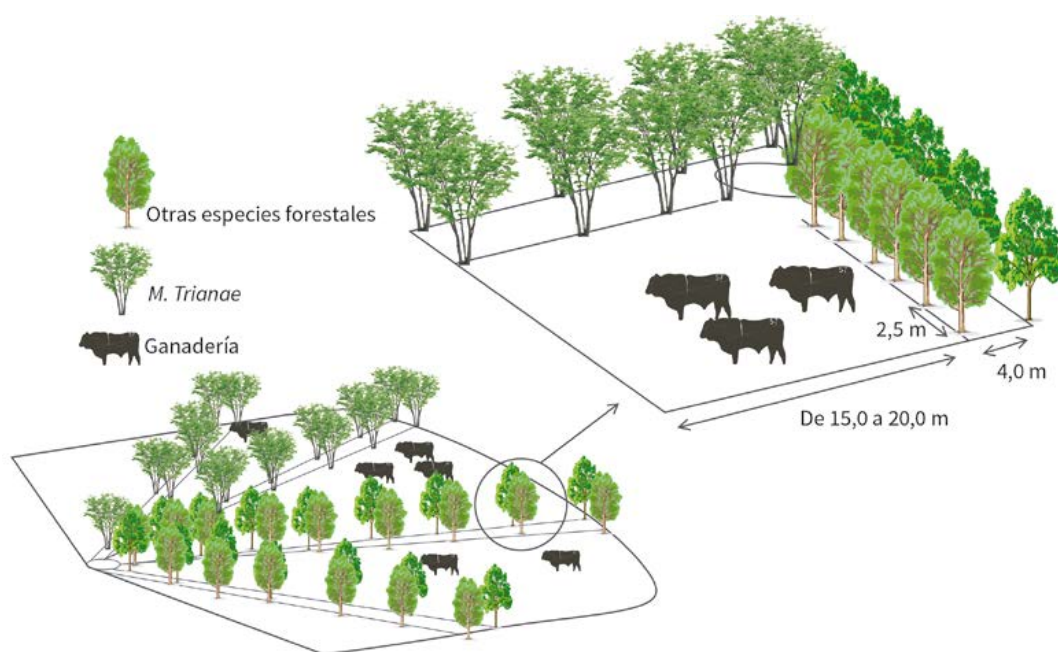


Figura 32. Franjas en potreros de especies forestales.

Fuente: Elaboración propia



Figura 33. Franjas de yopo (*M. trianae*) establecidas en potreros.

Bosquetes en potrero

Este arreglo consiste en ubicar árboles en grupos en medio del potrero o en sus lados o esquinas (figura 34 y 35). El tamaño del bosquete, así como su localización, depende del área del predio o del potrero que se pretende arborizar; la distancia entre árboles varía de 4,0 a 10,0 m sembrados al cuadro o tres bolillos (Rincón Castillo et al., 2010). El objetivo de estos bosquetes es brindar sombra, refugio, comodidad y, en algunas ocasiones, alimentación (ramoneo del follaje), y así generar bienestar al ganado.

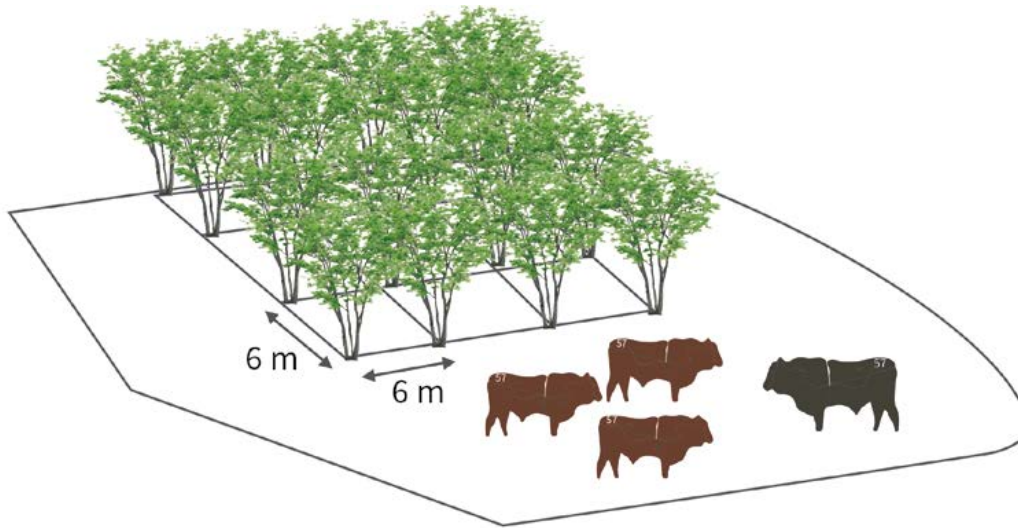


Figura 34. Bosquetes de yopo (*M. Trianae*) en potreros.

Fuente: Elaboración propia



Figura 35. Bosquetes de yopo (*M. Trianae*) en potreros y especies nativas.

Árboles dispersos en los potreros

Es un arreglo en el cual los árboles están establecidos de manera no uniforme (dispersos en el potrero), a diferentes distancias que pueden variar de 4,0 a 10,0 m o más entre árboles (Rincón Castillo et al., 2010) (figura 36).

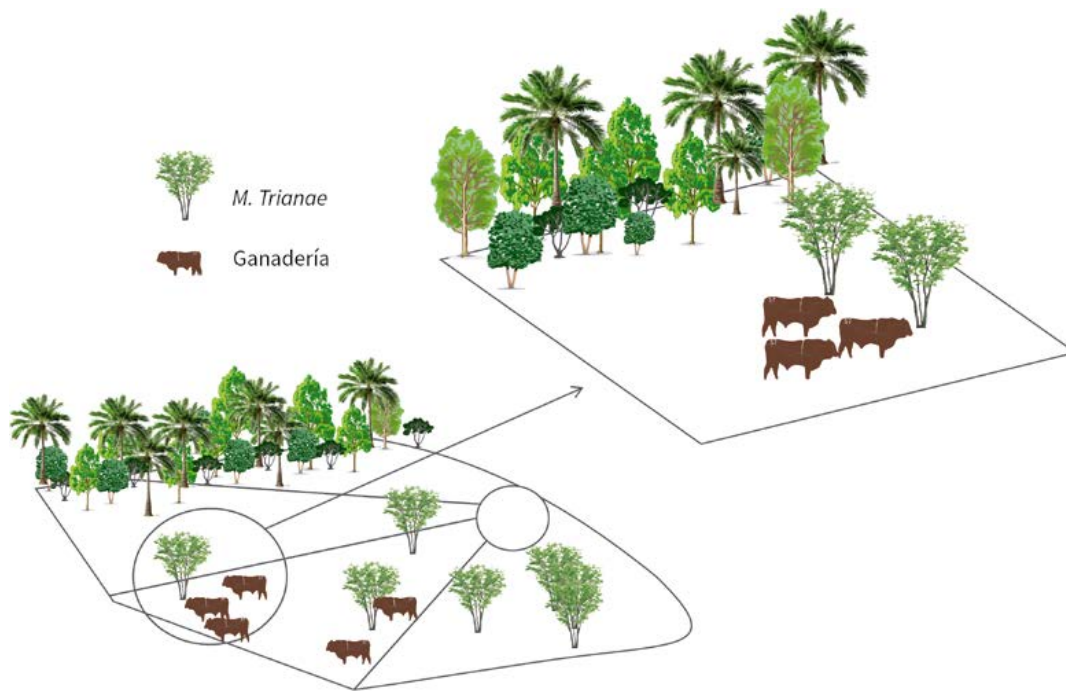


Figura 36. Árboles dispersos de yopo (*M. trianae*) en potreros.

Fuente: Elaboración propia

Arboles dispuestos a una distancia preestablecida

Es un arreglo donde los árboles se disponen a distancias fijas de 10,0 x 10,0 m al cuadro para yopo (*M. trianae*) (figura 37), lo que permite el pastoreo de los animales en el interior de las hileras arbóreas. Los árboles se deben proteger de los animales hasta que tengan la altura y el desarrollo del tronco (DAP) adecuados. El objetivo de estos árboles es generar confort al ganado al brindar sombra, refugio y comodidad (Rincón Castillo et al., 2010).

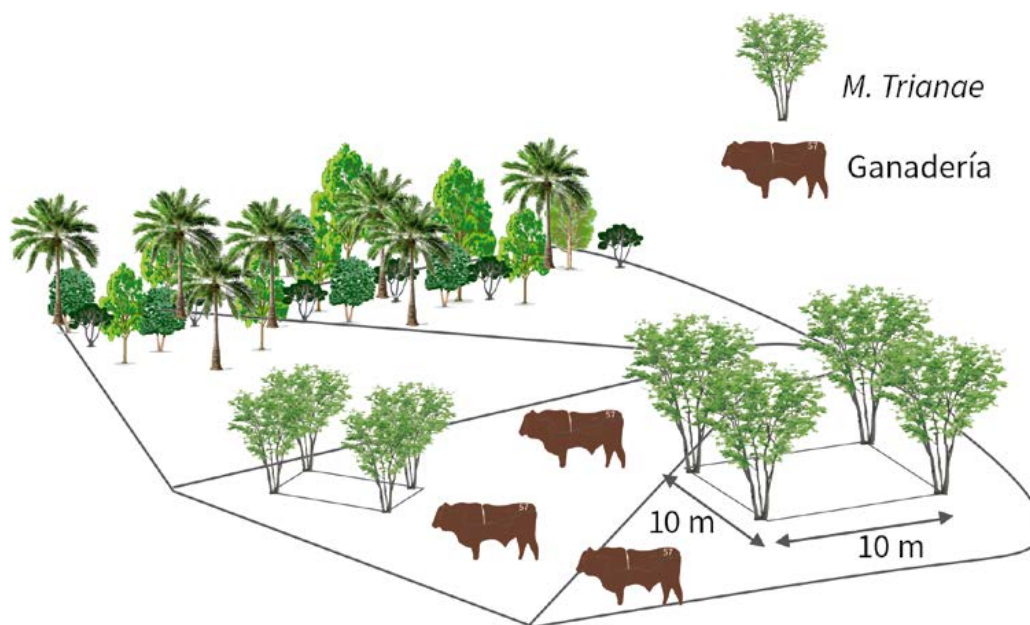


Figura 37. Árboles de yopo (*M. trianae*) dispuestos a una distancia preestablecida en los potreros.

Fuente: Elaboración propia



Capítulo VI



Prácticas culturales

Albert Julesmar Gutiérrez, Hebert Camargo Tamayo,
Diana Elisa Correa Pinilla , Ferney Giovanny López

Las prácticas culturales son todas aquellas actividades necesarias que debe realizar el productor para facilitar las condiciones que permitan la supervivencia de las plantas después de la siembra y estimular el crecimiento sano y vigoroso de las plantas (Vásquez Victoria, 2001). A pesar de que el yopo (*M. trianae*) es una especie nativa de rápido crecimiento y fácil adaptación a las condiciones de suelo en el departamento del Meta, para el establecimiento de esta especie en sistemas agroforestales, áreas de rehabilitación y bancos dendroenergéticos es indispensable establecer un plan de manejo forestal, con el fin de obtener mejores rendimientos. Para esto, se recomienda llevar a cabo las siguientes actividades.

Preparación del lote y aplicación de enmiendas y correctivos

Muestreo de suelos

El muestreo del suelo es una herramienta útil en el sector agrícola para la toma de decisiones respecto al manejo agronómico de un cultivo (figura 38), ya que permite conocer y monitorear las condiciones de las variables químicas, físicas y biológicas del suelo en un momento y área determinados. A partir de los resultados obtenidos de los análisis de suelos se pueden determinar: 1) los requerimientos químicos para establecer el plan de enmiendas y fertilización; 2) el tipo de labranza que se va a utilizar, y 3) la necesidad de uso de riego, entre otras labores (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], 2019).



Figura 38. Proceso de toma de muestra de suelo para análisis.

Proceso de muestreo

El muestreo de suelos se usa para extraer o constituir una muestra compuesta de suelo, de un área que presenta características similares en toda su extensión (AGROSAVIA, 2019), tales como:

- Relieve: separar áreas con diferente nivel de pendiente; por ejemplo, terrenos con altas pendientes de áreas planas.
- Color: si el lote que se va a muestrear presenta diferentes colores, se separan áreas con colores distintos.
- Textura: separar áreas de terreno con texturas gruesas (arenosas) de las texturas finas (arcillosas) y de las francas (limosas).
- Drenaje: separar suelos bien drenados de los mal drenados.
- Manejo agronómico: separar suelos con cultivos o manejos diferentes.
- Profundidad del muestreo: la profundidad a la cual se debe tomar la muestra depende del cultivo; en cultivos perennes como los forestales (por ejemplo, yopo), se puede muestrear de 0 a 40 cm de profundidad. También hay que tener en cuenta que para todos los muestreos en el área homogénea de terreno debe ser la misma profundidad.
- Cantidad de muestras: se recomienda tomar una muestra compuesta por 10 a 25 submuestras por hectárea. Dependiendo de la heterogeneidad del terreno, puede aumentar o disminuir la intensidad del muestreo; cuanto mayor sea el número de muestras que se tomen en un área, menor variabilidad se tendrá y la muestra será más representativa.
- Época del muestreo: la toma de muestras de suelo se debe realizar entre dos y tres meses antes de la siembra, procurando que la época climática sea la más frecuente de la zona y evitando la toma en épocas de exceso de lluvia (abril-julio) o de sequía (de enero a marzo).

Preparación del lote y aplicación de enmiendas y correctivos

El acondicionamiento de suelo para establecer este tipo de sistemas forestales consiste en el control físico de la vegetación que se disponga en el lote, el cual puede realizarse con machete, motosierra, rolo, cortamalezas o desbrozadora. Luego, de acuerdo con el resultado de los análisis de suelos, se aplican los correctivos; en los suelos del departamento del Meta, dada la baja saturación de bases intercambiables, se recomienda aplicar una mezcla de cal dolomita, roca fosfórica, abono Paz del Río y yeso. Este material se debe incorporar al suelo usando implementos de labranza que aseguren una profundidad adecuada, para lo cual se emplea la rastra, el cincel rígido o vibratorio (figura 39).



Figura 39. Preparación de lotes para el establecimiento de reforestación de especies nativas.

Trazado

Esta labor se hace con el fin de dar una correcta orientación y disposición a los árboles en el momento de la siembra; para esto, se demarcan los sitios definitivos de acuerdo con las condiciones particulares del lote o del sistema por implementar (monocultivo, en asocio o en sistemas agroforestales). En sistemas agroforestales, se recomienda realizar el trazado de los surcos de oriente a occidente, ya que esto permite un mayor aprovechamiento de la radiación a lo largo del día en los cultivos intercalados entre los surcos de árboles.

Ahoyado

Después del trazado, se hacen los hoyos para brindar condiciones adecuadas para el desarrollo de la raíz; estos deben ser, por lo general, de 30 x 30 x 30 cm (figura 40), el tamaño puede ser mayor o menor, dependiendo de las características del suelo: si son suelos sueltos y profundos es posible un hoyo más pequeño (20 x 20 x 20 cm), pero si el suelo ha sido mecanizado no se requiere un hoyo tan amplio. En suelos compactos se recomienda hacer hoyos grandes y profundos.



Foto: Diana Elisa Correa Pimila

Figura 40. Ahoyado.

Siembra

El periodo (ideal) durante el cual se deben sembrar las plántulas en los sitios definitivos tiene que coincidir con el inicio de la época de lluvias (para el departamento del Meta, usualmente ocurre entre abril y noviembre); de esta manera, se garantiza la supervivencia y el buen desarrollo de las plantas durante su periodo de establecimiento. La fecha límite para realizar las siembras es hasta mediados de septiembre, para que los árboles se adapten a las condiciones del terreno antes de que comience la época seca. Para llevar las plántulas al sitio definitivo, es importante seleccionar las plantas y escoger aquellas que cumplan con las características morfológica ideales, como:

- Plántulas con tamaño mínimo de 25,0 cm y máximo de 30,0 cm.
- Plántulas sanas y vigorosas, sin problemas de plagas o enfermedades.
- Plántulas que presenten su yema apical en buen estado, que no estén quebradas, bifurcadas, torcidas, muy delgadas o pequeñas.
- Plántulas con buen desarrollo radicular (sin presencia de entorchamiento o “cola de marrano”).

Resiembra o replante

La resiembra o el replante es una práctica que garantiza una plantación uniforme y con una densidad de árboles ideal (Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural [Embrater], 1983). Consiste en la reposición de plántulas muertas en el sitio definitivo de siembra, con crecimiento irregular y con poco desarrollo, debido a factores como: 1) sequía o inundación después de la siembra; 2) condiciones iniciales de las plántulas utilizadas: raíz desnuda, estrés durante el transporte ocasionados por altas temperaturas, desecación y daño mecánico de las plántulas etcétera; 3) ataque de insectos, hormiga arriera y termitas o daños producidos por pastoreo u otros animales etcétera, y 4) mal manejo o control de arvenses (Vásquez Victoria, 2001).

La resiembra se debe realizar antes de que haya transcurrido más de un año desde el establecimiento; también se puede hacer después de que se lleven a cabo labores de mantenimiento (control de arvenses, podas, plateos, fertilización, etcétera) y que coincidan con periodos de lluvias presentes en la zona (Roncancio, 2001). Se aconseja realizar la resiembra cuando el mínimo de plantas que se van a sustituir o reemplazar sea mayor que el 10 % del total de árboles establecidos (Embrater, 1983; Eraso Rosero & Toro Delgado, 2006; Fonseca Urrego & García Rubio, 2007). Por lo anterior, se sugiere que en el momento de proyectar la siembra se adquiera o produzca un excedente del 10 % de material de siembra adicional como material de reserva, para una posible resiembra.

Mantenimiento

Para el buen desarrollo de los árboles de Yopo (*M. trianae*), es necesario controlar las arvenses que generaran competencia y, a su vez, brindar los requerimientos nutricionales para suplir las condiciones edáficas y nutricionales de la especie, y realizar el monitoreo, seguimiento y control de las plagas y enfermedades.

Control de arvenses

En bancos dendroenergéticos, áreas de reforestación y sistemas agroforestales y silvopastoriles donde se establezcan árboles de yopo (*M. trianae*), es recomendable realizar control de arvenses durante los tres primeros años, tiempo durante el cual esta especie alcanza alturas de aproximadamente 7,5 m; en condiciones de campo, los individuos se ven afectados por la cantidad de un recurso que queda después de ser explotado por otro.

Por lo general, los individuos pueden competir por luz, agua o nutrientes. Entre los componentes que condicionan el crecimiento de las plantas (por ejemplo, yopo) está la competencia por luz, la cual se da por las diferentes alturas entre las especies que componen el sistema agro forestal (SAF); estas últimas pueden tener un efecto diferencial sobre los niveles de intercepción de luz de cada uno de los componentes (árboles, arvenses, etcétera). En cuanto al agua que absorben las plantas, la gran mayoría de esta se pierde por transpiración y la restante, aproximadamente el 1 %, se encuentra en los tejidos y se usa en diferentes reacciones metabólicas. Dado que cada

una de las plantas tiene un metabolismo determinado, este afectará la competencia por el agua; además, la posibilidad de que los nutrimentos estén disponibles para las plantas depende de la solubilidad de estos en el agua, de su movilidad y de la capacidad que tienen las plantas para absorberlos. Por esto, la planta con mayor capacidad de absorción será la que tenga más éxito (Mengel & Kirkby, 2000; Pérez Leal, 2017).

Se sugiere que durante el primer año se realicen cuatro limpiezas o controles manuales, en los cuales se hace un plateo con machete o azadón a un diámetro de un metro de la base del árbol; en las calles, se puede realizar un control mecánico con guadaña, pase de cortamalezas o desbrozadora, y en los siguientes tres años se recomienda llevar a cabo esta actividad dos veces al año.

Fertilización

En general, los requerimientos nutricionales de los árboles son los mismos; estos requieren niveles adecuados de todos los elementos nutritivos esenciales (macro, secundarios y menores) disponibles en el suelo o suministrados en la fertilización. La cantidad de nutrimentos tomados por los árboles depende de varios factores, como: 1) el requerimiento de la especie; 2) su velocidad de crecimiento; 3) el estado de desarrollo (plántula en vivero o plantación madura); 4) las etapas fenológicas (por ejemplo, floración, fructificación, defoliación y renovación de hojas), y 5) las condiciones edáficas y climáticas que afectan la disponibilidad de los nutrimentos esenciales (Alvarado & Raigosa, 2007; Amézquita, 2004).

Para la fertilización, se toman como referencia los resultados de los análisis de suelos. Se recomiendan dos fertilizaciones: la primera en el momento de la siembra y la segunda dos meses después del establecimiento, utilizando fuentes simples y compuestas para suplir los requerimientos edáficos y nutricionales de la especie. Es necesario tener en cuenta que la aplicación de estos fertilizantes se debe hacer en forma de corona o semicorona, a una distancia no inferior a diez centímetros del cuello de la plántula (Roncancio, 2011). Los siguientes tres años es importante realizar esta actividad dos veces al año, simultáneamente cuando se haga el control de arvenses.

Manejo fitosanitario

El monitoreo, seguimiento y control de las plagas y enfermedades son actividades clave que garantizan el éxito de la plantación. El manejo fitosanitario se refiere a un esquema que combina varias estrategias o métodos de control: mecánico, físico, cultural, etológico, biológico, químico, entre otros, para mantener las plagas y enfermedades en niveles inferiores o aceptables por debajo de aquellos que causen daño económico (Moreno et al., 2006; Alarcón Restrepo et al., 2012; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011).

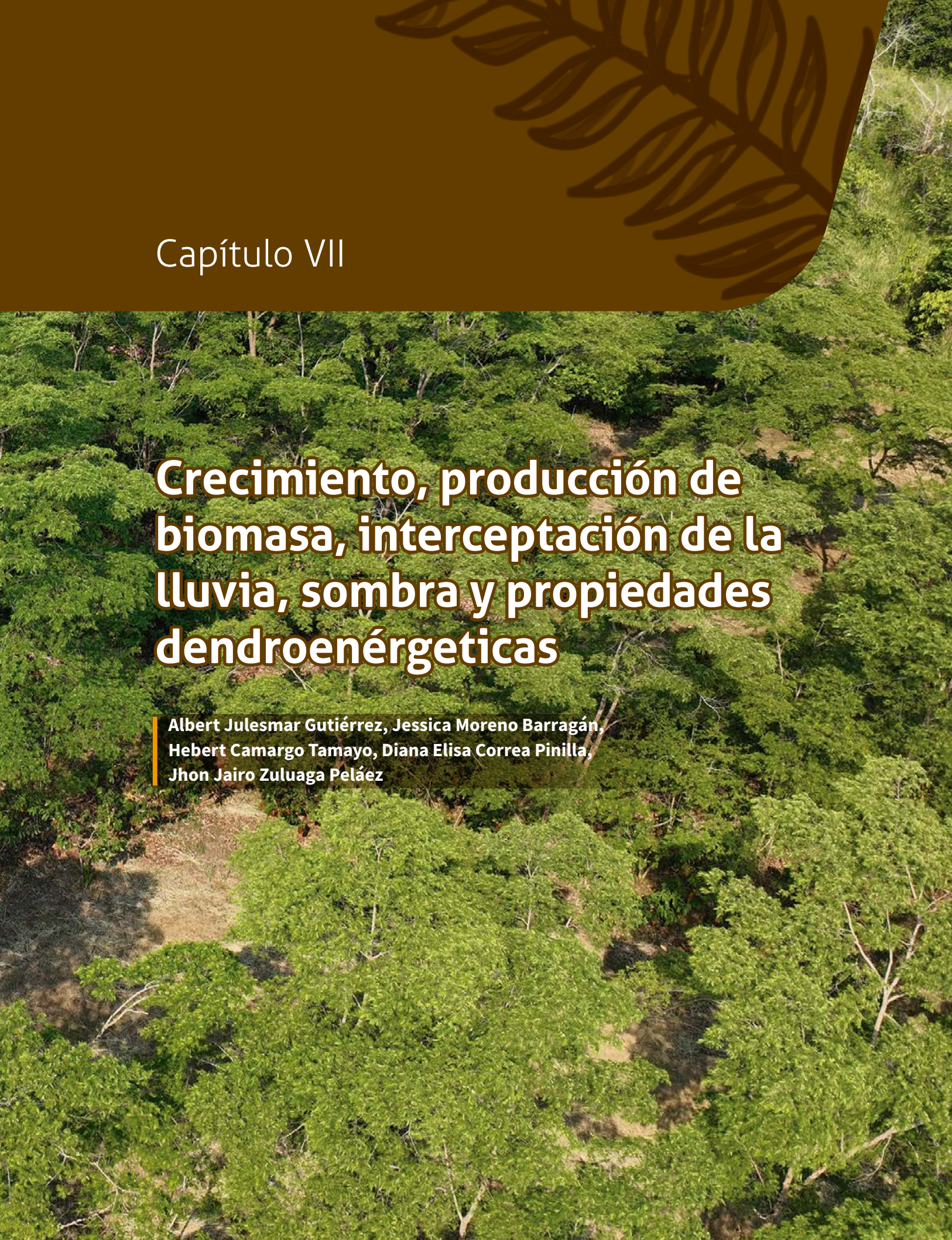
Cuando el árbol de yopo (*M. trianae*) está relacionado con explotaciones y paisajes agrícolas, como sistemas agroforestales (por ejemplo, yopo [*M. trianae*], cacao [*T. cacao*] o plátano [*M. sp.*]), silvopastoriles (como franjas, cercas vivas, bosquetes), plantaciones de producción de leña, entre otros, surgen muchas complicaciones respecto al manejo de plagas y enfermedades. En ocasiones, las plagas (*Psyllios*, *Hetroypsylla*, *Empoasca*, *Pandeleteius*, *Attas* sp., *Geometridae*, entre otros) o enfermedades (antracnosis) logran dispersarse entre cultivos agrícolas y árboles. El cultivo o el árbol pueden desempeñar la función de hospedante de una enfermedad o plaga determinada o de cultivo trampa (FAO, 2011), por lo cual se debe actuar con especial cautela para asegurarse de que las enfermedades o plagas no se transmitan a través de las lesiones causadas por las técnicas de cosecha, aprovechamientos, entresacas, podas, etcétera.

Para prevenir daños por plagas y enfermedades, es recomendable realizar monitoreos semanalmente y, de acuerdo con su incidencia, hacer controles respectivos.

Barreras cortafuegos y prevención de incendios

En los linderos o perimetrales de los arreglos forestales con yopo (*M. trianae*) en bancos dendroenergéticos, sistemas agroforestales, lotes de compensación o rehabilitación, se recomienda mantener las franjas, calles o barreras cortafuegos libres de coberturas vegetales leñosas y limpias para el acceso, con el fin de prevenir la afectación de incendios forestales.





Capítulo VII

Crecimiento, producción de biomasa, interceptación de la lluvia, sombra y propiedades dendroenergéticas

Albert Julesmar Gutiérrez, Jessica Moreno Barragán,
Hebert Camargo Tamayo, Diana Elisa Correa Pinilla,
Jhon Jairo Zuluaga Peláez

Este capítulo presenta los avances de investigaciones realizadas por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Libertad, ubicado en el piedemonte de Villavicencio (Meta), para contribuir al conocimiento forestal y ampliar la información disponible para la especie *M. trianae*, en cuanto a los aspectos que se mencionan a continuación.

Modelo de crecimiento

Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar variables de difícil medición como la altura del árbol, en función de pocas variables de fácil medición como el diámetro y la edad del árbol.

Teniendo en cuenta las condiciones agroclimáticas de Villavicencio, Meta (Centro de Investigación La Libertad), se desarrolló un modelo alométrico (ecuación 1), a partir de registros de desarrollo en plantación de especímenes de yopo (*M. trianae*) para predecir el crecimiento en altura (H) de la especie en metros con respecto a la edad en meses y el diámetro a la altura del pecho en centímetros (DAP, 1,30 m), en su etapa inicial (72 meses después de establecido en campo), puestos a una distancia de 5,0 x 5,0 m (400 árboles/ha) y en suelos de paisaje de piedemonte en un relieve de terraza alta.

$$\text{Altura Total (H)} = 0,2759046(\text{DAP}^2 * \text{Edad})^{0,378} \quad \text{Ecuación 1}$$

Después de seguir el crecimiento de esta especie durante seis años, se determinó que presentó un desarrollo de 11,6 m de altura y 17,9 cm de diámetro, y unos incrementos medios anuales (IMA) en altura (H) y en DAP de 1,93 m/año y 2,99 cm/año, respectivamente, con una sobrevivencia del 76,9%.

Se ha encontrado que esta especie, establecida para la reforestación-protección en suelos de altillanura en el municipio de Puerto Gaitán, Meta (Beltrán Guarnizo, 2011), alcanzó un desarrollo del diámetro de tallo de 16,1 cm y en altura 2,44 m a los 14 meses de establecerse en campo. Mientras que, para este mismo periodo, en suelos de piedemonte del municipio de Villavicencio, Meta, la misma especie alcanzó 8,24 cm de diámetro en el tallo (medido a 10 cm del suelo) y 3,81 m en altura. Esta

diferencia puede estar influenciada por las características particulares de las unidades de suelo donde fueron establecidas.

Biomasa de raíces finas

La biomasa radical es un parámetro que expresa la cantidad de biomasa (gramos de materia seca de raíces) en una unidad de área determinada a la profundidad de muestreo (g m^{-2}), por lo que se puede tomar como parámetro para estimar la fijación de carbono por la especie en el ecosistema (Morales Ríos, 1997; Arnáez-Serrano & Moreira-González, 2006). Se realizaron muestreos de raíces en dos profundidades (0-15 cm y 15-30 cm) y en dos posiciones con respecto a la copa, que fueron al 50 % (posición media copa) y al 100 % (posición perímetro de copa). La mayor cantidad de biomasa radicular de raíces finas ($< 5 \text{ mm}$) de la especie se encontró en los primeros 15 cm de profundidad, con 0,28 y 0,19 g para las dos posiciones; sin embargo, se observa mayor cantidad de biomasa en media copa. Igualmente, se observó que la biomasa de raíces disminuye con la profundidad (tabla 4).

Tabla 4. Valores promedio de biomasa de raíces finas de yopo (*M. trianae*), a los 72 meses de edad, en el Centro de Investigación La Libertad

Biomasa (g)		
Profundidad (cm)	Posición	
	Media copa	Perímetro de copa
0-15	0,287	0,193
15-30	0,090	0,050

Fuente: Elaboración propia

Densidad lineal de raíces finas

La densidad lineal de raíces (DLR) finas ($< 5,0 \text{ mm}$ de diámetro) es una variable que emplea el valor en longitud de las raíces analizadas, y las expresa en una unidad de área específica; además, relaciona los centímetros de raíces encontradas en una determinada área de suelo, lo cual se expresa como (cm cm^{-2}); esto se relaciona con la competencia por espacio, aireación del suelo y la conducción de agua y nutrientes después de la muerte de estas pequeñas estructuras (Morales Ríos, 1997;

Arnáez-Serrano & Moreira-González, 2006). A los 72 meses de edad de la especie *M. trianae* existe más DLR finas (< 5 mm) en la posición media copa en el rango de 0-15 cm de profundidad, y la densidad disminuye en un 60 % a medida que aumenta la profundidad, y para la posición de perímetro de copa disminuye un 17 %. Como se observa en la tabla 5, no se encontró diferencia entre las posiciones en la primera profundidad 0-15 cm, mientras que en el rango de 15 a 30 cm de profundidad sí existen diferencias.

Tabla 5. Valores promedio de densidad de raíces finas de yopo (*M. trianae*), a los 72 meses de edad, en el Centro de Investigación La Libertad

Densidad longitudinal de raíces (cm/cm ²)		
Profundidad (cm)	Posición	
	Media copa	Perímetro de copa
0-15	0,45	0,43
15-30	0,18	0,35

Fuente: Elaboración propia

Longitud y longitud específica de raíces finas

La longitud (L) del sistema radical de la planta es muy importante, dado que de esta depende la adquisición de agua y de nutrientes. En general, la longitud de la raíz por unidad de biomasa o longitud específica de raíces (LER) relaciona los centímetros de raíces por unidad de biomasa seca y se expresa como (cm mg⁻¹); además, varía mucho en las especies leñosas, ya que está directamente relacionada con la productividad primaria, la acumulación de carbono en suelo, la fertilidad de suelos, entre otras (Herrera-Gorocica, 2014). La L promedio de raíces para yopo (*M. trianae*) es mayor en la posición de media copa para la primera profundidad de 0-15 cm, con un valor de 215,02 cm, y disminuye a 90,36 cm a medida que aumenta la profundidad. En el caso de la LER, la disminución es solo del 12 %; LER y es mayor en la profundidad de 15-30 cm, en ambas posiciones (tabla 6).

Tabla 6. Valores promedio de longitud y longitud específica de raíces finas de yopo (*M. trianae*), a los 72 meses de edad, en el Centro de Investigación La libertad

Profundidad (cm)	Longitud de raíces (cm)		Longitud específica raíces (cm/mg)	
	Posición			
	Media copa	Perímetro de copa	Media copa	Perímetro de copa
0-15	215,02	204,54	1,02	1,18
15-30	90,36	178,09	2,75	4,69

Fuente: Elaboración propia

Biomasa aérea y contenido de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg y C)

Para poder cuantificar los contenidos de elementos mayores y de carbono (C) en la biomasa aérea de la especie *M. trianae*, se deben realizar las siguientes actividades: 1) selección y corte del árbol; 2) desrame y trozado con la ayuda de una motosierra; 3) separación del árbol en los siguientes componentes: fuste o tallo mayor de 5 cm de diámetro con corteza, ramas entre 1 y 5 cm de diámetro, ramas menores de 1 cm, hojas, ramas mayores de 5 cm de diámetro con corteza, frutos, flores y corteza; 4) pesaje en verde de cada uno de estos componentes en campo; 5) toma de submuestras para peso en verde y seco, y 6) envío a laboratorio de cada uno de los componentes, para determinar elementos mayores y carbono (figura 41). La cantidad de nutrientes asociada a cada componente de la parte aérea del árbol depende, entre otros factores, de la edad, las características climáticas y edáficas, y de las labores culturales con las que se desarrolla la especie (Alvarado & Raigosa, 2007).



Fotos: Jessica Moreno Barragan y Diana Catalina Cervera

Figura 41. Muestreo destructivo para determinar nutrientes y carbono. a. Apeo o tala del árbol; b. Pesaje de ramillas verdes en campo; c. Separación de ramas, ramillas y hojas para peso verde en campo; d. Secado en horno de muestras de cada componente.

En la tabla 7, se presentan las concentraciones de los principales nutrientes (C, N, P, K, Ca, Mg) para cada componente de la especie yopo (*M. trianae*), a los 68 meses de edad de establecido en un suelo de terraza alta del piedemonte localizada en Villavicencio, Meta (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2004). La mayor cantidad de biomasa

seca del árbol se presentó en el fuste o tallo, con el 50,47 % (73,18 kg) del total de la biomasa del árbol, lo que representa 36,83 kg de carbono (C); seguido por las ramas mayores de 1 cm de diámetro, con el 41,12 % del total de la biomasa; la menor biomasa seca la presentaron las hojas y ramas con menos de 1 cm de diámetro, con el 8,41 %. En términos generales, el peso seco total promedio de tres arboles de *M. trianae* fue de 145,29 kg y 71,38 kg de carbono (C), que corresponde al 49,13% de la biomasa. Las mayores concentraciones de N, Ca, Mg, y K se presentaron en el fuste y de P, en las hojas.

Tabla 7. Contenido promedio de biomasa y nutrientes de la especie yopo (*M. trianae*), a los 68 meses de edad, en el Centro de Investigación La libertad

Componente	% del árbol	Peso seco (kg)	N	P	Ca	Mg	K	C
			(g)					(kg)
Ramas 1-5cm*	19,68	28,69	200,82 b	2,87 b	37,30 b	11,47 abc	68,85 b	13,81 b
Hojas	4,21	6,01	191,04 b	9,61 a	16,82 b	12,01 ab	45,66 b	3,16 b
Ramillas <1cm*	4,20	5,71	67,93 c	2,28 b	21,69 b	7,42 bc	25,12 b	2,74 b
Ramas >5cm*	21,44	31,70	133,14 bc	3,17 b	25,36 b	6,34 c	47,55 b	15,65 b
Fuste	50,47	73,18	343,96 a	7,32 a	73,18 a	14,64 a	190,27 a	36,83 a
Total	100,00	145,29	936,89	25,25	174,35	51,89	377,45	71,38

Nota: El promedio con igual letra por variable no presenta diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). Donde: * diámetro de ramas y ramillas, nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y carbono (C).

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, la tasa de fijación anual de carbono (C) en la parte área de árboles yopo (*M. trianae*) a los 68 meses de establecido, a una distancia de 5 x 5 m (400 árboles por hectárea), es de 28,55 t de C/ha/año (71,38 kg de C/árbol x 400 árboles/ha), que corresponden a 104,8 t de CO₂e/ha de dióxido de carbono equivalente (28,55 t de C/ha/año x 3,67 factor de conversión de C a CO₂e). Otras especies nativas de la Orinoquia presentan un potencial para la captura de carbono (C), como es el caso de simaruba (*S. amara*) con 26,65 t de C/ha/año, establecido a 4 x 4 m (625 árboles/ha) que equivalen a 97,8 t CO₂e/ha y el cañofistol (*C. moschata*), establecido a 5 x 5 m (400 árboles/ha), con 16,82 t de C/ha/año y 61,7 t CO₂e/ha. Estas especies fueron establecidas en las mismas condiciones, en suelos de piedemonte en Villavicencio, Meta (Gutiérrez Vanegas et al., 2020).

Índice de eficiencia del uso de nutrientes de yopo (*M. trianae*)

El índice de eficiencia del uso de nutrientes (EUN) es la capacidad de un árbol para producir biomasa con escasos nutrimentos; además, indica cómo un determinado elemento puede facilitar la productividad (Alvarado & Raigosa, 2007); la EUN, relaciona la biomasa seca con el contenido del nutriente en dicha biomasa y está dada en kilogramos de biomasa por cada gramo de nutriente; con un mayor valor de EUN, la especie es mucho más eficiente en la utilización del nutriente y por tanto se generará menor exportación del nutriente por cantidad de biomasa seca producida.

En la tabla 8, se presentan los valores medios de biomasa seca y el índice de eficiencia en el uso de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg y C) para cada componente de la especie del yopo (*M. trianae*), a los 68 meses de edad y con una producción de materia seca de 145,29 kg. Esta especie presenta un índice de eficiencia para P de 33,13 (lo que significa que por cada gramo de fósforo que absorba la planta se producen 33,13 kilogramos de biomasa seca), seguido de Mg, C y Ca con 13,77, 10,12 y 3,64, y con valores menores el K y N, con 1,83 y 0,71, respectivamente.

En general, para la biomasa total de árboles de yopo (*M. trianae*), la EUN decrece en el siguiente orden: P > Mg > Ca > K > N (tabla 8).

Tabla 8. Biomasa seca y eficiencia del uso de nutrientes de cada componente de la especie yopo (*M. trianae*), a los 68 meses de edad, en el Centro de Investigación La libertad

Componente	Peso seco (kg)	Índice de eficiencia del uso de nutrientes					
		N	P	Ca	Mg	K	C
		kilogramo de biomasa/gramo de nutriente					kg/kg
Ramas 1-5 cm*	28,69	0,14 c	10,00 a	0,77 c	2,50 b	0,42 b	2,08 b
Hojas	6,01	0,03 e	0,63 c	0,36 d	0,50 d	0,13 e	1,90 d
Ramillas <1cm*	5,71	0,08 d	2,50 b	0,26 e	0,77 c	0,23 d	2,09 a
Ramas >5 cm*	31,70	0,24 a	10,00 a	1,25 a	5,00 a	0,67 a	2,03 c
Fuste	73,18	0,21 b	10,00 a	1,00 b	5,00 a	0,38 c	2,03 c
Total	145,29	0,71	33,13	3,64	13,77	1,83	10,12

Nota: El promedio con igual letra por variable no presenta diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$). Donde: * diámetro de ramas y ramillas, nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y carbono (C).

Fuente: Elaboración propia

Costo nutritivo

El costo nutritivo (CN) representa la cantidad de nutrimentos almacenados en cada uno de los componentes del árbol y está directamente relacionado con la habilidad para el ciclaje de nutrientes (Alvarado & Raigosa, 2007). El menor costo nutritivo se evidenció en el fósforo en las ramas >5 cm y en el fuste con 0,10 g de nutriente/kg de biomasa; esto significa que por cada kilogramo de biomasa (ramas >5cm y fuste) que salga del sistema para leña se estarían exportando 0,10 g de fósforo para ambos componentes. El mayor costo nutritivo sería para el nitrógeno. El resto de componentes que no salgan del sistema contribuirán al ciclaje de nutrientes.

En general, para la biomasa total de árboles de yopo (*M. trianae*), el mayor CN se presenta en el siguiente orden: N>K>Ca>Mg>P (tabla 9).

Tabla 9. Biomasa seca y costos nutritivos de cada componente de la especie yopo (*M. trianae*), a los 68 meses de edad, en el Centro de Investigación La libertad

Componente*	Peso seco (kg)	Costo nutritivo					
		N	P	Ca	Mg	K	C
		Gramo de nutriente / kilogramo de biomasa seca					
Ramas 1-5 cm*	28,69	7,00 c	0,10 c	1,30 c	0,40 c	2,40 d	0,48 c
Hojas	6,01	31,80 a	1,60 a	2,80 b	2,00 a	7,60 a	0,53 a
Ramillas <1 cm*	5,71	11,90 b	0,40 b	3,80 a	1,30 b	4,40 b	0,48 c
Ramas >5 cm*	31,70	4,20 e	0,10 c	0,80 e	0,20 d	1,50 e	0,49 b
Fuste	73,18	4,70 d	0,10 c	1,00 d	0,20 d	2,60 c	0,49 b
Total	145,29	59,60	2,30	9,70	4,10	18,50	2,47

Nota: El promedio con igual letra por variable no presenta diferencias estadísticas significativas ($p>0,05$). Donde: *diámetro de ramas y ramillas, nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y carbono (C).

Fuente: Elaboración propia

Determinación de opacidad del dosel

Conocer el nivel de opacidad (luz que atraviesa el dosel) con el que aporta una especie forestal puede ser determinante y decisivo en la planificación forestal y agroforestal. Los requerimientos de la especie que se va a impactar en un sistema agroforestal o en un asocio determinan el tipo de sombrío por elegir. La elección del componente arbóreo depende en gran medida del porcentaje de luz que pasa a través de la copa, bien sea para el desarrollo de una especie transitoria o para el aporte en el confort térmico de especies ganaderas.

Así, se pudo observar en una plantación establecida con árboles de yopo (*M. trianae*), con una edad de 72 meses, que estos presentaban una altura promedio de $11,6 \pm 0,38$ m y un diámetro a la altura del pecho (DAP) de $17,9 \pm 0,95$ cm; su índice de área foliar efectivo estaba entre 0,38 y 0,99, y su porosidad se encontraba entre el 45 % y el 73 %. Por lo tanto, la sombra promedio era aproximadamente del 50 % (figura 42).



Figura 42. Fotografía esférica con lente de 180° de la porosidad de las copas de la especie *M. trianae*.

Determinación de la interceptación y la transferencia de agua al suelo

Esta investigación buscó evaluar algunos factores hidrológicos con los cuales esta especie forestal nativa contribuye a la transferencia de agua precipitada al suelo; por ejemplo, la precipitación abierta (PA), la interceptación (Int.), la precipitación interna (PI), el escurrimiento por el tronco (Et) y la precipitación efectiva (Pe), con el fin de determinar la eficiencia del uso del agua y su importancia en el manejo forestal para aportar a la sostenibilidad hidrológica (figura 43).

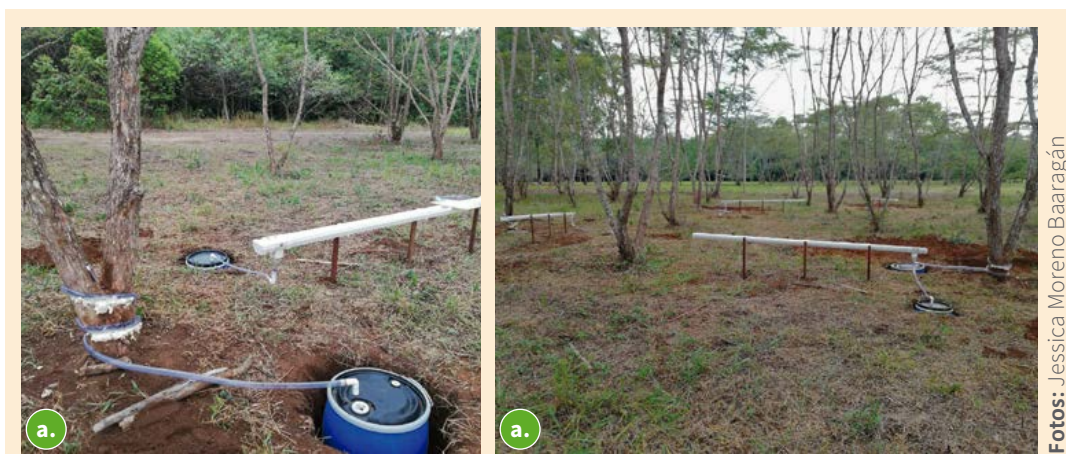


Figura 43. Ensayo de interceptación de agua. a. Esgurrimiento por el tronco (Et) y precipitación interna (Pi); b. Panorámica con pluviómetros lineales para cuantificar la Pi en una plantación de *M. trianae*.

Durante el periodo entre marzo y septiembre de 2019, la precipitación registrada fue de 1.956 mm; mayo y junio fueron los meses más lluviosos y los menos lluviosos, marzo y septiembre. Como se puede observar en la tabla 10, para las condiciones de plantación en las que fue establecido el yopo (*M. trianae*), a una distancia de siembra de 5x5 m, fue transferido al suelo mediante una precipitación efectiva (Pe) de 1.857,7 mm, lo que corresponde al 95,5 % de la precipitación total y tan solo fueron interceptados (Int) 98,2 mm (5%).

La Pi alcanzó un volumen total de 1.837,4 mm, que representan el 93 % de la PA, y el flujo de agua lluvia por el tronco (Et) de *M. trianae* fue de 20,3 mm, correspondiente al 1 % de precipitación total (tabla 10). Este comportamiento se debe al índice de área foliar de la especie que se encuentra entre 0,38-0,99; por lo tanto, es una especie que no intercepta mucha agua y la cual podría ser una buena opción de asocio en sistemas agroforestales para cultivos transitorios.

Tabla 10. Interceptación y transferencia de agua lluvia al suelo por la especie yopo (*M. trianae*), a los 72 meses de edad, en el Centro de Investigación La libertad

Mes/año	PA		PI		Et		Pe		Int.	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Mar./19	109,9	100	93,4	84,9	0,7	0,6	94,1	85,6	15,9	14,4
Abr./19	297,2	100	280,8	94,5	5,2	1,8	286,0	96,2	11,2	3,8
May./19	366,5	100	359,0	97,9	4,1	1,1	363,1	99,1	3,4	0,9
Jun./19	366,4	100	359,9	98,2	4,1	1,1	364,0	99,4	2,3	0,6
Jul./19	341,5	101	308,0	90,2	2,6	0,8	310,6	91,0	30,9	9,0
Ago./19	322,6	102	299,3	92,8	2,2	0,7	301,5	93,4	21,1	6,6
Sep./19	151,9	103	137,1	90,3	1,4	0,9	138,5	91,2	13,4	8,8
Total	1.956,0	100	1.837,4	93,9	20,3	1,0	1.857,7	95,0	98,2	5,0

Nota: PA = precipitación en abierto, PI = precipitación interna, Et = flujo por el tronco, Int. = interceptación, Pe = precipitación efectiva.

Fuente: Elaboración propia

Propiedades dendroenergéticas

La dendroenergía (energía forestal) se deriva directa o indirectamente de la biomasa leñosa e incluye energía obtenida a partir de biocombustibles sólidos, líquidos o gaseosos primarios o secundarios que provienen de bosques, terrenos forestales, árboles, arbustos y herbáceas en general. La dendroenergía representa la energía producida después de la combustión de los dendrocombustibles, como la leña, el carbón, los pallets, las briquetas, etcétera, y corresponde al poder calorífico neto del combustible (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020; Guyat et al., 2004).

Algunas de las características deseables de las especies para ser consideradas dendroenergéticas son: que presenten rápido crecimiento, alta capacidad de rebrote, adaptabilidad a diversas condiciones de sitio, resistencia a las plagas y enfermedades, bajos contenidos de humedad, generación de bajo porcentaje de cenizas, alta densidad aparente y alto poder calórico (FAO, 2020; Guevara Bonilla, 2017).

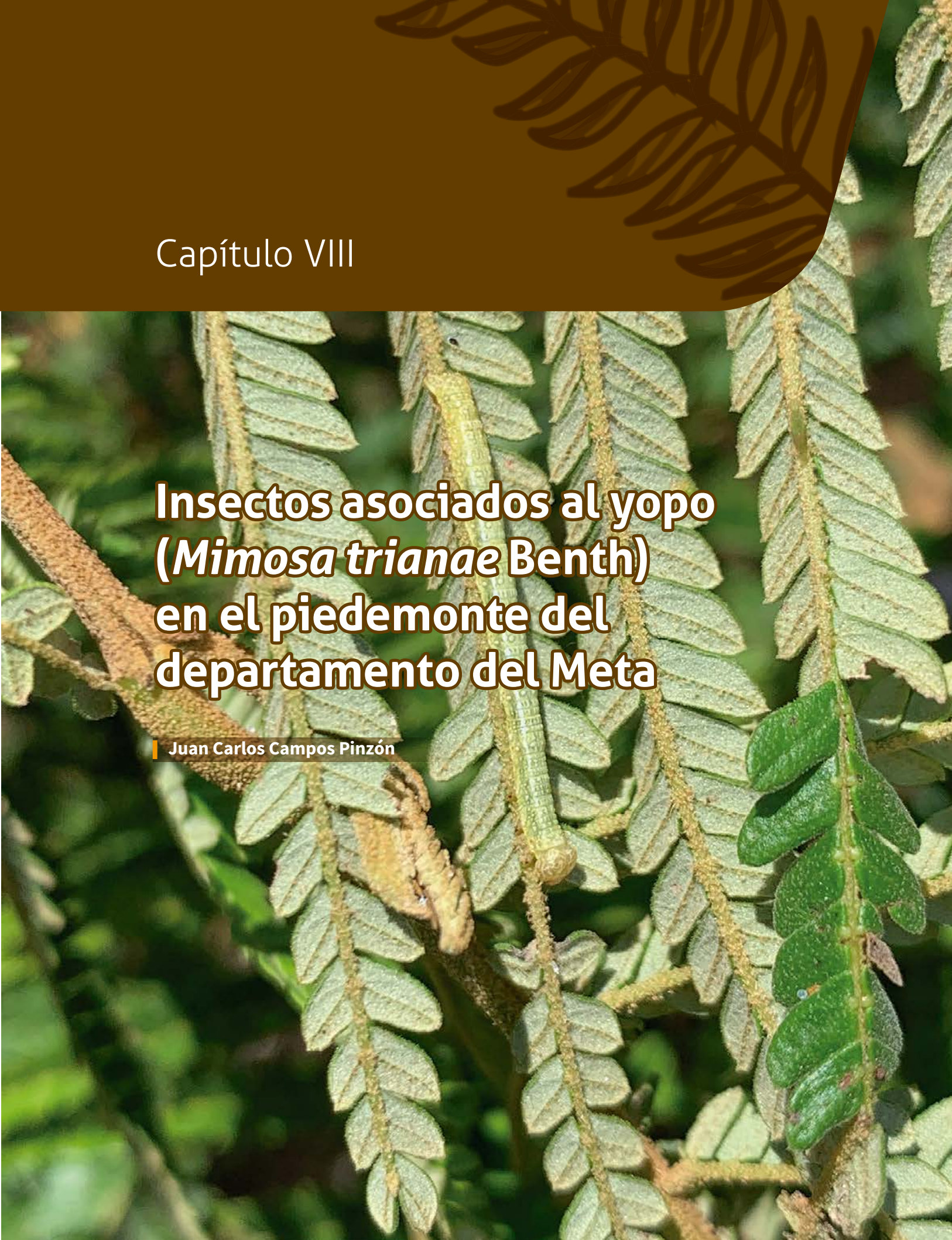
El poder calorífico o calórico de un cuerpo es la cantidad de calor generada por la combustión de una unidad de peso de este cuerpo. Este poder calorífico se expresa en calorías por gramo o en kilocalorías por kilogramo (kcal/kg) (Carmona Atencio et al., 1999; Hinostroza, 1994). Las especies con mayor contenido de lignina y alta densidad tienen un poder calórico más alto que las maderas de las especies con mayor contenido de celulosa. Igualmente, a medida que se incrementa la edad del árbol, el poder calorífico aumenta (Hinostroza, 1994).

El yopo (*M. trianae*) es una especie forestal dendroenergética, porque presenta una alta densidad aparente con un valor medio de 0,77 g/cm³ (Acero Duarte, 2005) y un poder calorífico de 17.230 kJ*kg³, además de los contenidos de cenizas (0,71 %), carbono (48,9 %), oxígeno (43,3 %) entre otras (tabla 11). Esto, sumado a las propiedades de combustibilidad —como velocidad de carbonización, pérdida porcentual de peso y tiempo de extinción de la llama—, hace que la especie yopo (*M. trianae*) tenga un alto potencial para su uso a gran escala en la fabricación de productos con fines energéticos, como pellets y briquetas. Asimismo, el yopo, por su capacidad de encender recién cortado, tiene ventajas comparativas en tiempo de aprovechamiento y transformación que otras especies sí necesitan (Agudelo Castaño & Almanza Jaramillo, 2010).

Tabla 11. Caracterización fisicoquímica de carbonizados de la especie yopo (*M. trianae*)

Propiedad	Contenidos (%)
Humedad	6,19
Sólidos volátiles	47,72
Carbono fijo	45,38
Cenizas	0,71
Carbono (C)	48,96
Oxígeno (O)	43,37
Hidrógeno (H)	5,38
Calcio (Ca)	0,0559
Potasio (K)	0,0422
Aluminio (Al)	0,0042
Magnesio (Mg)	0,0243
Hierro (Fe)	0,0083

Fuente: Elaboración propia, a partir de Agudelo Castaño y Almanza Jaramillo (2010)



Capítulo VIII

Insectos asociados al yopo (*Mimosa trianae* Benth) en el piedemonte del departamento del Meta

Juan Carlos Campos Pinzón

Existen muy pocos estudios sobre los insectos asociados al yopo (*Mimosa trianae*). En este capítulo, se mencionan los principales insectos asociados a esta especie en el piedemonte del departamento del Meta. Para obtener esta información, se realizaron muestreos quincenales durante un año en parcelas ubicadas en el Centro de Investigación La Libertad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el municipio de Villavicencio, Meta.

Psyllidos

Los psyllidos son pequeños insectos de habito gregarios, generalmente específicos en su huésped (Mormontoy et al., 2015) de la familia de Psyllidae del orden Hemiptera, suborden Sternorrhyncha. Los adultos miden alrededor de 2 mm de largo, son de color amarillo (figura 44) y se alimentan de las yemas, los brotes jóvenes, las flores y las hojas tiernas succionando la savia, lo cual ralentiza su crecimiento o causa defoliación. Tienen preferencias por algunas especies como *Albizia adinocephala*, *Mimosa* spp., *Leucaena* spp., *Anadenanthera peregrina* y *Samanea saman*.



Fotos: Juan Carlos Campos Pinzón

Figura 44. Adulto y ninfa *Heteropsylla* sp. (Hemiptera: Psyllidae).

El género *Heteropsylla* incluye alrededor de 40 especies, que se encuentran distribuidas desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Argentina y Chile (Hodkinson & Muddiman, 1993, Muddiman et al., 1992). La diversidad de especies del género *Heteropsylla*, su distribución y asociación de huéspedes está bien descrita para América del norte y América central (Muddiman et al., 1992).

En América del sur, el género *Heteropsylla* comprende las especies *H. brevigenis* Burckhardt (Argentina y Paraguay), *H. caldwelli* Burckhardt (Colombia, Paraguay y Argentina), *H. cubana* Crawford (Perú), *H. huasachae* Caldwell, *H. proximata* Muddiman, Hodkinson & Hollis (Perú), *H. pulchra* Tuthill, *H. pulchella* Hodkinson & Muddiman (Ecuador) y *H. tuthilli* Burckhardt (Perú) (Muddiman et al., 1992). En Brasil, se han reportado tres especies: *H. cubana* sobre *Leucaena* spp., *H. spinulosa* alimentándose sobre *M. diplotricha* y *Heteropsylla tenuata* posiblemente de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) (Burckhardt & Queiroz, 2012). En Colombia, se han reportado 28 géneros de las ocho familias conocidas (Rendon-Mera et al., 2017). Los géneros más comunes que se han encontrado son: *H. caldwelli* Burckhardt, *H. cubana*, *H. reducta* y *Heteropsylla* spp.

Daño causado por *Heteropsylla*

En yopo, los adultos y las ninfas de *Heteropsylla* son el fitófago más abundante y frecuente, y los cuales, al alimentarse, succionan la savia y pueden causar resecamiento en yemas y hojas tiernas, lo que genera defoliación parcial o total de los árboles, hasta que mueren (figura 45). Los psyllidos producen secreciones azucaradas (Klein & Campos, 1984; Bravo, 2003; Juárez-Noé et al., 2016) durante todos sus estados móviles, lo cual atrae diferentes especies de hormigas que se asocian y obstaculizan el control natural ejercido por predadores y parasitoides, y sirve además como sustrato para el crecimiento del hongo *Capnodium* spp. Este último es un agente causal de la fumagina, la cual inhibe el proceso de la fotosíntesis y afecta de manera negativa la respiración de la planta; esto produce la muerte de las hojas y ramas, y en poblaciones altas puede ocasionar la muerte del árbol.



Foto: Juan Carlos Campos Pinzon

Figura 45. Daño por *Heteropsylla* sp. en rama.

Enemigos naturales

De los principales depredadores de *Heteropsylla* spp. que se registraron en el cultivo de yopo en el piedemonte del departamento del Meta, se destacan diversas familias del orden Hemiptera: familia Miridae, entre ellos están: *Orthotylus* sp. (Miridae: Orthotylinae: Orthotylini) y *Stictolophus* sp. (Miridae: Bryocorinae: Eccritotarsini); también se encontraron predando ninfas y adultos, y algunos individuos de la familia Anthocoridae (figura 46a): *Oriini* sp. (Anthocoridae: Anthocorinae), *Amphiareus* sp. (Anthocoridae: Anthocorinae: Cardistethini), así como ninfas de individuos *Zelus* sp. familia Reduviidae y ninfas de Pentatomidae (figura 46b). Asimismo, se encontraron larvas y adultos del orden Neuroptera familia Chrysopidae *Crisoperla carnea* y el coccinélido *Curinus colombianus* (figura 46c).



Figura 46. Enemigos naturales de *Heteropsylla* sp. a. Ninfa de Anthocoridae; b. Larva de *Corinus colombianus*; c. Ninfa de Pentatomidae, predando ninfas de *Heteropsylla* sp.

Empoasca spp. (Hemiptera: Cicadellidae)

La familia Cicadellidae o cicadélidos, generalmente llamados saltahojas o chicharritas (Freytag & Sharkey 2002), se considera de importancia económica en cultivos. Los cicadélidos son transmisores de virus y bacterias, y al alimentarse ocasionan daños en las plantas, lo cual causa pérdida de vigor en el crecimiento de esta (Nielson, 1985); tienen un aparato bucal que se caracteriza por ser picador-chupador, con el cual se alimentan penetrando las células vegetales y extrayendo la savia de las plantas.

El género *Empoasca* tiene un amplio rango de hospederos en Colombia que se han reportado en cítricos, gramíneas, leguminosas forrajeras, hortalizas y algunas plantas ornamentales (Posada Ochoa, 1989). Los adultos de *Empoasca* tienen el cuerpo de color verde claro y miden aproximadamente 3 mm de largo y tienen alas, mientras que las ninfas no las tienen y son más pequeñas. Los adultos y ninfas se mueven por saltos y solo los adultos vuelan. En yopo, los adultos y las ninfas se alimentan con el envés de las hojas jóvenes, lo cual puede causar enrollamientos, secamiento y caída de los folíolos, aspecto que retrasa el desarrollo de la planta. En la época de producción de semilla, pueden alimentarse de las vainas, lo cual causa deformaciones y vaneamiento de las semillas.

Pandeleteius spp. (Coleoptera: Curculionidae)

El picudo o gorgojo *Pandeleteius* sp. (figura 47) está distribuido desde el sur de Canadá hasta el sur de Chile y Argentina (Howden, 2011); en Colombia, se han reportado 44 especies, de las cuales 27 son endémicas en el país (Deloya & Gasca-Álvarez, 2018). Los adultos son de color café claro, tienen los élitros grabados y su primer par de patas está más desarrollado que los otros. Los adultos presentan dimorfismo sexual, y el macho es más pequeño que la hembra (Peñaloza C. & Díaz Riveros, 2004).



Foto: Juan Carlos Campos Pinzón

Figura 47. Adulto de *Pandeletius* sp.

Pandeletius sp. es un insecto polífago, del cual se han reportado individuos que causan defoliaciones en alfalfa (Cubillos Quijano et al., 2018), café y aguacate. Del yopo se alimenta de los brotes tiernos, lo que ocasiona cortes irregulares en las márgenes de las hojas, y esto destruye gran parte de los folíolos. En estado de larva, se alimenta principalmente de raíces y pelos radicular, y luego de raíces más gruesas, lo que puede permitir la entrada de patógenos.

Geometridae

La familia Geometridae es uno de los grupos de insectos del orden Lepidóptera más diversificado y que están repartidos en todo el mundo (Gastón et al., 1995), con alrededor de 20.000 especies descritas (Munroe, 1982; Gaston et al., 1995). Heppner (1991) señala que el 38 % de la fauna de geométridos conocidos se concentra en la región neotropical. En Colombia, se desconoce la gran mayoría de especies de geométridos que se encuentran, así como su distribución en el país (Vargas & Prada Lara, 2018).

Se han reportado varias especies de esta familia que causan defoliaciones en cafetales de Colombia: *Oxydia* spp. Cramer, *Oxydia trychiata* (Guenée), *Oxydia obrundata* (Guenée) y *Oxydia noctuitaria* Walker (Benavides, 1974; Bustillo Pardey, 2020). En plantaciones de pino patula (*Pinus patula* Schiede and Deppe in Schlecht y Cham) en Pensilvania, Caldas, se originó un foco de varios géneros de esta familia (*Glena bisulca* Rindge, *Oxydia Trychiata* Guenée y *Chrysomima semilutearia* Folder y Rohenhofer), los cuales afectaron el 80 % de la plantación (Echeverry Vargas, 2019). En el piedemonte llanero (departamento del Meta), en árboles de yopo (*Mimosa trianae* Benth) se han encontrado varias especies de larvas que pertenecen a esta familia y que causan algún tipo de daño en las hojas (figura 48).



Figura 48. Larvas de geometridos.

Descripción y daños

Los geométridos son, en su mayoría, de hábitos nocturnos y crepusculares; los adultos presentan una amplia gama de patrones de coloración y una gran homocromía con los troncos de los árboles, plantas y rocas sobre las que se posan (Aizpúrua, 1987).

Las larvas se caracterizan por tener en la parte abdominal de su cuerpo solo dos pares de patas, un par anal, muy fuerte y potente, y otro par situado en el sexto segmento; de esta manera, queda un gran espacio entre estas y las patas torácicas (Aizpúrua, 1987), las cuales utilizan para desplazarse con un movimiento típico de mide cuartas, lo que les da el nombre común de “medidores” (Bustillo Pardey, 2020).

Otra característica de los geométridos es la homocromía y el mimetismo con las diferentes partes de los árboles o plantas donde habitan, ya que toman tonalidades, aspecto de ramas secas, rugosas y de yemas terminales. Además, su comportamiento es pasivo, por lo que se quedan durante mucho tiempo inmóviles, en posición erecta; esto indica que es una de las mejores maneras de pasar desapercibidas de los depredadores (Aizpúrua, 1987).

Las larvas son muy voraces y se alimentan de diferentes especies de plantas. En pino, se alimentan de las acículas trozándolas por su base, lo cual causa un gran desperdicio de follaje. En el ciprés, el daño está restringido al tercio superior del árbol y en *Eucalyctus grandis*, se comen las hojas del borde hacia adentro; en este caso, la pérdida de follaje es mínima (Rodas & Madrigal, 1996). En yopo, se alimentan de los folíolos de las hojas hasta defoliarlas totalmente.

Control natural

El control natural de las larvas comedoras de hojas es muy variado, y muchos de sus enemigos naturales se encuentran en los grupos de parasitoides predadores y entomopatógenos (tabla 12); estos últimos ayudan a evitar pérdidas de follaje en los árboles. Lo que permite su óptimo desarrollo.

Entre los predadores hay avispas de diferentes especies *Synoecca*, *Polistes* y *Polybia*, las cuales son capaces de consumir un gran número de larvas por día y esto permite un buen control y evita la defoliación de los árboles. Otros predadores que se presentan frecuentemente en las plantaciones de yopo son: Neuropteros de la familia Chrysopidae, Mantispidae, Heteroptera de la familia Reduviidae y Pentatomidae, Hymenoptera de la familia Formicidae y subfamilia Ectatomminae.

Las arañas son depredadores capaces de reducir las poblaciones de insectos plaga en agroecosistemas (Armendano & González, 2011). Las familias de arañas que viven en los árboles contribuyen al eficiente control de larvas y adultos de lepidópteros presentes en las plantaciones. Las principales familias de arañas asociadas a los árboles de yopo son: Salticidae, Araneidae, Lycosidae, Linyphiidae, Thomisidae y Clubionidae.

Los parasitoides se presentan de manera natural y brindan un aporte importante al control de la plaga. Los más conocidos son los que atacan su estado de huevo, de los cuales es común encontrar especies de los géneros *Telenomus* y *Trichogramma*. También hay especies de *Apanteles*, *Cotesia* que atacan larvas de los primeros instares. En los estados de larva y pupa, existe una gama importante de avispas de la familia Ichneumonidae y moscas de la familia Tachinidae, las cuales hacen el control de estos estados (Bustillo Pardey, 2020).

Los entomopatógenos que se presentan con mayor incidencia son los virus de la poliedrosis nuclear y algunos tipos de bacterias y hongos de los géneros *Cordyceps* y *Numorea*. Si las poblaciones están fuera de control, se recomienda realizar aspersiones con formulaciones de *Bacillus thuringiensis* y del hongo *Beauveria bassiana* (Bustillo Pardey, 2020).

Tabla 12. Principales enemigos naturales asociados al yopo (*M. trianae*)

Orden	Familia	Enemigo natural
Hemiptera	Reduviidae	<i>Zelus</i> sp.
		<i>Zelus armillatus</i>
		<i>Atopocelus</i> sp.
		<i>Sinea</i> sp.
	Miridae	<i>Orthotylus</i> sp.
		Phylini
		<i>Stictolophus</i> sp.
	Anthocoridae	<i>Orius</i> sp.
		<i>Amphiareus</i> sp.
		<i>Paratriphleps</i> sp.
		<i>Calliodis</i> sp.
Neuroptera	Mantispidae	<i>Dicromantispa debilis</i> (Gerstaecker, 1888)
	Chrysopidae	<i>Chrysopa</i> sp.
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Curinus colombianus</i>
		<i>Scymnus</i> sp.
Hymenoptera	Formicidae	<i>Ectatomma ruidum</i>
Diptera	Syrphidae	<i>Allograpta</i> sp.
Araneae	Salticidae	
	Thomisidae	
	Clubionidae	
	Araneidae	
	Linyphiidae	

Fuente: Elaboración propia





Capítulo IX

Indicadores económicos

Adriana María Molina Romero, Jessica Moreno Barragán,
Manuel Eduardo Ostos Triana, Hebert Camargo Tamayo

Para visualizar el panorama económico en un sistema productivo de mediano o largo plazo como lo es el yopo (*M. trianae*), fue necesario conocer el comportamiento y la tendencia del mercado a nivel regional y local, los cuales reflejaron la situación actual y futura de los productores, consumidores, proveedores, distribuidores de productos maderables o productos leñosos, e incluso las limitaciones de tramitología (registro) institucional, económica y social. Para ello, se realizó un estudio de mercado que contempló la evaluación de 86 establecimientos en el Meta y 3 en Cundinamarca; esto permitió identificar las características relevantes de la demanda y la oferta en la leña de la Orinoquia (figura 49).

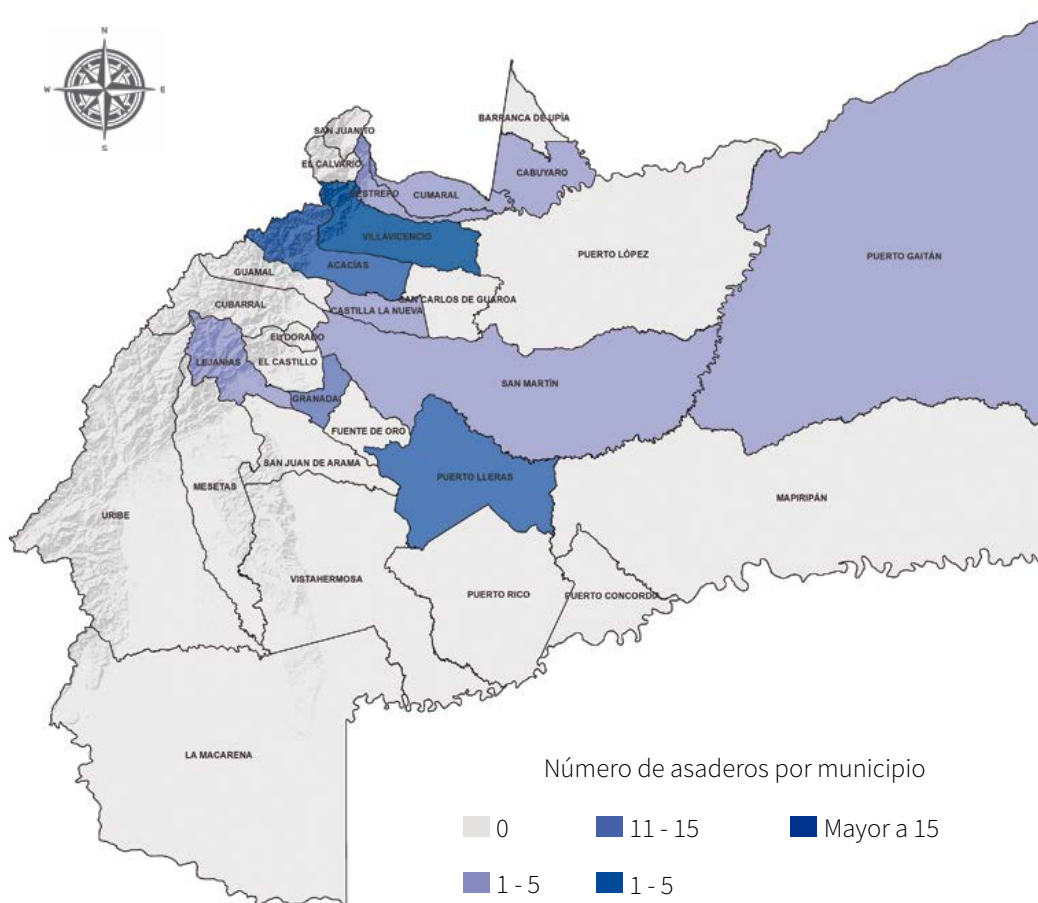


Figura 49. Mapa de número de asaderos por municipio.

Fuente: Elaboración propia

La demanda de madera de yopo (*M. trianae*) se basa principalmente en el uso de leña para la cocción de alimentos en restaurantes y asaderos. Uno de los platos tradicionales en la región de los Llanos Orientales, es la “mamona” (carne llanera), que por costumbre se asa la carne con leña de yopo u otras especies forestales (figura 50). Por su cercanía geográfica y comportamiento cultural y gastronómico similar a la llanera, el municipio de Paratebueno en Cundinamarca fue incluido en el análisis del área de estudio.



Figura 50. Leña usada para la preparación de carne a la llanera.

En las encuestas realizadas, se encontró que el 91 % de los restaurantes tiene como actividad principal la preparación de carne (uno de los platos típicos de la región); el 6 % prepara pescado y carne asada en vara; el 1 %, pollo y carne, y el 2 %, chorizos. Las principales especies que se usan para el consumo de madera como leña en los asaderos son: yopo (*M. trianae*), caño fistol (*C. moschata*) y naranjo (*C. sinensis*), entre otras especies. Se observó también que las dos especies que más se emplean son nativas, aunque son especies con poca demanda en ebanistería y construcción, y tienen un mercado muy definido en el uso de madera como leña.

La mayoría de los propietarios de los restaurantes prefieren el yopo sobre las otras especies, debido a sus propiedades, las cuales mejoran la preparación del asado. En general, para el 87 % de los consumidores las propiedades de la leña de yopo son el principal motivo de preferencia (figura 51), pues esto la diferencia de las demás especies. Dentro de dichas propiedades están: la abundante brasa, que da mejor sabor, y las cantidades reducidas de humo, lo cual permite que los clientes se sientan más cómodos. El 50 % indicó que le es indiferente comprar la leña verde o seca, y en cuanto a la preferencia de los diámetros del tronco, se encontró que el 70 % de los asaderos prefiere entre 20 y 30 centímetros de diámetro. Usualmente, los que son de menos de 10 cm se utilizan para otros platos del establecimiento, como sopas (sancochos), cocción de papas, yuca, entre otros acompañantes.

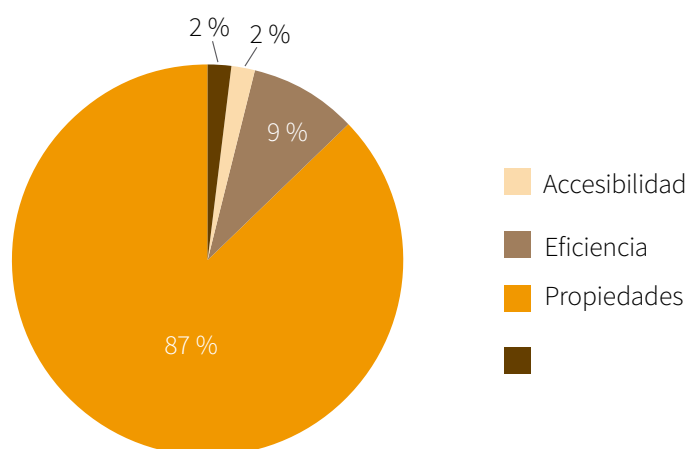


Figura 51. Motivo de preferencia por el cual se compra la leña de *M. trianae*.

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se observó que el 57 % de los consumidores de leña no sabe de dónde proviene su leña, mientras que el 43 % sí lo sabe. Es importante resaltar que la especie, aunque es muy utilizada y preferida en la zona, ya no se utiliza como antes; esto no obedece a una preferencia a las demás especies por sus propiedades, sino por la disponibilidad.

En relación con el volumen comprado de leña para 2019 de los 86 establecimientos, se obtuvo un total de 8.544 m³/anuales de leña para todas las especies; el 55 % de la leña comprada era de yopo (*M. trianae*), porque se vende mezclada con otra especie (44 %) o como única especie (11 %), y el restante 45 % correspondió a leñas de otras especies diferente a yopo (*M. trianae*). Después de descargar dicho volumen para conocer la cantidad de leña comprada de yopo (*M. trianae*), se llegó a la estimación correspondiente de 3.111 m³/anuales, que equivalen al 35 % del total de la leña comprada, y el restante es leña de otras especies; sin embargo, el 65 % de consumidores que compra otras especies prefiere en algunas ocasiones adquirir yopo, pero por falta de disponibilidad no lo puede hacer (figura 52).

Los precios de la leña oscilan entre \$80.000 y \$100.000 por metro cúbico. Este precio depende del volumen total comprado por asadero, de la disponibilidad o de la cercanía de la leña al establecimiento. Vale la pena resaltar que la leña de yopo es la más costosa en el mercado, en comparación con otras.

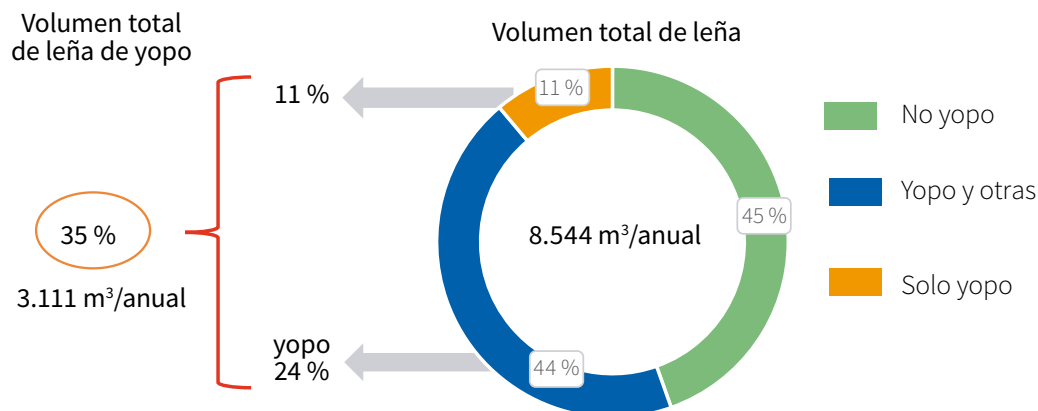


Figura 52. Volumen de yopo (*M. trianae*) vs. total de leña comprada.

Fuente: Elaboración propia

La identificación de la oferta y de los canales de comercialización de la leña se enfocó en las plantaciones forestales y agroforestales de yopo, con el fin de ser aprovechadas para el uso de la madera como leña; sin embargo, durante el estudio de la demanda se encontró que la mayoría de los propietarios de los establecimientos (restaurantes o asaderos) no conoce la procedencia de la leña, pues se la compran a intermediarios o proviene de arreglos en la vías, entre otros; esto no permite ubicar a los productores de yopo fácilmente.

Se identificaron cuatro productores de yopo con plantaciones ubicadas en los municipios de Acacías, San Martín, Guamal y San Carlos de Guaroa. En general, estos manifestaron ser comercializadores de leña de yopo (*M. trianae*); no obstante, comercializan también otras especies como caño fistol (*C. moschata*), acacia (*Acacia mangium*), cedro rosado (*Cedrela fissilis*) y pino (*Pinus caribaea*). El área sembrada en las plantaciones de yopo fue de 45 ha comerciales.

Las áreas fueron establecidas a partir del sistema de monocultivo, con distancias de siembra en la mayoría de 4 x 4 metros. El turno del aprovechamiento varía entre 4 y 8 años desde la siembra del árbol, con material proveniente de la compra de semilla para la creación del propio vivero y de la compra de plántulas.

El volumen de venta anual fue de 982 m³, determinado por las ventas realizadas en noviembre, diciembre, enero y febrero, lo que corresponde al 31 % de la demanda del Meta. Esto quiere decir que el 69 % restante lo sustituye la ilegalidad o los productores a los que no se pudo encuestar. En promedio, la leña de yopo (*M. trianae*) tiene un precio en el mercado entre \$90.000 y \$100.000 por metro cúbico con intermediación. La forma de pago que más se usa es a crédito; algunos ofrecen facilidades de pago, como 50 % de contado y 50 % a crédito de 8 a 10 días; otros manejan créditos de 8 a 20 días. La oferta de leña de yopo (*M. trianae*), para 2019, en el departamento del Meta fue de 982 m³, que corresponden a las ventas anuales de tres plantaciones que estuvieron entre 250 y 480 m³, lo cual solo suple el 31 % de la demanda (3.111 m³). Esto genera un exceso en la demanda de 2.129 m³, que refleja la brecha existente entre la oferta y la demanda del yopo (*M. trianae*) (figura 53).

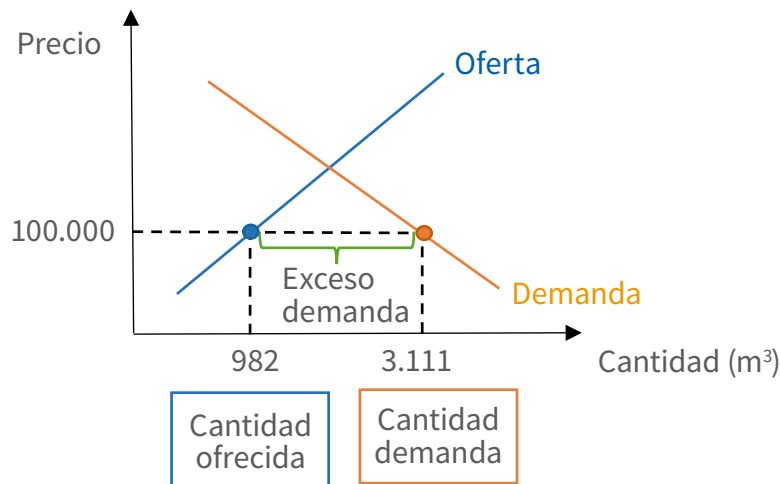


Figura 53. Exceso de demanda de yopo (*M. trianae*).

Fuente: Elaboración propia

En la actualidad, se cuenta con el trabajo de Molina-Romero et al. (2022), que permite identificar por grupos las características de los consumidores de leña no solo de yopo, sino también de todas las especies que hay en la Orinoquia, lo que evidencia la importancia de este mercado en la región.

En conjunto, y con las características identificadas del mercado, los costos de producción son los que proporcionan información relevante desde el establecimiento, mantenimiento y aprovechamiento de la plantación. Por lo tanto, se presentan a continuación los costos técnicos establecidos en 1 hectárea de yopo (*M. trianae*), ubicado en el Centro de Investigación La Libertad, con una densidad de siembra de 400 árboles/ha por 5,5 años (tablas 13, 14 y 15).

Los primeros costos registrados fueron los de establecimiento (al comenzar la plantación) y de ellos depende el buen estado de la explotación y su productividad. Estos abordan actividades de preparación del terreno, siembra, control de malezas, fertilizaciones, controles fitosanitarios, entre otros. Por esta razón, las inversiones iniciales fueron las más altas en el ciclo productivo (tabla 13).

Tabla 13. Costos de establecimiento de la plantación sin arriendo con precios constantes (1 ha)

Actividades	Valor *	Participación
Establecimiento	\$1.460.000	
Adecuación de tierras	\$890.000	39 %
Siembra	\$420.000	19 %
Otras actividades	\$150.000	7 %
Mantenimientos	\$736.784	
Control de malezas	\$350.000	15 %
Fertilización	\$106.784	5 %
Protección forestal	\$280.000	12 %
Otros costos o gastos	\$65.904	3 %
Egresos totales	\$2.262.688	

* Los precios tomados son de investigación, por lo que exceden a los del mercado.

Fuente: Elaboración propia

Los costos de producción para el establecimiento de una hectárea de yopo (*M. trianae*) fueron de \$ 2.262.688 sin arriendo. Usualmente, como son plantaciones de mediano y largo plazo, los predios son propios, pero si no se cuenta con este bien se puede suponer un costo de oportunidad por la tierra entre \$100.000 y \$300.000, dependiendo de la ubicación del predio, lo que corresponde a un costo de establecimiento entre \$2.362.688 y \$ 2.562.688.

En términos porcentuales, la actividad más costosa realizada en el establecimiento es la adecuación de tierras, en especial, por las enmiendas que se deben aplicar debido a la calidad del suelo de la Orinoquia. Luego, año tras año se incurre en costos de mantenimiento, que son aquellas actividades que se llevan a cabo periódicamente para el buen desarrollo de la plantación, como el control de malezas; otros costos registrados se relacionan con el aprovechamiento final.

Tabla 14. Costos de mantenimiento y aprovechamiento de la plantación sin arriendo con precios constantes

Actividades	2	3	4	5
	Valor*	Valor*	Valor*	Valor*
Mantenimientos (control malezas)	\$350.000	\$350.000	\$350.000	
Aprovechamiento (cosecha final)				\$1.500.000
Otros costos o gastos	\$10.500	\$10.500	\$10.500	\$795.000
Egresos totales	\$360.500	\$360.500	\$360.500	\$2.295.000

* Los precios tomados son de investigación, por lo que exceden a los del mercado.

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, los costos de producción para una hectárea de yopo (*M. trianae*) fueron de \$5.639.187 sin arriendo, y con arriendo estuvieron entre \$ 6.139.187 y \$ 7.139.187. Los ingresos obtenidos en el año cinco como único aprovechamiento de la plantación fueron de \$10.000.000, con un rendimiento de 100 m³/ha a un precio promedio de mercado de \$100.000 /m³. En la tabla 15, se detallan las entradas y salidas de caja o efectivo de la plantación.

Tabla 15. Flujo de caja neto de la plantación sin arriendo con precios constantes

Rubros	Años				
	1	2	3	4	5
Ingresos totales					\$ 10.000.000
Egresos totales	\$ 2.262.688	\$ 360.500	\$ 360.500	\$ 360.500	\$ 2.295.000
Flujo caja neto	\$ 2.262.688	\$(360.500)	\$ 360.500	\$ 360.500	\$ 7.705.000

Fuente: Elaboración propia

La utilidad obtenida para una hectárea de yopo (*M. trianae*) fue de \$ 4.360.812 sin arriendo y con arriendo, entre \$ 3.860.812 y \$ 2.860.812. Con esta información se calcularon los indicadores económicos más utilizados en análisis financieros: el valor presente neto (VPN) mostró una ganancia de \$ 1.578.677, lo que determinó la viabilidad de la plantación; la tasa interna de retorno (TIR) fue del 27 %, y superó la tasa del 12 %, lo cual significa que fue más rentable a lo que podía haberse obtenido con otra inversión (costo oportunidad), y la relación beneficio-costó estuvo

en 1,77, con la cual se presentó el excedente que se obtuvo por cada peso invertido, luego de recuperar la inversión realizada. Es decir que por \$1 invertido se generó \$0,77 de ganancia.

Este tipo de evaluaciones, además de mostrar los costos de la plantación a partir de las técnicas de manejo adecuado, permite identificar los costos por actividad y exponer las ventajas financieras de la inversión. Igualmente, los costos son una fuente para la toma de decisiones en aspectos de competitividad, crédito y expansión de nuevas áreas de esta especie.

Referencias

- Acero Duarte, L. E. (2005). *Plantas útiles de la cuenca del Orinoco*. Ecopetrol; BP Exploration Company; Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (Corporinoquia).
- Acosta-Hernández, C. C., Luna-Rodríguez, M., Noa-Carrazana, J. C., Galindo-González, J., Vázquez-Torres, S. M., Morales-Romero, Z., e Iglesias-Andreu, L. G. (2011). Caracterización morfológica y dasométrica de la especie amenazada *Juglans pyriformis* Liebm. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1), 59-67.
- Agudelo Castaño, C. N., & Almanza Jaramillo, M. M. (2010). *Diagnóstico, evaluación y desarrollo de buenas prácticas de manejo en el proceso de elaboración de carbón de leña con cuatro especies dendroenergéticas en el departamento del Meta* [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5296>
- Aizpúrua, C. G. (1987). *Biología y morfología de las orugas lepidoptera: Tomo III. Geometridae*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_plagas%2FBSVP-Fuera_de_serie-08.pdf
- Alarcón Restrepo, J. J., Arévalo Peñaranda, E., Díaz Jiménez, A. L., Galindo Álvarez, J. R., & Rosero, A. A. (2012). *Manejo integrado de plagas enfermedades en el cultivo del caucho (Hevea brasiliensis). Medidas para la temporada invernal*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Alvarado, A., & Raigosa, J. (2007). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. Centro de Investigaciones Agronómicas*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Amézquita, E. (2004). *La fertilidad física del suelo*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29045>
- Aristizábal Hernández, J. D. (2010). Estufas mejoradas y bancos de leña: una alternativa de autoabastecimiento energético a nivel de finca para dependientes de los bosques de roble de la cordillera Oriental. *Colombia forestal*, 13(2), 245-256.
- Armendano, A., & González, A. (2010). Comunidad de arañas (Arachnida, Araneae) del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) en Buenos Aires, Argentina. *Revista de Biología Tropical*, 58(2), 747-757. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i2.5243>

- Arnáez-Serrano, E., & Moreira-González, I. (2006). Estudio de raíces en *Hieronyma alchorneoides* Allemao (pilón) en Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 3(9), 1-11.
- Azkue, M. (2009). *La fenología como herramienta en la agroclimatología*. www.infoagro.com/frutas/fenologia.htm
- Benavides G., M. (1974). Gusanos medidores en cafetales. *Avances Técnicos Cenicafe* (33). <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/975/1/avt0033.pdf>
- Beltrán Guarnizo, L. (2011). *Alternativas tecnológicas para recuperar la cobertura vegetal en las áreas afectadas por obras de ingeniería civil en la zona de influencia de campo Rubiales en Puerto Gaitán-Meta*. Universidad de los Llanos.
- Bioversity International & Cherla. (2008). *Descriptor para chirimoya (Annona cherimola Mill.)*. <https://cgspace.cgiar.org/items/2260889c-3acc-4a03-9ff2-8bebeddac0ca>
- Bongiorno de Pfirter, G., & Mandrile, E. L. (1983). Principios activos con acción alucinógena: II. Bufotenina y otras triptaminas. Su presencia en *Anadenanthera peregrina* (L) Spegazzini (Leguminosae). *Acta Farmacéutica Bonaerense*, 2(1), 47-54.
- Borchert, R. (1983). Phenology and control of flowering in tropical trees. *Biotropica*, 15(2), 81-89. <https://doi.org/10.2307/2387949>
- Borchert, R., Calle, Z., Strahler, A., Baertschi, A., Magill, R., Broadhead, J., Kamau, J., Njoroge, J., & Muthuri, C. (2015). Insolation and photoperiodic control of tree development near the equator. *New Phytologist*, 205(1), 7-13. <https://doi.org/10.1111/nph.12981>
- Burckhardt, D., & Queiroz, D. L. (2012) Lista de verificación y comentarios sobre los piojos saltadores de las plantas (Hemiptera: Psylloidea) de Brasil. *Zootaxa*, 3571(1), 26-48. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3571.1.2>
- Bustillo Pardey, A. E. (2020). Gusanos defoliadores del cafeto (Lepidoptera: Geometridae). En A. E. Bustillo Pardey (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 355-363). Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafe).
- Calle Días, Z., & Murgueitio Restrepo, E. (2020). *Árboles nativos para predios ganaderos. Especies focales del Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible*. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). https://elti.yale.edu/sites/default/files/rsourc_files/arboles_nativos_para_predios_ganaderos.pdf
- Cárdenas Torres, M. A. (2018). *Contribución al conocimiento de la diversidad forestal en ecosistemas naturales y semi-naturales del piedemonte llanero en Colombia* [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. <https://docta.ucm.es/entities/publication/741dfb11-621b-4dbe-9356-9835905d78b2>

- Carmona Atencio, H., Villa Lopera, A., Manrique, G., & Prieto, J. (1999). *Diseño de un proyecto piloto dendroenergético y formulación de lineamientos de políticas, estrategias e instrumentos para el fomento de sistemas dendroenergéticos en Colombia*. Ministerio de Minas y Energía.
- Carvajal Rojas, L., López Rojas, C. A., Patarroyo Varón, J., Gualdrón Díaz, A. L., Jiménez Castelblanco, M. F., & Garzón Garzón, A. E. (2007). *Composición florística y estructural del bosque de Galería. Puerto López, Meta. Catálogo ilustrado de especies*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).
- Carvajal Rojas, L., Ariza Cortés, W., & Rodríguez Bolaños, A. (2014). *Flora del bosque de los Guayupes -cuenca del río Guayuriba- Acacias, Meta*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena); Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Castañeda-Garzón, S. L., Argüelles-Cárdenas, J. H., Zuluaga-Peláez, J. J., & Moreno-Barragán, J. (2021). Evaluación de la variabilidad fenotípica en *Simarouba amara* Aubl., mediante descriptores cualitativos y cuantitativos. *Orinoquia*, 25(1), 67-77. <https://doi.org/10.22579/20112629.656>
- Castañeda-Garzón, S. L., Moreno-Barragán, J., Argüelles-Cárdenas, J. H., Camargo-Tamayo, H., & Zuluaga-Peláez, J. J. (2021). Caracterización morfológica y dasométrica de *Mimosa trianae* y *Cassia moschata* de la colección de Agrosavia. *Temas Agrarios*, 26(1), 46-57. <https://doi.org/10.21897/rta.v26i1.2553>
- Castaño Uribe, C. (Ed.). (2002). *Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición HotSpot y Global Climatic Tensor*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).
- Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], & Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena [Cormacarena]. (2018). *Plan regional integral de cambio climático para la Orinoquia: departamento del Meta*. Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT].
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2019). *GA-G-17 Guía toma de Muestras de Suelo para Análisis Químicos y Físicos* [documento interno].
- Cubillos Quijano, L. G., Lizarazo, P., Bernal Valbuena, P. A., Pulido Forero, J. C., Cárdenas, E. A., Carulla, J. E. (2018). *Nuevos materiales forrajeros para la producción de leche en la provincia del Valle de Ubaté*. Trial Group.
- Deloya, C., & Gasca-Álvarez, H. J. (Eds.). (2018). Avances en el estudio de los coleópteros del neotrópico. En *Escarabajos del neotrópico (Insecta: Coleoptera)* (pp. 1-7). SyG Editores.
- Dey, S. K., & Datta, B. (2013). High density planting-an option for higher productivity of rubber (*Hevea brasiliensis*) in north eastern region of India. *Journal of Plantation Crops*, 41(3), 338-342.

- Di Sacco, A., Way, M., León Lobos, P., Suárez Ballesteros, C. I., & Díaz Rodríguez, J. V. (2020). *Manual de recolección, procesamiento y conservación de semillas de plantas silvestres*. Royal Botanic Gardens, Kew; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Echeverry Vargas, J. E. (2019). *Manual protocolo de muestreo. Insecto plaga defoliadoras de coníferas*. Matiz Taller Editorial. https://fedemaderas.org.co/wp-content/uploads/2019/12/Cartilla_Protocolo-de-muestreo_compressed.pdf
- Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural [Embrater]. (1983). *Cultura da seringueira - Norte: manual técnico*. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/677480>
- Eraso Rosero, H., & Toro Delgado, C. (2006). *Manual técnico del cultivo de caucho (Hevea brasiliensis)*. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta).
- Fonseca Urrego, I., & García Rubio, F. (2007). *Abecé forestal: herramientas para tomar decisiones*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/23997>
- Freytag, P. H., & Sharkey, M. J. (2002). A preliminary list of the leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae) of Colombia. *Biota Colombiana*, 3(2), 235-283.
- García Velásquez, O. M. (2014). *Establecimiento de bancos dendroenergéticos de la especie Yopo (Anadenanthera peregrina) con el fin de mejorar la calidad de vida de 70 familias del municipio de Mapiripan, departamento del Meta* [Pasantía]. Universidad de los Llanos.
- Gaston, K. J., Scoble, M. J., & Cook, A. (1995). Patterns in species descriptions: a case study using the Geometridae (Lepidoptera). *Biological Journal Linnean Society*, 55(3), 225-237. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1995.tb01061.x>
- Giraldo Sánchez, A. M. (2020). *Fenología, crecimiento y diversidad genética de Mimosa trianae Benth en el piedemonte orinocense y el Valle del Cauca, Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/80001/38895512.2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Guevara Bonilla, M. (2017). *Productividad y manejo de cultivos dendroenergéticos*. Universidad Nacional de Ciencias Forestales.
- Gutiérrez Rodríguez, E., Moreno Orjuela R. D., & Villota Echeverry, N. (2013). *Guía de cubicación de la madera*. Corporación Autónoma Regional del Risaralda.

- Gutiérrez Vanegas, A. J. (2014). *Aportes a la rehabilitación ecosistémica de áreas riparias con énfasis en calidad de suelos y producción dendroenergética, por medio de arreglos agroforestales en zonas ganaderas del piedemonte llanero* [Tesis de maestría, Escuela de Formación de Investigadores y Capacitación en Agricultura Tropical, Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas]. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/238>
- Gutiérrez Vanegas, A. J., Moreno Barragán, J., Camargo Tamayo, H., Molina Romero, A. M., Correa Pinilla, D. E., Ostos Triana, M. E., López Hernández, F. G., Porcel Wilches, M., González Orozco, C. E., & Campos, J. C. (2020). *Evaluación de especies arbustivas y arbóreas para uso múltiple en diferentes agroecosistemas de Colombia* [Informe final]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Guyat, M. A., Mercadet, A., & Padrón, R. (2004). La dendroenergía: consideraciones generales. *Revista Forestal Baracoa*, (23), 129-136.
- Hein, S., Weiskittel, A. R., & Kohnle, U. (2008). Effect of wide spacing on tree growth, branch and sapwood properties of young Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] in south-western Germany. *European Journal of Forest Research*, 127(6), 481-493. <https://doi.org/10.1007/s10342-008-0231-9>
- Heppner, J. B. (1991). *Faunal Regions and the diversity of Lepidoptera*. Association for Tropical Lepidoptera.
- Herrera-Gorocica, A. M. (2014). *Longitud específica de las raíces durante la sucesión secundaria en el bosque tropical seco de la costa del pacífico* [Tesis doctoral, Instituto Tecnológico de Conkal].
- Hinostroza, C. (1994). *Determinación del poder calorífico de tres especies de Eucalyptus del valle del Mantaro* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Hodkinson, I. D., & Muddiman, S. B. (1993). A new species of *Heteropsylla* Crawford from Ecuador with new host-plant and distribution record for the genus (Homoptera, Psylloidea) *Beiträge Zur Entomologie*, 43(2), 441-443. <https://doi.org/10.21248/contrib.entomol.43.2.441-443>
- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center.
- Howden, A. T. (2011). On some species of *Pandeleiteius* Schoenherr, 1834, in South America south of the tenth parallel (Coleoptera, Curculionidae: Entiminae: Tanymecini). *Zootaxa*, 2977(1), 50-60. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2977.1.2>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2010). Resolución 002457. "Por medio de la cual se establece los requisitos para el registro de personas que se dediquen a la producción y comercialización de semillas para siembra y plántulas de especies forestales y se dictan otras disposiciones". https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_2457_de_2010_ica_-_instituto_colombiano_agropecuario.aspx#/

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2017a). *Atlas climatológico de Colombia 1981-2010*. <http://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/index.html>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2017b). *Precipitación media total anual promedio multianual durante el periodo 1981-2010*. <https://sites.google.com/ideam.gov.co/infoambiental-ideam/SIA/Datos-abiertos-geograficos->
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2017c). *Precipitación media total mensual promedio multianual durante el periodo 1981-2010*. <https://sites.google.com/ideam.gov.co/infoambiental-ideam/SIA/Datos-abiertos-geograficos->
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2017d). *Temperatura media anual promedio multianual periodo 1981-2010*. <https://sites.google.com/ideam.gov.co/infoambiental-ideam/SIA/Datos-abiertos-geograficos->
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (1999). *Paisajes fisiográficos de Orinoquia-Amazonia (ORAM) Colombia*. Ministerio de Hacienda y Crédito Público; Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2004). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento del Meta*.
- Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos [IPGRI]. (1996). Descriptores del café (*Coffea* spp. y *Psilanthus* spp.). https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/72790/Descriptores_caf%c3%a9_487.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos [IPGRI]. (2000). *Descriptors for Jackfruit (Artocarpus heterophyllus)*. https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/72703/Descriptors%20for%20jackfruit_369.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Janzen, D.H. (1967). Synchronization of sexual reproduction of trees within the dry season in Central America. *Evolution*, 21(3), 620-637. <https://doi.org/10.2307/2406621>
- Jiménez, F., Muschler, R., & Kopsell, E. (Eds.). (2001). *Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie).
- Juárez-Noé, G., Grados, N., & Cruz, G. (2016). Insectos asociados a *Prosopis pallida* (Humb. & Bonpl. ex Wild.) en el campus de la Universidad de Piura, Perú. *Zonas Áridas*, 16(1), 28-51. <https://doi.org/10.21704/za.v16i1.635>
- Kehlenbeck, K., Padulosi, S., & Alercia, A. (2015). *Descriptors for Baobab (Adansonia digitata L.)*. Bioversity International. http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/Descriptors_for_Baobab__Adansonia_digitata_L.__1859.pdf

- Klein, C., & Campos, L. (1984). Biocenosis del tamaguro (*Prosopis tamaguro philippi*) con especial referencia de los artrópodos fitófagos y sus enemigos naturales. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 85(1), 86-108. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1978.tb04020.x>
- López-Gallego, C., & Morales, M., P. (2020). *Mimosa trianae*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T153332591A153332594. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T153332591A153332594.es>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Social [MADS]; Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [MVCT]; Instituto Colombiano de Desarrollo Rural [Incoder]; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]; Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales [UAESPNN]; Instituto Humboldt; [Invemar]; Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas [Sinchi], e Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2012). *Estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano. Escala 1:100.000*. Imprenta Nacional.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]. (2010). *Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas*.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], & Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal [Conif]. (2003). *Guía metodológica para la restauración de ecosistemas a partir del manejo de la vegetación*.
- Mantovani, M., Ruschel, A. R., Sedrez dos Reis, M., Puchalski, A., & Nodari, R. O. (2003). Fenología reproductiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da floresta atlântica. *Revista Árvore*, 27(4), 451-458. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000400005>
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. Instituto Internacional de la Potasa Bailea.
- Molina-Romero, A. M., Moreno-Barragán, J., Castañeda-Garzón, S. L., & Argüelles-Cárdenas, J. H. (2022). Caracterización de restaurantes consumidores de leña en el Meta, Cundinamarca y Casanare. *Orinoquia*, 26(1), 65-73. <https://doi.org/10.22579/20112629.733>
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales* [Informe técnico n.º 402]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie); Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Cipav).
- Morales Ríos, E. A. (1997). *Arquitectura y distribución espacial de raíces de Eucalyptus deglupta de un sistema agroforestal simultáneo en Coffea arabica* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/460>

- Mormontoy, S., Martos, A., Manta, A., & Chura, J. (2015). Infestación, daño y enemigos naturales de *Heteropsylla texana* en algarrobo (*Prosopis* sp.) en Tongorrape (Motupe - Lambayeque). *Anales Científicos*, 81(2), 355-364. <https://doi.org/10.21704/ac.v81i2.1664>
- Muddiman, S. B., Hodkinson, I. D., & Hollis D. (1992). Psílidos que se alimentan de leguminosas del género *Heteropsylla* (Homóptera: Psylloidea). *Bulletin of Entomological Research*, 82(1), 73-117. <https://doi.org/10.1017/S0007485300051518>
- Munroe, E. (1982). Lepidoptera. En S. B. Parked (Ed.), *Synopsis and classification of living organisms* (pp. 612-651). McGraw-Hill.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). *Introducción a la dendroenergía*. <https://doi.org/10.4060/cb0619es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2011). *Guía para la planificación de normas fitosanitarias en el sector forestal*.
- Ortega Davis, E. H. (2015). Usos tradicionales de las plantas de la Orinoquia colombiana. *UGCiencia*, 21, 16-28.
- Ortiz Muñoz, E., Acosta Hernández, C. C., Linares Márquez, P., Morales Romero, Z., & Rebolledo Camacho, V. (2017). Selección de árboles semilleros de *Juglans pyriformis* Liebm. en poblaciones naturales de Coatepec y Coacoatzintla, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(38), 43-58. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i38.3>
- Pérez de Azkue, M., Soto, E., & Avilan, L. (2004). Descripción de la fenología en tres cultivares de cítricos en la zona central de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 21(4), 102-108. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26525>
- Naji, H. R., & Sahri, M. H. (2012). Intra-and inter-clonal tree growth variations of *Hevea brasiliensis*. *Journal of Forestry Research*, 23(3), 429-434. <https://doi.org/10.1007/s11676-012-0280-2>
- Neild, R. E., & Seeley, M. W. (1977). *Growing degree days predictions for corn and sorghum development and some applications to crop production in Nebraska* [Boletín de investigación N.º 280]. Universidad de Nebraska. <https://core.ac.uk/download/pdf/77948938.pdf>
- Newstrom, L. E., Frankie, G. W., & Baker, H. G. (1994). A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica*, 26(2), 141-159. <https://doi.org/10.2307/2388804>
- Nielson, M. W. (1985). Leafhopper systematic. En L. R. Nault, & J. G. Rodríguez. (Eds.), *The leafhoppers and planthoppers* (pp. 11-39). John Wiley & Sons.
- Peñaloza C., M. C., & Díaz Riveros, G. (2004). *Así se maneja y controla el picudo de los cítricos Compsus sp.* Instituto Colombiano Agropecuario (ICA); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Pérez Leal, F. (2017). *Fisiología vegetal, parte III: nutrición mineral*. Universidad Nacional de Ucayali. <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3201/000026082L.pdf>
- Pezo, D., e Ibrahim, M. (1998). *Sistemas silvopastoriles*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie).
- Posada Ochoa, L. (1989). *Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia* [Boletín técnico n.º 43]. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Quiceno Urbina, N. J., Tangarife Marín, G. M., & Álvarez León, R. (2016). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el Resguardo Indígena Piapoco Chigüiro-Chátare de Barrancominas, departamento del Guainía (Colombia). *Luna Azul*, (43), 171-202. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.9>
- Rendón-Mera, D. I., Serna, F., & Burckhardt, D. (2017). Sinopsis genérica del piojo saltador de las plantas (Hemiptera: Sternorrhyncha: Psylloidea) de Colombia. *Zootaxa*, 4350(3), 436-468. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4350.3.2>
- Rincón Castillo, A., Bueno Guzmán, G. A., Álvarez de León, M., Pardo Barbosa, O., Pérez López, O., & Caicedo Guerrero, S. (2010). *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos*. Corporación Colombiana de Investigación (Corpoica).
- Ríos, O. V. (2011). Los pasos fundamentales en la restauración ecológica. En *La restauración ecológica en la práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica* (pp. 19-40). Universidad Nacional de Colombia.
- Rodas, C. A., & Madrigal, C. A. (1996). *Chrysomima semilutearia* (feldery rohenhofer) (lep.: geometridae) nuevo defoliador de importancia forestal en Colombia. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente*, 11(1). <https://www.redalyc.org/pdf/113/11311102.pdf>
- Romero, C. (2022). *Mimosa trianae* Benth. En R. Bernal, S. R. Gradstein, & M. Celis (Eds.), *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Roncancio, D. (2001). *Guías técnicas para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales productivas en el litoral ecuatoriano*. Corporación de Desarrollo Forestal y Maderero del Ecuador (Cormadera).
- Saavedra-Romero, L. de L., Alvarado-Rosales, D., Hernández-de la Rosa, P., Martínez-Trinidad, T., Mora-Aguilera, G., & Villa-Castillo, J. (2016). Condición de copa, indicador de salud en árboles urbanos del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. *Madera y Bosques*, 22(2), 15-27. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221321>

- Santos-Silva, J., Fragomeni, S. M., & de Goulart de Azevedo Tozzi, A. M. G. (2015). Revisão taxonômica das espécies de *Mimosa* ser. *Leiocarpae sensu lato* (Leguminosae-Mimosoideae). *Rodriguésia*, 66(1), 95-154. <https://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201566107>
- Society for Ecological Restoration International [SER]. (2004). *Principios de SER International sobre la restauración ecológica*. https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-spanish.pdf
- Talora, D. C., & Morellato, P. C. (2000). Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. *Brazilian Journal of Botany*, 23(1), 13-26. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042000000100002>
- Thirakul, S. (1998). *Manual de dendrología para 146 especies forestales del litoral Atlántico de Honduras*. Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal; Administración Forestal del Estado/ (AFE); Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR).
- Torres, C. M., & Repke, D. B. (2014). *Anadenanthera: visionary plant of ancient South America*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315864594>
- Urbina Vallejo, V. (2001). *Morfología y desarrollo vegetativo de los frutales*. <https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/0198d042-0776-4ac0-b69e-142ebb79ec16/content>
- Vargas, S. A., & Prada Lara, L. (2018). *Los geométridos (Lepidoptera: Geometridae) del Parque Nacional Natural Utría, Chocó, Colombia. Cali, Colombia [Conferencia]*. Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. https://www.researchgate.net/publication/340223118_Los_geometridos_LepidopteraGeometridae_del_Parque_Nacional_Natural_Utria_Choco_Colombia?channel=doi&linkId=5e7d4abfa6fdcc139c08e4c0&showFulltext=true
- Vásquez Victoria, A. (2001). *Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia*. Universidad del Tolima.
- Wei, H.-y., Wang, Y., Wang, Z.-y., & Yan, X.-f. (2005). Effect of planting density on plant growth and camptothecin content of *Camptotheca acuminata* seedlings. *Journal of Forestry Research*, 16(2), 137-139. <https://doi.org/10.1007/BF02857907>
- Zuluaga-Peláez, J. J., Martínez, J., Bacca, P., Arenas, I., Castañeda-Garzón, S. L., Prato, A., Pulgarín, J., Lozano, J., Rivera, M., & Correa, D. (2020). *Evaluación de especies arbustivas y arbóreas para uso múltiple en diferentes agroecosistemas de Colombia. Fase 1 [Informe]*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).



Terminó de diseñarse en diciembre de 2023
Bogotá, D. C., Colombia

El yopo (*Mimosa trianae* Benth) es una especie nativa de importancia económica y cultural en la Orinoquía colombiana, ya que su madera es empleada como leña para la preparación del plato típico conocido como mamona, se ha adaptado a las condiciones de acidez de los suelos de la región y hace parte del paisaje llanero integrándose en sistemas agroforestales y silvopastoriles. El uso de este recurso forestal maderable amerita conocer sus características y desarrollo en condiciones del piedemonte llanero. El *Modelo productivo para el cultivo de yopo* (*Mimosa trianae* Benth) en el departamento del Meta, recopila información sobre la especie y los principales resultados de estudios desarrollados por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Integra información del entorno ambiental, aspectos botánicos, fenológicos, morfológicos y de propagación, así como sistemas de siembra y prácticas culturales; igualmente, se incorporan los datos sobre crecimiento, producción de biomasa, interceptación de lluvia, aporte de sombra y entomofauna asociada. Este modelo es una herramienta que, bajo el enfoque de territorio, brinda información base para la toma de decisiones y la priorización de inversiones por parte de los productores, al incluir los indicadores económicos obtenidos en el estudio de mercado.

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria



CORREO: bac@agrosavia.co

TELÉFONO: (57 1) 422 73 00 EXT. 1257 o 1274

SKYPE: [biblioteca.agropecuaria](https://www.skype.com/name/identifiers/alias/biblioteca.agropecuaria)

www.agrosavia.co

Distribución gratuita
Prohibida su venta