

Revista Forestal Venezolana

ISSN 0556-6606

Todos dependemos de los bosques del mundo



Volumen 67
2025
AÑO LXVII



CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
MÉRIDA VENEZUELA

Información general

La Revista Forestal Venezolana es una revista anual, fundada en 1958. Publica investigaciones de alta calidad en todos los aspectos de las Ciencias Forestales y Ambientales y la Agrosilvopecuaria. Los tópicos que se incluyen son Génesis de Suelos, Suelos Forestales, Fisiología Vegetal, Gestión Forestal, Patología Forestal, Entomología, Anatomía de la Madera, Ecofisiología, Viveros, Plantaciones, Genética y Mejoramiento Forestal, Agroforestería, Manejo de Cuencas, Cambio climático, Servicios Ambientales, Impacto Ambiental y Ciencia y Tecnología de la Madera.

La finalidad de la Revista Forestal Venezolana es la apropiada y correcta difusión y promoción del pensamiento científico - técnico y pretende servir de apoyo a los investigadores y científicos en las actividades mencionadas, cumpliendo las normas institucionales y gubernamentales que regulan la investigación, la ética de los investigadores y científicos tanto de Venezuela como de otros países.

Ética y praxis de la Revista Forestal Venezolana

No se aceptan trabajos ya publicados o que estén sometidos a la consideración de otras revistas.

La Revista Forestal Venezolana asegura que los editores, autores y árbitros cumplen con las normas éticas internacionales durante el proceso de arbitraje y publicación. Del mismo modo aplica los principios establecidos por el comité de ética en publicaciones científicas (COPE).

Igualmente todos los trabajos están sometidos a un proceso de arbitraje y de verificación por plagio.

La Revista Forestal Venezolana no se hace responsable por las opiniones o conceptos emitidos por los autores de artículos.

Declaración de privacidad



Los nombres y direcciones de correo-e u otra información proporcionada por los autores a la Revista Forestal Venezolana, se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

Política de evaluación por pares

La edición de la revista está a cargo de un Comité Editorial integrado por un Editor Responsable y dos Editores Asociados, nombrados por el Consejo de Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.

La Revista Forestal Venezolana tiene como política de publicación de artículos la revisión previa del manuscrito sometido a consideración, por dos o más evaluadores externos, árbitros, pares académicos internacionales reconocidos en el área, seleccionados de acuerdo al tema del manuscrito sometido a consideración para su potencial publicación. Adicionalmente, cuenta con consultores internos dentro de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales a quienes se recurre para dilucidar la pertinencia del manuscrito cuando existen dudas acerca del contenido del manuscrito y los objetivos de la Revista Forestal Venezolana.

Recibido el manuscrito, el o los evaluadores externos pueden aceptar o rechazar el manuscrito. En caso de aceptación se pueden sugerir al autor, o autores, cambios en la estructura y/o contenido del texto. Recibidos los cambios se realiza una revisión de conformación, antes de la aceptación definitiva del artículo a publicar.

Las opiniones de los árbitros, así como la autoría de los trabajos, son estrictamente confidenciales. Los autores reciben las opiniones completas de los árbitros consultados. La Revista da un plazo no mayor a dos (2) meses a los autores, para responder a las opiniones de los árbitros y realizar las modificaciones sugeridas. Si éstos toman más tiempo del estipulado el trabajo es rechazado o considerado como nuevo.

Instrucciones para los Autores

Se entiende por **Artículo Científico** aquel basado en un trabajo de investigación en que se ha aplicado en forma rigurosa el método científico y se ha estudiado el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre los resultados medibles de un sistema, como metodología para rechazar o comprobar una hipótesis claramente establecida con los objetivos del trabajo.

Se consideran **Notas Técnicas** o **Temáticas** a los artículos basados en



trabajos experimentales que presentan aspectos metodológicos novedosos, o resultados que el autor quisiera publicar antes que finalice su investigación, o bien revisiones de literatura basadas en una recopilación de artículos científicos o informes de investigación, en los que el autor aporta su opinión personal sobre el tema y establece conclusiones respecto al estado actual del conocimiento del mismo.

Presentación y contenido de los manuscritos

Los manuscritos originales para su consideración deberán ser concisos, escritos a doble espacio en papel tamaño carta, en letra Times New Roman 12, dejando márgenes de 2,5 cm en los cuatro costados, con un máximo de 25 páginas numeradas incluyendo ilustraciones (Cuadros y/o Figuras).

Los manuscritos deben enviarse a la Revista Forestal Venezolana al correo electrónico: revforven@gmail.com y/o revforven@ula.ve conteniendo:

Carta al Editor, donde solicita la publicación del manuscrito sometido a consideración para su publicación, conteniendo una breve descripción del contenido, declarando si existen conflictos de interés y el área donde considere corresponde su manuscrito.

Manuscrito, que debe contener: Primera página con el título, en español e inglés; autores con su respectiva dirección institucional y autor de correspondencia, dirección completa, número telefónico y correo electrónico. Es recomendable que el autor o autores indiquen su Identificador Personal Digital ORCID. Segunda página con el resumen en español e inglés y las palabras clave, que no deben exceder de 250 palabras. A partir de la tercera página el cuerpo del manuscrito. Una página con agradecimiento, si los hubiera, y-última página con las referencias bibliográficas, hemerográficas o extraídas de las páginas de la WWW.

Depósito Legal:

ISSN impreso 0556-6606

ISSN Electrónico 2521-9723

Acreditación, Indización

La REVISTA FORESTAL VENEZOLANA, posee acreditación del Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico, Tecnológico y de las Artes. Universidad De Los Andes-Venezuela (CDCHTA-ULA).

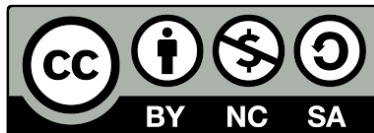


Indizada en: TREE CD; Forest Abst. (Comm. Agric. Bur.); Zool. Rec. (BIOSIS UK); Periódica (UNAM, México); LATINDEX, REVENCYT RVR004



Política de acceso abierto

Todos los documentos publicados en esta revista se distribuyen bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Por lo que el envío, procesamiento y publicación de artículos en la revista es totalmente gratuito.



Contactar con la revista

Dirección postal. Revista Forestal Venezolana, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes. Vía de Los Chorros de Milla, Conjunto Forestal. Código Postal 5101, Mérida, Venezuela

Contacto principal: Editor responsable, RFV: Dr. Osvaldo Encinas B.
Email: revforven@gmail.com, revforven@ula.ve

Autoridades Universitarias

Rector: Mario Bonucci Rossini

Vice-Rector Académico: Patricia Rosenzweig

Vice-Rector Administrativo: Manuel Aranguren

Secretario: Manuel Morocoima

Decano (E) de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales;
Julio Quintero

Comité Editorial Revista Forestal Venezolana

Editor Responsable: Osvaldo Encinas Blanco.

Editores Asociados: Wilver Contreras Miranda y Lilian Bracamonte

La Revista Forestal Venezolana se maquetó utilizando el software libre **SCRIBUS 1.6.2**.

1-4	INFORMACIÓN GENERAL
7-8	EDITORIAL
	OSVALDO ENCINAS BLANCO
	LA RELEVANCIA DE UN LOGO: LO QUE ESTÁ DETRÁS DEL SELLO FSC
9-26	JULIO F. MICHELA; SEBASTIÁN KEES; WALTER CASSINO
	CONTRIBUCIONES AL ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA, VALORACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DE LOS QUEBRACHALES DEL CHACO SEMIÁRIDO EN SISTEMAS DE USOS MÚLTIPLES
27-39	CARLOS F. RODRIGUEZ, JESUS ANDRADES GRASSI, ARTURO OSORIO, SIMON DUGARTE, MARIANO DURAN, ANGIOLO GIOVANNI SÁNCHEZ M.
	CARACTERIZACIÓN DASOMÉTRICA Y ANÁLISIS ESPACIAL PARA FINES DE MANEJO FORESTAL EN UNA PLANTACIÓN DE CIPRÉS (<i>HESPEROCYPARIS LUSITANICA</i> (MILL.) BARTEL.) EN EL ESTADO MERIDA, VENEZUELA
41-63	ARIÁN GONZÁLEZ, OSVALDO ENCINAS, YANIRA RANGEL, YOLI MOLINA
	PRODUCCIÓN DE CARBÓN Y CARBON ACTIVADO A PARTIR DE SUBPRODUCTOS GENERADOS EN LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA PALMA ACEITERA
65-86	YELSY DUGARTE, YORGELIS DOMINGUEZ, CRISTOPHER CAMARGO Y YAJAIRA OVALLES
	DETERMINACIÓN DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN LAS MICROCUENCAS DE LAS QUEBRADAS LA PORTUGUESA Y MONTALBÁN, ESTADO MÉRIDA, VENEZUELA 2022
875-100	NOTA TÉCNICA
	DENNY JAVIER ROSALES Y SARA SOFÍA JIMENEZ
	BASES CONCEPTUALES Y LINEAMIENTOS PARA UNA POLÍTICA FORESTAL SOSTENIBLE EN VENEZUELA (2025-2050) EN EL MARCO DE EXPERIENCIAS LATINOAMERICANAS

Árbitros para este volumen: Con el agradecimiento a: Dr. Jaime Moreno, Universidad Distrital, Colombia. Dr. Wilfredo Franco Universidad de la Región Amazónica IKIAM, Ecuador, M Sc Arturo Osorio, Universidad de Los Andes, Venezuela. Dr. Eloy Cuéllar, Universidad La Molina, Perú. Dr. Nazko Tersiev, Sverige Latnbruk Universitet, Suecia.

EDITORIAL

La relevancia de un logo: lo que está detrás del sello FSC

Como consumidores, solemos prestar poca atención a las etiquetas de variados productos de primera necesidad, o simplemente de consumo, mirando la marca, el producto y otras características; pero, muy pocas veces o casi nunca prestamos atención al contenido del resto impreso en la etiqueta. Así, viendo los detalles en algunos productos, como los cartones de leche, tienen un logo que dice: “MIXTO, Cartón procedente de fuentes responsables” y un logo que dice “FSC, www.fsc.org”. Ese logo se puede observar en otros variados productos como papel para escribir o imprimir, cartones para empaque y otros. Parece un simple detalle, pero en realidad en el fondo ese logo dice mucho más.

Cuando se busca información acerca del FSC, la página WEB de FSC reseña los siguiente:” El Consejo de Administración Forestal (FSC, por sus siglas en inglés) es una organización sin fines de lucro dedicada a promover la gestión responsable de los bosques del mundo. Une a ciudadanos, empresas, gobiernos y ONG para proteger bosques saludables y resilientes para todos, para siempre. El FSC es confiable a nivel mundial para abordar la deforestación, el clima y los desafíos de biodiversidad, proporcionando soluciones para ayudar a proteger los bosques.”

Resulta que la obtención del logo no es tan sencilla como imprimirla. Lo que pregona el FSC en su página WEB es la importancia del buen manejo forestal de los bosques en los planes de desarrollo sostenible, para lo que hay que medir y evaluar las intenciones y consecuencias del buen manejo forestal de los bosques naturales o de plantaciones, entendiéndolo que son como el termómetro de la relación que debe mantener el hombre con la naturaleza para su supervivencia. Naturalmente las intenciones necesitan mostrar que el buen manejo forestal tiene procesos o mecanismos claramente explícitos, los cuales pueden, y deben, ser verificables y sostenibles en el tiempo. Estas exigencias son las que aglutina el FSC en estándares globales de responsabilidad y cumplimiento.

En un mundo que enfrenta una crisis ambiental sin precedentes, los bosques se han convertido en un termómetro de la relación del hombre con la naturaleza. Los bosques no son solo reservas de biodiversidad: son reguladores del clima, fuentes de agua, refugio de culturas ancestrales y motores de economías locales. Sin embargo, su supervivencia depende de algo más que buenas intenciones; requiere mecanismos claros, verificables y sostenibles de manejo. Aquí es donde el Forest Stewardship Council (FSC) se erige como un estándar global de responsabilidad. Los principales criterios en los que el FSC basa sus estándares para certificar el buen manejo forestal son: la protección de ecosistemas y de las especies que la habitan, es decir la biodiversidad; el respeto de los derechos de los habitantes de estos ecosistemas (locales e indígenas) integrando los conocimientos ancestrales en el manejo forestal y evitando la explotación irresponsable de los recursos del bosque, asegurando la viabilidad

económica del buen manejo forestal mediante cadenas de valor sostenibles en el tiempo. El resultado puede medirse en forma de certificados entregados por el FSC una vez que se demuestra que se cumplen los 10 Principios, 70 Criterios y sus respectivos Indicadores, cuyo cumplimiento es verificado por entidades certificadoras independientes, reconocidas por FSC, que verifican si se realiza un buen manejo forestal (FM) o que se cumple la rastreabilidad de las etapas de producción, distribución de origen forestal bien manejado, hasta el usuario final, lo que se denomina cadena de custodia (CoC).

En América Latina la adopción de los estándares del FSC es variado, resultado de las políticas que en materia forestal tiene individualmente cada país, del grado de concientización que tienen los actores involucrados, de haber entendido que es posible producir sosteniblemente bienes y productos forestales cuando se tiene plena conciencia de su conservación y que la certificación forestal forma parte de sus estrategias forestales y de exportación. El resultado puede medirse en función del número de Certificados otorgados por el FSC a las empresas o entidades que cumplen los requisitos de la certificación forestal. Para fines de noviembre del año 2025, Brasil posee el mayor número de certificados, 2561, de manejo forestal y/o de cadena de custodia, recordemos que Brasil tiene aún una gran riqueza biológica en sus extensos bosques naturales y en sus plantaciones forestales; Chile tiene 327 certificados, Argentina 247, Colombia 144, Perú 128, Uruguay 132, Perú 128 y Bolivia 32. Venezuela, a pesar de contar con extensos bosques, solamente tiene 2 certificaciones de Cadena de Custodia, ninguno es de Manejo Forestal.

Se ha indicado que la política forestal de cada país tiene sus propias características; el grado de conciencia sobre el manejo de los bosques y el convencimiento de que cuidar los bosques es la manera de convertir el sector forestal en uno de los pilares de la sostenibilidad ambiental y económica, conducentes al desarrollo sostenible de los países, no es una concepción común en los países, pero existen conductas que señalan un creciente grado de concientización ambiental forestal: En la reciente Asamblea Anual de los miembros de FSC en Panamá, ante más de 600 miembros de FSC el Ministro del Ambiente de Panamá anunció que la Certificación Forestal será una exigencia, la más importante, para el manejo de los bosques del país centroamericano; una resolución que indica que la Certificación Forestal está mostrando resultados visibles en materia del buen manejo forestal de los bosques. Sin embargo, se tiene que entender que la implementación de la certificación forestal no solo es responsabilidad del gobierno, es precisa la participación comprometida de empresas, organizaciones ambientales, instituciones de educación a todo nivel y la comunidad.

Para el país, la certificación forestal puede ser una herramienta estratégica para transformar la extracción de recursos forestales en pieza fundamental para el desarrollo sostenible, promoviendo una visión de futuro para garantizar los bosques del país para disfrute de las generaciones venideras.

Oswaldo Encinas B., Editor responsable

VALORACIÓN ECONÓMICA DE QUEBRACHALES EN LA REGIÓN CHAQUEÑA SEMIÁRIDA, REPÚBLICA ARGENTINA

ECONOMIC VALUATION OF QUEBRACHO FORESTS IN THE SEMI-ARID CHACO REGION, REPUBLICA ARGENTINA

JULIO F. MICHELA¹; SEBASTIÁN KEES²; WALTER CASSINO³

¹INTA-EEA Santiago del Estero. Jujuy 850 (4200) Capital. Santiago del Estero, Argentina. michela.julio@inta.gob.ar – ORCID OD: 0000-0003-4395-8692

² Campo Anexo Estación Forestal Plaza – INTA EEA Sáenz Peña – Lote IV- Colonia Santa Elena (3536) – Presidencia de la Plaza. Chaco. Argentina

³ Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Avenida Belgrano (S) 1912. (4200) Capital. Santiago del Estero. Argentina

Recibido 6 marzo2025 – Aceptado 13 julio 2025

Resumen

La valoración financiera de los bosques es un aspecto fundamental para el manejo y la conservación de los recursos forestales. El objetivo de este estudio fue cuantificar económicamente los quebrachales de la Región Chaqueña Semiárida, considerando su estado de desarrollo, la distribución diamétrica y una estructura meta de manejo que asegure la recuperación y el reclutamiento de las especies principales. Se emplearon datos de parcelas de provenientes del Inventario Nacional de Bosques Nativos (2015). La metodología se basó en la capitalización de flujos futuros, integrando variables biológicas, precios históricos de la madera en pie, incrementos medios anuales de crecimiento y costos de aprovechamiento. Esto permitió estimar el valor del bosque y generar un indicador de capitalización que refleja el aporte económico potencial de la madera a lo largo del tiempo. Los resultados muestran que el valor económico de un bosque sobre maduro fue de 1.502 USD/ha mientras que el umbral mínimo de capitalización para un periodo de 5 años se estimó en 385 USD/ha. Asimismo, la estructura diamétrica definida mediante el método BDq permite un aprovechamiento que no compromete el estado de latizal y favorece la regeneración. Asimismo, la capitalización acumulada por hectárea ofrece un referente claro para la valoración forestal y la planificación productiva. Se concluye que la metodología desarrollada constituye una herramienta innovadora para la región con aplicación en el manejo sostenible y en el diseño de políticas públicas orientadas a la conservación del bosque.

Palabras clave:

bosque nativo
Análisis económico financiero
econometría
capitalización

Abstract

Financial valuation of forests is a fundamental component of sustainable

Key Words:

Native forests

Economic and financial analysis

Econometrics

Capitalization

forest management and conservation. This study aimed to quantify the economic value of *quebrachal* forests in the Semi-arid Chaco Region, considering their developmental stage, diameter distribution, and a target management structure designed to ensure the recovery and recruitment of key species. Data was obtained from sample plots of the National Inventory of Native Forests (2015). The methodological approach was based on the capitalization of expected future cash flows, integrating biological variables, historical stumpage prices, mean annual increments in growth, and harvesting costs. This framework enabled the estimation of forest value and the development of a capitalization indicator that reflects the potential economic contribution of timber resources over time. Results indicate that the economic value of an overmature forest reached USD 1,502 per hectare, while the minimum capitalization threshold over a 5-year period was estimated at USD 385 per hectare. The diameter structure defined using the BDq method allows for sustainable harvesting without compromising pole-stage stands, thereby supporting natural regeneration. The accumulated capitalization per hectare provides a clear benchmark for forest valuation and production planning. Overall, the proposed methodology represents an innovative tool for the region, with practical applications in sustainable forest management and in the formulation of public policies aimed at the conservation of native forests.

1. INTRODUCCIÓN

En 1955 se estimaba la superficie boscosa del país en 48.570.000 has (Carnevale 1995), de las cuales gran parte corresponden al Parque Chaqueño. Juárez de Galíndez *et al.* (2005) estiman en 6.000.000 la superficie cubierta por bosques en Santiago del Estero y Bonfanti y Sánchez (2019) quienes toman como referencia datos de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, afirman que la superficie cubierta por bosques en la provincia del Chaco ascendió en el año 2017 a 4.920.000 has.

Autores como Mariot (2000) y Cuadra (2012) hacen referencia a degradación de los bosques por explotaciones sin mayores criterios de sustentabilidad en los últimos 50 años. Teniendo en cuenta estas afirmaciones, es evidente que en la región existen bosques en diferentes estados de desarrollo, muchos de ellos explotados y que actualmente se encuentran creciendo en una etapa de recuperación del potencial productivo. Reflexionando, la combinación de evaluaciones técnicas y la consideración del crecimiento de las especies principales como un símil de capitalización constituye una estrategia útil para aproximarse a la valoración económica y financiera de los bosques. Según Hjørstso *et al.* (2006), los estudios económicos desempeñan un papel crucial al guiar a los tomadores de decisiones siempre que se utilicen de manera adecuada. Citando expresiones de los mismos autores, las estimaciones del valor financiero de los recursos forestales se basan en la provisión y el flujo. La precisión de las estimaciones depende del conocimiento disponible sobre la madera en pie, la cosecha realizada y el incremento potencial del bosque.

Conceptualmente, tanto la evaluación económica como la financiera de un bosque confluyen en un punto en común que hace referencia al valor al momento de corta sin que haya menciones respecto a la capitalización que anualiza su valía. Arce (2020) citando a otros autores, expresa que el valor económico de un bosque total surge de la sumatoria de los valores de uso directo, uso indirecto, valor de opción y el valor de no uso. Son explícitos al momento de la definición de estos términos Izco y Burne (2003), quienes distinguen entre el valor intrínseco propio de un componente natural simplemente por existir, sin dependencia de su utilidad para los humanos y el instrumental, en este caso se toma la capacidad de un bien o un servicio para satisfacer necesidades o preferencias humanas, influyendo así, en el valor económico. Incluso, consideran que valorar al bosque solo por la madera representa una subutilización dada la variedad de flujos de bienes y servicios que ofrecen y benefician a la sociedad. En esta instancia, el enfoque presente se centra en la valoración del bosque desde la perspectiva de la producción de madera, simplificando así el análisis.

La madera en pie es un bien económico, en consecuencia, tiene un precio, el cual puede bajar o subir dependiendo de la realidad del mercado e incluso es factible su asociación con alguna variable macroeconómica. Acuña Carmona y Drake Aranda (2003), revisan una serie de artículos en pos de una clasificación de los procedimientos de valoración ambiental e interpretan que lo más simple es la utilización de precios de mercado puesto que lo relacionan con lo escaso y la demanda y en este contexto los autores establecen una sinonimia entre valor y precio de mercado. Si bien, una de las herramientas del análisis financiero es el tiempo y en la producción tradicional se lo asocia al ciclo de corta, una opción es la valoración anual que posiciona a la economía forestal cuando se la considera dentro de gestiones más complejas que el aprovechamiento tradicional. Así, Acuña Carmona y Drake Aranda (2003) afirman que el manejo también puede pensarse como el negocio de los árboles en crecimiento implicando una inversión inicial, una capitalización y valor final definido por punto de equilibrio del bosque asimilado al turno de corta. El objetivo de este estudio es valorar económica y financieramente los quebrachales de la región chaqueña considerando su estado de desarrollo, una estructura diamétrica de referencia y series temporales de precios de la madera en pie, expresando su valor económico anualizado y proyectando su evolución futura.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio está ubicada dentro de la unidad geográfica denominada Chaco Semiárido (Prado, 1993), Figura 1.

Según Brassiolo, (2001) el clima en el área de estudio se caracteriza porque la precipitación presenta una distribución marcadamente estacional, con altas temperaturas en verano, y ocurrencia de heladas en invierno, bajo déficit hídrico todo el año. En el verano las mayores temperaturas superan los 45° C. La mínima en el mes de julio presenta valores entre 4,5 y 5° C, y las primeras heladas se producen normalmente a partir de mayo, aunque pueden ocurrir a principios del mes de abril.

Geomorfológicamente, corresponde a la llanura aluvial del Río Salado, con un relieve plano a ligeramente ondulado de suave pendiente de dirección NO-SE (Brassiolo, 2001).

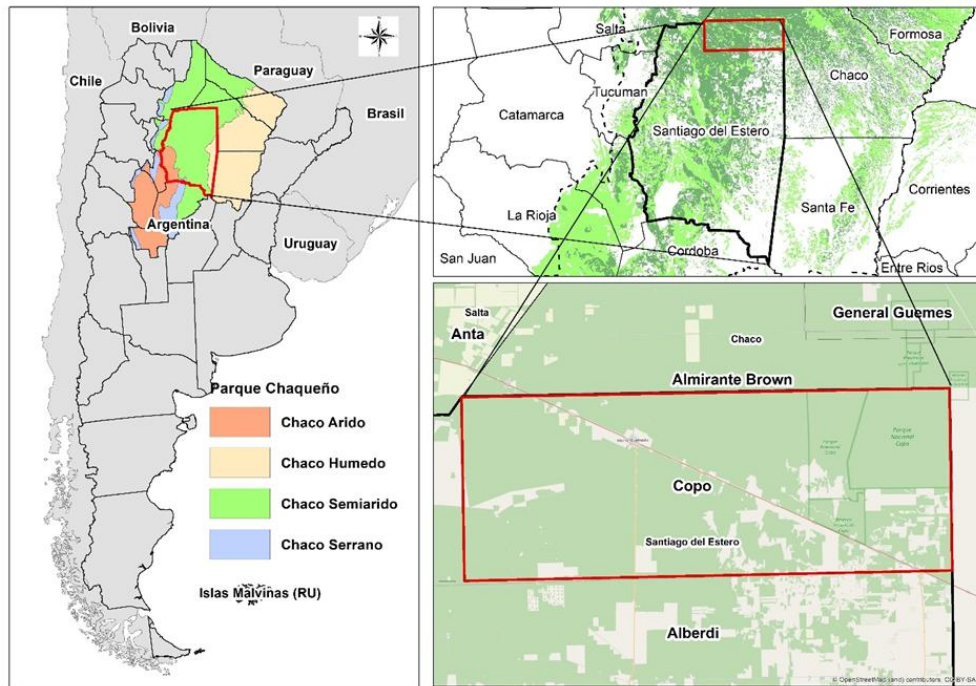


Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio.

Atendiendo a Morello y Adámoli (1974), la vegetación se caracteriza por la dominancia del quebracho colorado (*Schinopsis lorenzii* Griseb. Engl.) y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco* Schlecht), los cuales pueden llegar hasta una altura de 20 m. Es en esta área donde el quebracho colorado encuentra en su óptimo ecológico. El algarrobo negro (*Neltuma nigra* Griseb.), el algarrobo blanco (*Neltuma alba* Griseb.), el mistol (*Sarcophalus mistol* Griseb.) son especies que forman un estrato arbóreo intermedio. Otras como la breá (*Parkinsonia praecox* Ruiz & Pav.), guayacán (*Libidibia paraguariensis* D.Parodi), sombra de toro (*Jodina rhombifolia* Hook. & Arn.), itín (*Neltuma kunzei* Harms) y chañar (*Geoffroea decorticans* Gill. ex-Hook. & Arn.) se encuentran con menor frecuencia (Brassiolo 1997).

Empleando las parcelas del Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos (Ministerio de Ambiente., Dirección Nacional de Bosques, 2015), se evaluaron 3 zonas delimitadas en la Figura 2, que se identificaron como Zona 1, donde se relevaron 30 parcelas, Zona 2 con 81 parcelas de muestreo y la Zona 3 con 57 parcelas relevadas; asimismo, los errores de muestreo fueron: 19,3%; 12,88% y 22,64% respectivamente respecto a la frecuencia por hectárea y sus respectivas áreas basales en m² (B) fueron:

8,07; 6,29 y 6,41.

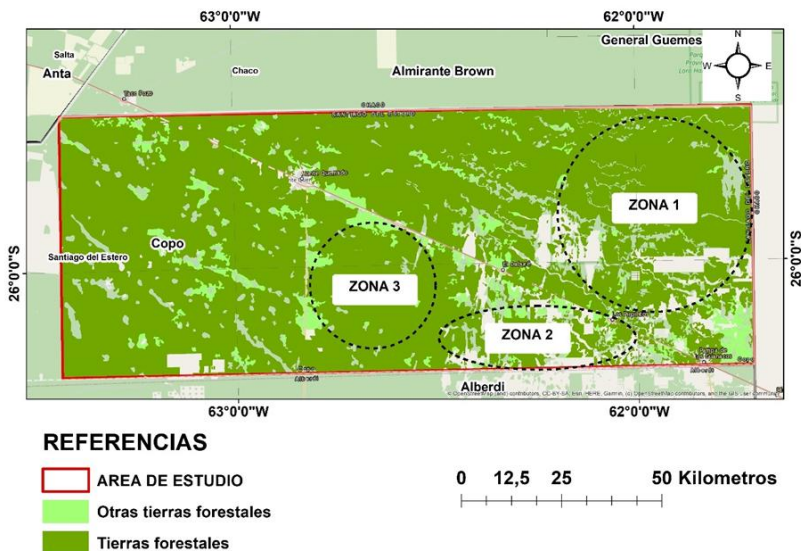


Figura 2. Zonas boscosas relevadas en el área de estudio.

En el análisis solo se tuvieron en cuenta los ejemplares de quebracho blanco y quebracho colorado santiagueño de todas las categorías diamétricas pues son dominantes en cuanto a la estructura horizontal y vertical según Araujo *et al.* (2008) y Michela & Juárez de Galíndez (2016), además de ser las principales especies de uso maderable en la región.

Estructura diamétrica objetivo

Diversos autores (Araujo, 2003; Brassiolo y Grulke, 2015, entre otros), coinciden en que la estructura de estos bosques tiene carácter irregular. En ese sentido se determinó la estructura diamétrica objetivo en base al método BDq, siguiendo la propuesta de García Cuevas *et al.* (2013). Este enfoque considera el aprovechamiento de la masa boscosa hasta un área basal residual (B), un diámetro mínimo de corta (D) y de una tasa (q) que surge de la relación por cociente entre el número de árboles de una clase diamétrica y el de la clase diamétrica inmediatamente inferior. Estas variables se complementan con otros factores, como lo sugieren Cancino & Gadow (2002), entre ellos, el crecimiento anual en diámetro de las especies principales a los fines del cálculo del tiempo de tránsito entre una clase diamétrica y otra y así, regular los ciclos de corta. Este procedimiento fue recomendado para la región por Michela *et al.* (2024). Los volúmenes comerciales fueron calculados empleando las ecuaciones determinadas por Gaillard de Benítez (1994).

Dado que en la región existen montes en diferentes estados de aprovechamiento,

se adaptó la propuesta de González Molina (2000) para sintetizar los casos de transformación observados. Así se diferenciaron las tres categorías estudiadas: masas irregulares capitalizadas caracterizadas por ejemplares de diámetros mayores (Zona 1); montes en proceso de aprovechamiento (Zona 2) y bosques previamente explotados donde predominan diámetros menores (Zona 3).

A partir de ajustes simples basadas en Cancino (2012) se adaptó una ecuación para la determinación de la proyección del crecimiento considerando únicamente el diámetro de los ejemplares leñosos medidos a 1,3 m respecto del suelo (DAP), así:

$$DAP_t = DAP_0 + (IMA * t)$$

Donde:

DAP_t: es el diámetro proyectado en el año t de la especie maderable en centímetros (cm);

DAP₀: es el diámetro inicial de la especie maderable en cm;

IMA: es el incremento medio anual de la especie en cm/año;

t: es el tiempo proyectado (en años) para que el árbol alcance el diámetro objetivo.

El bosque nativo presenta diferentes estados de desarrollo (Figura 3), que se identifican como: siembra naciente, repoblado, monte bravo, latizal y fustal (Donoso *et al.*, 2018) y en cada estado se da una natural competencia. Interpretando a diferentes especialistas (Cruz Johnson *et al.*; 2005; Donoso *et al.*, 2018), desde el estado de repoblado en adelante es factible la definición de una analogía con las categorías diamétricas, Figura 3.

Cualquiera sea el punto de partida, se pretende el alcance de un diámetro objetivo y para ello es necesario el cálculo del tiempo t_j , haciendo la salvedad que no todas las categorías diamétricas evolucionan a la misma velocidad, incluso suponiendo que el cálculo se remita a las especies predominantes (Araujo *et al.*, 2007), Entonces:

$$t_j = \frac{DAP_t - DAP_i}{IMA_i}$$

Donde:

T_j: tiempo de tránsito proyectado (en años) para que los arboles de una clase alcancen el diámetro objetivo;

DAP_t: diámetro proyectado en el año t (cm);

DAP_i: diámetro inicial de la categoría considerada (cm);

IMA_i: incremento medio anual en diámetro de la especie predominante (cm/año).

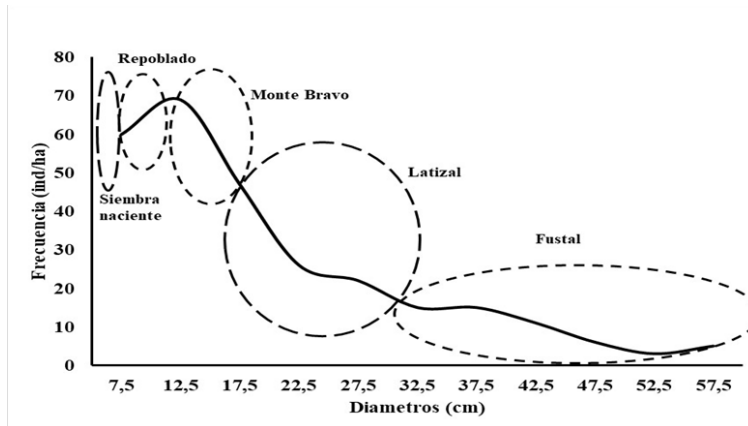


Figura 3. Estados de desarrollo de un monte irregular típico. Fuente: Propia con adaptación a expresiones de Cruz Johnson *et al.*; (2005); Donoso *et al.*, (2018).

Atendiendo a la duración, t_i puede ser asimilado al turno de corta. Referencias para este parámetro, en la región, lo definen Araujo & Lencinas (1994) y Giménez & Ríos (1999).

Valoración financiera

Se abordó el enfoque financiero y cabe el concepto de Acuña Carmona & Drake Aranda (2003) que afirman que el valor del bosque es dinámico y varía con el contexto. En el caso del bosque en pie y estableciendo nuevamente una similitud entre valor y precio, a esta afirmación la refuerza las calificaciones de Hjørstso *et al.* (2006), quienes explican que las estimaciones del valor financiero están basadas en la provisión y flujo, haciendo referencia al juego de la oferta y la demanda. Una apreciación similar la realiza Romo Lozano *et al.* (2017) quien expresa que dentro de los métodos de la valoración de un bien suele aplicarse la metodología de precios de mercado y este enfoque considera todos los precios disponibles de los bienes obtenidos del bosque, como la madera reflejando la interacción entre tenedores de monte y obreros. En este escenario, el precio de mercado del árbol en pie se entiende como una medida del valor económico de este recurso, ya que refleja la disposición a pagar por el producto. Por otra parte, adaptando y reformulando conceptos expresados por Mendoza - Briseño *et al.* (2021), el monte como activo se convierte en un valor económico actual y futuro, o sea, no solo se lo evalúa por su valor actual sino también por su capacidad de generación de rendimientos a largo plazo. Entonces, el bosque en cualquier estado de desarrollo es un activo vivo que adquiere valor a medida que crece y este se reflejará en el precio, así, si esto se relaciona con el crecimiento y se interpretan las expresiones de los autores antes mencionados, la capitalización se refiere al aumento de valor de un activo con el tiempo. Aceptando que el valor del bosque varía con el estado de desarrollo y este se relaciona con las categorías diamétricas, es factible la valoración anualizada. Se avanzó calculando el volumen comercial por clase diamétrica i (V_{di}) mediante las ecuaciones propuestas

por Gaillard de Benítez (1994), siendo para el quebracho blanco:

$$V_{(m^3)} = EXP^{(-10,97613+1,11062*Ln d_i^2[cm]*H[m])}$$

Siendo:

V_i : volumen comercial de un árbol de diámetro d_i en metros cúbicos (m^3);

d_i : punto medio de clase diamétrica en cm;

H : altura del árbol en metros (m).

En el caso del quebracho colorado:

$$V_{(m^3)} = EXP^{(-10,81559+1,08804*Ln d_i^2[cm]*H[m])}$$

Las alturas por clases diamétricas se definieron en base a Araujo et al. (2008). Así:

$$V_{di} = N_{di} * V_i$$

N_{di} : Numero de árboles por hectárea (ha) de la clase i ;

V_i : Volumen comercial de un ejemplar de diámetro d_i .

d_i : punto medio de clase diamétrica.

El volumen de aprovechamiento en un tiempo $t=j$ (V_{aj}) fue:

$$V_{aj} = \sum_{d_i \geq D} N_{di} * V_i$$

En el manejo tradicional, el bosque solo adquiere valor económico en el momento del aprovechamiento, lo que implica periodos sin ingresos. Esto lo coloca en desventaja frente a sistemas más complejos de manejo donde la producción de madera es solo uno de los componentes ante otros, que pueden generar una renta anual. Al asignar un valor a la capitalización biológica, es posible estimar un aporte económico anual, reconociendo al bosque como un activo dinámico que mantiene su competitividad a lo largo del tiempo. Se calculó el volumen de los quebrachos dentro de una misma clase diamétrica para el año siguiente ($V_{di;t}$) considerando la ecuación de volumen comercial de la especie (V) y el incremento medio anual (IMA_i).

$$V_{d_i;t} = N_{d_i;t} * V(d_i + IMA_i)$$

Siendo $N_{d_i;t}$ el número de árboles por ha de la clase diamétrica de punto medio de clase d_i .

En base a de Galíndez *et al.* (2003) se estimó el IMA_i para ambas especies.

El volumen total del bosque en el año siguiente (V_{t+1}) proyectado anual integrando todas las clases diamétricas fue:

$$V_{t+1} = \sum_i N_{d_{i,t}} * V(d_i + IMA_i)$$

A partir del volumen proyectado para cada clase diamétrica y cada año, se tradujo esos volúmenes en términos económicos. Para ello, se aplicó la capitalización de los flujos futuros de ingresos considerando los precios proyectados de la madera y la tasa de interés determinada a partir de la serie histórica. De esta manera, se obtuvo un valor total del bosque por hectárea (V_{bosque}), que integra las clases y los años del horizonte de planificación, proporcionando una cifra única representativa del valor económico del monte.

$$V_{bosque} = \sum_i \sum_t \frac{V_{i,t} * P_{i,t}}{(1+r)^t}$$

$V_{i,t}$: volumen de la clase i en el año t ;

$P_{i,t}$: precio proyectado del volumen $V_{i,t}$;

r : tasa de capitalización.

Los precios de despacho de los quebrachos se tomaron de los datos estadísticos publicados por la Dirección de Bosques de la provincia del Chaco para el período 2003-2021 (<https://direcciondebosques.blogspot.com/p/estadisticas.html>), debido a la falta de referencias oficiales de otras provincias para un periodo similar. Para el cálculo del valor de la madera en pie, se promediaron los precios del quebracho blanco y quebracho colorado y se ponderaron de acuerdo con la frecuencia por especie dentro de cada clase diamétrica. Ambas especies movilizan los volúmenes más importantes en la región. Los precios se convirtieron a dólares estadounidenses mediante la cotización oficial del 31 de diciembre de cada año (https://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas/Evolucion_moneda_2.asp) y se ajustaron con el índice de precios al consumidor de Estados Unidos (<https://datosmacro.expansion.com/ipc-paises/usa>), siguiendo una metodología adaptada de Molina y Mestres (2021). El valor de la tonelada en pie se obtuvo descontando los costos de aprovechamiento, aranceles y flete (Michela & Kees, 2021). Luego, siguiendo a Cabeza de Vergara y Castellón Fuentes (2014) y Torres Rojo (2000) se utilizó la ecuación de crecimiento compuesto para despejar la tasa de interés implícita (r) en la evolución histórica de precios. despejando de la ecuación de crecimiento compuesto:

$$P_n = P_0 * (1+r)^n$$

P_n : precio del árbol en pie al final del período n ;

P_0 : precio del árbol en pie al momento 0.

La tasa de interés se obtiene despejando r :

$$r = \left(\frac{P_n}{P_0}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

A partir de esta tasa, se proyectó el precio proyectado (P_j) considerando un crecimiento acumulativo y constante basado en la tendencia histórica. La estimación del precio para el $t=j$ se realizó con la ecuación:

$$P_{t=j} = P_0 * (1 + r)^j$$

La proyección asume un crecimiento acumulativo y constante, basado en la tendencia histórica.

3. RESULTADOS

Estructura diamétrica objetivo

En la Tabla 1 se muestran las frecuencias de los quebrachales de las tres zonas analizadas tomando como variable la densidad de ejemplares por clase diamétrica (N_i):

La Figura 4 muestra las gráficas de las N_i de cada área.

Tabla 1. Densidad de las áreas estudiadas según los puntos medios de clase (d_i).

d_i	N_i Zona 1	N_i Zona 2	N_i Zona 3
7,5	17	13	65
12,5	32	46	32
17,5	22	23	16
22,5	10	10	6
27,5	7	4	6
32,5	5	3	5
37,5	5	2	3
42,5	5	1	1
47,5	2	1	1
52,5	2	0	1
57,5	1	0	0
62,5	2	0	1

Los datos de la Tabla 1 muestran que el quebrachal asentado sobre la Zona_1 es una formación sobre madura, el propio de la Zona_2 responde a un quebrachal aprovechado hace escasos años y el representado como Zona_3 es un aprovechamiento realizado más antiguamente. Estas afirmaciones están fundamentadas en la disminución de ejemplares en las categorías diamétricas superiores y en la dinámica de la instalación de la regeneración. Basándose en lo señalado y siguiendo la propuesta de Michela *et al.* (2024), se estableció la distribución diamétrica para la región estudiada tomando como referencia la estructura de la Zona 1. En este marco se fijó un q igual a 1,3 ya que garantiza el reclutamiento y asegura el abastecimiento de la categoría de 42,5 cm elegida como el diámetro objetivo (D) para satisfacer requerimientos de la industria. El B

residual se definió en un 50% y toma solo los diámetros superiores a D. Los resultados de esta distribución se muestran en la Tabla 2:

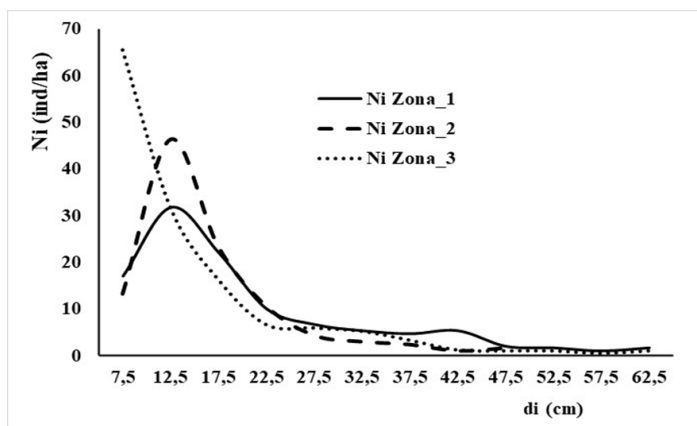


Figura 4. N_i de los quebrachales de las 3 zonas y el N_i objetivo en función de d_i .

Tabla 2. Distribución diamétrica objetivo.

d_i	N_i_{objetivo}
7,5	40
12,5	29
17,5	21
22,5	15
27,5	11
32,5	8
37,5	5
42,5	4

En la Figura 5 se muestra la distribución objetivo y las distribuciones reales de cada zona. Se observa que la estructura objetivo permite el reclutamiento y asegura el abastecimiento de madera. La comparación visualiza las diferencias entre la situación actual del bosque y la estructura deseada para un manejo sostenible.

Valoración financiera

En la Tabla 3 se presentan los precios de la madera en pie por metro cúbico (m^3) calculados para el período 2003-2021.

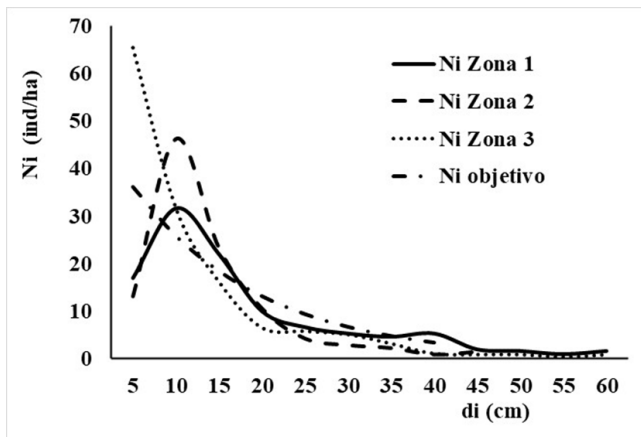


Figura 5. N_i de ambos quebrachos en función d_i .

Tabla 3. Precios de madera en pie, período 2003-2021.

Tiempo $t=j$	Año	Precio pie promedio (USD)
1	2003	8
2	2004	8
3	2005	8
4	2006	10
5	2007	10
6	2008	10
7	2009	11
8	2010	12
9	2011	18
10	2012	20
11	2013	18
12	2014	19
13	2015	18
14	2016	18
15	2017	17
16	2018	10
17	2019	9
18	2020	12
19	2021	25

En la Tabla 4 se presenta el rendimiento del quebrachal sobre maduro en pie (Zona 1) con el respectivo volumen de aprovechamiento teniendo en cuenta el D y el precio actualizado de la madera.

Tabla 4. Rendimiento en volumen y en dólares de un bosque sobre maduro por ha.

d_{izD} (cm)	V_{aj} (m ³ /ha)	P_j (USD)
42,5	6,35	498
47,5	2,81	220
52,5	3,14	246
57,5	2,46	192
62,5	4,42	346

La capacidad de aprovechamiento del bosque en su estado actual es de 1.502 USD/ha y sirve como referencia para la comparación con los bosques de las otras zonas.

En la Tabla 5, se muestra, a manera de ejemplo la capitalización anual en dólares (CAD) para un período de cinco años del quebrachal de la Zona 2 tomando solo las últimas dos clases diamétricas. Los precios en dólares están actualizados hasta el año 2021.

Tabla 5. Rendimiento en volumen y capitalización anual para un periodo de cinco años del quebrachal de la Zona_2

Año _{t=j}	$d_{32,5}$ (cm)	$V_{32,5; t}$ (m ³ /ha)	$d_{37,5}$ (cm)	$V_{37,5; t}$ (m ³ /ha)	P_j (USD)	CAD (USD/Año)
1	32,5	1,64	37,5	1,84	83	289
2	32,7	1,66	37,7	1,86	88	310
3	32,9	1,68	37,9	1,88	94	334
4	33,1	1,70	38,1	1,90	100	359
5	33,3	1,73	38,3	1,92	106	385

La capitalización acumulada al quinto año fue de 385 USD/ha y refleja el aporte económico de la madera del bosque durante el período de análisis.

En la tabla 6 se repite el procedimiento anterior para el quebrachal de la Zona 3.

Para el bosque de la Zona 3, la capitalización acumulada fue de 615 USD/ha.

Tabla 6. Rendimiento en volumen y capitalización anual para un periodo de cinco años del quebrachal de la Zona_3

Año _{t=j}	d _{32,5} (cm)	V _{32,5; t} (m ³ /ha)	d _{37,5} (cm)	V _{37,5; t} (m ³ /ha)	P _j (USD)	CAD (USD/Año)
1	32,5	2,93	37,5	2,61	83,18	461
2	32,7	2,97	37,7	2,64	88,31	495
3	32,9	3,01	37,9	2,67	93,76	533
4	33,1	3,05	38,1	2,70	99,54	573
5	33,3	3,09	38,3	2,73	105,68	615

4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

El estudio permitió integrar información sobre la distribución diamétrica de los quebrachales y la valoración económica de la madera en pie, utilizando una metodología basada en la capitalización de flujos futuros.

La distribución diamétrica elegida utilizando el método BDq como herramienta primaria, es una estrategia que garantiza que el aprovechamiento no vulnere el estado de latizal y en consecuencia no ralentice el ritmo de producción. Con este enfoque se logra la recuperación de bosques aprovechados conservando la estructura irregular si además se emplean insumos complementarios como el crecimiento de las especies principales (Cancino y Gadow, 2002), siendo un modelo de producción regional avalado por Gadow *et al.* (2007).

Los bosques sobre explotados tienden a recuperarse lentamente (Araujo *et al.*, 2007), sin embargo, en la zona aprovechada hace más tiempo, la regeneración ha mostrado una respuesta favorable. Esto respalda la necesidad de una planificación adecuada de la gestión forestal, haciendo que esta propuesta sea razonable y viable. Además, coincide con lo señalado por Brassiolo y Pokorny (2000) sobre la importancia de proteger los renovales durante período determinado. La evaluación productiva del bosque en la región es relativamente sencilla en función de información de base disponible de las especies principales (Yrjö Sevola, 1975; Lencinas, 1993; Gaillard de Benítez, 1994; Araujo y Lencinas, 1994; Pece *et al.*, 1997; Giménez y Ríos, 1999; Juárez de Galíndez *et al.*, 2003 y 2005; Araujo *et al.*, 2007; Maggio y Cellini, 2016).

El análisis económico y financiero realizado relaciona variables biológicas, datos oficiales y ecuaciones sencillas, constituyendo una herramienta innovadora para la región al permitir cuantificar el valor del bosque nativo de manera objetiva y reproducible. Los resultados proporcionan un indicador único de capitalización por hectárea, útil para la planificación y la toma de decisiones basadas en evidencias.

Los datos abarcan hasta el año 2021 por lo que se recomienda su actualización, de igual manera, es importante señalar que el enfoque se ha desarrollado con datos a escala

del Inventario Nacional (2015), por lo que su validación a nivel predial sería necesaria para una recomendación más precisa. Por último, considerando la magnitud del territorio analizado la presente propuesta puede servir como base para una política pública que garantice el flujo sostenible de madera.

Agradecimientos

Al Ministerio de Ambiente. 2015. Dirección Nacional de Bosques.
Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos.
A Cartera de proyectos: Instituto Nacional de Tecnología
Agropecuaria 2019 – 2023.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña Carmona, E & E Drake Aranda. 2003. Análisis del riesgo en la gestión forestal e inversiones silviculturales: una revisión bibliográfica. *Bosque (Valdivia)*, 24(1), 113-124.
- Araujo P., A. Remacha Gete, J. C. Medina S R. Taboada. 2003. Los recursos maderables del Chaco Semiárido Argentino. *Bol. Inform. Técnica AITIM* 224: 50-53
- Araujo, P. & Galíndez, M. & Iturre, Marta. 2007. Crecimiento De Las Especies Principales De Un Bosque En Regeneración Del Chaco Santiagueño. *Quebracho (Santiago del Estero)*. 14. 36-46.
- Araujo, P. y Lencinas, J. 1994. Crecimiento diamétrico y ciclo de corta para quebracho colorado (*Schinopsis quebracho colorado*). 17 pp.
- Araujo, P.; Iturre, M.; Acosta, V. y Renolfi, R. 2008. Estructura del bosque de La María, EEA INTA, Santiago del Estero. *Quebracho* N° 16 (5-19).
- Arce, R. 2020. Los bosques como capital natural. *Revista Forestal del Perú*, 35(2), 106-121.
- Bordón A. O. 1988. Forrajeras naturales. Desmonte y habilitación de tierras en la Región Chaqueña semiárida. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile. p. 56-84
- Brassiolo, M. 1997. Zur Bewirtschaftung degradierter Wälder im semiariden Chaco Nordargentiniens unter Berücksichtigung der traditionellen Waldweide. Tesis doctoral. Universidad Albert-Ludwigs Freiburg, Alemania. 147 p
- Brassiolo, M. M. y B. Pokorny (2000) Crecimiento de plantas jóvenes de quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis quebracho-colorado*). En *Quebracho*, N° 8. *Revista de Ciencias Forestales*. ISSN 0328-0543. P. 64-69.
- Brassiolo, M. 2001. Diagnóstico socioeconómico y de uso del suelo en la Zona de Amortiguamiento del Parque Nacional Copo. Área Protegida Copo. APN/GEF/BIRF
- Cabeza de Vergara, L y J. Castillo Fuentes. 2014. *Matemáticas financieras*. Editorial

- Universidad del Norte. Barranquilla (Colombia). ISBN 978-985-304-5.
- Cancino, J. 2012. Dendrometría básica. Editorial Universidad de Concepción. ISBN 9568029672. 171 pp.
- Cancino, J. y Gadow, K. 2002. Stem number guide curves for uneven-aged forests - development and limitations. In: Gadow, K. v., Nagel, J. u. Saborowski, J., 2001: Continuous Cover Forestry - Assessment, Analysis, Scenarios. Kluwer: 163-174.
- Carnevale, J. (1955). Árboles forestales. Descripción, cultivo, utilización. 689 p.
- Cruz Johnson, P, P. Honeyman Lucchini & C. Caballero Tapia. 2005. Propuesta metodológica de ordenación forestal, aplicación a bosques de lenga en la XI Región. Bosque (Valdivia), 26(2), 57-70.
- Cuadra, D. 2012. Problemática forestal en la provincia del Chaco, Argentina, Un análisis de la geografía. Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. Año 9. N° 18. Julio - diciembre. ISSN 1668-5180.
- Dieringer E. E. 2003. Estudio de la regeneración natural de *Schinopsis balansae* Engler, quebracho colorado chaqueño. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Dirección de Bosques de la provincia del Chaco. Estadísticas. <https://direcciondebosques.blogspot.com/p/estadisticas.html>
- Donoso, H., Promis Baeza, Á., & Soto, D. P. 2018. Silvicultura en bosques nativos. Experiencias en silvicultura y restauración en Chile, Argentina y el oeste de Estados Unidos. The Chile Initiative, OSU College of Forestry.
- Gadow, K., Sánchez, O., & Álvarez, G. 2007. Estructura y crecimiento del bosque. Göttingen, Alemania: Universidad de Göttingen.
- Gaillard de Benítez, C. 1994. Volumen comercial de árboles en dependencia del diámetro y la altura total en cuatro especies del Parque Chaqueño Seco. Quebracho 2: 71-74 (Segunda parte). Universidad Nacional de Santiago del Estero. 19 pp.
- Galarza J. B. 1915. Contribución al estudio del quebracho colorado. Instituto de Botánica y Farmacología, Facultad de Ciencias Médicas de Buenos Aires 32: 25-69.
- de Galíndez, M. J., Giménez, A. M., Pece, M., & Ríos, N. (2003). Comparación de la aplicación de dos modelos de efectos fijos y errores independientes en el crecimiento de *Schinopsis quebracho-colorado* (Schlecht.) Barkl. et Meyer. Foresta Veracruzana, 5(1), 15-22.
- García Cuevas, X y Hernández Ramos, J. 2013. Método alternativo para regular la estructura de selvas tropicales. II Simposio internacional en producción agroalimentaria tropical y XXV Reunión Científica – Tecnológica forestal y Agropecuaria. Tabasco, México. 418-423.

- Giménez, A. M. y Ríos N. 1999. Crecimiento de *Schinopsis quebracho colorado* (Schlecht.) Barkl. Et Meyer, Anacardiácea. Madera y Bosques 5 (2), 1999:35-5.
- Giménez, A. M.; Hernández, P.; Gerez, R. y Ríos, N. (2007). Diversidad vegetal en siete unidades demostrativas del Chaco semiárido argentino. Madera y bosques, 13(1), 61-78. <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1311236>
- González Molina, J. 2000. modelos de transformación de masa regular a irregular. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 9 (2).
- Hjortsø, C. N., Jacobsen, J. B., Kamelarczyk, K. B. F., & Moraes, M. 2006. Economía forestal en Bolivia. Botánica Económica de los Andes Centrales, 533-557.
- Izko, X., & Burne, D. 2003. Herramientas para la valoración y manejo forestal sostenible de los bosques sudamericanos. Oficina Regional para América del Sur de la UICN.
- Juárez de Galíndez, M., Giménez, A. M., Pece, M., & Ríos, N. 2003. Comparación de la aplicación de dos modelos de efectos fijos y errores independientes en el crecimiento de *Schinopsis quebracho-colorado* (Schlecht.) Barkl. et Meyer . Foresta Veracruzana, 5(1), 15-22.
- Juárez de Galíndez, M., Giménez, A., Ríos, N., & Balzarini, M. (2005). Modelación de crecimiento en *Prosopis alba* Griseb empleando dos modelos biológicos. Quebracho, 12, 34-42
- Lencinas, J. 1993. Análisis espirométricos de árboles dominantes de quebracho colorado y estudio de la estructura del rodal en el Chaco Seco. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Trabajo final de graduación. 97 pp.
- Maggio, A y Cellini, J. 2016. Recopilación de ecuaciones de volumen y biomasa de especies forestales de la República Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Presidencia de la Nación. 219 pp.
- Mariot, V. 2000. Uso múltiple de áreas forestales como factor de desarrollo (protección, producción, Uso social, fijación de carbono, sistemas agroforestales etc.). Conferencia realizada en la Universidad Nacional de Tucumán en el marco de la reunión anual de Ciencia y Técnica de la Universidades del NOA.
- Mendoza-Briseño, M. A.; Navarro-Martínez, A.; Negreros-Castillo, P. & Uu-Chi, R. (2021). Planeación del manejo forestal con fines patrimoniales. Madera y bosques, 27(1), e2712129. Epub 06 de mayo de 2021. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712129>
- Michela, J. F. y Juárez, M. (2016). Caracterización de un bosque del centro oeste de la provincia de Chaco, Argentina. Foresta Veracruzana, 18(1), 33-44.
- Michela, J. F. y Kees, S. M. 2021. Una aproximación a los costos de aprovechamiento forestal en el centro oeste de la provincia del Chaco, Argentina. Actas y

Disertaciones de Trabajos Voluntarios - XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos
- ISSN 2796 7530 – pp 101 -106

- Michela, J; Cassino, W.; Merletti, G. y De Bedia G. 2024. Aplicación de variables complementarias a la gestión sostenible de quebrachales en Santiago del Estero, República Argentina. Revista Multequina 33: 1-33.
- Ministério de Ambiente. 2015. Direccion Nacional de Bosques. Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos.
- Molina, N. A., & Mestres, L. M. (2021). Variaciones de tendencia, ciclos y volatilidad del precio de la madera en pie de eucalipto y pino en Entre Ríos para el período 2001-2020. Revista de la Facultad de Ciencias Económicas, 27(2), 35-47.
- Morello, J. & J. Adamoli. (1974). Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco Argentino: Vegetación y ambiente de la provincia del Chaco. Serie Fitogeográfica N°13. INTA, Buenos Aires, 130 pp.
- Pece, M. G.; C. Gaillard y N. Ríos. 1997. Tabla de volumen para quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis quebracho-colorado*) utilizando el método de mínimos cuadrados ponderados. Quebracho 3:41-50.
- Prado, D. E. 1993. What is the Gran Chaco vegetation in South America?. I. A review. Contribution to the study of flora and vegetation of the Chaco. V. Candollea 48:145-172.
- Ragonese A. E. & G. Covas. 1940. La distribución geográfica de los quebrachales en la provincia de Santa Fe. Revista Argent. Agron. 7: 176-184
- Ragonese A. E. & V. A. Milano. 1984. Vegetales y substancias tóxicas de la flora argentina. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. ACME, Buenos Aires.
- Romo-Lozano, J. L., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., & Ávila Angulo, M. L. 2017. Estimación del valor financiero de las existencias maderables de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en México. Madera y bosques, 23(1), 111-120.
- Torres Rojo, J. 2000. Sostenibilidad del volumen de cosecha calculado con el Método Mexicano de Ordenación de Montes. Madera y Bosques 6(2), 2000: 57-72.
- Valentini J. A. 1960. La reforestación con quebracho colorado y algunas normas silvícolas relacionadas con su aprovechamiento racional. Bonplandia 1: 51-69.
- Yrjö Sevola. 1975. NOA II. Inventario y desarrollo forestal del noroeste argentino. Convenio Gobierno Argentino/Programa NN. UU. Para el desarrollo. FO: DP/ARG/70/536. Documento de Trabajo N° 20.

**CARACTERIZACIÓN DASOMÉTRICA Y ANÁLISIS
ESPACIAL PARA FINES DE MANEJO FORESTAL
EN UNA PLANTACIÓN DE CIPRÉS
(*HESPEROCYPARIS LUSITANICA* (MILL.)
BARTEL.) EN EL ESTADO MERIDA, VENEZUELA**

DASOMETRIC CHARACTERIZATION AND SPATIAL
ANALYSIS FOR FOREST MANAGEMENT PURPOSES
IN A CYPRESS (*HESPEROCYPARIS LUSITANICA*)
PLANTATION IN MÉRIDA STATE, VENEZUELA

**CARLOS F. RODRIGUEZ¹, JESUS ANDRADES GRASSI²,
ARTURO OSORIO³, SIMON DUGARTE⁴, MARIANO DURAN⁵,
ANGIELO GIOVANNI SÁNCHEZ M.⁶**

Departamento Botánica y Ciencias Básica. FCFA-ULA. Venezuela Email: carlosfran40@Gmail.com, 2. Departamento de Ordenación de Cuencas, FCFA-ULA. Venezuela, Email: Koflasjesus@gmail.com, 3. Laboratorio de Fotogrametría y Sensores Remotos. FCFA-ULA, Email: raosorio@gmail.com, 4. FCFA, Instituto San Javier del Valle Fe y Alegría, Email: dugarte.simon@gmail.com, 5. Departamento de Manejo de Bosque. mjduran@ula.ve, FCFA-ULA, 6. Ingeniero Forestal, Email: giovanangiesankin@gmail.com

Recibido 29 septiembre 2024 – Aceptado 20 noviembre 2024

Resumen

Se presenta una caracterización dasométrica basada en un inventario forestal completo, complementado con análisis espacial de los datos, de una plantación madura de ciprés (*Hesperocyparis lusitanica* (Mill.) Bartel) establecida hace más de 50 años en el Instituto San Javier del Valle, Fe y Alegría, Mérida, Venezuela. Se evaluó el estado actual del rodal con fines de planificación de su manejo forestal y para garantizar su continuidad en el tiempo. La plantación contiene 1.000 árboles, con una densidad de 282 árboles/ha, un área basal de 37,87 m²/ha y un volumen de madera en pie de 384,72 m³/ha. El análisis estadístico espacial evidenció una autocorrelación espacial significativa en las variables medidas (P = 0,001). Los resultados indican que el rodal se encuentra en estado maduro, con un crecimiento aparentemente detenido, alta densidad y fuerte competencia. Estas condiciones, sumadas a la ausencia de intervención silvicultural y a características edáficas desfavorables para la especie, han provocado una elevada mortalidad arbórea. Se recomienda realizar estudios ecológicos y de impacto ambiental que orienten la implementación de prácticas silviculturales como aclareo, saneamiento y

Palabras clave:

caracterización
dasométrica
ciprés
manejo forestal
estadística espacial

reforestación, que generen beneficios a la institución y contribuyan a la sostenibilidad de la plantación en el tiempo.

Abstract

A dendrometric characterization is presented based on a complete forest inventory, complemented with spatial analysis of the data, of a mature cypress plantation (*Hesperocyparis lusitanica* (Mill.) Bartel) established more than 50 years ago at the Instituto San Javier del Valle, Fe y Alegría, Mérida, Venezuela. The current condition of the stand was evaluated for forest management planning purposes and to ensure its continuity over time. The plantation contains 1,000 trees, with a density of 282 trees/ha, a basal area of 37.87 m²/ha, and a standing timber volume of 384.72 m³/ha. Spatial statistical analysis showed significant spatial autocorrelation in the measured variables ($P = 0.001$). The results indicate that the stand is in a mature state, with apparently stalled growth, high density, and strong competition. These conditions, combined with the lack of forestry intervention and soil characteristics unfavorable to the species, have caused high tree mortality. It is recommended to carry out ecological and environmental impact studies to guide the implementation of forestry practices such as thinning, sanitation, and reforestation, which provide benefits to the institution and contribute to the long-term sustainability of the plantation.

Key Words:

dendrometric
characterization
cypress
forest management
spatial statistics

1. INTRODUCCION

La caracterización e inventarios de plantaciones son insumos directos para la toma de decisiones silviculturales, siempre que el diseño del inventario sea adecuado y capture la heterogeneidad del rodal (Kangas *et al.*, 2006; Imaña *et al.*, 2014). Los inventarios pueden realizarse por muestreo o por censo; este estudio adopta el censo para registrar la ubicación y las características dasométricas de cada árbol, considerando además condiciones de sitio, suelo y rasgos genotípicos y fenotípicos relevantes para el manejo (IBIF, 2022; Meza y Torres, 2006).

El procesamiento tradicional que asume independencia espacial puede subestimar la estructura del rodal. La estadística espacial permite modelar dependencia y clústeres de variables dasométricas, mejorando la base para decisiones operativas (Arias, 2018). En paralelo, la silvicultura de precisión integra topografía, cartografía y SIG para modelar la variabilidad espacial y temporal de la producción y generar mapas útiles para identificar factores limitantes (Boada, 2002; Ortiz, 2003).

Los tratamientos silviculturales deben aplicarse conforme a los objetivos de la plantación y al estado de la masa (Espinosa *et al.*, 2017). El raleo es central para gestionar la densidad y promover el crecimiento de individuos selectos; su intensidad condiciona la respuesta en crecimiento diametral y área basal, como muestran estudios en

Hesperocyparis lusitanica y en otras especies (Chaves *et al.*, 2012; Goitia, 1954; Nazaruk, 2019). La eliminación de árboles moribundos o enfermos y el aprovechamiento de madera de árboles caídos reducen competencia y pueden generar ingresos (Tacha y Moreno, 2016; Sánchez y Morera, 2020). Referencias regionales sugieren calendarios e intensidades de raleo para ciprés que orientan la práctica (INAB, 2017) y aportes locales previos contextualizan las decisiones en el área de estudio (Trejo, 2007; Lárez, 2006).

Este trabajo caracteriza una plantación madura de *Hesperocyparis lusitanica* en San Javier del Valle (Mérida, Venezuela) mediante un censo forestal y análisis de autocorrelación espacial, con SIG como soporte. El objetivo es proponer prescripciones de manejo espacialmente explícitas —raleo, saneamiento y reposición— sustentadas en evidencia de dependencia espacial (índice de Moran y Análisis de autocorrelación espacial local (LISA por sus siglas en inglés) para garantizar la permanencia de la plantación y contribuir a la sostenibilidad económica del Instituto San Javier del Valle, Fe y Alegría.

2. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La plantación de ciprés (*Hesperocyparis lusitanica*) se ubica en la finca del Instituto Educativo San Javier del Valle, Fe y Alegría, sector El Valle, parroquia Gonzalo Picón Febres, municipio Libertador, estado Mérida, Venezuela. El emplazamiento se encuentra entre 08°35'02"–08°48'11" N y 71°00'00"–71°08'00" O, dentro de la subcuenca del río Mucujún (Dugarte y Arzubialde, 2002). La subcuenca presenta origen tectónico con bloques levantados que conforman las vertientes y un bloque deprimido en el fondo del valle (Valverde, 1980; García, 1996).

La plantación fue establecida entre 1975 y 1980, ocupa 3,55 ha y se concibió con fines conservacionistas y como barrera acústica (L. E. Gamboa, comunicación personal el 12 de agosto de 2023). Los suelos, influenciados por la litología y mineralogía de la cuenca del Mucujún, muestran variación en propiedades físicas y químicas. El clima es húmedo, con precipitación anual entre 1.000 y 3.000 mm y ligera disminución de lluvias entre diciembre y marzo, sin estación seca marcada (Ospino *et al.*, 2012).

H. lusitanica es una conífera de distribución natural desde el sur de Chiapas hasta Nicaragua y amplia introducción por su valor forestal y ornamental (INAB, 2020). Alcanza 20 – 35 m de altura y diámetros de 100 – 120 cm a la altura del pecho; presenta fuste recto y acanalado, corteza fibrosa y copa cónica que se amplía con la edad (Rojas y Torres, 2015). Su madera se utiliza en construcción y mueblería, y el aceite esencial tiene aplicaciones cosméticas y farmacéuticas (INAB, 2020).

Implicaciones para el análisis espacial y el manejo: La topografía estructural del valle y la variabilidad edáfica pueden inducir patrones espaciales de crecimiento y estabilidad del fuste, mientras que las altas precipitaciones favorecen la caída y mortalidad en sectores expuestos. Estas condiciones justifican el uso de matrices de pesos por distancia euclidiana y el análisis LISA para delimitar subunidades operativas, priorizando raleos en clústeres Alto – Alto, saneamiento en zonas con árboles caídos o inclinación

severa y reposición en clústeres Bajo – Bajo.

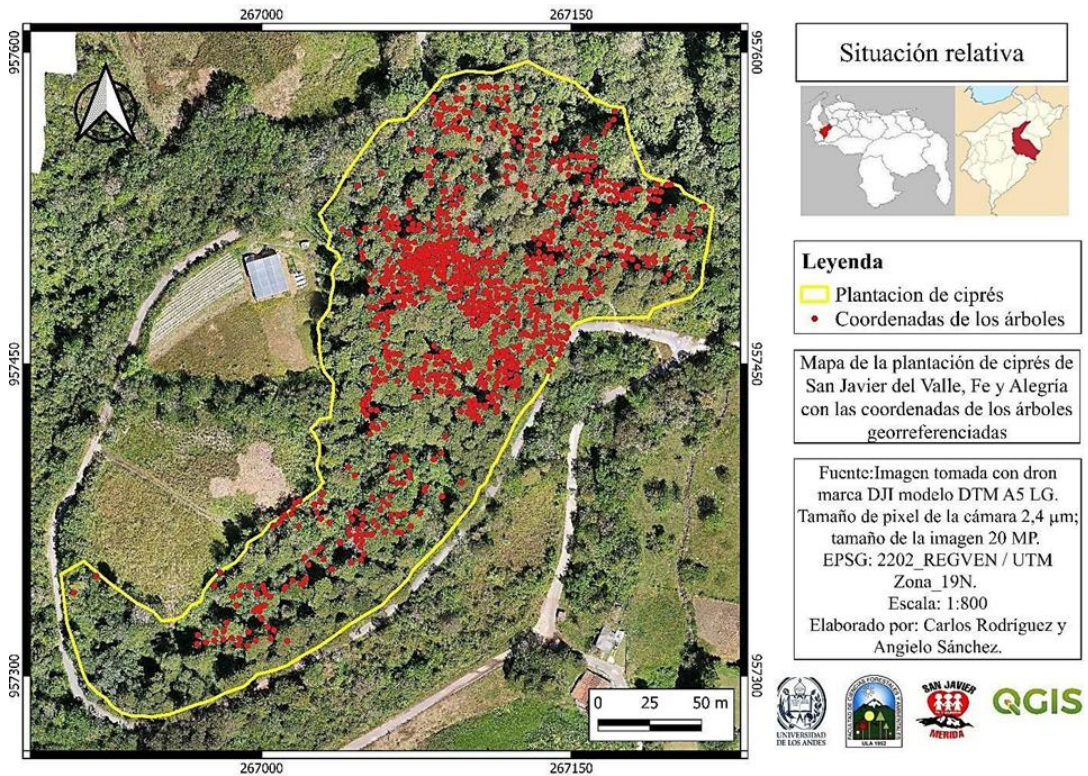


Figura 1. Ubicación de la plantación y coordenadas UTM de los árboles en San Javier del Valle

3. MÉTODOS

Se realizó un censo forestal completo de la plantación para registrar la ubicación y las características de cada árbol, conforme a inventarios exhaustivos de referencia (Avery & Burkhardt, 2015). Se consideraron las variables DAP, área basal, altura total (Ht) y altura de fuste (Hf); se evaluaron calidad de fuste, estado fitosanitario e inclinación del fuste, siguiendo metodologías estandarizadas (Husch *et al.*, 2003). La calidad de fuste se clasificó con base en rectitud, bifurcaciones y ramificación (Smith & Johnson, 2018). El estado fitosanitario se evaluó mediante signos visibles de daño y enfermedad (Manion, 2003). La inclinación del fuste (α) se midió con brújula y clinómetro.

Las coordenadas de los árboles se obtuvieron a partir de imágenes aéreas de alta resolución capturadas con dron. Las rutas de vuelo se planificaron en Drone Harmony, con solapes adecuados para fotogrametría (Eisenbeiss, 2009; Verhoeven, 2011). Las imágenes se procesaron en Agisoft Metashape para generar ortomosaico y productos derivados que permitieron mapear con precisión cada individuo.

Se calcularon estadísticas descriptivas (media, desviación estándar, mínimos y máximos) de las variables cuantitativas. Para la estructura espacial se aplicó autocorrelación global mediante el Índice de Moran con permutaciones, empleando matrices de pesos definidas por distancia euclidiana y criterio de vecindad coherente con el correlograma empírico (Moran, 1950; Anselin, 1995; Fortin y Dale, 2005). El análisis local se efectuó con LISA para identificar clústeres Alto – Alto y Bajo – Bajo y valores atípicos espaciales. Los mapas de clúster y significancia se generaron en GeoDa 1.22 (Anselin, 2020).

La evidencia espacial se tradujo en reglas de decisión operativas. Las subunidades se delimitaron con los polígonos LISA significativos, se priorizaron raleos de competencia en clústeres Alto – Alto para reducir presión de copa y estabilizar la estructura, saneamientos donde se concentran árboles muertos, caídos o inclinación severa, y reposición dirigida en clústeres Bajo – Bajo para cerrar claros. Estudios aplicados en contextos forestales respaldan el uso de Moran y LISA para distribución de árboles, incendios y cobertura del suelo (Vásquez Rivas *et al.*, 2022).

4. RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 Estructura y distribución diamétrica

La plantación presenta alta densidad, con 1.233 individuos en 3,55 ha. La distribución diamétrica se concentra en 20 – 40 cm de DAP, Tabla 1, reflejando un estado de madurez con predominio de clases intermedias. Los promedios registrados fueron DAP = 37,98 cm, Ht = 17,38 m y Hf = 12,45 m, Tabla 2. Esta configuración respalda el potencial de producción de madera y orienta intervenciones de raleo para aliviar competencia en estratos dominantes (Oliver & Larson, 1996; Avery & Burkhart, 2015).

Tabla 1. Densidad, área basal y volumen de los árboles de la plantación de ciprés, por categorías diamétricas

Nº	Categoría diamétrica (cm)	Densidad (árboles/ha)	AB (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
1	[10,00 - 20,00)	31	0,6555	4,7984
2	[20,00 - 30,00)	70	3,5122	31,8796
3	[30,00 - 40,00)	65	6,1719	60,9983
4	[40,00 - 50,00)	59	9,2723	97,1580
5	[50,00 - 60,00)	29	6,8505	71,6340
6	[60,00 - 70,00)	15	4,9102	54,3325
7	≥ 70,00	12	6,5031	63,9211
Total		282	37,8756	384,7220

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de los árboles de la plantación de ciprés

Variable	N° árboles	Mínimo	Máximo	Total	Media	Desv. tip.
DAP (cm)		9,87	111,41		37,98	16,43
Ht (m)		2,00	28,00		17,38	4,55
Hf (m)	1000	3,00	20,00		12,45	3,47
AB (m ²)		0,01	0,97	134,4585	0,14	0,12
V (m ³)		0,03	9,60	1365,7630	1,37	1,34

Nota: Desv. tip., se refiere a la desviación típica o desviación estándar de la variable. Fuente: Elaboración propia.

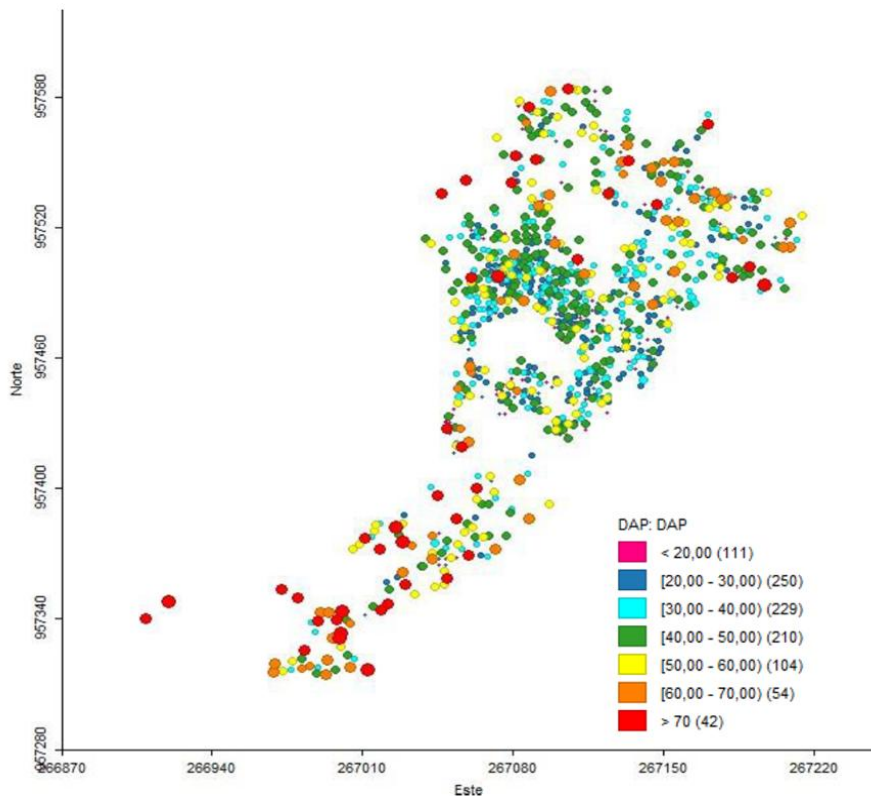


Figura 2. Gráfico de burbujas con la ubicación espacial de los árboles de la plantación de ciprés, por categorías diamétricas

4.2 Condición de fuste y selección de candidatos a extracción

Se identificaron 311 árboles ($\approx 25\%$) con mala calidad de fuste, condición fitosanitaria deficiente o posición sociológica desfavorable. La remoción de este

subconjunto equivale a 22,8474 m² de área basal y 188,6670 m³ de volumen en pie, con impacto esperado en la liberación de crecimiento y mejora de la calidad del remanente (Smith & Johnson, 2018). La georreferenciación de candidatos optimiza su localización en campo y la logística de extracción.

4.3 Estado fitosanitario por clases diamétricas.

La incidencia de árboles muertos o moribundos es mayor en clases diamétricas bajas, sugiriendo susceptibilidad a estrés biótico/abiótico y efectos de competencia temprana (Manion, 2003). Los mapas clúster y de significancia permiten ubicar focos de problemas sanitarios y priorizar medidas de control y saneamiento.

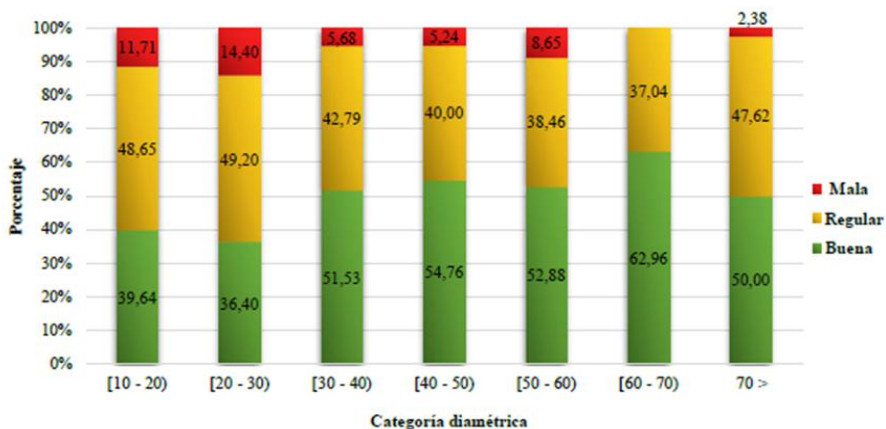


Figura 3. Calidad de fuste en unidades relativas de los árboles de la plantación, por categorías diamétricas

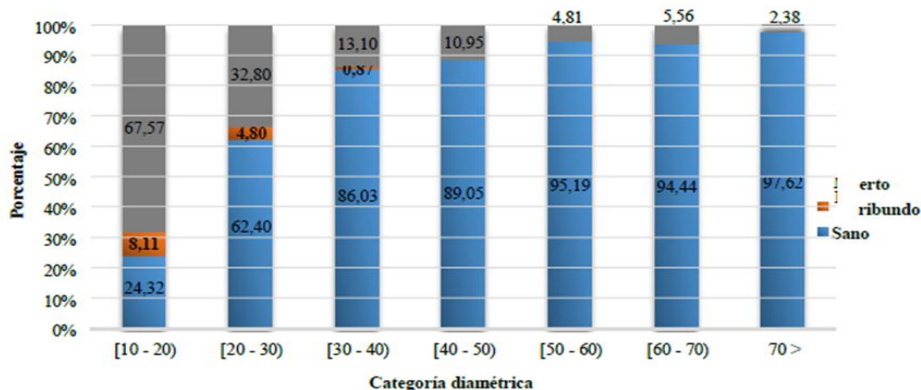


Figura 4. Estado fitosanitario en unidades relativas de los árboles de la plantación de ciprés, por categoría diamétrica

4.4. Autocorrelación espacial y patrones locales (LISA)

El I de Moran global fue positivo y significativo para DAP, Ht y Hf, evidenciando dependencia espacial; valores similares tienden a agruparse (Moran, 1950; Fortin & Dale, 2005). El análisis LISA identificó clústeres Alto–Alto (HH) y Bajo–Bajo (LL) para las variables dasométricas, útiles para delimitar subunidades operativas: raleos de competencia focalizados en HH; saneamiento donde se concentran muertos, moribundos o inclinación severa; y reposición dirigida en LL. Estos patrones reflejan heterogeneidad de sitio y procesos de competencia intraespecífica (Anselin, 1995).

En las Figura 5 y 6, se presentan los diagramas de dispersión del índice de autocorrelación de Moran para DAP y para el volumen de madera en pie.

La Figura 7 presenta el Mapa clúster para la variable DAP transformada y la Figura 8 el mapa clúster de la variable volumen de la madera en pie.

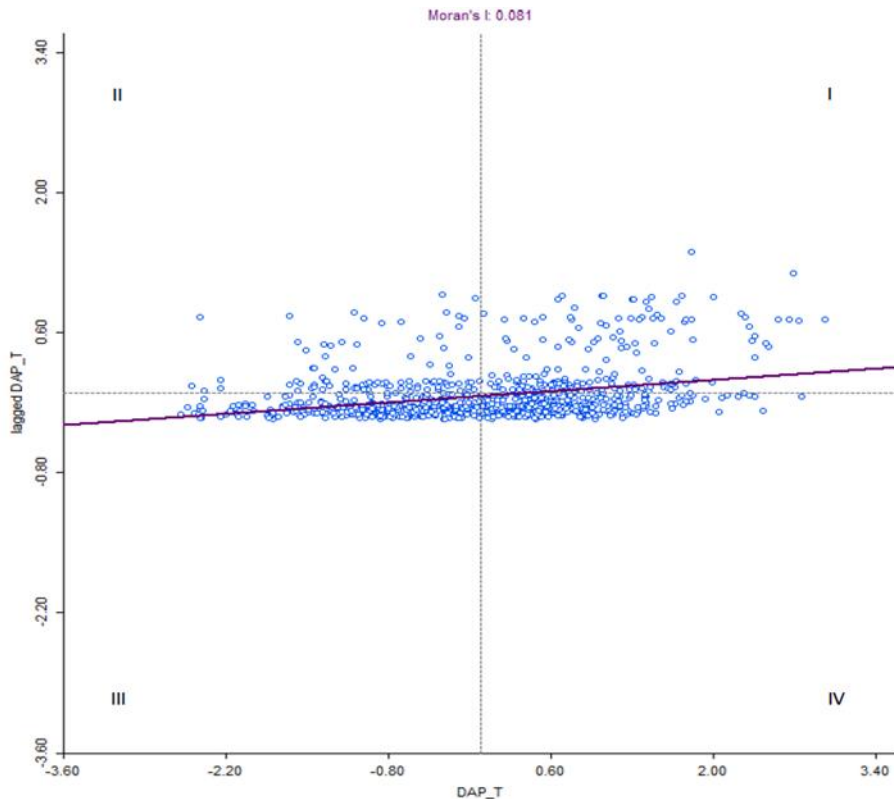


Figura 5. Diagrama de dispersión del índice de autocorrelación espacial de Moran para DAP

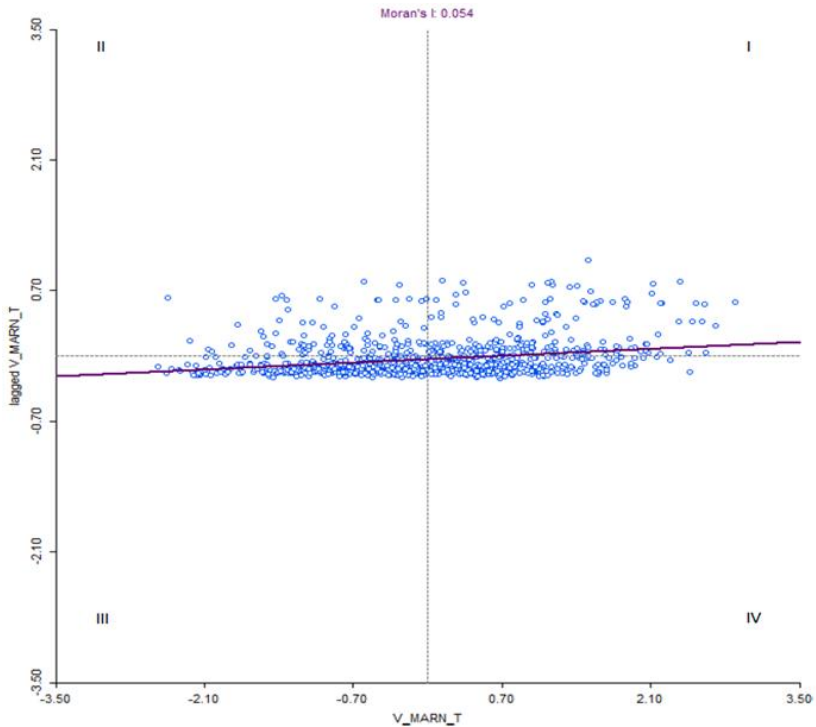


Figura 6. Diagrama de dispersión del índice de autocorrelación espacial de Moran para volumen de madera en pie

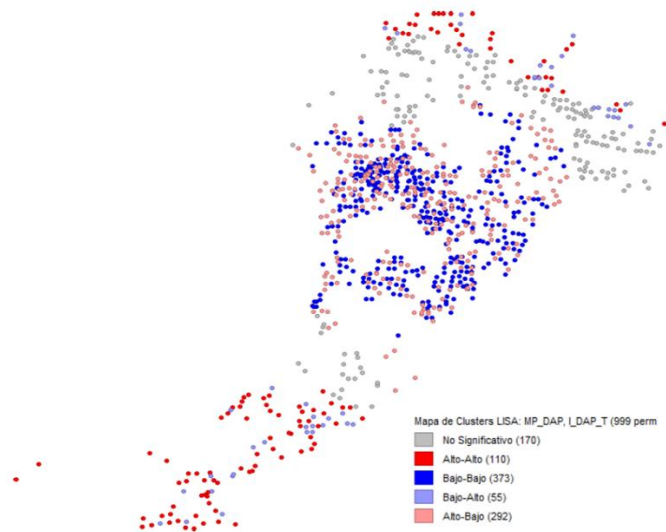


Figura 7. Mapa clúster para la variable DAP transformada de los árboles de la plantación de ciprés en San Javier del Valle

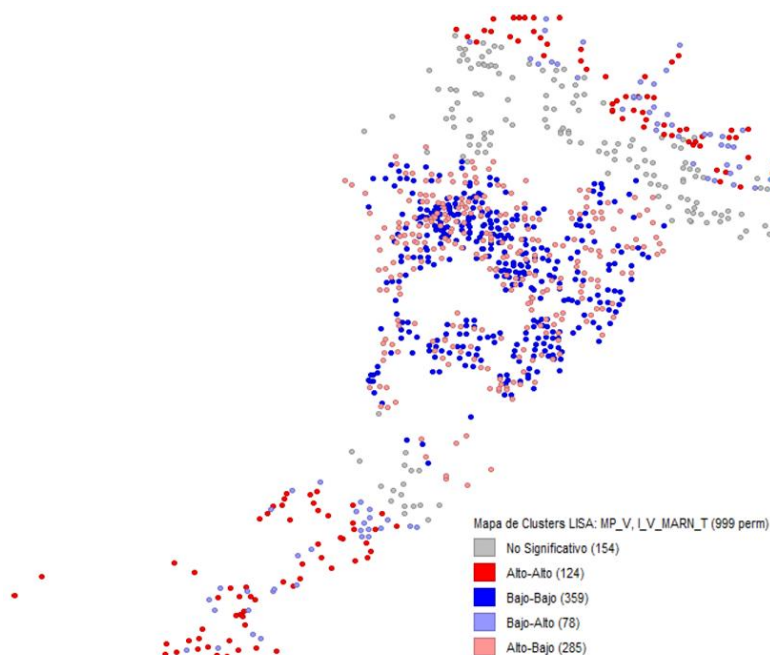


Figura 8. Mapa clúster para la variable volumen de madera en pie de los árboles de la plantación de ciprés en San Javier del Valle

4.5 Síntesis para manejo

La plantación se encuentra en etapa apta para producción de madera, pero requiere intervenciones selectivas basadas en evidencia espacial para optimizar crecimiento y calidad, reducir fuentes de enfermedad y estabilizar la estructura del rodal a largo plazo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La plantación de *Hesperocyparis lusitanica* se encuentra en etapa madura, con indicios de estancamiento en sectores donde coinciden diámetros y volúmenes bajos. La ausencia histórica de manejo, sumada a condiciones edáficas y espaciamientos reducidos, ha favorecido caídas y mortalidad, mientras que la zona central mantiene densidad elevada con competencia y supresión. El volumen en pie constituye un recurso aprovechable que requiere planificación. El análisis espacial, con SIG y GeoDa 1.22, confirmó autocorrelación global positiva y clústeres locales (LISA) para DAP, Ht, Hf y volumen, lo que evidencia asociación espacial coherente con el origen homogéneo de la plantación y la falta de intervenciones. Los mapas de clúster y significancia permiten ubicar áreas HH (alta competencia) y LL (vacíos) como base para decisiones operativas

y monitoreo adaptativo.

Las recomendaciones principales se organizan en cinco líneas de acción:

- Raleo y saneamiento. Reducir densidad y competencia mediante raleos de competencia focalizados en clústeres HH, con metas de área basal compatibles con la madurez del rodal; extraer árboles muertos, caídos, moribundos, enfermos o con inclinación severa, priorizando bordes vulnerables.
- Extracción operativa. Implementar extracción por bloques en la zona central para una remoción controlada y evaluable, en línea con guías aplicables a ciprés (INAB, 2020). Realizar evaluación de impacto ambiental previa a cualquier aprovechamiento.
- Reposición y mezcla de especies. Reponer en clústeres LL y evaluar mezcla con especies compatibles con las condiciones del sitio y con *H. lusitanica*, considerar la presencia local de fresnos y realizar pruebas de compatibilidad.
- Mejoramiento y vivero. Establecer un programa de mejoramiento genético con árboles semilleros identificados durante el censo; acondicionar el vivero institucional para producir plántulas de alta calidad.
- Monitoreo y soporte analítico. Implementar monitoreo continuo con el flujo dron-fotogrametría-SIG-GeoDa, actualizando LISA tras las intervenciones para ajustar intensidades por subunidad. Complementar con análisis de suelo para orientar prácticas de mejora y con equipos de georreferenciación de mayor precisión para optimizar coordenadas UTM.

REFERENCIAS

- Anselin, L, 1995. Local indicators of spatial association- LISA. *Geographical Analysis* 27(2):93- 115.
- Anselin, L. 2020. GeoDa Workbook. Spatial Data Wrangling. Archivos libres disponibles en: <https://geodacenter.github.io/documentation.html>
- Arias, M. 2018. Evaluación de modelos geoestadísticos aplicados a variables de densidad del rodal para la planeación de operaciones de entresaca en plantaciones de melina (*Gmelina arborea*) a partir de datos de inventario en el municipio de Zambrano (Bolívar, Colombia). [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Archivo digital. [https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/14672/1/AriasSanchezMaria Natalia2018.pdf](https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/14672/1/AriasSanchezMaria%20Natalia2018.pdf)
- Avery, T. E., & Burkhart, H. E. 2015. *Forest measurements*. Waveland Press. <https://doi.org/10.1093/JOFORE/FVZ037>
- Boada, A. 2002. *Conceptos básicos de geoestadística*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.

- Crawley, M. J. 2013. The R book. John Wiley & Sons.
- Chaves, E., Chinchilla, O. y Mora-Chacón, F. 2012. Evaluación de incrementos en ensayos de aclareo para *Cupressus lusitanica* Miller en la región central de Costa Rica. *Revista Forestal Venezolana*, 56 1, 29-49.
- Dugarte, S. y Arzubialde, J. 2002. Plan de ordenación en plantación de fresnos. San Javier del Valle Grande (Fe y Alegría), Mérida. Fe y Alegría, Mérida, Venezuela.
- Eisenbeiss, H. 2009 UAV Photogrammetry. DISS. ETH NO. 18515, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3817708>
- Espinosa, M., Acuña, E., García, J., Rodríguez, R. y Rubilar, R. (Ed.). (2017). *Silvicultura de bosques plantados con fines productivos*. Sello Editorial Universidad de Concepción. http://www.forestal.udec.cl/wp-content/uploads/2021/10/Silvicultura_de_bosques.pdf
- Fortin, M. J., & Dale, M. R. 2005. *Spatial analysis: a guide for ecologists*. Cambridge University Press.
- García, X. 1996. Efectos del uso de la tierra (residencial, turística y agropecuaria) sobre la calidad del agua del río Mucujún. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-49102006000300010
- Goitia, D. 1954. Estudio del incremento volumétrico del *Cupressus lusitanica* Mill. en relación a la edad y el sitio. [Tesis de posgrado. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica].
- Husch, B., Beers, T. W., & Kershaw Jr., J. A. 2003. *Forest Mensuration* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Sons. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1459755>
- Imaña, J., Jiménez, J., Valéria, A., Rainier, C., Antunes, O. y Serpa, M. 2014. *Conceptos dasométricos en los inventarios fitosociológicos* (2nd ed.). Universidad de Brasilia. https://www.academia.edu/9810575/Conceptos_dasom%C3%A9tricos_en_los_inventarios_fitosociol%C3%B3gicos
- IBIF 2022. *Guía de Censo Forestal para Organizaciones Forestales Comunitarias*. Instituto Boliviano de Investigación Forestal, Santa Cruz, Bolivia. <https://ibifbolivia.org/bo/wp-content/uploads/2023/03/Guia-para-censo-forestal.pdf>
- INAB 2017. *Ciprés común (Cupressus lusitanica Miller)*. Paquete Tecnológico Forestal. Guatemala, INAB. http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2802/Technical/CIPRES.pdf
- Kangas, A., Gove, J. y Scott, C. (2006). Introduction. *En*: A. Kangas y M. Maltamo (Ed.). *Forest Inventory*. (pp. 6-12) Springer. <https://link.springer.com/chapter/>

10.1007/1-4020-4381-3_1

- Lárez, N. 2006. Evaluación de plantación de fresno y propuestas de alternativas de manejo en Fe y Alegría, San Javier del Valle Mérida estado Mérida. [Tesis de grado. Universidad de los Andes, Venezuela].
- Manion, P. D. 2003. Tree disease concepts. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Meza, A. y Torres, G. 2006. El raleo: una operación silvicultural fundamental. Kurú: Revista Forestal, 3(8), 1- 3. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123388.pdf>
- Moran, P. A. P. 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. Biometrika, 37(1-2), 17-23. <https://doi.org/10.1093/biomet/37.1-2.17>
- Nazaruk, K. 2019. Efecto del raleo selectivo manual sobre variables forestales en un bosque del establecimiento Bajo Verde. La Pampa, Argentina. [Tesis de grado. Universidad Nacional de La Pampa, Argentina].
- Oliver, C. D. & Larson, B. C. 1996. Forest stand dynamics. (Update Edition) John Wiley & Sons. Yale School of the Environment Other Publications. https://elischolar.library.yale.edu/fes_pubs/1
- Ortiz, J. 2003. Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. [Tesis de maestría, Universidad de São Paulo, São Paulo, Brasil].
- Ospino, H., Paredes, D., Peña, K., Rujano, M. y Vergara, L. 2012. Aproximación de unidades ambientales y determinación de la capacidad de acogida, como ejercicio de planificación territorial en la Sub-cuenca del Río Mucujún, Parroquia Gonzalo Picón Febres del Municipio Libertador del Estado Mérida, Venezuela. Ecodiseño y Sostenibilidad, 4 1, 32-92.
- Sánchez, D. y Morera, A. 2020. La madera caída: un recurso subutilizado de los bosques. Ambientico, 275 (7), 43-4. https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/31171/275_43-47.pdf
- Smith, J. L., & Johnson, A. B. 2018. Applications of spreadsheet software in forest inventory. Journal of Forestry, 116 3, 245-252.
- Tacha, F. y Moreno, J. 2016. Plan de manejo y aprovechamiento forestal de *Acacia mangium* Willd en la finca El Delirio, Puerto Lleras Meta. Periodo 2014 – 2030. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Villavicencio, Colombia]. <https://acortar.link/SeNDMZ>
- Trejo, M. 2007. Propuesta de manejo forestal de una plantación a pequeña escala de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl en San Javier del Valle edo. Mérida- Venezuela. Tesis de Grado. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

- Valverde, L. 1980. Incidencia de parámetros físicos naturales en el grado de erosión de la cuenca del río Mucujún. [Tesis de maestría, Universidad de Los Andes]. Mérida, Venezuela.
- Vásquez-Rivas, D., Andrades-Grassi, J., Gámez, L., & Rodríguez, G. 2022. Exploración y comparación de la distribución espacial de los bosques periurbanos en Mérida, Venezuela. *Colombia Forestal*, 25(1), 36-50.
- Verhoeven, G. J. 2011. Taking computer vision aloft: archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with a digital still camera. *Archaeological Prospection*. DOI: 10.1002/arp.399

PRODUCCIÓN DE CARBÓN Y CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE SUBPRODUCTOS GENERADOS EN LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA PALMA ACEITERA

PRODUCTION OF CHARCOAL AND ACTIVATED CHARCOAL FROM BY-PRODUCTS GENERATED IN OIL PALM PROCESSING

ARIÁN GONZÁLEZ¹, OSVALDO ENCINAS², YANIRA RANGEL¹, YOLI MOLINA³

1. Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, Mérida, Venezuela

2. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, ORCID 0000 0003 3423 4748

3. Laboratorio Nacional de Productos Forestales, MINEC-ULA, Mérida, Venezuela

Recibido 29 julio 2024 – Aceptado 23 noviembre 2024

Resumen

Durante la industrialización de la palma aceitera (*Elais guineensis* Jacq.), el proceso de extracción de aceite vegetal crudo de palma africana genera considerables cantidades de subproductos residuales, como los restos de racimos, fibras del mesocarpio y del cuesco, que usualmente se destinan a lodos para reciclaje o como combustible para la planta provocando pérdidas y contaminación ambiental. Estas materias primas tienen un potencial valor agregado, siempre y cuando se puedan determinar los productos que pueden obtenerse. Para contribuir al conocimiento de potenciales usos, se realiza un estudio del proceso de pirólisis de biomasa para la producción de carbón activado como alternativa de uso y viabilidad comercial. Se diseñó, construyó y puso en marcha un reactor prototipo lote sin agitación, en forma de horno no rotatorio, con el propósito de someter los residuos industriales a un proceso de pirólisis. En el diseño del proceso se establecieron y evaluaron los principales parámetros operacionales como temperatura, tamaño de partícula, presión, velocidad de calentamiento y tiempos de retención de la materia prima en el horno.

Obtenido el carbón como precursor, se realizó su activación química a partir de la impregnación con ácido fosfórico al 55 %. Los resultados muestran que a 400 °C, 15 psi, 12 °C/min y partículas de 2 a 30 mm, el cuesco tuvo el mayor rendimiento, superando el 49 %, sobre las otras biomásas, pero requirió mayor tiempo de retención y gasto de energía, aproximadamente de 35 minutos. El carbón activado procedente de la fibra de mesocarpio demostró mejores porcentajes de remoción en la prueba de adsorción con azul de

Palabras clave:

carbón vegetal

carbón activado

palma africana

Elais guineensis

metileno, por encima del 85 %.

Abstract

Key Words:

charcoal

activated charcoal

oil palm

Elais

During the industrialization of the oil palm (*Elais guineensis* Jacq.), the process of extracting crude vegetable oil from African palm generates considerable amounts of residual by-products, such as bunch residues, mesocarp fibers, and kernel fibers, which are usually destined for recycling sludge or used as fuel for the plant, causing losses and environmental pollution. These raw materials have potentially added value, as long as the products that can be obtained from them can be identified. To contribute to the knowledge of potential uses, a study was conducted on the biomass pyrolysis process to produce activated carbon as an alternative use and commercial feasibility. A batch prototype reactor without agitation, in the form of a non-rotating oven, was designed, built, and put into operation with the purpose of subjecting industrial residues to a pyrolysis process. In the process design, the main operational parameters were established and evaluated such as temperature, particle size, pressure, heating rate, and retention times of the raw material in the furnace.

Once the charcoal was obtained as a precursor, chemical activation was carried out through impregnation with 55 % phosphoric acid. The results show that at 400 °C, 15 psi, 12 °C/min, and particles of 2 to 30 mm; the bean shell had the highest yield, exceeding 49 %, compared to the other biomasses, but required longer retention time and energy consumption, approximately 35 minutes. The activated charcoal derived from mesocarp fiber demonstrated better removal percentages in the methylene blue adsorption test, above 85%..

1. INTRODUCCIÓN

Consecuencia del establecimiento en Venezuela de plantaciones con palma aceitera africana (*Elais guineensis* Jacq.) en el sur del lago de Maracaibo para producir aceites y derivados grasos, se originan variados subproductos, mayoritariamente biomasa lignocelulósica, tanto durante la fase de cosecha como a lo largo del proceso extractivo de aceite y grasas en las plantas de beneficio de la industria venezolana de la palma africana. Raramente se presta atención al valor agregado que pudieran tener estos subproductos del proceso de obtención de aceite de palma; usualmente dispuesto a ser desechado con la consecuente pérdida de materia prima potencial no aprovechada, resultan además un factor de contaminación ambiental de los suelos, donde actualmente son depositados, y en el aire que afecta a las comunidades locales.

Los subproductos de cosecha en el campo (estípites y hojas) suelen dejarse en el sitio de aprovechamiento considerando que desintegrados en el tiempo se incorporan al suelo y se estima que servirían como abono natural, pero conforman un pasivo ambiental importante que debe solucionarse. Los racimos de frutos frescos que llegan a la planta de procesamiento conforman el material que será sometido al proceso de

extracción de aceite de palma; el procesamiento de los racimos de frutos frescos se realiza en varias etapas durante las cuales se producen diversos subproductos, entre los cuales se cuentan los raquis y/o racimos sin fruto, el conglomerado de fibras que componen el mesocarpio y el cuesco, los cuales son usualmente desechados, aunque parcialmente algunos se emplean como biocombustible para generar la energía calórica requerida por la planta de procesamiento de los aceites.

De las partes desechadas en el proceso industrial de obtención de aceite destacan los racimos de frutos vacíos (raquis) y las fibras del mesocarpio que conforman una biomasa lignocelulósica cuya composición es variada, abriendo la posibilidad de ser aprovechada para convertirla en diversos productos entre los cuales llama la atención el carbón, como biocombustible o para mejorar suelos agrícolas conocido como biocarbon. Particularmente es atractivo producir carbón activado debido a su capacidad de adsorber sustancias químicas y toxinas, lo que lo convierte en un producto valioso con una amplia gama de aplicaciones y para variados procesos industriales.

Los procesos de pirólisis de biomasa para la producción de carbón, biocarbon y carbón activado, como alternativa para el aprovechamiento de subproductos residuales industriales generados por empresas que disponen de tales subproductos, está llamando la atención en Venezuela; no tanto a empresas forestales tradicionalmente productoras de residuos lignocelulósicos, como los forestales, sino particularmente a empresas agroindustriales cuyos subproductos y residuos son variadas formas de biomasa vegetal.

Si bien los procesos de obtención de carbón, biocarbón o carbón activado son conocidos, en el país son pocos los trabajos relacionados con el tema y menos aún los relacionados con la producción de carbón activado utilizando biomasa residual del proceso de obtención de aceite de palma; pero se conocen varios trabajos sobre el tema. En Colombia se investigó la producción de biocarbon (biochar en inglés) a partir de residuos de palma africana para la obtención de biocombustibles (Arteaga, J. *et al.*, 2012). En Ecuador se investigó la obtención y caracterización de biochar a partir de los residuos tusa, cuesco y hojas de palma africana utilizando un reactor tubular y 500 °C para la pirólisis, resultando que la tusa (racimos vacíos) es el mejor tipo de biomasa (Guangsig Morocho, C. J., 2022). También en Ecuador, se probó el potencial del cuesco de palma africana para producir biochar para remediación de suelos agrícolas mediante pirólisis lenta, resultando óptimo la temperatura de 600 °C para un biochar que aplicado a los suelos en 5 % mostró resultados adecuados (Álvarez *et al.*, 2022).

La carbonización requiere contar con hornos o reactores los cuales tienen características particulares y para producir carbón activado se debe prestar atención a la identificación de los parámetros que intervienen en la construcción del equipo para la carbonización y considerar una segunda etapa que precisa la definición del método de activación (Hernández, L. y Herrera, J. (2020). Se debe prestar atención a la temperatura de trabajo, el tiempo de carbonización y el tiempo de activación, atendiendo en la etapa de construcción del reactor a la normativa ASME G-27 para la construcción mecánica

de recipientes expuestos a temperaturas no mayores de 500 °C y 44 psi de presión.

Considerando los antecedentes anteriores, se pretende contribuir al conocimiento del tema producción de carbón activado a partir de subproductos de procesos agroindustriales, específicamente con los subproductos de la elaboración de aceites y grasas que resultan de la utilización de la palma aceitera (*Elais quinensis* Jacq.) de los cultivos que crecen en terrenos del Sur del lago de Maracaibo, caracterizando los mismos y evaluando el rendimiento del carbón y carbón activado que puede obtenerse de cada una de las partes lignocelulósicas que conforman los subproductos de la obtención de aceites y grasas, para lo que se construyó un prototipo de reactor que permita producir carbón o biocarbon, para finalmente determinar la factibilidad de elaborar carbón activado.

2. METODOLOGÍA GENERAL

La información relacionada con los procesos industriales de fabricación de aceite utilizando los frutos de la palma aceitera se obtuvo de una empresa que opera en Sta. Cruz del Zulia que, al tiempo de proporcionar esta información básica, permitió conocer y caracterizar los procesos de clasificación y volúmenes de los subproductos de dicho proceso; particularmente aquellos que conforman biomasa puesto que contienen alguna forma de compuestos lignocelulósicos.

La revisión de la literatura permitió conocer los diversos procedimientos o métodos que se usan para elaborar carbón y carbón activado empleando materiales lignocelulósicos, prestando particular interés a la biomasa que contienen los subproductos del proceso industrial de elaboración de aceites y grasas. Al mismo tiempo se recopiló información en cuanto a los diferentes tipos de reactores u hornos que se emplean para la carbonización de biomasa y la forma de cuantificar el carbón resultante según la materia prima que se emplea, privilegiando aquellos que se pudieran haber empleado en la carbonización de residuos industriales del proceso de elaboración de aceites obtenidos de la palma aceitera.

Con este conocimiento se diseñó y construyó un reactor pequeño al que se adaptó un sistema de calentamiento mediante gas natural licuado comercial y se instalaron los sensores de temperatura y presión originadas dentro del reactor. Previa caracterización de los subproductos lignocelulósicos del proceso de fabricación de aceite de la palma aceitera, se realizaron ensayos de carbonización de tales subproductos lignocelulósicos, variando temperatura y tiempo de carbonización. Una vez caracterizados los carbones obtenidos se realizaron ensayos con estos precursores para activar el carbón obtenido, seleccionando como agente activante el ácido fosfórico (H_3PO_4) y se evaluaron las características fisicoquímicas del carbón activado obtenido.

3. RESULTADOS

3.1. La industria de producción de aceite a partir de la palma aceitera en Venezuela

En Venezuela, la producción de palma aceitera se inició alrededor de 1990 en Santa Bárbara del Zulia, Sur de Lago de Maracaibo (Carmona, A. 2025). En la actualidad el cultivo y la extracción de aceites a partir de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) conforman uno de los mercados con mayor interés comercial para las industrias aceiteras. La producción de racimos del fruto de la palma aceitera es de alrededor de 420.000 toneladas y existen en el país siete plantas extractoras de aceite de palma (5 en el estado Zulia, 1 en el estado Yaracuy y 1 en el estado Monagas) que producen 84.000 toneladas de aceite crudo de palma (Contreras, N. 2025). Se ha contabilizado que existen en el país tiene 3.000 productores de palma aceitera, entre pequeños y medianos, y en el estado Zulia llegan a 300 productores, que generan el 56 % de la producción nacional, lo que convierte al Zulia en pionero en la producción de palma (Cohen, E. 2024)

3.2. Proceso de Extracción de Aceite de Palma Africana

Se inicia con la recepción de los camiones que transportan desde las plantaciones los racimos con frutos dentro de un período de tiempo entre 10 a 12 horas luego de ser cosechados. Ya en la planta pasan por básculas adecuadas para determinar el peso de la carga y se realiza una evaluación visual de la calidad de los racimos según los porcentajes de aceptación que tiene la empresa. Luego de pasar por un equipo fracturador, que corta transversalmente los racimos para facilitar y acelerar su cocción, los racimos son luego descargados en vagones que facilitan el proceso de esterilización con el propósito de facilitar y aumentar el potencial de extracción de aceites de calidad, detener la oxidación y degradación de la fruta (una drupa) por la inactivación de enzimas, neutralizar el porcentaje de ácidos grasos libres y totales y promover la separación de la pulpa de mesocarpio de la nuez o almendra, facilitar el desprendimiento de la almendra (endosperma) del cuesco o cascarilla (endocarpio) y eliminar cualquier microorganismo no deseado. El proceso de cocción se inicia con la desaireación de los equipos esterilizadores, durante aproximadamente cinco minutos, para luego inyectar vapor con fluctuaciones en las presiones en forma de picos previamente estipulados con el propósito de facilitar la separación del cuesco de la almendra.

Terminado el proceso de cocción los vagones de fruta cocida son llevados a un segundo puente de traslación para ser ingresados en el volcador de vagones con la finalidad de alimentar el *redler* o trasladador de cadena del equipo desfrutador donde se separan los frutos del raquis, el cual es tamizado y prensado para ser enviado a espacios de almacenamiento a campo abierto. Los frutos aceptados son enviados al sistema de digestión y prensado de donde pasan al preclarificador que permite separar los aceites, 80 % de aceite, de otros materiales que luego de ser tamizados se conducen al tanque de lodos; este material es enviado por un pulmón hacia las centrifugas tricanter donde se recupera hasta un 20 % de aceite. El remanente denominado chocolatina, esencialmente constituida por aguas lodosas, licor de prensa y aceite, pasa por la trampa de grasas y luego se envía a las lagunas de oxidación para el tratamiento de efluentes.

3.3. Selección de biomasa para el proceso de pirólisis

Para la selección de biomasa para el proceso de pirólisis, se consideraron la composición química, las propiedades físicas, las características energéticas de las biomasa lignocelulósicas y humedad, densidad y tamaño de partícula. Previamente, se compiló información en cuanto a la disponibilidad de biomasa lignocelulósica resultante del proceso de elaboración de aceite en la planta industrial, Cuadro 1.

Cuadro 1. Subproductos de la palma aceitera africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en planta

Subproducto	Porcentaje del proceso (%)	Uso actual	Disponible (%)	Ton por cada 50 Ton del producto
Racimos frutos vacíos (raquis)	17,7 – 26,1	Abono compost para campo de plantación	60	21,2 – 31,3
Fibra de mesocarpio	11,6 – 15	Combustible para calderas Abono compost para campo de plantación	60	13,9 – 18,0
Cuesco (endocarpio)	5 - 7	Combustible para calderas	40	6,0 – 8,4
Lodos pesados	4,8 - 6	Suplemento alimenticio animal	70	5,8 – 7,2

De estos subproductos interesan solamente los que contienen material lignocelulósico por lo que no se consideraron los lodos pesados.

El racimo de frutas vacío (RFV), separada del raquis, es la capa carnosa y fibrosa y está conformado por el pedúnculo, tallo central y los alveolos, estructuras que sostienen a los frutos, distribuidos mediante espigas ramificadas a lo largo del racimo, Figura 1a.



Figura 1. A. Racimo de Frutos Vacío. B. Fibras de mesocarpio. C. Cuesco

Las fibras del mesocarpio, Figura 1. B, rodean el endocarpio y están conformadas mayormente por fibras largas y resistentes, compuestas principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. El endocarpio, cuesco o cascarilla, Figura 1 C, es la capa externa de la nuez del fruto de la palma aceitera que recubre y protege la almendra o endospermo; es un material liviano, duro, denso y con alta resistencia mecánica, resultado de la separación de las partes de la nuez del cuesco, suele utilizarse en la industria como combustible para alimentar calderas de vapor.

3.4. Construcción del reactor prototipo para pirólisis

Para la construcción del reactor se consideraron modelos similares en la literatura. Para su diseño, se definieron como requerimientos técnicos operacionales la temperatura máxima de 400 °C y una presión máxima de 40 psi, capacidad mínima de 1.000 g y como material se seleccionó acero de alta conductividad térmica y alta resistencia, provisto de válvulas y sensores de presión y temperatura. Se consideró que el reactor tenía que permitir fácil carga de la biomasa y descarga del carbón producido con puertas que sellen el reactor para evitar el ingreso de oxígeno.

Se construyó el reactor tipo “batch” para el cumplimiento de las exigencias operacionales y técnicas, cilíndrico, no rotatorio, discontinuo. La selección de los materiales comenzó con la selección de acero estructural al carbono ASTM A36, de baja aleación y alta resistencia, adecuada termo fluencia y buena conductividad térmica para los rangos de temperatura exigidos. Con este material se elaboraron dos cuerpos cilíndricos, el cuerpo externo o chaqueta térmica y el cuerpo interno o porta muestra, este último, sin soldaduras longitudinales en su estructura. El sistema de calentamiento seleccionado fue un quemador semicilíndrico alimentado mediante conductos a presión de GLP (Gas licuado de Petróleo), construido con hierro gris fundido, material altamente resistente al craqueo térmico (180 – 230 HB), capaz de soportar temperaturas mayores a los 2000 °C; característica que lo hace propicio para la elaboración de quemadores longitudinales.

El soporte estructural tiene un sistema de soporte elaborado a partir de tubos estructurales galvanizados (SAE 1006) que tiene resistencia térmica mayor a 1000 °C.

Para el monitoreo y medición de los parámetros operacionales de temperatura y presión, se utilizó un termopar o termocupla tipo K, conectado a una tarjeta desarrollada para un arduino modelo MAX6675 que permite el registro de temperatura en recipientes a presión, mediante la conexión al hardware, a la placa base donde se instaló el software desarrollado para este propósito. Adicionalmente, se implementó un medidor de presión, que por diferencia a la presión externa mide la presión interna en el reactor.

Para definir la velocidad de calentamiento del sistema, se probaron varios tiempos comenzando con intervalos de 5 a 20 °C por minuto que se recomienda para tener una descomposición térmica más suave y uniforme de la biomasa. Se definió una velocidad de calentamiento promedio de 12 °C/min, semi lenta, para maximizar la producción de

sólidos piroleñosos, Figura 3.



Figura 2. Prototipo de reactor de pirólisis

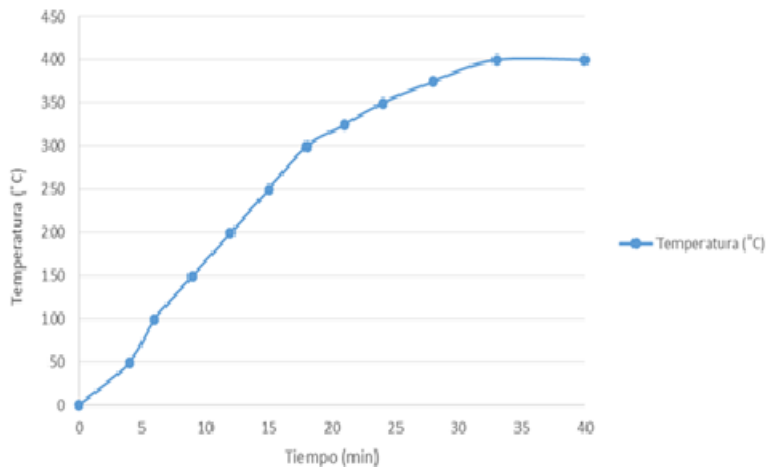


Figura 3. Tasa de calentamiento del módulo de reacción

Se estableció un protocolo de cuatro etapas para realizar los ensayos: etapa de carga de materia prima (biomasa), etapa de calentamiento, etapa de reacción de pirólisis y etapa de descarga de productos (carbón).

3.5. Acondicionamiento de la Biomasa

La biomasa seleccionada fue acondicionada para reducir la humedad, facilitar el control del tamaño de las partículas y eliminar impurezas y contaminantes, como

residuos orgánicos, metales o compuestos indeseables, que podrían interferir en la reacción de pirólisis y afectar la calidad del carbón producido, Figura 4. En la Figura 5 se presentan los contenidos de humedad inicial, como se disponen en la planta y humedad final de los tres tipos de subproductos seleccionados luego de acondicionarlos. Las partículas del raquis tuvieron la humedad inicial por encima de 60 % y las fibras por encima de 40 %; por lo que fue necesario su acondicionamiento previo a la pirólisis.



Figura 4. Recolección y secado de biomasa

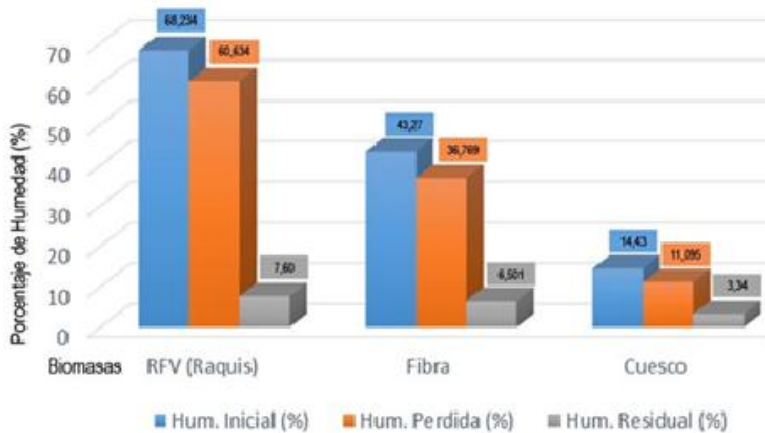


Figura 5. Control de la Humedad en la Biomosas

La diferencia del contenido de humedad entre los subproductos puede explicarse por el hecho de que el raquis no ha pasado por las etapas del proceso a las que se sometieron las fibras del mesocarpio y menos aún a las etapas de prensado, triturado y desfibrado que reducen considerablemente su humedad; el cuesco absorbe menos humedad por su dureza y consistencia.

El racimo de frutos vacíos presenta una morfología compleja: es largo, grande, flexible, duro y fibroso, su interior tiene una forma cilíndrica, ligeramente aplanada y

fibrosa que puede variar en longitud según la especie de palma. El exterior de esta zona central está rodeado de espigas, alveolos y cutículas que presentan fibras con mayor lignificación; lo cual crea una heterogeneidad en la biomasa como materia prima; además presenta altos porcentajes de fibras y agua en su composición, siendo de los tres la biomasa más compleja para acondicionar, fue el subproducto que demoró más tiempo en el secado. Para homogenizar este material se recurrió a su fraccionamiento mediante un triturador y mediante un tamiz de malla 5 (4 mm) se eliminaron las partículas de tamaño no deseado. Para su acondicionamiento se realizó una primera depuración mediante el corte de partículas que presentaron un tamaño no mayor a 5 cm de longitud, 2,5 cm de ancho y 1 cm de espesor y se procedió a una etapa de tamizado; la fracción fibrosa y lignificada fue sometida a un proceso de triturado mediante un equipo de molienda para biomásas y posteriormente se realizó un tamizado en tamices de malla número 10 para la eliminación de partículas no deseadas menores a 2 mm de longitud, resultando así dos porciones de raquis: una triturada y otra tamizada, Figura 6.



Figura 6. Fracción depurada y fracción triturada del racimo de frutos vacíos

La fibra de mesocarpio fue recolectada manualmente luego del proceso de desfibrado y secado. Una vez seco el material fue depurado, para eliminar nueces enteras, nueces adheridas, almendras enteras, almendras partidas y cascarilla, mediante un tamizado con tamiz de tamaño de malla diez, para obtener un tamaño de partícula homogéneo superior a los 2 mm en granulometría.

El cuesco presenta una situación similar a la de la fibra, si bien esta cuenta con una granulometría más definida, una densidad mayor y una dureza considerable, también, presenta un mayor porcentaje de polvo y fibra residual. Por lo cual, se aplicó un proceso similar de depuración y tamización para asegurar una granulometría mayor a 2 mm

3.6. Proceso de carbonización o Pirólisis

Para cada biomasa, Racimo de frutas vacío fracción depurada (RFVD), Racimo de frutos vacío fracción triturada (RFVT), fibra de mesocarpio (FM) y cuesco (endospermo) (C), se realizaron cinco ensayos para determinar la influencia de los parámetros operacionales atendiendo a las características propias de las diversas formas de biomasa y la influencia del tamaño de partícula en el rendimiento de los procesos productivos de carbón.

Se realizaron en un rango térmico de 400 ± 50 °C, con el propósito de asegurar y maximizar la carbonización sin incrementar las pérdidas por volatilización o gasificación parcial. Se trabajó con presiones no mayores a 15 psi y capacidades de alimentación de materia prima particulares para cada biomasa; en todos los ensayos se tomaron entre 1.000 y 2.500 gramos de biomasa seca. El tiempo de residencia, duración de la carbonización, fue modificado en cada ensayo para observar el efecto de reacción a temperaturas constantes.

Inicialmente se realizaron tres ensayos en los que se modificó gradualmente el tiempo de residencia, para identificar el proceso de mayor rendimiento; no obstante, considerando la probable obtención de material con carbonización incompleta realizando observaciones organolépticas, posteriormente se realizaron dos pruebas finales para garantizar la reproducibilidad del proceso.

Las condiciones y parámetros operacionales se mantuvieron constantes en todos los ensayos: Temperatura 400 ± 50 °C; Granulometría ≥ 2 cm. Volumen de la carga 1.000 g para los subproductos Racimo de frutos vacíos Depurado y Triturado, mesocarpio 1.500 g y Cuesco 2.500 g. Tiempo de retención mínimo 20 min. Presión máxima 15 psi. Velocidad de calentamiento 12 minutos por grado y para cuesco 7 minutos por grado.

3.7. Pirólisis del Racimo de frutos vacíos (RFVD)

La biomasa de RFVD tiene mayormente partículas de 3 a 5 cm, conformadas principalmente por la zona lignificada de las espigas, lo que supone parcial pérdida y desperdicio de biomasa, pero se presenta como una materia prima más homogénea, posee mayor contenido de material lignocelulósico, por lo que se iniciaron los ensayos con tiempos de residencia relativamente cortos. En el primer ensayo se emplearon 20 minutos de residencia que no fueron suficientes porque produjo solo en las partes superficiales de las partículas, por lo que para el segundo ensayo se subió el tiempo de residencia a 30 minutos que produjo rendimientos de alrededor del 38 %. De todos modos, se realizó otro ensayo empleando mayor tiempo de residencia, 40 minutos, pero los rendimientos bajaron a 36,16 %, por lo que se adoptó el tiempo de residencia de 30 minutos para otros dos ensayos de comprobación, Figura 7.

3.8. Pirólisis de Racimo de Frutos Vacío Triturado (RFVT)

La biomasa compuesta por RFVT fue sometida a 400 ± 50 °C, a una tasa de calentamiento lenta y en una atmósfera limitada de oxígeno. Se carbonizaron 1.000 gramos y se tamizaron con tamiz de malla 10. El primer ensayo con residencia de 10 minutos produjo muy poco carbón, para el segundo ensayo se consideró un tiempo de residencia de 30 minutos que produjo 37,30 % de rendimiento con presencia de partes muy pequeñas que indicaron desprendimiento de las piezas más grandes, por lo que se consideró disminuir el tiempo de residencia de 20 minutos, condición que mostró un rendimiento constante de cerca de 40 % en los tres ensayos posteriores, Figura 8.

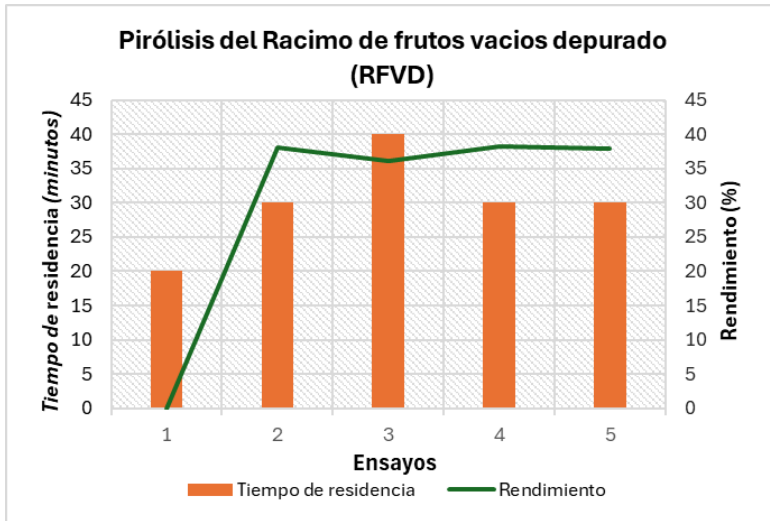


Figura 7. Tiempo de residencia y rendimiento del Racimo de frutos vacío depurado

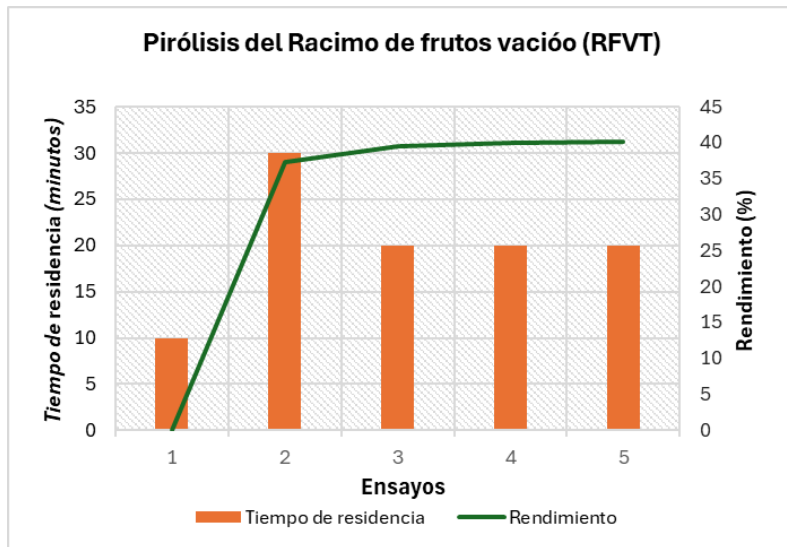


Figura 8. Tiempo vs Rendimiento - Proceso de Pirólisis para RFV Triturado

3.9. Pirólisis de fibra de mesocarpio

Las fibras del mesocarpio tienen adicionalmente partículas muy pequeñas, polvo, por lo que se tamizó para eliminarlo. Posterior a su depuración se efectuó el calentamiento del reactor comenzando con 35 minutos de residencia para asegurar carbonización completa, pero el rendimiento fue apreciado como bajo, posiblemente por el tamaño de las partículas que se carbonizan rápidamente, por lo que el segundo ensayo fue realizado con menos tiempo de residencia, 25 minutos, lo que resultó en

aumento del rendimiento de carbón hasta 45 %. Un tercer intento bajando el tiempo de residencia a 15 minutos no fue suficiente para lograr carbonización completa, por lo que se realizaron dos pruebas más con residencia de 25 minutos que fue considerado conveniente para carbonizar las fibras del mesocarpio, Figura 9.

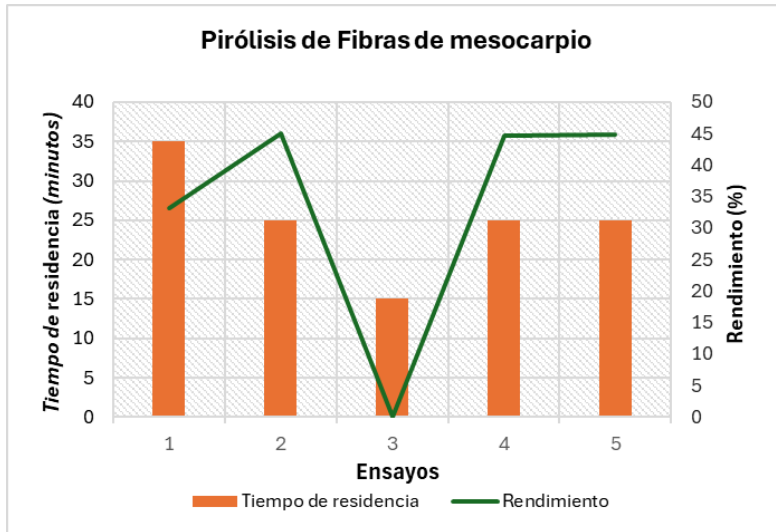


Figura 9. Tiempo vs Rendimiento - Proceso de pirólisis para la fibra de mesocarpio

3.10. Pirólisis de Cuesco (Endocarpio)

El tamaño de las partículas de cuesco estuvo alrededor entre 2 y menos de 30 mm; se consideró que contenía material más compacto y relativamente con mayor dureza y densidad que los otros subproductos y que se podría empezar la carbonización con 45 minutos de residencia. Este tiempo de residencia no resultó conveniente para el rendimiento en carbón porque una revisión visual del material mostró adherencia de residuos de las fibras de mesocarpio, muy fácil de volatilizar, por lo que se bajó el tiempo de residencia a 25 minutos lo que tampoco fue conveniente porque los rendimientos fueron muy y no se logró la carbonización completa. Tiempos de residencia menores a 30 minutos parecen inadecuados para un rendimiento aceptable de carbón.

Para el tercer ensayo en consecuencia se emplearon 35 minutos, intermedio de los anteriores; se mejoró el rendimiento por encima del 49 %, que fue el mayor rendimiento obtenido en la investigación. Se corroboran los rendimientos con dos pruebas adicionales más, Figura 10.

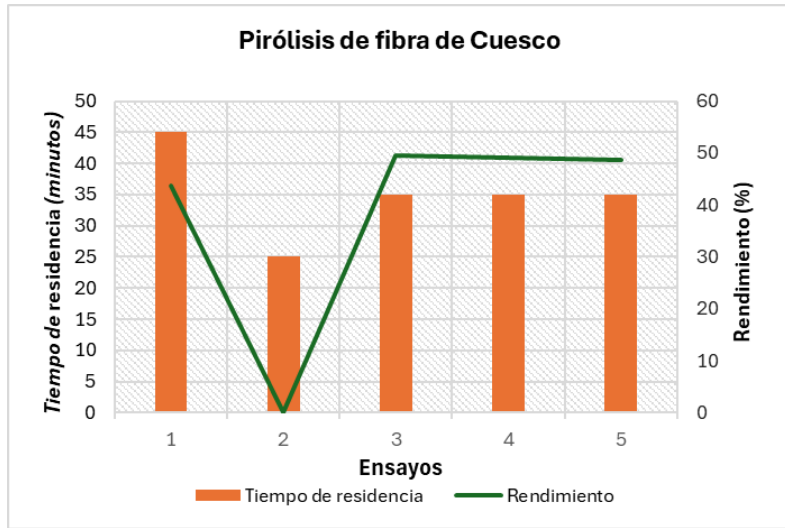


Figura 10. Tiempo vs Rendimiento - Proceso de Pirólisis para el Cuesco (Endocarpio)

3.11. Rendimiento de carbón

Como se esperaba, la biomasa de cuescos tuvo el mayor rendimiento, 47,78 % de la masa de la carga, seguido por la fibra del mesocarpio con rendimiento de 41,96 %, tiene mayormente fibras y mayor coeficiente de variación, la fracción triturada del racimo de frutos vacío con rendimiento de 39,3 %; la fracción depurada del racimo de frutos vacío con el menor rendimiento, 37,60%. El promedio de rendimiento obtenido considerando las cuatro biomásas fue de 41,67 % con coeficiente de variación del 10,68 %. Cuadro 2 y Figura 11.

Cuadro 2. Rendimiento de carbón por tipo de subproducto de la elaboración de aceite de palma

	Fracción Depurada	Fracción Triturada	Fibra Mesocarpio	Cuesco Endocarpio
Prueba 1	38,01	37,30	33,13	43,70
Prueba 2	36,16	39,50	45,10	48,70
Prueba 3	38,30	40,40	44,90	49,50
Prueba 4	37,91	40,13	44,70	49,20
Prom	37,60	39,33	41,96	47,78
CV %	2,00	2,77	10,87	4,44
Desv St	0,75	1,09	4,56	2,12

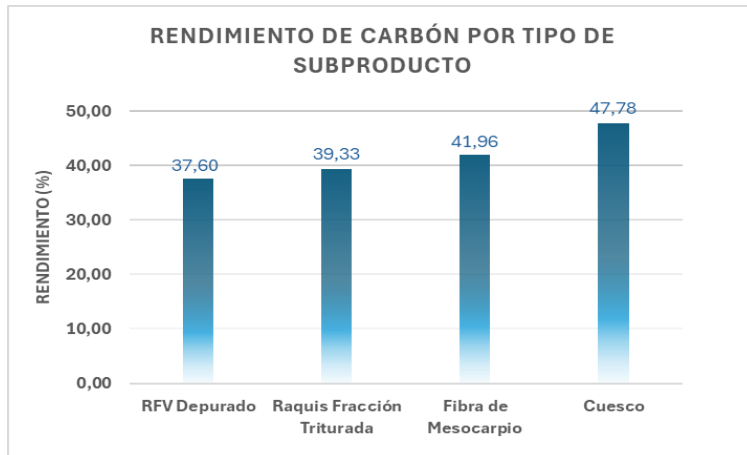


Figura 11. Rendimiento de carbón por subproducto industrial

3.12. Carbón activado

A partir del carbón producido se pueden considerar diversas alternativas de utilización para mejorar su valor agregado en la comercialización. Entre las alternativas se tiene la producción de biochar que requiere procesos de activación biológica y suele ser aplicado como enmienda en suelos agrícolas a los que mejora sus propiedades; puede ser usado como combustible sólido en la siderurgia para la producción de aceros por su capacidad reductora y como combustible actuando como reductor y eliminación del oxígeno de los minerales de hierro; también puede ser usado en la producción de carbón activado mediante procesos de activación física y química. Este último uso es el que tiene mayor agregado.

3.12.1. Selección de método de activación

Para la activación del carbón se suelen usar dos métodos: uno químico y otro físico. La activación química implica la impregnación del carbón con agentes químicos, principalmente ácido fosfórico (H_3PO_4), hidróxido de potasio (KOH) o cloruro de zinc ($ZnCl_2$), seguido de un tratamiento térmico a temperaturas de moderadas-altas (Bayona, 2006). Este proceso permite generar una mayor porosidad y área superficial en el carbón, lo que mejora su capacidad de adsorción al tiempo de liberar y degradar los residuos de alquitrán que obstruyen los macro-, meso- y microporos del carbón. La activación física requiere someter al carbón a tratamientos térmicos a altas temperaturas (entre 800 °C y 1100 °C) en una atmósfera de gases oxidantes, como vapor de agua o dióxido de carbono. Ambos métodos tienen sus ventajas y desventajas; el método físico es más sencillo y económico, pero suele tener un rendimiento ligeramente inferior al de la activación química.

Se consideró que la activación física al requerir instalaciones complejas para el suministro de vapor con temperaturas más elevadas tendría costos elevados en su

implementación por lo que se privilegió el método de activación química.

3.12.2. Activación química

Las muestras ensayadas fueron los carbones producidos con los distintos subproductos de la fabricación de aceite de palma, seleccionando aquellos obtenidos con menor tiempo de residencia y mayor rendimiento, que secas al aire se guardaron bolsas de plástico, Figura 12.



Figura 12. Carbón seleccionado para la activación

3.12.3. Granulometría, pulverizado y tamizado de los carbones

Para cada tipo de carbón producido, se realizó en primer lugar el análisis de granulometría para lo que se tomaron muestras de 1.000 g pasando el material por tamices 10 (diámetro 2 mm), 20 (diámetro = 0,841 mm), 40 (diámetro = 0,400 mm) y 60 (diámetro = 0,25 mm). En el Cuadro 5 y Figura 13 se presentan los porcentajes del material retenidos por cada tamiz.

Cuadro 3. Análisis de granulometría subproductos del proceso de obtención de aceite de palma

Biomasa	Malla 10	Malla 20	Malla 40	Malla 60	Resto
Raquis Fracción Depurada	15,44 %	23,12 %	25,38 %	20,31 %	15,75 %
Raquis Fracción Triturada	5,03 %	14,57 %	36,67 %	19,59 %	24,14 %
Fibra de Mesocarpio	7,68 %	15,58 %	29,78 %	15,79 %	31,18 %
Cuesco	39,48 %	15,23 %	16,88 %	13,10 %	15,32 %

3.12.4. Impregnación, calcinación, lavado y almacenamiento

Se utilizaron crisoles con tapa, Figura 14, en los cuales el carbón tamizado y seco se impregnó con una solución de ácido orto-fosfórico (H_3PO_4) al 55 % p/v, durante 12 horas, seguido de un secado a 110°C de temperatura durante 2 horas. Esta etapa elimina la humedad y facilita la posterior activación resultante del proceso de calcinación del carbón realizado en una mufla a temperatura de 600°C y por 1 hora. Este proceso térmico promueve la descomposición y eliminación de los componentes volátiles y genera una estructura porosa aumentando la superficie específica del material.

El producto resultante fue secado en estufa a 110 °C durante dos horas y luego se

almacenaron en envases plásticos.

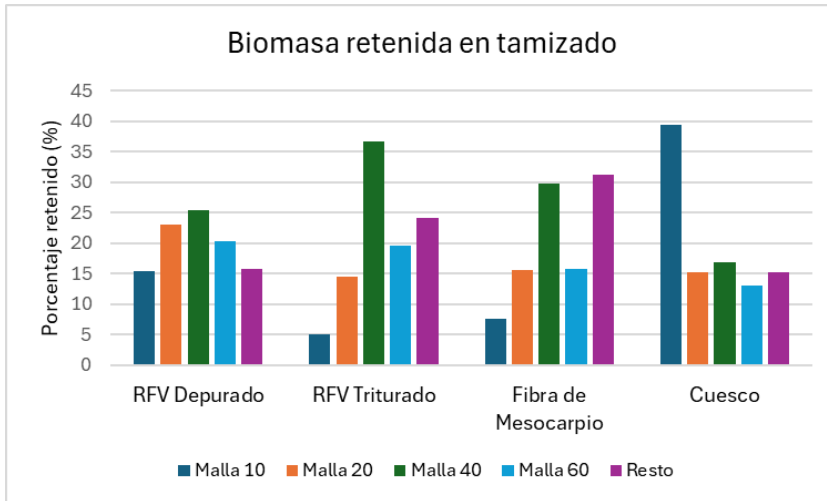


Figura 13. Porcentaje de biomasa retenida durante el tamizado



Figura 14., Crisoles con tapa y mufla para la calcinación de los carbones

3.12.5. Rendimiento del proceso de activación

El rendimiento obtenido en un proceso de activación de carbón depende en gran medida de los parámetros operacionales empleados. Factores como la temperatura, el tiempo de activación, el tipo y la cantidad de agente activante, la atmósfera utilizada, entre otros, tienen una influencia directa sobre el rendimiento final del carbón activado. A mayores temperaturas de activación, se suele obtener una mayor superficie específica y porosidad, pero también un menor rendimiento en masa debido a una mayor gasificación y eliminación de materia volátil.

Asimismo, el tipo de agente activante y su concentración afectan la velocidad y extensión de la activación química, lo que también impacta en el rendimiento del proceso. Por lo tanto, es crucial tomar en cuenta la repartición de estos parámetros operacionales para lograr un balance adecuado entre las propiedades deseadas del carbón activado y un rendimiento satisfactorio del proceso de producción. En el Cuadro

4, se describen los parámetros de operación durante la fase de activación, propuesta por la investigación en base a diversas metodologías estudiadas por Pantoja (2015), Beltrán (2014) y Sarmiento y col. (2004).

Cuadro 4. Parámetros operacionales de activación de muestras de carbón

Parámetro	Dimensión
Tamaño de diámetro de partícula en polvo	0,25 mm
Agente activante	Ácido fosfórico (H ₃ PO ₄)
Concentración del agente activante	55% p/v
Tiempo de impregnación	12 h
Temperatura de activación	600 °C
Tiempo de retención	1 h

Para la activación se tomaron cuarenta gramos de cada tipo de carbón obtenido previamente, con el propósito de minimizar la utilización de ácido ferroso; el cual tiene un alto valor, permitiendo obtener cantidades de muestras representativas para evaluar el efecto del proceso de activación y su rendimiento.

3.12.6. Rendimientos de la activación de carbones precursores

La Figura 15 resume los rendimientos en carbón activado que se han obtenido de los precursores, carbones, de los subproductos de la palma aceitera, se presentan los promedios y los valores de rendimiento máximos y mínimos de las pruebas realizadas. Los rendimientos más elevados corresponden a los carbones activados obtenidos del carbón de cuesco; no existen mayores diferencias estadísticas entre los rendimientos de RFV depurado y el carbón de fibra. Menos rendimientos presentaron los carbones de RFV triturado.

El mejor rendimiento presentado por el carbón de cuesco, puede explicarse porque su precursor, carbón de cuesco, contiene menor remanente de carbohidratos, que producen menos alquitranes piroleñosos que podrían haber obstruido los poros del carbón activo.

3.12.7. Características fisicoquímicas del carbón activado

Los carbones activados se caracterizaron en cuanto a adsorción, porcentaje de remoción, pH, densidad, humedad, cenizas, material volátil y carbón fijo.

3.12.8. Valores de pH en carbón activado

El pH de los carbones obtenidos varió según el subproducto del cual se obtuvo el carbón activado; así, para el carbón activado de RFV Depurado presentó un pH de 7,20, el RFV Triturado pH de 7, las fibras de mesocarpio pH de 5,98 y el Cuesco H de 8,87.

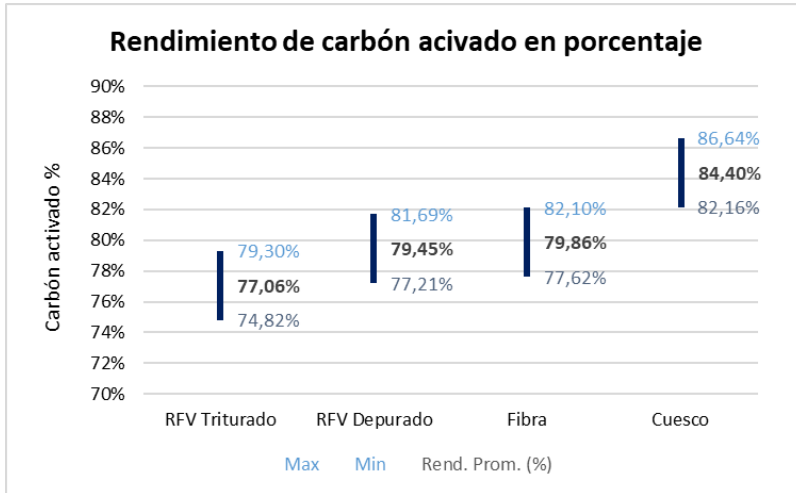


Figura 15. Rendimientos de carbón activado a partir de los precursores, carbones

Se puede decir que ambos carbones activados del Racimo de frutos vacíos tienen un pH neutro, provienen del mismo material y solo difiere en el tratamiento depurado o triturado; este es un pH apropiado para purificación y potabilización de aguas eliminando olores y sabores desagradables, eliminación de toxinas, elaboración de fármacos y cosméticos, así como para eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos y adsorción de gases (Peralta Arroyo *et al.*, 2008; <https://moksa.com.co/>). El carbón activado del mesocarpio, con pH ácido se usa mayormente en la purificación del agua potable y del aire, adsorbe contaminantes y mejora el pH del agua, ideal para tratamiento de aguas residuales y lixiviados y en la remoción de metales pesados eliminación de impurezas y sabores no deseados (www.activecarbon.es). El carbón activado del cuesco con su pH alcalino puede utilizarse en la purificación o potabilización de aguas sin compuesto neutralizador y en suelos con necesidades de alcalinización, útil en el ablandamiento de aguas ácidas para uso de calderas y tuberías (Peralta, 2008).

3.12.9. Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente del carbón activado se secaron las muestras en una estufa a 105 °C por aproximadamente una hora. Para cada tipo de carbón se tomó un recipiente de 25 ml de volumen seco y previamente tarado, se llenó completamente el recipiente con la muestra sin compactar y comprobando con una espátula que el material estaba al ras se pesó el recipiente con el carbón activado, luego se restó el peso del recipiente vacío para obtener la masa neta de carbón activado; se dividió la masa neta del carbón activado (g) entre el volumen del recipiente (ml) para obtener la densidad aparente en g/ml. El proceso se repitió tres veces para cada tipo de carbón activado para obtener el promedio.

El carbón activado del raquis depurado tiene una densidad de $0,35 \text{ g/cm}^3$, el del raquis triturado de $0,31 \text{ g/cm}^3$, la fibra $0,43 \text{ g/cm}^3$ y el cuesco $0,55 \text{ g/cm}^3$. El valor de la densidad proporciona una idea del área superficial específica del carbón activado y es influido por la densidad del material del que proviene. El carbón activado del cuesco, que proviene del endocarpio que usualmente es material más compacto que los otros que se ensayaron, tiene una densidad ligeramente superior a las densidades de carbón activado obtenidas de maderas pesadas y alto contenido de lignina (Gómez y Quevedo 2020) y se considera que se aproxima a los valores de referencia del carbón activado, $0,5 \text{ g/cm}^3$. Los carbones del raquis no difieren mucho en su valor entre ellos, son más bajos que los valores de referencia y parecen tener menos masa de carbón por unidad de volumen, lo que limitaría la capacidad de adsorción del carbón activado; además, un carbón activado con baja densidad aparente puede dificultar el empaquetamiento y manejo en equipos, reduce la resistencia mecánica, y complica los procesos de regeneración y reactivación. Esto también se traduce en una menor eficiencia volumétrica, ya que se requieren mayores volúmenes de estos carbones para lograr la misma capacidad de tratamiento.

3.12.10. Humedad

El contenido de humedad del carbón activado se midió empleando crisoles de porcelana de 22 mm de alto y 44 mm de diámetro con sus respectivas tapas cuyo peso seco se determina introduciendo en estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ enfriando en desecado y pesando en balanza analítica, se agrega alrededor de 1 g de la muestra pesando de 1 g de carbón y se pesó, siendo éste el peso húmedo de la muestra y el crisol; se introduce el crisol en estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por una hora al cabo del cual se introduce rápidamente en desecador y luego de 20 a 25 minutos se vuelve a pesar siendo éste el peso seco del crisol y la muestra; se restó este valor del peso húmedo y se dividió entre 100 para expresar el contenido de humedad de la muestra.

El carbón activado proveniente de Cuesco presentó un CH de 1,5 %, fibra de palma 3 %, raquis triturado 2,2 % y raquis depurado 2,2 %; todos los valores se considera que se encuentran por debajo del máximo requerido, por lo que se pueden considerar aceptables (Acevedo *et al.*, 2016).

3.12.11. Material volátil

Para cuantificar el material volátil de los carbones activados obtenidos, se tomaron muestras de 1 g de las muestras tamizadas y se colocaron en crisoles de porcelana con tapa, que fueron introducidos en una mufla a una temperatura de $900 \pm 20^\circ\text{C}$ en la que permanecieron 7 minutos luego de lo cual se enfriaron en un desecador y se volvieron a pesar; la diferencia de pesos se expresó en porcentaje.

El contenido de material volátil en los carbones activados obtenidos fue: para el Cuesco 17,43 %, para la Fibra de mesocarpio 18,01 %, para el RFV Triturado 7,29 %, y para el Racimo de Frutos Vacíos Depurado 6,27 %. Llama la atención el contenido de material volátil de las Fibras y el Cuesco que puede afectar negativamente las

propiedades del carbón activado; el RFVT con ambos tratamientos antes de la carbonización se puede indicar que los valores de material volátil son aceptables y apropiados en usos donde se requiere mayor reactividad química. En general, los valores de material volátil reportados para estas muestras de carbón activado se encuentran dentro de los rangos estándar comerciales (5 – 15 %), lo que indica que son materiales adecuados para diversas aplicaciones.

3.12.12. Contenido de cenizas

Para la obtención de cenizas en los carbones activados, se emplearon crisoles de peso conocido; en cada uno se depositó alrededor de 1 gramo del carbón activado, tomando el peso húmedo en una balanza analítica; el recipiente se introdujo en estufa a 105 °C hasta peso constante para obtener el peso seco de la muestra; cada crisol se introdujo en una mufla y se llevó a 750 °C por dos horas, luego de ese período se colocó en desecador y se dejó enfriar antes de pesar para obtener el peso seco de la muestra, dividiendo el peso seco entre el peso húmedo y multiplicando por 100 se obtuvo el peso seco de las cenizas expresado en porcentaje.

El contenido de cenizas en el carbón activado fue para el cuesco 21,22 %, para la fibra 4,45 %, para el raquis triturado 15,06 % y para el raquis depurado 15,95 %. Un contenido de cenizas normal se encuentra entre 2 y 15 % (Navarrete, *et al.*, 2005).

El contenido de ceniza en cuesco fue el mayor y estaría fuera del rango ideal comercial lo que puede perjudicar la calidad del carbón activado generando problemas operacionales como obstrucción de equipos y generación excesiva de residuos; su uso puede estar restringido a ciertos usos como filtración general, rellenos, soporte catalítico o combustible sólido. Las mismas consideraciones se pueden aplicar al contenido de cenizas en el raquis. El contenido de cenizas en las fibras es comparativamente más bajo e indica que el carbón activado de fibras puede ser considerado de buena calidad.

3.12.13. Carbón fijo

El porcentaje de carbón fijo en el carbón activado se determinó siguiendo las indicaciones de la norma ASTM que toma en consideración los porcentajes de humedad, material volátil, cenizas y carbón fijo cuya suma debe restarse del peso total (en porcentaje). Así, el porcentaje de carbono fijo en el Cuesco resultó ser de 64,9 %, de la Fibra de mesocarpio 74,1 %, del RFV Triturado de 75,5 % y del RFV Depurado 75,6 %.

El contenido de carbón fijo conlleva a considerar que las biomásas de los subproductos de la elaboración de aceites a partir de la palma aceitera tienen un buen potencial para la producción de carbones activados de buena calidad conveniente para diversas aplicaciones

4. CONCLUSIONES

Los subproductos lignocelulósicos del proceso de elaboración de aceites a partir de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) pueden ser convertidos a carbón y carbón activado mediante pirólisis controlada. El ensayo realizado en un reactor fabricado localmente, con rendimientos aceptables para su comercialización, demostró que son biomásas con alto potencial para su utilización como materia prima en el proceso de pirólisis de biomasa controlada. Naturalmente es preciso realizar un estudio económico para determinar su factibilidad económica.

Todas las biomásas seleccionadas presentaron un alto porcentaje de material volátil en el carbono activado, lo que podría haber afectado el rendimiento.

No se ha explorado la posibilidad de utilizar el proceso de activación física para obtener carbón activado, por lo que sería conveniente explorar esta posibilidad a desmedro del costo que pudiera suponer su aplicación industrial. También sería conveniente realizar estudios acerca de la composición química de los gases condensables productos de la pirólisis, pudieran contener compuestos químicos de atractivo valor comercial. Esta recuperación de gases condensables se convertiría en la mejor medida de atenuar el impacto ambiental que ocasiona toda operación que implica la producción de gases de combustión.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la empresa Grasas El Puerto C.A. ubicada en Santa Bárbara del Zulia las facilidades prestadas para la realización de la presente investigación, así como por proporcionar información general de la empresa.

BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, S., Galicia, L., Plaza, E., Atencio, R., Rodríguez, A., González, E. 2016. Carbón activado preparado a partir de carbón mineral bituminoso activado con hidróxido de potasio. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Vol. 39, No. 2, 64-70
- Álvarez, E., Carvalho, J. Martins, A. Álvarez, D. 2022. Evaluación de la pirólisis como un método para la obtención de combustibles líquidos a partir de los plátanos. Trabajo de Ascenso Publicado, Instituto de Investigación Científica Tropical de Lisboa, Portugal.
- Arteaga, J. Arenas, E. López, D. Sánchez, C. Zapata, Z. 2012. Obtención de biocombustibles producto de la pirólisis rápida de residuos de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.). Trabajo de Ascenso Publicado, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
- Bayona Leal, M. A., y Martínez Rodríguez, J. P. 2021. Propuesta del diseño conceptual de un proceso para la pirólisis de biomasa por medio de simulación. Trabajo de Ascenso Publicado, Fundación Universidad de América, Bogotá D.C.

- Carmona, A. 2025. En: <https://bitacoraeconomica.com/consumo-de-aceite-de-palma-en-venezuela/>
- Cohen, E. 2024. En: <https://ultimasnoticias.com.ve/general/la-palma-aceitera-tiene-futuro-en-la-industria-local/>
- Contreras, N. 2025. en: <https://bitacoraeconomica.com/consumo-de-aceite-de-palma-envenezuela/>
- Gómez, K. Quevedo, N. 2020. Evaluación del biochar obtenido por pirólisis del retamo espinoso para remover cromo del agua. Trabajo de Ascenso Publicado, Universidad de La Salle, Bogotá.
- Guangasig Morocho, C. J., 2022. Obtención y caracterización de Biochar a partir de residuos de palma africana mediante pirólisis. [Trabajo de titulación Ingeniero Químico]. Universidad Central Ecuador.
- Hernandez, L. Gerra, J. 2020. Diseño y construcción de un reactor de pirolisis a escala de laboratorio para la obtención de carbón activado utilizando grano de caucho reciclado-gcr “Un análisis experimental”. Trabajo de grado publicado, Universidad de Córdoba. Montería, Córdoba.
- Navarrete, L. F., Giraldo, L., Baquero, M. C. y Moreno, J. C. 2005. Carbón activado: efecto del lavado con ácido sulfúrico del precursor lignocelulósico, cuesco de palma africana, sobre los procesos de carbonización y activación. Revista Colombiana de Química, 34(1), 67–78.
- Peralta Arroyo, J., Sun Kou, M. del R., Bendezú Montes, S. 2008 Preparación, caracterización de carbones activados con KOH y H₃PO₄ y su aplicación en la adsorción de Cd (II). Rev. Soc. Quím. Perú v.74 n.4 Lima, Perú

DETERMINACIÓN DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN LAS MICROCUENCAS DE LAS QUEBRADAS LA PORTUGUESA Y MONTALBÁN, ESTADO MÉRIDA, VENEZUELA 2022

DETERMINATION OF LAND COVER AND LAND USES IN THE
MICRO WATERSHEDS OF THE QUEBRADA LA PORTUGUESA
AND MONTALBAN, MERIDA STATE, VENEZUELA

**YELSY DUGARTE¹, YORGELIS DOMINGUEZ², CRISTOPHER
CAMARGO³ Y YAJAIRA OVALLES⁴**

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Departamento de
Ordenación de Cuencas Hidrográficas. e-mail: ccamargoroa@gmail.com (correspondencia)

ORCID¹: 0009-0001-6094-835X; ORCID²: 0009-0007-4215-2909; ORCID³: 0000-0003-1867-4591;
ORCID⁴: 0000-0001-8561-9053

Recibido 29 julio 2025 – Aceptado 23 noviembre 2025

Resumen

Se determinan las coberturas y usos de la tierra presentes en las microcuencas quebradas La Portuguesa y Montalbán para el año 2022. Mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) se efectuaron interpretaciones visuales en pantalla de imágenes satelitales MAXAR (Vivid Standard), respaldadas con visitas a campo y toma de puntos GPS, que permitieron obtener una cartografía con 95% de precisión global y 0,93 de índice de kappa. Las coberturas y usos fueron definidos con el método CORINE Land Cover a escala 1:1500, con el cual se pudo identificar 27 categorías pertenecientes a cuatro grandes grupos que conforman el Nivel 1. De esta cartografía se determinó que las microcuencas poseen 47,07% de bosques densos (2011,17 ha), encontrándose estos en las partes altas, 8,62% de vegetación secundaria o en transición (368,44 ha) y 6,42% de bosques fragmentados (274,57 ha) en la zona media-alta, 6% de arbustal abierto (256,45 ha), repartidos en la zona media-baja, y 4,13% de tejido urbano continuo (176,29 ha), emplazada mayoritariamente en las zonas de baja pendiente. Por otra parte, las categorías en menor proporción son las lagunas, lagos y ciénagas naturales con 0,04 ha (0,0008%) y los cuerpos de agua artificiales con 0,26 ha (0,006%), respectivamente. El resto de las categorías (27,74%) se hallan repartidas en ambas cuencas. Esta metodología puede ser empleada en la actualización de cobertura y usos de la tierra que requieran un alto nivel de detalle.

Palabras clave:

cobertura de
tierra

usos de la
tierra

CORINE

micro
cuencas

SIG

teledetección

Abstract

Key Words:

Land cover
CORINE
Land cover
Micro watershed
GIS

The land cover and uses present in the La Portuguesa and Montalbán streambed micro-basins are determined for the year 2022. Using a Geographic Information System (GIS), visual on-screen interpretations of MAXAR (Vivid Standard) satellite images were made, supported by field visits and GPS point taking, which allowed obtaining a cartography with 95% global accuracy and 0.93 kappa index. The coverages and uses were defined with the CORINE Land Cover method at a scale of 1:1500, with which it was possible to identify 27 categories belonging to four large groups that make up Level 1. From this mapping, it was determined that the micro-watersheds have 47.07% of dense forests (2011.17 ha), found in the upper parts, 8.62% of secondary or transitional vegetation (368.44 ha) and 6.42% of fragmented forests (274.57 ha) in the medium-high zone, 6% of open shrubland (256.45 ha), distributed in the medium-low zone, and 4.13% of continuous urban fabric (176.29 ha), located mostly in the low slope zones. On the other hand, the categories with the lowest proportion are lagoons, lakes and natural marshes with 0.04 ha (0.0008%) and artificial water bodies with 0.26 ha (0.006%), respectively. The rest of the categories (27.74%) are distributed in both basins. This methodology can be used to update land cover and land use data that require a high level of detail.

INTRODUCCIÓN

La cartografía sobre el uso y cobertura de la tierra y el potencial para su mejor uso es esencial para la selección, planificación, gestión sostenible de los recursos de la tierra y la comprensión de los cambios en los procesos hidrológicos para satisfacer las crecientes demandas de las necesidades básicas y el bienestar humano (Tewabe y Fentahun, 2020). Mapas precisos y actualizados también desempeñan un papel fundamental en la seguridad alimentaria en los países en desarrollo (Saah *et al.*, 2019). Por ello, las organizaciones gubernamentales regionales tienen la necesidad operativa de obtenerla, ya que la gestión de los recursos naturales de sus áreas correspondientes es competencia de sus autoridades (Al-doski *et al.*, 2020).

Aunque usos y coberturas de la tierra están fuertemente interconectados, tienen diferentes significados (Bareth y Waldhoff, 2018); el primero se refiere a la descripción de la superficie en términos socioeconómicos y de intencionalidad del uso (residencial, comercial, industrial, agrícola, etc.), y el segundo a una descripción biofísica de la superficie terrestre de los materiales que la cubren (vegetación, suelo desnudo, agua, etc.) (De La Rosa, 2008; Borràs *et al.*, 2017). Ambas conceptualizaciones han sido utilizadas en una práctica común de combinación en un mismo conjunto de clases, asociando la primera a lo que se observa debido a lo que la gente hace en la superficie terrestre (Jansen y Di Gregorio, 2003; Jansen, 2006).

La ambigüedad y confusión entre estas dos definiciones dan lugar a problemas

prácticos, especialmente cuando es necesario cotejar, comparar y/o combinar información procedente de dos sensores diferentes, como de satélites o aeronaves (Al-doski *et al.*, 2020), o de clasificaciones no estandarizadas elaboradas a partir de criterios y observaciones de investigadores o de clasificaciones automatizadas que no distinguen, por ejemplo, entre diferentes tipos de vegetación o no especifican las actividades realizadas en el interior de las zonas pobladas (Malaver *et al.*, 2023) para generar cartografía de coberturas y usos de la tierra.

Un mapa aceptable de cobertura y uso de la tierra exige invariablemente imágenes de alta calidad y un conocimiento profundo de teledetección (Velázquez *et al.*, 2016). Para lograrlo, las clasificaciones requieren una leyenda que siga los principios de definiciones exhaustivas y mutuamente excluyentes para discretizar un área de estudio en un conjunto de categorías (Hansen, 2018). A diferencia de otros tipos de inventarios, como los de vegetación, que se centran solo en los tipos de flora seleccionadas, los conjuntos de datos de cobertura y usos de la tierra proporcionan información exhaustiva sobre la composición de toda la superficie terrestre (Bareth y Waldhoff, 2018).

En los Andes venezolanos, las cuencas hidrográficas han encarado una condición ambiental general compleja generada por la intervención sistemática de las coberturas vegetales originarias, a partir de la intensa presión de actividades agrícolas, pecuarias, industriales y urbanas, que han conllevado a su disminución y deterioro (Osorio *et al.*, 2009; Tachack-García y Carrasquel, 2010; Marquina *et al.*, 2024). Muestra de ello, han sido las microcuencas quebradas La Portuguesa y Montalbán (tributarias del río Chama), que presentan actualmente gran variedad de coberturas y usos y que han mostrado alteraciones en la cubierta natural primaria acelerada desde el año 1990, debido a este tipo de presiones (Peña y Angulo, 2020a; 2020b).

Por otra parte, el predominio de materiales geológicos de alta meteorización (Cuervo, 2011; Medina *et al.*, 2015) y características geomorfológicas de pendientes abruptas y vertientes accidentadas (Bongiorno *et al.*, 2011; Belandría *et al.*, 2015), aunado a las intervenciones de las coberturas de vegetación, han estimulado la inestabilidad de los suelos y modificado el comportamiento de la dinámica torrencial ante eventos extraordinarios de precipitación, fomentando su vulnerabilidad a procesos de erosión de gran magnitud, aporte de sedimentos, crecidas torrenciales e inundaciones, que han afectado y pueden afectar de forma directa a importantes asentamientos humanos ubicados en la parte baja como ocurrió en los años 2020, 2021 y 2022, que ocasionaron significativas pérdidas materiales e interrupciones del suministro hídrico (Zambrano, 2020; Pabón, 2020; 2021; Guarache, 2021; 2022). Conjunción de procesos, que han insertado modificaciones en las diferentes categorías de coberturas y usos de la tierra en las microcuencas. Otro aspecto crítico identificado es el incremento del uso mixto de la tierra en las partes altas, lo que puede traer como consecuencia futuros conflictos de uso del agua, aumento de asentamientos poblacionales e incremento de la deforestación en zonas que no presenten restricciones topográficas (Peña y Angulo, 2020a; 2020b).

En este contexto, es importante señalar que las microcuencas quebradas La Portuguesa y Montalbán carecen de información cartográfica detallada y actualizada. Por esta razón, y dada la relevancia que tienen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los sensores remotos en la actualidad, se ha despertado el interés por llevar a cabo una investigación que permita identificar y analizar las coberturas y usos existentes. La cobertura y uso de la tierra es un parámetro dinámico y complejo, que representa también la relación entre las actividades socioeconómicas y los cambios ambientales regionales, por lo que es importante revisarla y actualizarla periódicamente (Al-doski *et al.*, 2020).

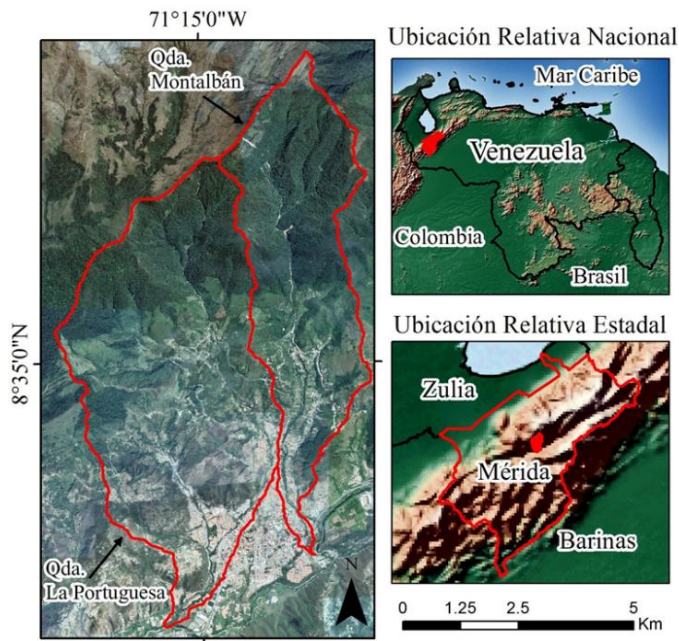
Para ello, se utilizó el sistema de clasificación CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover, diseñado para interpretación visual de imágenes y clasificaciones no automatizadas (Alva y León, 2017), como la manera más práctica para inventariar el terreno a escala media o de semidetalle, también válida para monitoreo, aunado a que constituye una buena alternativa para actualizar y verificar cartografía existente, e identificar categorías heterogéneas, ya que brinda mayor exactitud que los procesos de clasificación digitales automatizados (Molina y Albarrán, 2013; Matteucci *et al.*, 2013; Chuvieco, 2016; Leija *et al.*, 2016). En este estudio se alcanzó un nivel de levantamiento detallado (menor $< 1:10.000$), como lo describen Marquina y Mogollón (2018); ejemplo de alcance de este nivel de detalle con el método Corine Land Cover es Valencia y Anaya (2009), quienes emplearon imágenes Ikonos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio

Las microcuencas en estudio se encuentran localizadas en jurisdicción de las parroquias Montalbán y Matriz del municipio Campo Elías (estado Mérida, Venezuela). La primera entre las coordenadas geográficas $8^{\circ}32'44'' - 8^{\circ}38'38''$ de latitud norte y $71^{\circ}13'02'' - 71^{\circ}12'30''$ de longitud oeste, abarca una superficie de 14,30 km². La segunda entre las coordenadas geográficas $8^{\circ}31'54'' - 8^{\circ}37'24''$ latitud norte y $71^{\circ}14'03'' - 71^{\circ}16'43''$ de longitud oeste, ocupa una superficie de 28,43 km² (Figura 1). La hidrografía está representada por drenajes paralelos y dendríticos (sistemas fluviales típicos de montaña) que permiten identificar el material sedimentario y metamórfico (Cuervo, 2011; Belandría *et al.*, 2015). El tipo de clima según Köppen es Aw (tropical de sabana y de bosques húmedos) (Köppen, 1884, 1936; Gobierno de Navarra, 2011). En cuanto a precipitación, presenta dos periodos lluviosos y dos secos (régimen bimodal), posteriormente esta disminuye y se observa un segundo pico entre octubre y noviembre (febrero es el mes más seco). En lo que respecta a temperatura, se presenta un rango promedio que oscila entre 18 y 23 °C y que tiende a disminuir en función de la altitud, tal como se describe en Vivas (1992), MPPA (2011) y Corpoandes (2014). En relación con la vegetación, la zona de vida predominante basada en la clasificación de Holdridge (1947) es Bosque Húmedo Premontano (BHP), con especies representativas como el Mijao (*Anacardium excelsum*), Terminalia (*Terminalia sp.*) y varias lauráceas; también empieza a manifestarse en la parte baja de la quebrada La Portuguesa una

transición a Bosque Seco Premontano (BSP) con arbustales espinosos y cactáceas del género *Opuntia* (Ewel *et al.*, 1968; Corpoandes, 2014).



Datos de imágenes satelitales

Las coberturas y usos de la tierra fueron elaboradas a partir de imágenes MAXAR del 05 de mayo de 2022 (Vivid Standard) en color natural con resolución de 0,6 m (ESRI, 2025), descargadas a través del software SAS Planet (SASGIS, 2017), programa de origen ruso diseñado en plan “open source” (Cardoza, 2017), las cuales también fueron observadas con el programa Google Earth, que permite su utilización para aplicaciones científicas y sin fines lucrativos (Soares y Mendes, 2014; Thenkabail, 2016). La observación de las categorías en campo y registro subsecuente de puntos se realizó con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Garmin modelo map 60SCx.

Definición del área mínima cartografiable

La definición del área mínima cartografiable (UMC), que permite conocer las dimensiones del objeto con menor representación en el mapa, realzando su coherencia y utilidad (Lencinas y Siebert, 2009), se estableció en 0,005 ha. Para ello se consideró el nivel de información generado por las imágenes de resolución espacial de 0,6 m; esta

permite alcanzar una escala de interés detallada de investigación de 1:1500 (Marquina y Mogollón, 2018). De igual manera, fueron incluidos algunos elementos de menores dimensiones, fácilmente observables e importantes en la interpretación (tejido urbano discontinuo, principalmente).

Categorías CORINE Land Cover (CLC)

Se desarrolló una definición de leyenda preliminar delineando categorías observadas, entendidas como los tipos presentes de vegetación natural, cultivos agrícolas o espacios urbanos (IDEAM, 2010). Esta se realizó por medio de interpretación visual de imágenes, técnica vigente y preferida por diversos autores, dado que brinda mayor exactitud al considerar criterios de respuesta espectral (tamaño, forma, textura, contexto, sombras y asociación) (Chuvieco, 2016; Regil *et al.*, 2015), en contraste con los procesos digitales de clasificación automatizados (Leija *et al.*, 2016; Hurtado y Lizarazo, 2019; Yupanqui-Carrasco *et al.*, 2021; Luna *et al.*, 2024).

La generación de la cartografía implicó el uso del programa QGIS 3.34.8 (QGIS, 2024), un Sistema de Información Geográfica gratuito y de código abierto que permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos (Temes y Moya, 2021); en este caso, cálculos precisos de estimación de las coberturas y usos de la tierra (Buitrago *et al.*, 2011).

El establecimiento de la leyenda definitiva fue determinado a partir de levantamientos de información de campo en sitios accesibles (toma de puntos GPS, fotografías de sitios cercanos y observables a distancia, interpretaciones de imágenes satelitales impresas y consultas a pobladores), que hicieron posible obtener un producto cartográfico más preciso. Ejemplos de aplicación de estas estrategias puede ser consultado en Silva y Rubio (2014) y Leija *et al.* (2016). Esta se presenta en una estructuración jerárquica de niveles y subniveles (Tabla 1). La definición de cada categoría se puede hallar en IDEAM (2010) (no se identificaron áreas del nivel 4: áreas húmedas).

Validación cartográfica

La precisión del mapa fue evaluada mediante procesos de control de exactitud temática para corroborar el grado de conformidad de cada unidad de la leyenda respecto a la verdad–terreno (Sánchez, 2016). Este se fundamentó en el uso de imágenes MAXAR y la generación de unidades de muestreo independientes (polígonos) que representaron entre el 5% y el 10% del área mapeada. Se consideraron para ello las proporciones de cada una de las categorías, a fin de que fueran directamente comparables (Congalton y Green, 2009). Las muestras fueron definidas por un experto en interpretación de imágenes satelitales, quien no participó en la elaboración del mapa (Olofsson *et al.*, 2014). Obtenidas las muestras, se estimó la exactitud temática de la clasificación a través de una matriz de confusión con el software libre System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) versión 7.8.2 (SAGA, 2024). La exactitud temática se entiende como el resumen de acuerdos y desacuerdos entre las categorías del mapa y las muestras verdad-terreno. Estos se definen como errores de omisión,

comisión, precisión global (Chuvieco, 2016; Jensen, 2005) y el índice estadístico K (Kappa) (Cohen, 1960).

Tabla 1. Unidades de CUT identificadas en el área de estudio según la metodología CORINE Land Cover (Elaborado a partir de IDEAM, 2010).

1.TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. Bosques
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.2. Bosque abierto
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.3. Bosque fragmentado
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
1.2.5. Obras hidráulicas	3.2.2. Herbazal
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.2.1.1. Herbazal denso
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.2.1.2. Herbazal abierto
1.4.2. Instalaciones recreativas	3.2.2. Arbustal
	3.2.2.1. Arbustal denso
	3.2.2.2. Arbustal abierto
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
	3.3.1. Zonas arenosas naturales
	3.3.2. Afloramientos rocosos
	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	5. SUPERFICIES DE AGUA
2.1. Cultivos transitorios	5.1. Aguas continentales
2.2. Cultivos permanentes	5.1.1. Ríos (50 m)
2.3. Pastos	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.3.1. Pastos limpios	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.3.2. Pastos arbolados	
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	

El primero señala cómo los elementos que debieron ser clasificados correctamente fueron incluidos en otras; el segundo indica los elementos que fueron clasificados correctamente, y pertenecen a otras; y el tercero reseña el número de unidades categorizadas de forma adecuada sobre el total de las unidades estimadas (NV5 Geospatial Solutions, 2018). De igual modo, se consideraron valores límites establecidos (80 - 100%) por los científicos para diferenciar las categorías (Achard *et al.*, 2012). En cuanto al índice estadístico K, estudia la proporción total de muestras que coinciden en el mapa y las muestras verdad–terreno (Olaya, 2014), las cuales deben presentar valores superiores a 0,61 para que sea aceptable la concordancia cartográfica generada (Landis y Koch, 1977) y que se expresa de la forma (Ecuación 1):

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n m_{i,j} - \sum_{i=1}^n (G_i C_i)}{N^2 - \sum_{i=1}^n (G_i C_i)}$$

Donde: *i* es el número de categorías; *N* es el número total de hectáreas clasificadas

y comparadas con la verdad–terreno; m_{ij} es el número de hectáreas que, perteneciendo a la clase verdad–terreno i , han sido también clasificados con una categoría i (valores ubicados en la diagonal de la matriz de confusión); C_i es el número total de hectáreas clasificadas pertenecientes a la categoría i . G_i es el número de hectáreas verdad–terreno pertenecientes a la categoría i (NV5 Geospatial Solutions, 2018). Ejemplo de validaciones de este tipo han sido las de Camargo *et al.* (2018; 2020), Malaver *et al.* (2023), Medina *et al.* (2023) y López *et al.* (2024), entre otros.

RESULTADOS

Coberturas y usos de la tierra

El proceso de clasificación arrojó 27 categorías correspondientes a diferentes tipos de coberturas y usos de la tierra, distribuidos en cuatro grandes grupos que forman parte de la clasificación CORINE Land Cover (IDEAM, 2010) (Tabla 2 y Figura 2). Se obtuvo que en el área de estudio para el año 2022, los “Bosques densos” representaban el 47,07% de ambas cuencas (2011,74 ha), presentes principalmente en la parte alta. Seguidamente, la clase “Vegetación secundaria o en transición” ocupó el 8,62% (368,45 ha) y las clases “Bosque fragmentado” y “Arbustal abierto” el 6,42% (274,57 ha) y 6,0% (256,45 ha) respectivamente; La presencia de “Bosque abierto” fue de 4,79% (204,53 ha). Por otra parte, el área del “Tejido urbano continuo” ubicado en las áreas bajas, representan el 4,13% (176,29 ha).

En cuanto al “Tejido urbano discontinuo”, está representado en un 1,19% (50,83 ha), principalmente por viviendas asociadas al área rural, específicamente en la sección media y en la vía a la población de Jají. Otros elementos destacados fueron los “Pastos arbolados” con 3,86% (164,76 ha), el “Herbazal abierto” con 2,73% (116,73 ha) y las “Tierras desnudas y degradadas” con 2,08% (88,90 ha), donde destaca movimiento de masa (derrumbe) en la parte alta de la cuenca de la quebrada Montalbán (71°14'24,202" Long. Oeste; 8°37'34,607" Latitud Norte).

También se hallaron las categorías “Red vial, ferroviaria y terrenos asociados” y “Herbazal denso”, la primera representada con un 1,98% (84,66 ha) y la segunda con 1,92% (82,07 ha). Por otra parte, las “Áreas agrícolas heterogéneas” se hacen presentes en 1,70% (72,77 ha), principalmente al este de la cuenca de la quebrada La Portuguesa y de manera muy focalizada. El resto de las categorías comprenden áreas menores al 1,66%.

Validación cartográfica

Previo a la ejecución de la matriz de confusión, se definieron para cada una de las categorías el tamaño de muestreo proporcional correspondiente al 5% y 10% respectivamente (Tabla 3) como rango establecido para la elaboración de las muestras verdad–terreno. A partir de ellos, se definieron los tamaños finales de las muestras. De dicha forma, “Lagunas, lagos y ciénagas naturales (Llcn)” constituyó la categoría de muestras más pequeña definida con 0,003 ha y el “Bosque denso (Bd)” la más grande establecida con 168,31 ha. Esta variación se originó, debido a que los polígonos

interpretados por el experto variaron de tamaño en función del área de cada categoría. La suma de los totales de las muestras representó el 8,02% del mapa, es decir 342,53 ha.

Tabla 2. Áreas y porcentajes de las diferentes coberturas y usos de la tierra de las microcuencas quebradas La Portuguesa y Montalbán (Fuente: elaboración propia).

CÓDIGO	COBERTURA	ÁREA HA	%
1.1.1	Tejido urbano continuo (Tuc)	176,29	4,13
1.1.2	Tejido urbano discontinuo (Tud)	50,83	1,19
1.2.1	Zonas industriales o comerciales (Zic)	1,60	0,04
1.2.2	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados (Rvfta)	84,66	1,98
1.2.5	Obras Hidráulicas (Oh)	0,69	0,02
1.4.1	Zonas verdes urbanas (Zvu)	15,50	0,36
1.4.2	Instalaciones recreativas (Ir)	4,61	0,11
2.1	Cultivo transitorio (Ct)	32,86	0,77
2.2	Cultivo permanente (Cp)	9,39	0,22
2.3.1	Pasto limpio (Pl)	40,62	0,95
2.3.2	Pasto arbolado (Pa)	164,76	3,86
2.4	Áreas agrícolas heterogéneas (Aah)	72,77	1,70
3.1.1	Bosque denso (Bd)	2011,74	47,07
3.1.2	Bosque abierto (Ba)	204,53	4,79
3.1.3	Bosque fragmentado (Bf)	274,57	6,42
3.1.4	Bosque de galería o ripario (Bgr)	61,00	1,43
3.2.1.1	Herbazal denso (Hd)	82,07	1,92
3.2.1.2	Herbazal abierto (Ha)	116,73	2,73
3.2.2.1	Arbustal denso (Ad)	70,84	1,66
3.2.2.2	Arbustal abierto (Aa)	256,45	6,00
3.2.3	Vegetación secundaria o en transición (Vst)	368,45	8,62
3.3.1	Zonas arenosas naturales (Zan)	3,97	0,09
3.3.2	Afloramiento rocoso (Ar)	56,86	1,33
3.3.3	Tierras desnudas y degradadas (Tdd)	88,90	2,08
5.1.1	Ríos (R)	22,61	0,53
5.1.2	Lagunas, lagos y ciénagas naturales (Llcn)	0,04	0,0008
5.1.4	Cuerpos de aguas artificiales (Caa)	0,26	0,01
TOTAL		4273,58	100,00

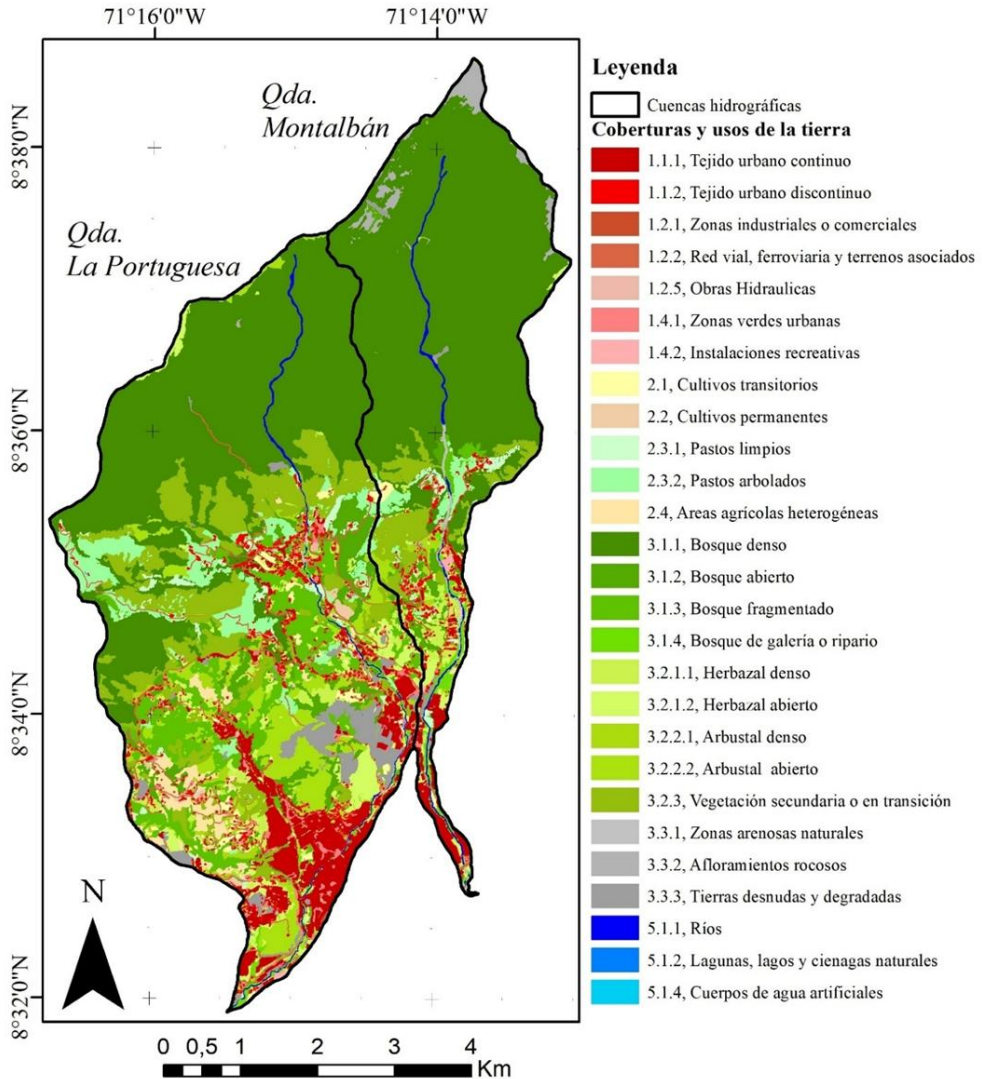


Figura 2. Mapa de coberturas y usos de la tierra: microcuencas de las quebradas La Portuguesa Montalbán (Fuente: elaboración propia).

El resultado de la matriz de confusión para el mapa (Tabla 4), indicó que el acorde entre el mapa y las muestras “verdad–terreno”, en 342,53 ha, fue de 324,71 ha, lo que representó una fiabilidad global de 94,80%, valor que se encuentra dentro de los límites establecidos por los científicos de 85 a 100% (Achard *et al.*, 2012), siendo esto ratificado al efectuar la valoración del índice de Kappa (0,93%), que mostró que la coincidencia es “casi perfecta” (0,81% – 1,00%) según Landis y Koch (1977). En otro orden de ideas, la categoría “Ríos” (R) constituyó el polígono de muestra más pequeña con 0,0005%

(0,0018 ha) y la categoría “Bosque denso” (Bd) el polígono de muestra más grande con 8,553% (29,30 ha), existiendo una diferencia en las dimensiones de polígonos interpretados por el experto de 8,552%.

También se evidenció que existen seis categorías que presentaron un acuerdo del 100% en sus proporciones, las cuales se mencionan a continuación: “Zonas industriales o comerciales” (0,15 ha), “Obras hidráulicas” (0,04 ha), “Instalaciones recreativas” (0,46 ha), “Cultivos permanentes” (0,61 ha), “Lagunas, lagos y ciénagas naturales” (0,003 ha) y “Cuerpos de aguas artificiales” (0,01 ha); en ellas no se registraron errores de omisión ni comisión, lo que manifiesta el acuerdo entre el mapa y las muestras “verdad–terreno”.

Tabla 3. Porcentaje del área de las coberturas y usos de la tierra al 5 % y 10 % para las unidades de muestreo (Fuente: elaboración propia).

Categoría	Código	Área (ha)	Área 5%	Área 10%	Área Muestras
Tejido urbano continuo (Tuc)	1.1.1	176,294	8,815	17,629	10,519
Tejido urbano discontinuo (Tud)	1.1.2	50,832	2,542	5,083	4,157
Zonas industriales o comerciales (Zic)	1.2.1	1,601	0,080	0,160	0,149
Red vial ferroviaria y terrenos	1.2.2	84,658	4,233	8,466	5,887
Obras Hidráulicas (Oh)	1.2.5	0,686	0,034	0,069	0,042
Zonas verdes urbanas (Zvu)	1.4.1	15,505	0,775	1,550	1,179
Instalaciones recreativas (Ir)	1.4.2	4,606	0,230	0,461	0,458
Cultivo transitorio (Ct)	2.1	32,864	1,643	3,286	3,072
Cultivo permanente Cp	2.2	9,385	0,469	0,939	0,611
Pasto limpio (Pl)	2.3.1	40,617	2,031	4,062	3,486
Pasto arbolado (Pa)	2.3.2	164,763	8,238	16,476	11,913
Áreas agrícolas heterogéneas (Aah)	2.4	72,770	3,639	7,277	7,140
Bosque denso (Bd)	3.1.1	2011,744	100,587	201,174	168,316
Bosque abierto (Ba)	3.1.2	204,525	10,226	20,453	19,321
Bosque fragmentado (Bf)	3.1.3	274,566	13,728	27,457	23,658
Bosque de galería o ripario (Bgr)	3.1.4	60,998	3,050	6,100	4,201
Herbazal denso (Hd)	3.2.1.1	82,068	4,103	8,207	5,887
Herbazal abierto (Ha)	3.2.1.2	116,733	5,837	11,673	10,270
Arbustal denso (Ad)	3.2.2.1	70,289	3,514	7,029	5,153
Arbustal abierto (Aa)	3.2.2.2	256,447	12,822	25,645	21,877
Vegetación secundaria o en transición	3.2.3	368,445	18,422	36,845	22,795
Zonas arenosas naturales (Zan)	3.3.1	3,970	0,199	0,397	0,231
Afloramiento rocoso (Ar)	3.3.2	57,404	2,870	5,740	4,498
Tierras desnudas y degradadas (Tdd)	3.3.3	88,902	4,445	8,890	5,868
Ríos (R)	5.1.1	22,606	1,130	2,261	1,832
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	5.1.2	0,038	0,002	0,004	0,003
Cuerpos de agua artificiales (Caa)	5.1.4	0,262	0,013	0,026	0,014
Área Total		4273,579	213,679	427,358	342,53752

Tabla 4. Matriz de confusión en hectáreas para el mapa de cobertura y usos de la tierra en hectáreas

Categoría	CATEGORIAS DEL MAPA DE COBERTURAS Y USOS DE LA TIERRA																				Total muestras	% muestras	Error comisión									
	Tuc	Tud	Zic	Rvfla	Oh	Zrvu	Ir	Ct	Cp	Pl	Pa	Aah	Bd	Ba	Bf	Bgr	Hd	Ha	Ad	Aa				Vst	Zan	Ar	Tdd	R	Llcn	Caa		
Tuc	10.471	0.129	0.000	0.099	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.109	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.815	0.25	0.03	
Tud	0.000	3.992	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.095	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.092	0.10	0.02	
Zic	0.000	0.000	0.148	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.148	0.00	0.00	0.00	
Rvfla	0.021	0.008	0.000	5.702	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.258	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.989	0.14	0.05	0.00
Oh	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0.00	0.00	0.00
Zrvu	0.021	0.000	0.000	0.002	0.000	1.168	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.234	0.03	0.05	0.00
Ir	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.458	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.476	0.01	0.04	0.00
Ct	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.989	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.119	0.07	0.04	0.00
Cp	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.610	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.610	0.01	0.00	0.00
Pl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.454	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.478	0.08	0.01	0.00
Pa	0.000	0.002	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.782	0.080	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.657	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.542	0.29	0.06	0.02
Aah	0.000	0.006	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.829	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.063	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.939	0.16	0.02	0.00
Bd	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	168.023	3.602	0.013	0.000	0.109	0.001	0.000	0.163	0.000	0.000	1.581	0.000	0.016	0.000	0.045	0.000	0.000	0.000	173.565	4.06	0.03	0.00
Ba	0.001	0.003	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.043	0.000	10.544	0.000	0.002	0.494	0.000	0.000	0.004	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.103	0.26	0.05	0.00
Bf	0.010	0.005	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.041	0.000	0.000	23.385	0.000	0.375	0.000	0.001	0.085	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	23.954	0.56	0.02	0.00
Bgr	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	4.187	0.276	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.543	0.11	0.08	0.00
Hd	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.000	0.039	0.001	0.000	1.858	0.000	0.000	0.200	0.061	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.226	0.05	0.17	0.00
Ha	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.257	10.235	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.613	0.25	0.04	0.00
Ad	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.036	0.000	0.000	0.034	0.009	0.414	0.005	5.084	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.608	0.13	0.09	0.00
Aa	0.000	0.001	0.000	0.014	0.000	0.001	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.186	0.000	1.006	0.000	0.000	20.895	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	22.125	0.52	0.06	0.00
Vst	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.059	0.081	0.294	5.102	0.000	0.000	0.187	0.000	0.027	0.002	20.491	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.250	0.61	0.22	0.00
Zan	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.220	0.000	0.000	0.000	0.000	0.222	0.01	0.01	0.00	
Ar	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.001	0.000	0.000	4.481	0.000	0.000	0.000	0.000	4.499	0.11	0.00	0.00	
Tdd	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.135	0.000	0.462	0.000	0.000	0.000	5.866	0.000	0.000	0.000	0.000	6.478	0.15	0.09	0.00	
R	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	1.843	0.04	0.03	0.00	
Llcn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.00	0.00	0.00	
Caa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.00	0.00	0.00	
Total muestras	10.524	4.157	0.148	5.887	0.042	1.177	0.458	3.071	6.11	13.486	11.914	7.143	168.317	19.315	23.659	4.198	5.886	10.269	5.153	21.878	22.797	2.229	4.496	5.866	1.832	0.003	0.014	342.53	8.02	1.22	0.95	
% muestras	0.246	0.097	0.003	0.138	0.001	0.028	0.011	0.072	0.014	0.082	0.279	0.167	3.939	0.452	0.554	0.098	0.138	0.240	0.121	0.512	0.533	0.005	0.105	0.137	0.043	0.000	0.000	8.02	Precision G.	0.95	0.95	
Error omission	0.005	0.040	0.000	0.031	0.000	0.008	0.000	0.027	0.002	0.009	0.011	0.044	0.002	0.454	0.012	0.003	0.684	0.003	0.013	0.045	0.101	0.041	0.003	0.000	0.027	0.000	0.000	1.57	Kappa	0.93	0.93	

Por el contrario, las categorías menos acertadas se encuentran en los diversos tipos de vegetación, estas fueron: el bosque abierto, donde de las 19,32 ha muestreadas solo 10,54 ha fueron acertadas, confundiendo mayormente con Bosque denso y vegetación secundaria; la categoría “Herbales densos”, de 5,89 ha valoradas solo 1,86 ha coincidieron, siendo el resto confundida con arbustales abiertos, bosque denso y abierto, y, finalmente, la vegetación secundaria, donde de 22,80 ha, solo fueron asignadas correctamente 20,49 ha, siendo el resto confundido con bosque denso y con pastos arbolados (de la misma forma se pueden interpretar las clases restantes).

DISCUSIÓN

Las ventajas de utilizar polígonos de cobertura terrestre como unidad básica de medida residen en que las coberturas pueden ser observadas y que herramientas como los sensores remotos y sistemas de información geográfica pueden ayudar a una primera estratificación de los usos relacionados con estas, estableciendo en consecuencia una relación espacial entre ambas (Jansen, 2006).

La cartografía generada (nivel detallado) constituye un producto de gran importancia para la toma de decisiones, a diferencia de los productos globales de coberturas de la tierra (nivel de reconocimiento y exploratorio). La explicación radica en que, aunque estos últimos son utilizados con frecuencia como la mejor alternativa disponible cuando no se dispone de mapas adecuados y oportunos a nivel nacional, regional o local, los mismos presentan inconsistencias que dificultan un uso más extendido y efectivo para contribuir de manera significativa a la formulación de políticas, la planificación y la gestión y otros procesos en los que se sabe que decisiones más efectivas, transparentes y defendibles conducen a mejores resultados en el mundo real (Saah *et al.*, 2019).

Un aspecto destacable y que le da un alto valor a la cartografía elaborada fue el hecho de haber recurrido a la interpretación visual de imágenes, en contraste con procedimientos automatizados como las clasificaciones supervisadas. Ejemplo de ello es Esquea *et al.* (2019), quienes solo pudieron identificar seis categorías a partir de los valores numéricos de los píxeles pertenecientes a coberturas (las más contrastantes) y no de usos, dada la imposibilidad de diferenciar numerosas clases similares por parte del algoritmo supervisado, condición que los condujo a obviar usos y generalizar coberturas (en contraposición, este estudio identificó 27 categorías).

De igual modo, se reconoce que la interpretación visual requiere un alto grado de intervención humana (Borràs *et al.*, 2017), aspecto que debe ser tomado en cuenta en la definición de un proyecto de generación cartográfica, ya que en algunos casos puede ser más eficiente la aplicación de un método automatizado. Ejemplo es Hernández-Cavazos *et al.* (2025), quienes aplicaron una clasificación supervisada para detectar solo dos categorías (vegetación ribereña y áreas desprovistas de vegetación).

Aunado a las ideas anteriores sobre interpretación visual y nivel de detalle, la

cartografía obtenida cuenta con la fortaleza de haber sido validada (matriz de confusión, errores de omisión y comisión, confiabilidad global e índice de Kappa), lo que otorga un mayor conocimiento de la incertidumbre de los resultados, a diferencia de las cartografías generadas por Alva y León (2017), Luna *et al.* (2024) y Hernández-Cavazos *et al.* (2025), donde no se estimó la exactitud temática. Retomando la importancia de la interpretación visual, Hurtado y Lizarazo (2019) han señalado que, a partir de su implementación en Colombia, se han obtenido resultados cada vez más altos en exactitud temática en coberturas (y sus cambios), la cual para el año 2018 estimó un valor de Kappa global cercano al 95%.

El empleo de las 27 categorías Corine Land Cover en el estudio brinda una mayor precisión en comparación con categorías ambiguas como “sombras o áreas sin información” (Buitrago *et al.*, 2011), que no suministran información alguna sobre coberturas o usos de la tierra. De igual modo acontece con categorías generales como “vegetación” y “zona poblada” (Esquea *et al.*, 2019); la primera no distingue tipos de vegetación y la segunda no especifica las actividades que se realizan en su interior. Estas categorías, al ser creadas por métodos automatizados, no cuentan con precisión, a diferencia de la obtenida por interpretación visual, que sí la permite lograr. Otro aspecto que debe evitarse es el uso de categorías referidas a ecosistemas, por ejemplo “páramo” (Osorio *et al.*, 2009) como sinónimo de herbazal, pues aunque este presenta mayoritariamente vegetación herbácea, también se hallan presentes formaciones vegetales como arbustales y árboles de altura baja (Christmann y Oliveras, 2020).

A diferencia de los trabajos de Cuervo (2011), Corpoandes (2014) y Peña y Ángulo (2020a; 2020b), quienes elaboraron cartografías en escalas medianas (Marquina y Mogollón, 2018), esta investigación presenta una escala grande (1:1500), lo cual la hace más precisa y útil para conocer las extensiones de las coberturas y usos existentes en las microcuencas. Otro aspecto que podría significar una ventaja de este estudio, radica en el hecho de que se empleó un sistema estandarizado de clasificación como lo es Corine Land Cover, en contraste con los señalados, en los que se determinaron categorías a partir de criterios y observaciones de los investigadores, resoluciones que podrían conducir a incompatibilidades entre clases a la hora de usarlas con otras estandarizadas como la propia Corine Land Cover o la desarrollada por la Unión Geográfica Internacional, cuyo propósito sea el de obtener resultados fácilmente comparables entre unas y otras, y disponer de una base de datos amplia del área (Alva y León, 2017).

CONCLUSIONES

El éxito de la planificación y ejecución de proyectos o programas de desarrollo local o regional amerita en su formulación indudablemente de información básica de coberturas y usos. Sin ella resulta difícil iniciar un ordenamiento, ya que inicialmente se precisa conocer lo que se va a ordenar antes de formular y plantear soluciones o alternativas apropiadas. La información aquí generada podría ser también aprovechada para la planificación de programas de educación ambiental que sean transversales a todas las comunidades y que promuevan proyectos de investigación que generen

estrategias para la formulación de planes de manejo integrado y propuestas conservacionistas.

La utilización de recursos tecnológicos modernos para estimar usos y coberturas de la tierra, como las imágenes obtenidas con SAS Planet, en conjunción a programas como Qgis, permiten determinar las categorías existentes, información clave en la ordenación territorial, especialmente en la configuración de la cuenca como unidad territorial; ambos recursos de dominio público y sin costo alguno, otorgan facilidades para alcanzar tales objetivos.

Es importante usar metodologías estandarizadas de clasificación de coberturas y usos de la tierra, en primer lugar, para generar información útil, dadas las múltiples aplicaciones en las que se pueden emplear, en especial, el estudio de la dinámica de las categorías involucradas y el impacto generado en ellas por el cambio climático; en segundo lugar, porque permiten la conversión entre metodologías estandarizadas, en contraposición a clasificaciones no estandarizadas que pueden presentar incompatibilidades; y finalmente, porque podrían contribuir de manera ordenada y sistemática a la generación de una cartografía de este tipo más exhaustiva y precisa.

En cuanto a las categorías encontradas en las microcuencas, los bosques densos (47,07%) están expresados en gran proporción como una unidad continua, ubicados primordialmente en las zonas de alta pendiente y amparados bajo la figura de Parque Nacional. Por su parte, en las zonas bajas y medias se pueden encontrar bosques abiertos (4,79%), fragmentados (6,42%) y de galería (1,43%). En las zonas bajas, es evidente el desarrollo de actividades urbanas (7,47%), principalmente representadas por las categorías de nivel 1. En cuanto a las actividades agrícolas, estas representan el 7,5%.

Finalmente, a pesar de que la interpretación visual requiere extensos lapsos temporales, en contraste con los procedimientos automatizados que pueden ser supervisados o no, es aconsejable llevarla a cabo, considerando que se perciben con mayor exactitud las diversas coberturas y usos existentes, resultados que pueden optimizarse a partir de las mejoras en la calidad de los sensores que han supuesto un incremento significativo en la disponibilidad de imágenes de alta resolución.

De igual modo, resulta crucial la realización de visitas a campo para corroborar lo observado en las imágenes satelitales. En este estudio, al igual que el de Camargo *et al.* (2018) y Malaver *et al.* (2023), estas versaron sobre la accesibilidad posible en el terreno, aunado a la satisfacción de cumplir con la observación y captura de fotografías de diversas categorías, tanto cercanas como lejanas.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela), especialmente al Departamento de Ordenación de Cuencas Hidrográficas; de igual modo a los M. Sc. Wilder Rivas, Karina Peña y Silania Savedra, a

través de los cuales se pudo obtener información y colaboración para la realización de esta investigación. Finalmente, nuestro agradecimiento a los árbitros y al Comité Editorial de la Revista Forestal Venezolana por sus aportes y observaciones.

REFERENCIAS CITADAS

- Achard, F., Brown, S., Brady, M., DeFries, R., Grassi, G., Herold, M., Mollicone, D., Mora, B., Pandey, D., Souza, C., Arino, O., Asner, G.P., Boschetti, L., Braatz, B., Chiuvioco, E., Csiszar, I., Cutler, M., Englhart, S., de Jong, B... Wulder, M. 2012. *A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation*. Wageningen (The Netherlands): GOFCC-GOLD Land Cover Project Office, hosted by Wageningen University. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC76900>
- Al-Doski, J., Mansor, S. B., Ng, H., San, P. y Khuzaimah, Z. 2020. Land cover mapping using remote sensing data. *Am. J. Geogr. Inf. Syst.*, 2020, 9(1), 33-45. <http://article.sapub.org/10.5923.j.ajgis.20200901.04.html>
- Alva, M. y León, A. 2017. Diseño e implementación de un catálogo de objetos geográficos para la cobertura de la Tierra mediante la leyenda Corine Land Cover, para el departamento de Ancash – Perú. *Revista UD y la geomática*, 11, 55-62. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/UDGeo/article/view/7923>
- Bareth, G. y Waldhoff, G. 2018. Gis for mapping vegetation. *Comprehensive Geographic Information Systems*, 3, 1 – 27. Doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.09636-6>
- Belandria, N., Bongiorno, F., Rivas, D. y Moreno, S. 2015. Mapa de Riesgo Geotécnico con Fines de Urbanismo en la Vía de Mérida-Jají, Estado Mérida. En D. Manzanal y A. Sfriso (Eds). *From Fundamentals to Applications in Geotechnics* (pp. 2948-2956). IOS Press. 10.3233/978-1-61499-603-3-2948
- Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G. y Camps-Valls, G. 2017. Land use classification from Sentinel-2 imagery. *Revista de Teledetección*, 48, 55-66. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>
- Bongiorno, F., Molina, G., Belandria, N. y Rivero, R. 2011. Estudio de las propiedades geomecánicas de los taludes ubicados entre los Guaimaros y Mesa de los Indios, Mérida Venezuela. *Geominas*, 39(56), 135-143. <https://drive.google.com/file/d/0Bwo9zNA8rjCgWGRzSXlsTlhIamM/view?resourcekey=0-xUuRBxVCXEQpDkKMWR-3MQ>
- Buitrago, E., Aranguren, A. y Marquina, J. 2011. Determinación de cambios en la cobertura vegetal del cerro El Morro, parroquia Mucurubá, Mérida - Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 26 (2), 85-106. <https://cetus.saber.ula.ve/handle/123456789/41962>

- Camargo, C., Pacheco-Angulo, C. y Jaimes-Rolón, M. 2018. Determinación del uso de la tierra en la microcuenca torrencial Quebrada Seca, Estado Táchira, Venezuela 2013. *UD y la Geomática*, 13, 49-60. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/UDGeo/article/view/15225>
- Camargo, C., Calderón-Dávila, A.G., Lobo-Márquez, J.A. y Ovalles-de Cabezas, Y. 2020. Identificación de conflictos y propuesta de asignación de usos de la tierra en la subcuenca quebrada Mejías, municipio Antonio Pinto Salinas, estado Mérida, Venezuela. *Revista de Topografía Azimut*, 11 (1), 46-65. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/azimut/article/view/15979>
- Cardoza, J. 2017. *Aplicaciones de los sistemas de información geográfica en ingeniería civil utilizando el software GV SIG*. [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]. Archivo digital. <https://hdl.handle.net/20.500.14492/16402>
- Christmann, T. y Oliveras, I. 2020. Nature of alpine ecosystems in tropical mountains of South America. En M. I. Goldstain y D.A. Della Sala (Eds.), *Encyclopedia of the world's biomes. Volume 1. Mountains (Alpine Systems) - Life at the Top* (pp. 282–290). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.12481-9>
- Chuvieco, E. 2016. *Fundamentals of satellite remote sensing an environmental*. Approach (2.^a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19478>
- Cohen, J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20 (1), 37– 46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Congalton, R. y Green, K. 2009. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(6), 448-449. <https://doi.org/10.1016 /j.jag.2009.07.002>
- Corpoandes. 2014. Dossier municipal, Campo Elías. Directorio de la Corporación de los Andes. Documento no publicado].
- Cuervo, V. 2011. *Flujos de detritos y otros procesos hidrogeomorfológicos en dos cuencas de los Andes centrales venezolanos: una contribución a la zonificación de amenazas en abanicos aluviales*. [Tesis de maestría, Universidad de Los Andes]. Archivo digital. <http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/handle/654321/16491>
- De La Rosa, D. 2008. *Evaluación agroecológica de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa. <https://digital.csic.es/handle/10261/37155>
- Environmental Systems Research Institute [ESRI]. (2025, 01 de agosto). World Imagery. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>
- Esquea, L., Domínguez, Y., Sanjuán, S. y Pérez, D. 2019. Cambios en las coberturas de la tierra en el periodo 1984-2017 y análisis de la amenaza ante inundaciones en el

- municipio de Campo de la Cruz, Atlántico-Colombia. *Revista de Ciencias*, 23(2), 13-37. <https://doi.org/10.25100/rc.v23i2.9348>
- Ewel, J. Madriz, A. y Tosi, J. 1968. *Zonas de Vida de Venezuela, memoria explicativa sobre el mapa ecológico*. MAC-FONAIAP. <https://api.semanticscholar.org/ CorpusID:160163242>
- Gobierno de Navarra. 2011. (2011, 15 de abril). *Clasificación climática de Köppen*. <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>
- Guarache, A. (2022, 14 octubre). Afectadas 36 viviendas y vialidad en Mérida por las lluvias. *Últimas Noticias*. <https://ultimasnoticias.com.ve/noticias/general/afectadas-36-viviendas-y-vialidad-en-merida-por-las-lluvias/>
- Guarache, A. (2021, 20 agosto). Afectados por lluvias cuatros municipios del estado Mérida. *Últimas Noticias*. <https://ultimasnoticias.com.ve/noticias/pulso/afectados-por-lluvias-cuatros-municipios-del-estado-merida/>
- Hansen, MC. 2018. Vegetation Continuous Fields. En S. Liang (Ed). *Comprehensive Remote Sensing*, Volume 6 (pp. 4-12). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10378-1>
- Hernández-Cavazos, M. C., Alanís-Rodríguez, E., Sandoval-García, R., Molina-Guerra, V. M., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A. y Cuellar-Rodríguez, L. G. 2025. Cambios espacio-temporales de la vegetación ribereña en la subcuenca hidrológica Monterrey, Nuevo León. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 22(50), 69-87. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/7759>
- Holdridge, L. R. 1947. Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science* 105, 367-368. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.105.2727.367>
- Hurtado, L. y Lizarazo, I. 2019. Identificación de perturbaciones en el bosque húmedo tropical colombiano usando series temporales de imágenes satelitales Landsat mediante el algoritmo Landtrendr. *Revista de Teledetección*, (54), 25-39. <https://doi.org/10.4995/raet.2019.12285>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. 2010. *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. IDEAM. https://www.corpocesar.gov.co/files/Ref_UnicoyPersistente/Corine_Land_Cover.pdf
- Jansen, L. J. y Di Gregorio, A. 2003. Land-use data collection using the “land cover classification system”: results from a case study in Kenya. *Land use policy*, 20, 131-148. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(02\)00081-9](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(02)00081-9)
- Jansen, L. J. 2006. Harmonization of land use class sets to facilitate compatibility and comparability of data across space and time. *Journal of Land Use Science*, 1(2-4), 127-156. <https://doi.org/10.1080/17474230601079241>

- Jensen, J. 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. (3rd Ed.). Pearson College Div.
- Köppen, W. P. 1884. Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet. *Meteorologische Zeitschrift* 1, 215–226. https://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1884.pdf
- Köppen, W. P. 1936. Das geographische system der climate, 1-44 (Gebrüder Borntraeger: Berlin, Germany, 1936). https://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf
- Landis, J. y Koch, G. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1): 159-174. <https://www.jstor.org/stable/2529310>
- Lencinas, J. y Siebert, A. 2009. Relevamiento de Bosques con Información Satelital: Resolución Espacial y Escala. *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales*, 17(1, 2): 01-105. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48113035010>
- Leija, E., Reyes, H., Reyes, O., Flores, J. y Sahagún, F. 2016. Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 22 (1), 125 -140. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221481>
- López, F., Aguilar, Pérez, L., Zambrano, Y. y Ávila, E. 2024. Aplicación de evaluación multicriterio para modelar factores climáticos y ambientales en la identificación de regiones áridas en el noroeste de México. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 12(28 Especial), 54-70. <https://doi.org/10.36825/RITI.12.28.006>
- Luna, P., Adame, S., Gutiérrez, J. y Pineda, N. 2024. Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la zona de influencia del área de protección Nevado de Toluca, 1970-2020. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, 16 (29), 1-28. https://87538a9a-4129-4498-961e-1bc765cd62c3.filesusr.com/ugd/79758e_6523f3aecbbb48b4a842f90f371fbceb.pdf
- Malaver, Z., Camargo, C., Osorio, A. y Andrades, J. 2023. Cambios en la cobertura y usos de la tierra en el municipio de Antolín del Campo, Estado de Nueva Esparta - Venezuela, durante los períodos 2015-2018 y 2018-2022. *Revista de Ciencias*, 26(2), 1-25. <https://doi.org/10.25100/rc.v26i2.12899>
- Marquina, J. y Mogollón, A. 2018. Niveles y escala de levantamiento de información geográfica en sensores remotos. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(1): 42-52. <https://www.redalyc.org/journal/3477/347760307004/>
- Marquina, A., Badía, A., Romagosa, F. y Mejía, J. 2024. Una metodología para la identificación y caracterización del paisaje en la cuenca alta del río Santo Domingo - Venezuela. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 33 (2), 369-392.

<https://doi.org/10.15446/rcdg.v33n2.104052>

- Matteucci, S., Silva, M. y Rodríguez, A. 2013. Estado del sistema sociedad-naturaleza en el chaco argentino. *Fronteras*, 12, 1–22. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/15898>
- Medina, D., Montilla, N. y Pimstein, L. 2015. Mapa de unidades de suelo y litología superficial como contribución al proyecto gestión integral de riesgos en espacios urbanos – fase Mérida, Venezuela. *Boletín de Geología*, 37 (1), 83-97. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/4531>
- Medina, S., Gutiérrez, J., Balderas, M. y Pérez, I. 2023. Fragmentación forestal y captura de carbono en un Parque Nacional del Estado de México. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, 15 (27), 1-21. https://87538a9a-4129-4498-961e-1bc765cd62c3.filesusr.com/ugd/79758e_f69972ee7aa64b3bad8be839f01daf07.pdf
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente [MPPA]. 2011. Estaciones meteorológicas. Datos mensuales de precipitación (mm). Dirección general de cuencas - Dirección de Hidrología y Meteorología. [Documento no publicado]
- Molina, G. y Albarrán, A. 2013. Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la tierra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 22 (1), 25 – 4. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v22n1.36305>
- NV5 Geospatial Solutions. (2018, 20 de mayo). *Calculate Confusion Matrices*. <https://www.nv5geospatialsoftware.com/docs/CalculatingConfusionMatrices.html>
- Olaya, V. 2014. *Sistemas de Información Geográfica*. https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf
- Olofsson, P., Foody, G., Herold, M., Stehman, S., Woodcock, C. y Wulder, M. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
- Osorio, R., Lozano, E. y Graterol, G. 2009. Cartografía de la cobertura y uso de la tierra en la cuenca Alta del Río Santo Domingo, Estado Mérida, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 183-190.
- Pabón, R. (2020, 19 noviembre). Crecida excepcional de quebrada la portuguesa dejó viviendas afectadas y puentes colapsados en parroquia Montalbán. *Notiandes*. <https://www.notiandes24.com.ve/2020/11/crecida-excepcional-de-quebrada-la.html>
- Pabón, R. (2021, 24 agosto). Alcaldía del Municipio Campo Elías abocada a atender emergencias tras permanencia de lluvias en la entidad. *Reporteros de Mérida*.

<http://www.reporterosdemerida.com.ve/2021/08/alcaldia-del-municipio-campo-elias.html>

Peña, K. y Ángulo, F. 2020a. *Ficha descriptiva “Caracterización Socio ambiental Básica” Subcuenca hidrográfica quebrada Montalbán*. MINAGUAS – Aguas de Ejido C.A. [Documento no publicado]

Peña, K. y Ángulo, F. 2020b. *Ficha descriptiva “Caracterización Socio ambiental Básica” Subcuenca hidrográfica quebrada La Portuguesa*. MINAGUAS – Aguas de Ejido C.A. [Documento no publicado]

QGIS. 2024. Software QGIS. <https://qgis.org/download/>

Regil, H., Franco, S., Nava, G. y Ordóñez, J. 2015. Evaluación de las técnicas para el estudio del cambio de ocupación de suelo y propuesta metodológica para solventar algunas de sus inconsistencias: el Parque Nacional Nevado de Toluca, México. *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (16), 61-86. <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/447>

Saah, D., Tenneson, K., Matin, M., Uddin, K., Cutter, P., Poortinga, A., Nguyen, QH., Patterson, M., Johnson, G., Markert, K., Flores, A., Anderson, E., Weigel, A., Ellenberg, WL., Bhargava, R., Aekakkararungroj, A., Bhandari, B., Khanal, N., Housman, ... Chishtie, F. 2019. Land Cover Mapping in Data Scarce Environments: Challenges and Opportunities. *Front. Environ. Sci.*, 7:150. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00150>

SAGA. 2024. Software SAGA. <https://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/>

Sánchez, J.M. 2016. Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la matriz de confusión. *Pensamiento matemático*, 6(2), 9-26. https://revista.giepm.com/wp-content/uploads/revista_impresa/vol_VI_num_2/inv_calidad_carto.pdf

SASGIS. 2017. Software SAS Planet. <http://sasgis.ru/sasplaneta/>

Silva, A. y Rubio, M. 2014. Análisis de cambios de uso del suelo en la Delegación Municipal de Ingeniero White (Buenos Aires, Argentina): aplicación de geotecnologías. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 23(1): 133 – 146. https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/35580/pdf_555

Soares, H. y Méndez, S. 2014. O papel das geotecnologias no estudo de feicoes erosivas e de movimento de massa no Brasil. En A. Guerra y M. Jorge (eds.). *Processos erosivos e recuperacao de areas degradadas* (pp 95-125). Oficina de Textos. https://www.ofitexto.com.br/processos-erosivos-e-recuperacao-de-areas-degradadas/p?srsId=AfmBOoq8EoeoSWzq8JLESViMbrJc4LBukHX8osbA_KB-ICvOhY4Ytxvh

Tachack-García, M. y Carrasquel, F. 2010. Estado de conservación de los ecosistemas del ramal oriental de la Cordillera de los andes venezolanos. En J. Rodríguez, F.

- Rojas, y D. Hernández (eds.), *Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela* (pp. 263-268). Provita, Shell Venezuela, Lenovo. https://ecosistemasamenazados.org/files/libro_rojo_ecosistemas_terrestres_Venezuela.pdf
- Tewabe, D. y Fentahun, T. 2020. Assessing land use and land cover change detection using remote sensing in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia. *Cogent Environmental Science*, 6(1), 1778998. <https://doi.org/10.1080/23311843.2020.1778998>
- Temes, R. y Moya, A. 2021. *QGIS aplicado al urbanismo*. Ra-Ma Editorial. https://www.ra-ma.es/libro/qgis-aplicado-al-urbanismo_118815/
- Thenkabail, P. S. 2016. *Remotely sensed data characterization, classification, and accuracies*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19294>
- Valencia, G. y Anaya, J. 2009. Implementación de la metodología Corine Land Cover con imágenes Ikonos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 39-52. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/245>
- Velázquez, A., Medina, C., Durán, E., Amador, A. y Gopar, L. 2016. *Standardized Hierarchical Vegetation Classification. Mexican and Global Patterns*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41222-1>
- Vivas, L. 1992. *Los Andes Venezolanos*. Academia Nacional de la Historia.
- Yupanqui-Carrasco, O., Julca-Torres, J. y Valerio-Candia, E. 2021. Estimación de la superficie cultivada de Palma Aceitera mediante interpretación visual de imágenes satelitales durante los años 2016-2020. *Revista Xilema*, 31(1): 32-45. <https://doi.org/10.21704/x.v31i1.1781>
- Zambrano, S. (2020, 4 septiembre). Desbordamiento del río Montalbán en Mérida dejó zonas afectas. *Noticias todos ahora*. <https://www.todosahora.com/noticias-de-venezuela/desbordamiento-del-rio-montalban-en-merida-dejo-zonas-afectas/>

BASES CONCEPTUALES Y LINEAMIENTOS PARA UNA POLÍTICA FORESTAL SOSTENIBLE EN VENEZUELA (2025–2050) EN EL MARCO DE EXPERIENCIAS LATINOAMERICANAS

CONCEPTUAL BASES AND GUIDELINES FOR A SUSTAINABLE FOREST POLICY IN VENEZUELA (2025–2050) IN THE FRAMEWORK OF LATIN AMERICAN EXPERIENCES

DENNY JAVIER ROSALES¹ Y SARA SOFÍA JIMENEZ²

1. Ingeniero Forestal, Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela, Ms Dirección de Sistemas y TI, CEUPE, Madrid, España. Administrador Foro Chat “Sector Forestal Venezolano”. ORCID: 0009-0002-3245-3947.E-mail: denny.rosales@gmail.com
2. Ingeniero Forestal, M.Sc. en Manejo de Bosques, Universidad de Los Andes, ULA, Mérida, Venezuela. Administradora Foro Chat “Sector Forestal Venezolano”. E-mail: jimenezsar@gmail.com

Recibido 15 septiembre 2025 – Aceptado 14 noviembre 2025

Resumen

Palabras clave:

política forestal
manejo forestal
plantaciones forestales
desarrollo sostenible

Se presenta un análisis crítico del colapso del sector forestal venezolano (2000-2025) y se propone un marco estratégico de política pública (2025-2050) basado en la revisión y comparación de los principios de desarrollo forestal sostenible adoptados en América Latina. Enmarcado en el contexto de la crisis económica y ambiental del país, el análisis conceptualiza la política forestal como un acuerdo negociado entre partes interesadas, fundamental para el desarrollo sostenible. El diagnóstico identifica **altas tasas de deforestación** (décimo lugar mundial) y el **colapso industrial**, proponiendo un nuevo enfoque basado en principios rectores de sostenibilidad, participación pública, intersectorialidad y diversidad cultural. La estrategia propone un Plan de Desarrollo Forestal con horizontes definidos (1, 3, 5, 10 y 20 años), enfocado en el fortalecimiento institucional, la conservación, el manejo y ordenación sostenible del patrimonio, y el fomento de plantaciones e investigación. La implementación se articulará a través de un Plan Nacional de Desarrollo Forestal que integra el objetivo de **Deforestación Neta Cero**, mecanismos de seguimiento y metas específicas en cobertura forestal, producción, empleo y mitigación del cambio climático. El éxito de esta política dependerá del **blindaje legal** y la creación de un **Órgano Rector del Desarrollo Forestal (ORDF)**, lo que permitirá al sector convertirse en un pilar estratégico no petrolero de la economía nacional.

Abstract

Key Words:

A critical analysis of the collapse of the Venezuelan forestry sector (2000-2025) is presented, and a strategic public policy framework (2025-2050) is proposed

forest policy based on the review and comparison of the sustainable forest development principles adopted in Latin America. Framed within the context of the country's economic and environmental crisis, the analysis conceptualizes forest policy as a negotiated agreement between stakeholders, fundamental for sustainable development. The diagnosis identifies **high rates of deforestation** (tenth place worldwide) and industrial collapse, proposing a new approach based on guiding principles of sustainability, public participation, intersectorality, and cultural diversity. A forest development plan with 1, 3, 5, 10, and 20-year horizons is presented, encompassing institutional strengthening, conservation, sustainable management and planning of forest resources, the promotion of plantations, and research. Implementation will be structured through a National Forestry Development Plan that integrates the **Net Zero Deforestation** objective, monitoring mechanisms, and specific goals in forest cover, production, employment, and climate change mitigation. The success of this policy will depend on **legal protection** and the creation of a **Forestry Development Governing Body (ORDF)**, allowing the sector to become a strategic non-oil pillar of the national economy.

1. INTRODUCCIÓN

El sector forestal venezolano posee un vasto potencial con un poco más de 47 millones de hectáreas de su superficie terrestre con vocación forestal y una cobertura boscosa que representa el 51,4 % de la superficie total del país (FAO-FRA, 2025). Esta dotación natural debería posicionar a Venezuela como un líder regional en la producción sostenible y la conservación. Sin embargo, la realidad del período 2000-2025 es crítica, evidenciada por la obsolescencia, el abandono y el colapso de las industrias relacionadas. La alta tasa de deforestación ubica a Venezuela en el décimo lugar mundial en la última década, con una pérdida de 127.400 ha/año entre 2010-2020 (FAO, 2021).

En este contexto de crisis económica y ambiental, la necesidad de una nueva política forestal clara y estable es imperativa para generar un cambio profundo en la estructura del Estado. Una política forestal se define como un acuerdo estratégico, con normas y acciones aprobado por el gobierno, que establece una visión y objetivos comunes para los bosques, sus recursos asociados y el arbolado de un país (FAO, 2010).

Es preciso analizar críticamente el colapso del sector forestal venezolano (2000-2025) y, basado en una revisión comparativa de principios regionales de desarrollo sostenible, proponer un marco estratégico de política pública (2025-2050) que permita convertir al sector en un pilar estratégico no petrolero de la economía nacional.

La propuesta se refleja en seis objetivos principales que debe cumplir una política forestal eficaz, en concordancia con los marcos de referencia internacional y regional:

A. **Conservación y Uso Sostenible:** Garantizar la conservación y el uso sostenible de los bienes y servicios de los ecosistemas forestales. Esto incluye la promoción del manejo sostenible de bosques productivos y la restauración de ecosistemas degradados. El manejo forestal sostenible implica que la ordenación, la orientación de las inversiones y la gestión institucional deben estar en armonía para satisfacer las necesidades de las presentes y futuras generaciones (Sample, 2004).

- B. **Valoración integral:** La valoración integral de la contribución de los ecosistemas forestales (económica, social y ambiental), que se considera crucial para mejorar su competitividad con relación a otros usos de la tierra y servir de insumo para definir mecanismos de compensación ambiental (PNFFS - Perú, 2022).
- C. **Gobernanza Fortalecida:** El fortalecimiento y consolidación de los marcos institucionales y la gobernanza. La gobernanza forestal es el arreglo formal de los recursos para la consecución de los objetivos estratégicos y un medio para organizar la administración y el manejo de recursos (PNFFS - Perú, 2022).
- D. **Fomento de la productividad:** El fomento de la productividad y la competitividad, buscando que el sector sea un soporte estratégico del desarrollo sostenible regional y un instrumento para la generación de empleo y productos de alto valor agregado (PNFFS - Perú, 2022).
- E. **Inclusión y equidad social:** Promover la participación efectiva de pequeños productores y comunidades (Sabogal et al., 2008). La participación debe ser un proceso en el que la sociedad civil disponga de mecanismos concretos y efectivos de acceso a la toma de decisiones (PNFFS - Perú, 2022).
- F. **Armonización intersectorial:** La armonización con otras políticas sectoriales (como las de agricultura y cambio climático) (PNFFS - Perú, 2022). Los objetivos de la política deben estar estrechamente ceñidos a las metas de desarrollo sostenible del país e insertarse en el marco de desarrollo nacional.

2. ANÁLISIS HISTÓRICO Y DIAGNÓSTICO DEL COLAPSO (2000-2025)

2.1. El colapso de la industria forestal y la pérdida de liderazgo

Históricamente, Venezuela fue un pionero en la gestión forestal en Latinoamérica. El país fue la sede de la primera Escuela de Ingeniería Forestal de la región (1948) y fue líder en docencia, investigación, gestión y diseño técnico de planes de manejo forestal. Entre 1960 y 1975, el país detentó la supremacía latinoamericana en conocimientos técnicos y científicos. Venezuela fue el primer país latinoamericano en crear un Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, creando condiciones para una gestión racional de los recursos naturales del país.

No obstante, en el período 2000-2025, el sector forestal experimentó un colapso sistémico. Además de la alta tasa de deforestación ya mencionada, el sector experimentó una reducción considerable en las cuotas de plantaciones forestales, la implementación de nuevas políticas para el manejo en áreas destinadas a la producción forestal permanente y el cierre de la mayor parte del plantel industrial maderero. Este proceso de desindustrialización y pérdida de competitividad es un reflejo de los fallos en la aplicación de las políticas y la inestabilidad institucional (Soto, 2013).

2.2. Desafíos estructurales persistentes

La gestión forestal en el país ha enfrentado desafíos crónicos que impiden el desarrollo sostenible, a pesar de los marcos legales existentes:

Presión de la frontera agrícola y minería ilegal: La expansión agropecuaria es el principal impulsor de la deforestación es (Pacheco *et al.*, 2011b) a menudo ejecutada de forma ilegal o vinculada a la ocupación de tierras. A esto se suma la tala ilegal y la minería que representan una competencia desleal y son un problema común, impulsadas por la baja presencia institucional y la impunidad (Hernández, 1994).

Desertificación e incendios forestales: La lucha contra la desertificación a consecuencia de los **incendios forestales incontrolados** es crítica. Los incendios son un fenómeno cíclico que se manifiesta anualmente (Lozada, 2024) y son una de las causas principales de la degradación permanente del patrimonio forestal. Las causas son mayormente antrópicas (99 %), ligadas a las actividades agropecuarias y la quema, lo que refleja una ausencia de concientización ambiental de los habitantes alrededor de las formaciones forestales.

Debilidad institucional y jurídica: El fracaso histórico se debe, en mayor medida, a **políticas públicas deficientes, presiones económicas y condiciones sociales** que a técnicas silviculturales (Johnson & Cabarle, 1993). La gestión se ve obstaculizada por la permanente injerencia política, la fragmentación de la institucionalidad y la limitada capacidad de respuesta.

Inestabilidad legal: El análisis de la temporalidad de los planes estratégicos revela una tendencia a la implementación deficiente y los cambios frecuentes en el marco legal, pasando por tres leyes rectoras en un período corto (1966, 2008 y 2013). Este "vaivén" es reflejo de una política deficiente (Soto, 2013).

Falta de inversión y financiamiento: Existe escaso acceso a financiamiento para las actividades forestales, con carteras crediticias rígidas y de difícil obtención (Noguera *et al.*, 2012). Además, los incentivos económicos son limitados y no se dispone de compensación alguna de las externalidades positivas lo que ha provocado que el uso forestal no sea competitivo con otros usos de la tierra. La dependencia de recursos externos para la continuidad de los logros también es un factor limitante (FAO, 2023).

2.3. Mecanismos de apoyo requeridos

Para superar los desafíos, es imperativo establecer mecanismos de apoyo transversales:

Fomento de la ciencia y tecnología (IC&T): Implica la transferencia de tecnologías apropiadas y la inversión en I+D+i para dinamizar la productividad.

Sistemas de información forestal: Consolidar el Sistema Nacional Integrado de Información Forestal (SINIIF) para generar información oportuna y confiable, y fortalecer el monitoreo y la fiscalización (Rosales, D. 2022, citado en Lozada, 2024).

Incentivos económicos y financieros: Establecer mecanismos de financiamiento para promover inversiones, como el Pago por Servicios Ambientales (PSA) y la flexibilización de garantías para pequeños productores (PNFFS - Perú, 2022).

3. MARCO ESTRATÉGICO DE LA POLÍTICA FORESTAL (2025–2050): RESULTADOS POSIBLES

La propuesta estratégica de política pública se articula como un marco analítico y operativo que busca la transformación profunda del sector forestal venezolano. Su visión es convertirlo en un pilar de la economía nacional, fundamentado en los principios de desarrollo sostenible.

3.1. Principios rectores y bases de la transformación

El marco se sustenta en principios rectores que buscan superar la inestabilidad institucional y la debilidad productiva histórica (Figura 1):

Sostenibilidad integral: Búsqueda del equilibrio entre los beneficios sociales, económicos y ambientales.

Gobernanza participativa: Énfasis en la participación pública, la intersectorialidad y el respeto a la diversidad cultural.

Fortalecimiento institucional: El establecimiento de una estructura institucional sólida, constituye el elemento esencial para la centralización del sector y la adecuada implementación del plan.

Valoración integral: Reconocimiento de la contribución múltiple de los ecosistemas forestales.

Permanencia transgeneracional: El manejo debe asegurar la perdurabilidad del patrimonio forestal para las generaciones futuras.

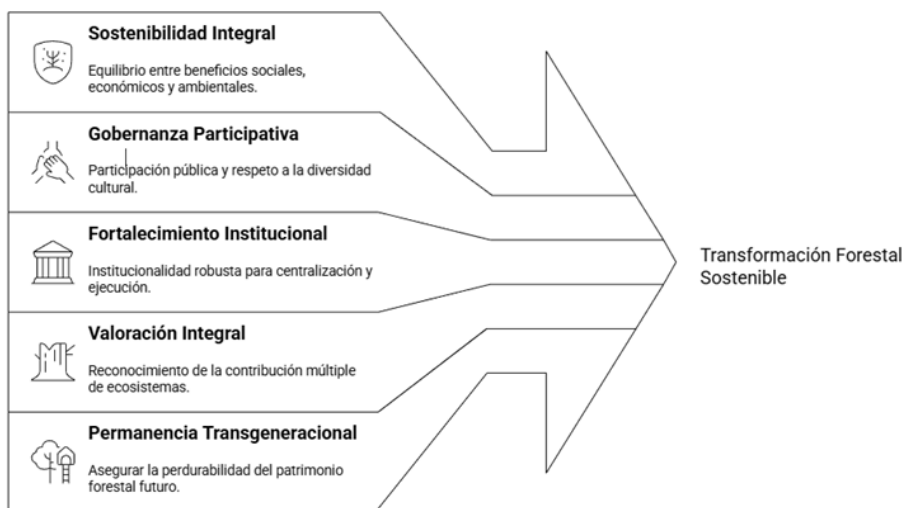


Figura 1 Principios rectores de la transformación forestal.

3.2. Metas estratégicas y horizontes de ejecución (Síntesis del PDDF)

El Plan Nacional de Desarrollo Forestal (PNDF) se diseñó con una visión de largo alcance (2025-2050), desglosada en metas operacionales y de impacto (Tabla 1).

Tabla 1. Metas Estratégicas y Horizontes de Ejecución (Síntesis del PDDF)

Dimensión de la Política	Horizonte Temporal	Meta Estratégica Clave	Referencia del Objetivo
Gobernanza y Leyes	Corto Plazo (1–3 años)	Constitución y Dotación del Órgano Rector del Desarrollo Forestal (ORDF) y promulgación de la Ley Especial de Ejecución del PNDP para blindar el plan legalmente.	Soto, 2014
Producción y Empleo	Medio Plazo (5 años)	Establecimiento de 296.574 hectáreas de nuevas plantaciones y Sistemas Agroforestales (SAF). Generación de 2.796 empleos directos en esta fase.	Lozada, 2024
Conservación y Clima	Largo Plazo (10 años)	Lograr la Deforestación Neta Cero antes del año 2030, alineado con objetivos internacionales.	Unión Europea, 2023, Noguera, O y Carrero, O, 2012
Transformación Productiva	Largo Plazo (20 años)	Ampliación masiva de plantaciones con la meta de alcanzar 5 millones de hectáreas adicionales .	Soto, 2013
Impacto Económico Final	Prospectiva (2040)	Posicionar el sector forestal como uno de los tres principales soportes no petroleros de la economía, con una proyección de generación de hasta 6 millones de empleos .	Ministerio de Planificación y Desarrollo, 2003

3.3. Estrategia de transición productiva: Del bosque natural a las plantaciones

La estrategia se centra en una **transición productiva fundamental** para conciliar la conservación con la producción a largo plazo:

Bosque natural (Foco en conservación): La gestión se basará en un **manejo y gestión ambiental de impacto reducido (AIR)**. El objetivo es dejar de intervenir los bosques naturales para extraer madera en un plazo de 25 años, una vez se haya realizado un aprovechamiento selectivo por única vez en los 20 millones de hectáreas con vocación extractivista. Esto asegura que la función primaria del bosque sea la conservación y la provisión de servicios ambientales vitales.

Plantaciones (Orientada al suministro): Las plantaciones forestales suplirán las necesidades industriales a largo plazo, aportando la mayor parte de la materia prima, hasta llegar a un **70 % de la demanda en 2050** (Soto, 2013). Esto incluye la producción futura proyectada de 14,5 millones de metros cúbicos sin corteza de madera provenientes de nuevas plantaciones. La reforestación y Agrosilvopecuaria son estrategias cruciales para ampliar la oferta productiva y disminuir la presión sobre el bosque natural. (Figura 2).

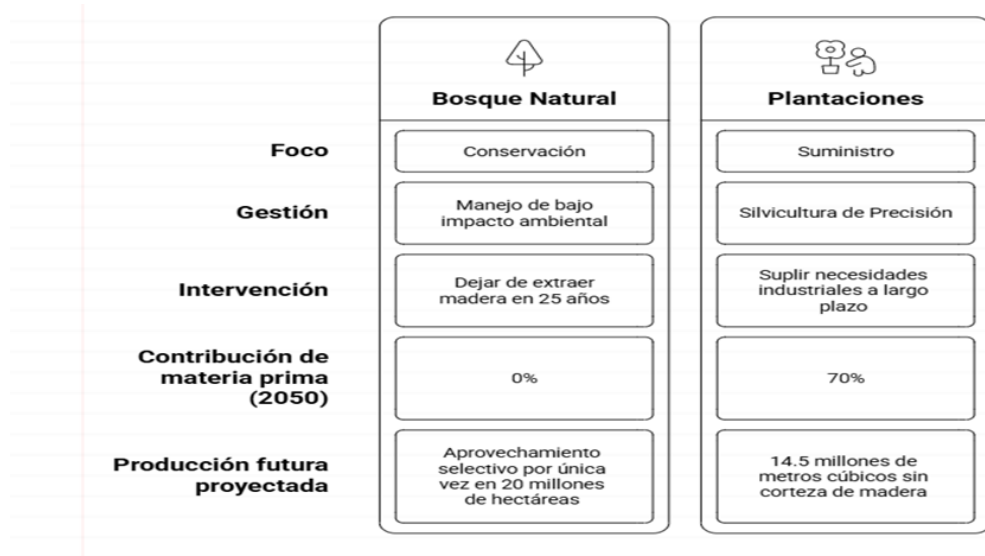


Figura 2 Estrategia de Transición Productiva.

3.4. Visión y misión estratégica

Visión estratégica (Proyección a 2050):

La visión estratégica del marco propuesto apunta a que, para el año 2050, Venezuela se erija como una potencia forestal continental y mundial (Soto, 2014), fundamentada en un patrimonio forestal restaurado, conservado y gestionado de forma sostenible (Noguera *et al.*, 2012). Esta gestión proyecta un sector forestal convertido en uno de los tres principales soportes no petroleros de la economía nacional, superando los desafíos históricos (Lozada, 2024) y garantizando una sociedad próspera e integrada en las redes globales de creación de valor y conocimiento, bajo un régimen de gobernanza transparente y respeto a la ley.

Misión del marco estratégico:

La misión de la política forestal propuesta se centra en liberar el enorme potencial forestal de Venezuela para impulsar un crecimiento económico equitativo y sostenible, mediante la innovación y la productividad en el aprovechamiento de los bienes y

servicios ecosistémicos (Noguera *et al.*, 2012). Esto se logrará a través de la conservación, restauración y el manejo forestal sostenible e integral del patrimonio, asegurando su permanencia para las generaciones presentes y futuras.

4. EJES TRANSVERSALES Y VIABILIDAD ESTRATÉGICA: DISCUSIÓN

La viabilidad de la propuesta estratégica (2025–2050) depende de la implementación efectiva de ejes transversales que buscan corregir las deficiencias históricas: la debilidad institucional, la falta de financiamiento a largo plazo y la escasa competitividad.

4.1. Fortalecimiento de la gobernanza, gestión e institucionalidad

El fracaso de los planes anteriores resalta que la política forestal no puede ser una simple declaración, sino un conjunto interrelacionado de políticas con una institucionalidad robusta.

Necesidad de un órgano rector: La creación de un **Órgano Rector del Desarrollo Forestal (ORDF)**, centralizador y con *autonomía* de gestión es esencial para superar la fragmentación institucional y la injerencia política (Soto, 2014). Se propone que este ente esté tenga representación del despacho competente del Estado en materia ambiental y forestal, el gremio forestal, las universidades y las empresas privada, para asegurar una comunicación directa con el gobierno.

Blindaje legal: La experiencia de cambios legislativos frecuentes justifica la recomendación de una **Ley Especial de Ejecución del PNDF** y un **Reglamento Forestal Nacional Único** para proporcionar el marco jurídico claro y estable que el sector necesita. El marco legal debe adecuar el cuerpo legal, evitando la fragmentación legislativa (Soto, 2013).

Gobernanza multiactor: La viabilidad de la gobernanza se basa en la **participación de los interesados** a nivel nacional y subnacional (PNFFS - Perú, 2022). Esto requiere la creación de foros permanentes de concertación, como la **Mesa Forestal Nacional (MFN)**, que integre al sector privado, al gremio forestal, la academia y las comunidades (Noguera *et al.*, 2012).

4.2. Estrategias de financiamiento y sostenibilidad económica

La dependencia de recursos externos y la insuficiencia de la financiación son barreras históricas que la propuesta busca superar mediante la diversificación de fuentes.

Inversión inicial requerida: Se reconoce que el sector requiere un impulso inicial de entre **10 y 15 años** con una inversión estimada de **5.000 millones de dólares en 20 años**, antes de alcanzar la autosostenibilidad económica (Soto, 2013). Es crucial la captación de fondos para proyectos de I+D+i y la búsqueda de financiamiento internacional.

Mecanismos de financiamiento: La estrategia propone habilitar instrumentos

financieros que se adapten al ciclo productivo de largo plazo del sector:

- **Créditos blandos y flexibilización de garantías:** La banca debe crear una cartera crediticia específica, flexibilizando el tipo de garantías (como el vuelo forestal) (Meza et al., 2022).
- **Certificado de incentivo forestal (CIF):** Instrumento crucial para promover la reforestación y los Sistemas Agroforestales (SAFs) y Agrosilvopecuarios, atrayendo inversión privada (PNFFS - Perú, 2022).
- **Pagos por servicios ambientales (PSA):** Mecanismos para compensar y estimular a los propietarios y poseedores de bosques por la generación de bienes y servicios ambientales (PNFFS - Perú, 2022).

Incentivos fiscales: La Ley de Bosques (2013) faculta para exonerar del pago total o parcial de tributos nacionales (IVA, ISLR) por hasta siete años, especialmente a las tecnologías y prácticas que reducen el impacto ambiental. La Ley de Fomento al Desarrollo Forestal debe incluir incentivos fiscales y administrativos para fomentar el establecimiento de plantaciones (Noguera, O y Carrero, O, 2012).

Fondos climáticos: El acceso a fondos internacionales como el **Fondo verde para el clima (FVC)** y el Global Environment Facility (GEF) es estratégico, dada la importancia del sector para la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

4.3. Rol Estratégico de la academia, IC&T, y formación

La **Investigación, Ciencia y Tecnología (IC&T)** se establece como un eje transversal y fundamental para la competitividad y el desarrollo sostenible del sector forestal.

Prioridades de inversión en IC&T: Se requiere un apoyo sustantivo a la investigación, priorizando líneas como la **bioeconomía, la bioeconomía circular, la biotecnología** y el estudio de la **multifuncionalidad del bosque** (Anllo & Bisang, 2015). Otras prioridades son la investigación integral socio-ambiental y la valoración de los servicios ambientales por tipo de bosque. El **Sistema Nacional Integrado de Información Forestal (SINIIF)** es un componente base para generar información oportuna y confiable.

Formación de capital humano:

Actualización curricular: Es crucial actualizar los planes de estudio para incluir temas como el manejo sostenible de bosques tropicales, la gestión de cuencas hidrográficas, la biotecnología de productos forestales, y los modelos de simulación (Molina *et al.*, 2016). El rediseño curricular de la Ingeniería Forestal en la ULA (2016) se enfocó en la formación por competencias y la aplicación de herramientas tecnológicas.

Capacitación continua: Promover la capacitación continua de profesionales y

comunidades organizadas para mejorar la productividad y competitividad.

Articulación "Triple Hélice" y Diálogo desSaberes: La generación de conocimiento y la transferencia tecnológica se deben basar en una articulación sólida entre **universidades, instituciones públicas y empresas** (Saltos Briones et al., 2018). El plan exige el **diálogo de saberes** entre el conocimiento técnico-científico y el conocimiento tradicional o ancestral de los pueblos indígenas (Triana, 2010), reconociendo su papel en la gestión forestal sostenible, tal como lo establece la Ley de Bosques (2013).

Educación y concientización: La educación ambiental es un proceso continuo que busca preparar a la población para participar en la gestión del ambiente. Es fundamental concienciar sobre la importancia de los **servicios ecosistémicos** para la calidad de vida. La Ley Orgánica de Educación busca impulsar una **conciencia ecológica** para preservar la biodiversidad.

4.4. La Industria forestal y colaboración pública-privada

El sector forestal busca consolidarse como un pilar económico productivo indispensable no petrolero. La transformación requiere la colaboración público-privada para modernizar una industria históricamente deplorable y obsoleta.

Industrialización y agregación de valor: Es crucial fomentar la producción de **valor agregado** en la industria secundaria, como muebles y componentes de construcción (Soto, 2013). La exportación de productos elaborados es la situación ideal para generar la mayor cantidad de empleo y divisas en el país; la exportación de rolas (madera rolliza) debe ser restringida y solo una etapa de transición.

Formación de "clusters": La estrategia de industrialización promueve el desarrollo de modelos basados en la formación de "**clusters**" empresariales para alcanzar economías de escala y una ventaja competitiva sostenible.

Diversificación y PFMN: La política promueve la diversificación hacia **Productos forestales no maderables (PFNM)**, cuyo aprovechamiento genera oportunidades reales para el uso integral de la biodiversidad con menores impactos a los ecosistemas.

Certificación: La **Certificación forestal voluntaria (FSC o PEFC)** es un instrumento indispensable para la competitividad, puesto que promueve y garantiza el buen manejo forestal la sostenibilidad y facilitando el acceso a los mercados internacionales.

4.5. Armonización internacional y participación social

La integración de tratados internacionales y la participación social son imperativos estratégicos para la sostenibilidad, el financiamiento y la legitimidad de la política.

Armonización con compromisos climáticos: El PNDF debe armonizarse con los compromisos internacionales, incluyendo el **Convenio sobre la diversidad**

biológica (CDB) y la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC). El sector forestal es crucial para la reducción de emisiones de GEI a través de la captura de carbono y proyectos **REDD+** (Actualización NDC Venezuela, 2021).

Participación social y comunitaria: La participación social y comunitaria es un pilar fundamental para el éxito de la política forestal.

Actores: Se debe comprometer la participación de las **Comunidades indígenas y campesinas, los habitantes del bosque y no los invasores** como actores fundamentales para la conservación y el desarrollo, reconociendo sus autonomías y conocimientos ancestrales.

Descentralización: Es necesario superar el autoritarismo paternalista que ha limitado el papel protagónico de las comunidades (Sabogal *et al.*, 2008), impulsando la descentralización de la gestión a gobiernos locales y comunidades.

Gobernanza y derechos indígenas: La política forestal debe garantizar la participación de comunidades indígenas y la sociedad civil, respetando sus derechos y acervo cultural (Ley de Bosques, 2013). Esto se alinea con la **Declaración de Río (1992)**, que establece el papel fundamental de los pueblos indígenas en la gestión del medio ambiente.

5. LA VISIÓN POSIBLE DE UN SECTOR FORESTAL FORTALECIDO

5.1. Hallazgos del análisis crítico y propuesta estratégica

El análisis crítico del sector forestal venezolano entre 2000 y 2025 confirma un **colapso estructural**, manifestado en una alta tasa de deforestación y la obsolescencia de su base industrial. Este deterioro es resultado directo de la inestabilidad política, el cambio legislativo constante y la ausencia de un marco estratégico de largo plazo.

La **Propuesta de política forestal 2025–2050** se presenta como el marco estratégico necesario para la transformación, buscando su reconocimiento como un componente estratégico fundamental en el desarrollo nacional (Ministerio de Planificación y Desarrollo, 2003). Los principales hallazgos y proyecciones son:

Pilar económico no petrolero: El sector tiene el potencial de ser uno de los tres principales soportes de la economía nacional y es crucial para el crecimiento sostenido y diversificado de la economía productiva.

Impacto social masivo: La actividad forestal genera más empleo por capital invertido que otros sectores. Al alcanzar su madurez, una adecuada política tiene capacidad para generar hasta **6 millones de empleos** en el medio rural en el futuro cercano.

Transición productiva sostenible: La única vía para alcanzar la meta de **Deforestación neta cero** (antes de 2030) es mediante la transición masiva de la producción de madera del bosque natural a plantaciones de uso múltiple; el bosque

natural puede quedar como reservorio natural de principios químicos y biológicos con potencial utilización en farmacia, química y para aseguramiento de la seguridad alimentaria, particularmente de los pobladores cercanos a los bosques naturales. Esto implica el establecimiento de varios **millones de hectáreas adicionales** de plantaciones a mediano y largo plazo.

Desarrollo rural y seguridad alimentaria: La implementación de Sistemas Agroforestales, Silvopastoriles (SAFs) y Agrosilvopecuarios contribuye a la seguridad alimentaria y mejora la calidad de vida en las poblaciones rurales.

Posicionamiento internacional: Un manejo sostenible y certificado ofrece una ventaja competitiva en los mercados mundiales.

5.2. Recomendaciones finales.

Para asegurar la viabilidad del marco estratégico propuesto, se recomienda:

Viabilidad institucional y legal: La superación del fracaso histórico requiere la creación de un **Órgano Rector del Desarrollo Forestal (ORDF)** *autónomo* con representación del Estado, el gremio forestal, las universidades y las empresas privadas y la promulgación de un marco legal "blindado" para garantizar la continuidad administrativa de los planes forestales a largo plazo.

Impulso financiero inicial: Reconocer que la autosostenibilidad económica requiere una inversión inicial sostenida de 10 a 15 años y movilizar inmediatamente los fondos climáticos (FVC, GEF).

Fomentar la industrialización con valor agregado: Priorizar la inversión en la industria secundaria (muebles, componentes de construcción) y la formación de "*clusters*" para maximizar la generación de empleo y divisas.

Mantener la participación protagónica: Incluir de forma permanente el diálogo de saberes y los mecanismos de concertación multiactor para la gestión descentralizada del recurso.

Conservación estratégica: El sector forestal es determinante para proteger y manejar ecosistemas estratégicos (Orinoquía y Amazonía) y es fundamental para garantizar servicios ecosistémicos vitales, como el agua y la protección de embalses (Noguera *et al.*, 2012).

Agradecimientos

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a los participantes del foro chat "Sector Forestal Venezolano" y reconocen las valiosas contribuciones e ideas, las cuales sirvieron como base fundamental para la conceptualización y desarrollo de este documento.

6. BIBLIOGRAFIA

- Anllo, G. y R. Bisang, 2015, Bioeconomía. Cambio estructural, nuevos desafíos y respuestas globales: Una ventana de oportunidad para las producciones basadas en Recursos Naturales Renovables, PROSAP/UCAR, (Publicado en Buenos Aires)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2025, Global Forest Resources Assessment 2025, Publicación/Informe, Roma, 187 p.
- Hernández, L. y H. Fölster, 1994, Vegetación en transición, Ecología de la Altiplanicie de la Gran Sabana (Guayana Venezolana) I. *Scientia Guianae* 4, pp. 118-144.
- InSight Crime e Instituto Igarapé, 2022, Amazonía Saqueada: Las raíces de los delitos ambientales en cinco países, Informe de la serie "Mapeo de los delitos ambientales en la cuenca amazónica", 64 p.
- Johnson, N., & Cabarle, B. (1993). *Surviving the cut: Natural Forest Management in the Humid Tropics*. World Resources Institute.
- Ley de Bosques. (2013). Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 40.222 de fecha 6 de agosto de 2013.
- Lozada D., J. R. (2024). Propuesta Técnica para un Plan Nacional de Desarrollo Forestal Sostenible en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 66 Número Especial.
- Meza, V., Vega, F., Chavarría, A. y Villegas, M., 2022, Política forestal y plan de acción 2022-2025 propuesta por los actores de la cadena productiva forestal, Informe/Propuesta de política.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDI), 2010, Mesa Nacional Forestal, Taller de reflexión y diálogo sobre los elementos claves del Plan Nacional de Desarrollo Forestal – PNDF, Memoria de Evento.
- Ministerio de Planificación y Desarrollo. (2003, Julio). Plan Nacional de Desarrollo Forestal 2003. MPD, Caracas.
- Molina, Y., Encinas, Osvaldo; Puentes, Yohama; Garay, Vicente; Erazo, Oswaldo; Moret, Ana Yajaira; Hernández, Ana; Trejo, Jhonattan; Peña, Carlos; Bracamonte, Lilian; Ninin, Pablo; Márquez, Argelys; Peña, Norqui; Márquez, Robert; Moreno, Elvira; Mucherino, Jonathan; Mejías, Jesús; Sndony, Yira; Molina, Yoly; Oballos, Raquel; Unshelm, Carlos; Méndez, José Luis. (2016). El currículo de Ingeniería Forestal en la ULA: Una visión de cambio. *Revista Forestal Venezolana*, 60, 57-76.
- Nilsson, S. (2001). Política forestal: conceptos clave. Instituto Europeo del Bosque. Luxemburgo.
- Noguera, O. E., Mendoza, S. A., Rodríguez, L. E., Garay, V. E., Martínez, P., Lozada, J. R., Suárez, A. A., Gutiérrez, J. R. y León, J. J., 2012, Propuesta de Política

- Forestal, identificada con el desarrollo actual y futuro de Venezuela, Documento (Propuesta), 13 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2010, Elaboración de una Política Forestal Eficaz. Una guía, Estudio FAO: Montes 161, 94 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2020, Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020: Principales resultados, Informe/Publicación, 16 p. o 170 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2023, Evaluación final del proyecto “Ordenación Forestal Sustentable y Conservación de Bosques en la Perspectiva Ecosocial”, Serie de evaluaciones descentralizadas, 07/2023. Santiago de Chile
- Pacheco, P., Aguado, M. y Mollicone, P. 2011. Dinámica de la deforestación en Venezuela: Análisis de los cambios a partir de mapas históricos. *Interciencia* 26: 578-586.
- PARLAMENTO EUROPEO Y CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, 2023, Reglamento (UE) 2023/1115 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 31 de mayo de 2023, relativo a la comercialización en el mercado de la Unión y a la exportación desde la Unión de determinadas materias primas y productos asociados a la deforestación y la degradación forestal, *Diario Oficial de la Unión Europea* L 150, pp. 206-246.
- PERÚ, MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO (MIDAGRI), 2022, Política Nacional Forestal y de Fauna Silvestre al 2030, Política Nacional Multisectorial.
- REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA, 2021, Actualización de la Contribución Nacionalmente Determinada de la República Bolivariana de Venezuela para la lucha contra el Cambio Climático y sus efectos, Informe: Actualización NDC Venezuela, MINEC. 162 p.
- Sabogal, C., de Jong, W., Pokorny, B. y Louman, B. (Editores), 2008, Manejo forestal comunitario en América Latina: Experiencias, lecciones aprendidas y retos para el futuro, Publicación conjunta de CIFOR – CATIE, 274 p.
- Saltos Briones, G., Odriozola Guitart, S. y Ortiz Torres, M. (2018). La Vinculación Universidad-Empresa-Gobierno: Una Visión Histórica Y Conceptual. *Revista ECA Sinergia*, 9(2), 121-139.
- Sample, A. V., 2004, Sustainability in Forestry: Origin, Evolution and Prospects, *Journal of Forestry*, 102(4), pp. 21-26