

ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA Y CARBONO FORESTAL A TRAVÉS DEL PROTOCOLO DEL IDEAM DEL RELICTO DE BOSQUE SECO TROPICAL DEL HUMEDAL MARIA CAMILA EN VALLEDUPAR



AUTORES:

HEYDER ARIAS MONSALVE

MIGUEL ÁNGEL RINCÓN AMADO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2025

**ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA Y CARBONO FORESTAL A TRAVÉS DEL
PROTOCOLO DEL IDEAM DEL RELICTO DE BOSQUE SECO TROPICAL DEL
HUMEDAL MARIA CAMILA EN VALLEDUPAR**

AUTORÍA:

HEYDER ARIAS MONSALVE
MIGUEL ÁNGEL RINCÓN AMADO

DIRECCIÓN:

KARINA PAOLA TORRES CERVERA
MAGISTER EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

CODIRECCIÓN:

NEFTALÍ MÉNDEZ CANTILLO
LÍDER AMBIENTAL SECRETARIA DE DESARROLLO ECONÓMICO, MEDIO
AMBIENTE Y TURISMO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2025

RESUMEN

Este estudio tuvo como finalidad evaluar el estado estructural y funcional de la vegetación arbórea presente en el Humedal María Camila, ubicado en el casco urbano de Valledupar, con el fin de estimar su aporte ecológico en términos de biomasa aérea, almacenamiento de carbono y captura de dióxido de carbono (CO₂). Para ello, se aplicó una metodología que incluyó un inventario forestal con el registro de 185 individuos correspondientes a 18 especies arbóreas, la elaboración de fichas técnicas por especie y la utilización de modelos alométricos para la estimación ecológica de variables clave. Entre las especies identificadas se encuentran *Pithecellobium dulce*, *Hura crepitans*, *Terminalia catappa*, *Guazuma ulmifolia*, *Acacia dealbata*, *Pithecellobium saman*, *Tabebuia pallida*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Syzygium cumini*, *Anacardium excelsum*, *Acacia macrantha*, *Ficus insipida*, *Platymiscium pinnatum*, *Mangifera indica*, *Laburnum anagyroides*, *Muelleria sanctae-marthae*, *Cassia grandis* y *Senna atomaria*. A partir del área analizada, de 0.99 hectáreas, se estimó una biomasa aérea de 3.26 toneladas por hectárea, lo que representa un almacenamiento de 1.53 toneladas de carbono por hectárea y una fijación de 5.62 toneladas de CO₂ por hectárea. Estos resultados evidencian el importante papel que cumple este ecosistema urbano como sumidero de carbono y soporte de biodiversidad, a pesar de encontrarse en un contexto de fragmentación y presión urbana. Se concluye que el fortalecimiento de acciones de restauración, monitoreo continuo y protección legal contribuirá significativamente a la conservación de este relicto natural.

Palabras claves: biodiversidad, biomasa, carbono, restauración, SIG.

ABSTRACT

*This study aimed to assess the structural and functional status of the tree vegetation in the María Camila Wetland, located in the urban area of Valledupar, in order to estimate its ecological contribution in terms of aboveground biomass, carbon storage, and carbon dioxide (CO₂) capture. The methodology involved conducting a forest inventory that recorded 185 individuals belonging to 18 tree species, the development of technical species profiles, and the application of allometric models to estimate key ecological variables. Among the identified species were *Pithecellobium dulce*, *Hura crepitans*, *Terminalia catappa*, *Guazuma ulmifolia*, *Acacia dealbata*, *Pithecellobium saman*, *Tabebuia pallida*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Syzygium cumini*, *Anacardium excelsum*, *Acacia macrantha*, *Ficus insipida*, *Platymiscium pinnatum*, *Mangifera indica*, *Laburnum anagyroides*, *Muelleria sanctae-marthae*, *Cassia grandis*, and *Senna atomaria*. For the total area of 0.99 hectares, an aboveground biomass of 3.26 tons per hectare was estimated, representing a carbon storage of 1.53 tons per hectare and a CO₂ fixation of 5.62 tons per hectare. These results highlight the significant role of this urban ecosystem as a carbon sink and biodiversity reservoir, even under conditions of fragmentation and urban pressure. It is concluded that strengthening restoration actions, continuous monitoring, and legal protection will significantly contribute to the conservation of this natural relic.*

Keywords: *biodiversity, biomass, carbon, restoration, SIG.*



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	18
3. OBJETIVOS	20
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. MARCO REFERENCIAL.....	21
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
4.2. MARCO TEÓRICO.....	24
4.2.1. Inventario Forestal	24
4.2.2. Contenido de Carbono Forestal	25
4.2.3. Servicios Ecosistémicos y el Bienestar Humano	26
4.2.4. Humedales.....	27
4.2.5. Modelos Alométricos.....	27
4.3. MARCO CONCEPTUAL	28
4.4. MARCO CONTEXTUAL.....	29
4.5. MARCO LEGAL.....	32
5. MARCO METODOLÓGICO.....	35
5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN.....	35
5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	35
5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	35

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO	35
5.5. MUESTRA POBLACIONAL	36
5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	36
5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO	36
Fase No. 1 – Realizar un Inventario Forestal actualizado del Bosque Seco Tropical interno y subyacente en el Área de Influencia del Humedal Maria Camila a través del protocolo del IDEAM	36
Fase No. 2 – Determinar el Modelo Alométrico Diamétrico, Altimétrico, Volumétrico y de Densidades del Bosque Seco Tropical interno y subyacente en el Área de Influencia del Humedal Maria Camila a través del protocolo del IDEAM	38
Fase No. 3 – Establecer los criterios de viabilidad para la implementación del programa de Flora del Plan de Manejo Ambiental del Humedal Maria Camila en su vigencia 2023 establecido por Corpocesar	38
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	40
6.1. INVENTARIO FORESTAL ACTUALIZADO DEL BOSQUE SECO TROPICAL INTERNO Y SUBYACENTE EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL HUMEDAL MARIA CAMILA A TRAVÉS DEL PROTOCOLO DEL IDEAM.....	40
6.1.1. Toma y Captación de información y datos de campo.....	40
6.1.2. Indicadores de Biodiversidad.....	45
6.2. MODELO ALOMÉTRICO DIAMÉTRICO, ALTIMÉTRICO, VOLUMÉTRICO Y DE DENSIDADES DEL BOSQUE SECO TROPICAL INTERNO Y SUBYACENTE EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL HUMEDAL MARIA CAMILA A TRAVÉS DEL PROTOCOLO DEL IDEAM.....	48
6.2.1. Cálculo de Biomasa y Carbono.....	48
6.2.2. Análisis de Estadísticas.....	56

6.2.2.1. Diámetro a Pecho – DAP.....	57
6.2.2.2. Altura Total de los Árboles – H.....	59
6.2.2.3. Inclinação del Fuste – I.....	61
6.2.2.4. Densidad Forestal – ρ	63
6.2.2.5. Modelos Alométricos.....	66
6.3. CRITERIOS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE FLORA DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL HUMEDAL MARIA CAMILA EN SU VIGENCIA 2023 ESTABLECIDO POR CORPOCESAR	70
6.3.1. Evaluación de Viabilidad Ecológica.....	70
6.3.2. Libro de Especies.....	77
7. CONCLUSIONES	130
8. RECOMENDACIONES.....	133
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
ANEXO.....	144
ANEXO 1. INVENTARIO FORESTAL REALIZADO.....	144
ANEXO 2. FOTOGRAFÍAS DEL INVENTARIO.....	152
ANEXO 3. BIOMASA, CARBONO Y DIÓXIDO DE CARBONO FIJADO.....	158
ANEXO 4. CARTOGRAFÍAS PRODUCIDAS	166

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura de la hoja de toma de datos de campo del inventario forestal.....	25
Figura 2. Esquema que muestra las áreas colmatadas en los humedales transformados.....	27
Figura 3. Representación de la ubicación geográfica del área urbana de Valledupar y Localización del Humedal Maria Camila.....	30
Figura 4. Ejecución del inventario forestal del Humedal Maria Camila	40
Figura 5. Individuos forestales inventariados en el humedal Maria Camila.....	41
Figura 6. Biomasa Forestal de las especies del Humedal Maria Camila	51
Figura 7. Carbono Forestal de las especies del Humedal Maria Camila	52
Figura 8. Dióxido de Carbono Forestal fijado por las especies del Humedal Maria Camila	52
Figura 9. Clasificación de los diámetros de los individuos forestales del Humedal Maria Camila	58
Figura 10. Clasificación de la altura total de los individuos forestales del Humedal Maria Camila	60
Figura 11. Clasificación de la desviación del fuste de los individuos forestales del Humedal Maria Camila	62
Figura 12. Aerofotografía de densidad forestal y modelo digital de terreno – MDT del Humedal Maria Camila	65
Figura 13. Zonas cubiertas y no cubiertas del Humedal Maria Camila.....	71
Figura 14. Relación de la densidad de cobertura versus terreno y laguna del Humedal	72
Figura 15. Distribución geográfica de los individuos forestales afectados a nivel fitosanitario ..	74
Figura 16. Zonificación de los niveles de riesgo fitosanitario en el Humedal Maria Camila.....	75
Figura 17. Clasificación de los niveles de riesgo ecológico del Humedal Maria Camila	76

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variables de Mensuración Forestal.....	24
Tabla 2. Aspectos legales y normativos generales y específicos aplicables a la investigación....	32
Tabla 3. Estadísticas descriptivas elaboradas con Excel	43
Tabla 4. Cálculo de los indicadores de Shannon (H') y Simpson (D).....	46
Tabla 5. Densidad de las especies forestales del Humedal Maria Camila.....	48
Tabla 6. Resultados de la Biomasa Forestal, Carbono forestal y Dióxido de Carbono fijado.....	50
Tabla 7. Análisis de Varianza – ANOVA y coeficiente de la regresión lineal múltiple de biomasa	54
Tabla 8. Análisis de Varianza – ANOVA y coeficiente de la regresión lineal múltiple de carbono	55
Tabla 9. Análisis de Varianza – ANOVA y coeficiente de la regresión lineal múltiple de dióxido de carbono.....	56
Tabla 10. Interpretación de los coeficientes del modelo de biomasa forestal	66
Tabla 11. Interpretación de los coeficientes del modelo de carbono forestal.....	67
Tabla 12. Interpretación de los coeficientes del modelo del dióxido de carbono forestal fijado .	69
Tabla 13. Condiciones fitosanitarias de las especies del Humedal Maria Camila.....	73
Tabla 14. Ficha técnica de la especie Chiminango (<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.).....	78
Tabla 15. Ficha técnica de la especie Ceiba bruja (<i>Hura crepitans</i> L.).....	81
Tabla 16. Ficha técnica de la especie Almendro (<i>Terminalia catappa</i> L.).....	84
Tabla 17. Ficha técnica de la especie Guasimo (<i>Guazuma ulmifolia</i>).....	87
Tabla 18. Ficha técnica de la especie Acacia (<i>Acacia dealbata</i>).....	90
Tabla 19. Ficha técnica de la especie Algarrobito (<i>Pithecellobium saman</i>).....	93
Tabla 20. Ficha técnica de la especie Roble (<i>Tabebuia pallida</i>).....	96
Tabla 21. Ficha técnica de la especie Orejero (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	99

Tabla 22. Ficha técnica de la especie Uvita Brasileña (<i>Syzygium cumini</i>).....	102
Tabla 23. Ficha técnica de la especie Caracoli (<i>Anacardium excelsum</i>).....	105
Tabla 24. Ficha técnica de la especie Aromo (<i>Acacia macrantha</i>).....	108
Tabla 25. Ficha técnica de la especie Higueron (<i>Ficus insípida</i>).....	111
Tabla 26. Ficha técnica de la especie Corazon Fino (<i>Platymiscium pinnatum</i>).....	114
Tabla 27. Ficha técnica de la especie Chorro de Oro (<i>Laburnum anagyroides</i>).....	117
Tabla 28. Ficha técnica de la especie Macurutu (<i>Muellera sanctae-marthae</i> o <i>Lonchocarpus sanctae-marthae</i>).....	120
Tabla 29. Ficha técnica de la especie Cañandonga (<i>Cassia grandis</i> L.f.).....	123
Tabla 30. Ficha técnica de la especie Caranganito (<i>Senna atomaria</i>).....	125



7. CONCLUSIONES

El desarrollo de este estudio en el Humedal María Camila permitió cumplir, de manera progresiva y clara, los objetivos planteados desde un enfoque metodológico riguroso. En la FASE 1, se identificaron 18 especies arbóreas a través de recorridos estructurados, georreferenciación y toma de datos morfométricos, lo que permitió construir una base sólida del estado de la vegetación presente. El muestreo cubrió un total de 0.99 hectáreas del ecosistema, y se logró una cobertura de datos del 100 % del borde y núcleo de vegetación, evidenciando un total de 185 individuos forestales registrados en campo.

En la FASE 2, se profundizó en el análisis de variables estructurales de los árboles, tales como diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, inclinación del fuste y ancho de copa, datos con los que se calcularon indicadores como biomasa aérea seca, almacenamiento de carbono y captura de dióxido de carbono (CO₂). El promedio de DAP fue de 23.4 cm, la altura media alcanzó los 8.7 m, y la biomasa promedio por individuo fue de 221.3 kg, lo que representa una fijación aproximada de 403.9 kg de CO₂ por árbol. Estos resultados refuerzan la importancia del humedal como sumidero de carbono, incluso como ecosistema fragmentado.

La FASE 3 se centró en la evaluación de la viabilidad ecológica, utilizando imágenes multispectrales, ortofotografías con resolución de 50 cm y el procesamiento de datos en ArcMap 10.8.2, lo cual permitió analizar la cobertura vegetal y los riesgos fitosanitarios presentes. Se determinó que la cobertura vegetal se redujo de 7512.14 m² en 2023 a 7398.91 m² en 2025, lo que indica una pérdida del 1.55 %, cifra que, si bien puede parecer baja, resulta significativa dada la escala del ecosistema. Además, se detectó que 14 individuos presentaban afectaciones fitosanitarias graves, pertenecientes a especies como Ceiba bruja, Guásimo, Chiminango, Acacia y Macurutu, entre otras.

Uno de los hallazgos más relevantes fue la zonificación del riesgo fitosanitario. A través de interpolación espacial y reclasificación, se identificó que el 43 % del humedal presenta riesgo alto, el 10 % riesgo extremo, y un 28 % riesgo medio, lo cual obliga a plantear acciones inmediatas de control, monitoreo y restauración (Ballesteros-Correa et al., 2019). Este tipo de estudios no solo permiten detectar problemas ocultos, sino que generan herramientas cartográficas útiles para la toma de decisiones ambientales en contextos urbanos.

Realizar un estudio de este tipo ofrece múltiples ventajas. En primer lugar, permite integrar conocimiento ecológico con análisis espacial, proporcionando información detallada y actualizada sobre la salud del ecosistema. En segundo lugar, ofrece insumos para fortalecer los planes de manejo ambiental, ya que se puede priorizar el control de especies en riesgo y guiar procesos de restauración ecológica con base en datos técnicos reales (Torres-Rodríguez et al., 2019). Además, se fomenta el uso de tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en escenarios de educación y gestión ambiental urbana.

Sin embargo, no se puede ignorar que el estudio también reveló algunas inconsistencias y aspectos por mejorar. Por ejemplo, la diferencia entre el área oficial del humedal (0.99 ha) y el área estimada con imágenes georreferenciadas (0.92 ha) sugiere la necesidad de revisar y actualizar los límites oficiales del ecosistema. También es necesario profundizar en los impactos del clima estacional sobre la cobertura vegetal, ya que las mediciones podrían estar influenciadas por la época de muestreo, afectando así la interpretación de las tendencias.

Además de los beneficios ecológicos ya mencionados, la información generada durante este estudio permite fortalecer las estrategias de restauración y manejo ambiental desde una visión adaptativa, en la que las decisiones futuras se ajusten a los cambios del ecosistema. La evaluación de especies con comportamientos pioneros, como *Senna atomaria*, *Guazuma ulmifolia* y *Acacia macrantha*, sugiere que estas plantas podrían ser clave para la recuperación de suelos empobrecidos y zonas con alto nivel de perturbación antrópica. Esto, a su vez, brinda una base para construir planes piloto de revegetalización participativa, integrando saberes locales y académicos.

Otro aspecto importante es la comprensión del papel funcional de las especies introducidas en ecosistemas urbanos. Si bien especies como el Chorro de Oro (*Laburnum anagyroides*) y la Uvita Brasileña (*Syzygium cumini*) no son nativas, sus características ornamentales y su capacidad para ofrecer sombra, alimento y soporte ecológico en áreas degradadas las convierte en actores funcionales en entornos urbanos, siempre que se controle su proliferación. Esta perspectiva permite construir un discurso más realista y contextual sobre la conservación en paisajes híbridos, donde lo natural y lo artificial conviven.

En términos metodológicos, este proyecto permitió integrar herramientas tecnológicas avanzadas, como la teledetección, la georreferenciación precisa y el análisis espacial multiescalar. Estas técnicas no solo optimizan el monitoreo ambiental, sino que hacen posible proyectar escenarios de cambio futuro en el humedal. Por ejemplo, mediante modelos de interpolación y reclasificación, se puede simular cómo evolucionaría el riesgo fitosanitario en los próximos años si no se interviene. Así, se propone no solo un diagnóstico estático, sino una herramienta dinámica de gestión territorial ambiental.

Finalmente, queda claro que el Humedal María Camila no es únicamente un relicto verde, sino un laboratorio vivo, una reserva de biodiversidad funcional, y un escenario estratégico para la educación ambiental en Valledupar. Su valor no reside únicamente en la cantidad de árboles, sino en la composición, funcionalidad y resiliencia de las especies que lo habitan. Promover su cuidado implica reconocer que la sostenibilidad urbana no se logra solo con grandes reservas naturales, sino también con pequeñas áreas verdes gestionadas con conocimiento técnico, planificación a largo plazo y apropiación comunitaria.

8. RECOMENDACIONES

Una recomendación surge desde el enfoque teórico del estudio. Resulta fundamental ampliar la mirada sobre los ecosistemas urbanos, dejando de verlos solo como fragmentos verdes en medio de la ciudad. Propuestas como la ecología del paisaje urbano o la ecología funcional invitan a entender estos espacios como partes activas de una red ecológica y social más amplia. Aplicar estas miradas permitiría que lugares como el Humedal María Camila sean reconocidos no como simples remanentes naturales, sino como nodos ecológicos claves para el equilibrio urbano. Estas perspectivas también abren el camino para integrar las dinámicas humanas y su influencia en la sostenibilidad de estos ecosistemas.

Desde el punto de vista metodológico, si bien las directrices del IDEAM (2010) y del IPCC (2021) han sido valiosas, es importante considerar otras herramientas adaptadas a realidades tropicales. Por ejemplo, metodologías como el Urban Tree Risk Index (UTRI), utilizadas en países del Caribe como Costa Rica, permiten estimar riesgos específicos asociados a las condiciones urbanas. Así mismo, esquemas participativos como el modelo MIA-ME, que integra el saber técnico con el conocimiento de comunidades locales, permitirían tomar decisiones más ajustadas a la realidad del territorio y fomentar la apropiación social del humedal como un bien común.

En el componente práctico, se identifican varias oportunidades de mejora relacionadas con la tecnología. Hoy día, herramientas como el LiDAR, sensores de humedad, drones con cámaras multiespectrales o estaciones meteorológicas automáticas pueden aportar datos más detallados y actualizados sobre la dinámica de los árboles, el cambio en la cobertura vegetal y las condiciones microclimáticas. También se podrían integrar plataformas móviles como QField o aplicaciones de georreferenciación participativa, facilitando un levantamiento de información más ágil, preciso y comunitario.

A nivel institucional, la Universidad Popular del Cesar tiene una gran oportunidad para fortalecer una línea de investigación sobre ecosistemas estratégicos urbanos. Sería clave que este tipo de estudios no queden como esfuerzos aislados, sino que se articulen en una agenda de largo plazo, con participación de distintas facultades y programas académicos. Esto permitiría abordar estos espacios desde una perspectiva integral: ecológica, social, educativa y territorial. Además, fortalecer alianzas con la CORPOCESAR, el Instituto Humboldt y otros centros de investigación ambiental enriquecería los procesos formativos y de extensión universitaria.

Otra recomendación importante es replicar este tipo de estudios en otros cuerpos de agua y coberturas vegetales urbanas de Valledupar. Espacios como la Ciénaga María Angola, el Humedal El Eneal o las rondas del Río Guatapurí presentan características similares al Humedal María Camila y, por tanto, merecen ser estudiados con la misma rigurosidad. La aplicación de metodologías adaptadas a cada contexto permitiría generar comparaciones, establecer prioridades de conservación y tomar decisiones basadas en evidencia local.

Desde la perspectiva educativa y social, se sugiere elaborar materiales pedagógicos que ayuden a divulgar esta información a distintos públicos. Se podrían crear fichas ilustradas de especies arbóreas, videos cortos para redes sociales, rutas de caminata interpretativa o incluso una cartilla para docentes y estudiantes de primaria. Esta estrategia contribuiría a que niños, jóvenes y adultos reconozcan el valor de los árboles y del humedal como parte de su entorno cotidiano, promoviendo así una cultura de respeto y cuidado ambiental desde edades tempranas.

En cuanto a la circulación del conocimiento, es esencial que estos resultados no se queden en documentos académicos cerrados. Se recomienda compartirlos a través de revistas científicas, participar en eventos como el Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) o encuentros sobre restauración ecológica urbana. Esta visibilidad no solo posiciona a la Universidad como referente en investigación ambiental, sino que también permite retroalimentar el estudio con otros enfoques, metodologías y experiencias aplicadas en ciudades de características similares.

Por último, este trabajo debe servir como insumo para influir en la gestión ambiental local. Las cifras obtenidas, como el 43 % del área del humedal en riesgo alto o la identificación de 18 especies arbóreas, permiten actualizar planes de manejo, diseñar intervenciones prioritarias y fortalecer la planificación territorial de Valledupar. Así, la investigación no solo aporta conocimiento, sino que se convierte en una herramienta concreta para proteger el capital natural que aún sobrevive en nuestras ciudades.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta J. & Chivatá J. (2016). *Apropiación y sensibilización ambiental con la comunidad aledaña al humedal la conejera, a partir del reconocimiento de los organismos que conforman el fitoplancton y zooplancton*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. URL:
https://www.researchgate.net/publication/317038971_APROPIACION_Y_SENSIBILIZACION_AMBIENTAL_CON_LA_COMUNIDAD_ALEDANA_AL_HUMEDAL_LA_CONEJERA_A_PARTIR_DEL_RECONOCIMIENTO_DE_LOS_ORGANISMOS_QUE_CONFORMAN_EL_FITOPLANCTON_Y_ZOOPLANCTON/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoieX2RpcmVjdCJ9fQ
- Ballesteros-Correa, J., Morelo-García, L., & Pérez-Torres, J. (2019). Composición y estructura vegetal de fragmentos de bosque seco tropical en paisajes de ganadería extensiva bajo manejo silvopastoril y convencional en Córdoba, Colombia. *Caldasia*, 41(1), 224–234. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71320>
- Barrera J. (s.f.). *Humedales Ramsar de Colombia*. StoryMaps hecho en ArcGIS – ESRI. Universidad de la Salle. Tomado de:
<https://storymaps.arcgis.com/stories/48e2e753caa042a5b3a914bbbde11c86>
- Bootle, K.R. (1983). *Wood in Australia: Types, Properties and Uses*. McGraw-Hill.
- Brundtland, G. H. (1987). *Nuestro Futuro Común*. Naciones Unidas. URL:
<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- CBD (2020). *Global Biodiversity Outlook 5*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. <https://www.cbd.int/gbo/gbo5/publication/gbo-5-en.pdf>
- Chudnoff, M. (1984). *Tropical Timbers of the World*. USDA Forest Service. Recuperado de
<https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/usda/ah607.pdf>

CORPOCESAR (2023). *Plan de Manejo Ambiental del Humedal Maria Camila*. Unión Temporal ASOPROASA y Corporación Autónoma Regional del Cesar. Valledupar, Cesar, Colombia. URL: https://unaledu-my.sharepoint.com/:w:/r/personal/lrabelo_unal_edu_co/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B27132814-6C85-43F0-BBE5-4A3E482BFE83%7D&file=2.%20PMA%20Ma.%20Camila.docx&action=default&mobileRedirect=true

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR y la Subdirección de Administración de los Recursos Naturales y Áreas Protegidas. (2013). *Guía para la cuantificación de la biomasa y el carbono forestal, generación de modelos y uso de herramientas para su estimación*. Bogotá D.C.: CAR. URL: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade19e5bcb8e.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (2021). *CONPES 4021: Política Nacional para el Control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques*. Bogotá, Colombia. URL: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4021.pdf>

Díaz y Escobar (2023). *Valoración Económica De Los Servicios Ambientales Que Proveen Los Humedales Del Área Urbana Del Municipio De Valledupar, Cesar*. Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Cesar, Colombia. [En repositorio físico – Hemeroteca UNICESAR].

FAO (2020). *El estado de los bosques en el mundo: Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Consultado el 16 de septiembre de 2024. <http://www.fao.org/state-of-forests/es/>

FAO. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Informe principal*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/forest-resources-assessment>

García-Q., H., Carbonó-DelaHoz, E., & Barranco-Pérez, W. (2021). Diversidad beta del bosque seco tropical en el norte del Caribe colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(174), 95–108.

<https://doi.org/10.18257/raccefyn.1267>

Global Footprint Network (2021). *National Footprint Accounts, 2021 Edition*. Consultado el 16 de septiembre de 2024. <https://data.footprintnetwork.org>

Gomes, A., Silva, P., & Rocha, F. (2021). Modelado y Espacialización de Biomasa y Carbono Usando Métricas LiDAR en Bosques Secos Tropicales de Brasil. *Forests*, 12(4), 473.

DOI: <https://doi.org/10.3390/f12040473>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, Capítulo 4: Tierras forestales.

Recuperado de [https://www.ipcc-](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf)

[nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf)

Harmon, M. E., Ferrell, W. K., & Franklin, J. F. (1990). Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. *Science*, 699-702.

Huxley, J. (1932). *Problems of Relative Growth*.

IDEAM (2019). *Informe del Estado de los Recursos Naturales de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Consultado el 16 de septiembre de 2024. <http://www.ideam.gov.co>

IDEAM. (2011). *Protocolo para la estimación de biomasa y carbono en bosques naturales y plantaciones forestales en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

https://www.researchgate.net/publication/273307419_Protocolo_para_la_estimacion_nacional_y_subnacional_de_biomasa_-_carbono_en_Colombia

- IDEAM. (2018). *Estado y tendencias de la biodiversidad continental en Colombia 2017*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
<https://ideam.gov.co/web/siac/infonabio>
- IDEAM. (2018). Manual de Campo Inventario Forestal Nacional Colombia. Bogotá, Colombia.
Recuperado de
https://visionamazonia.minambiente.gov.co/content/uploads/2023/04/Manual_IFN_Colombia_v4.pdf
- Instituto Alexander Von Humboldt (2018). *Instituto Humboldt presenta el primer mapa interactivo de humedales colombianos*. Página oficial del autor, postado el 02 de febrero de 2018. Recuperado de: <https://www.humboldt.org.co/noticias/instituto-humboldt-presenta-el-primer-mapa-interactivo-de-humedales-colombianos>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2018). *Información bioecológica de flora exótica con potencial invasor en Colombia*. Lista de chequeo.
<https://doi.org/10.15472/gpd9lq>
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Vol. IV)*. ONU. Obtenido de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2023). Desarrollo de Modelos de Biomasa para la Estimación de Reservas de Carbono en el Bosque Tropical del Este de India: Un Enfoque Alométrico. *Tropical Ecology*. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42965-023-00227-x>
- Kurz, W. A., Dymond, C. C., Stinson, G., Rampley, G. J., Neilson, E. T., Carroll, A. L., & Safranyik, L. (2008). Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, 987-990.
- Kurz, W., Apps, M., Webb, T., & McNamee, P. (1992). *The Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector: Phase I*. Information Report NOR-X-326.

- Liao, L., & Fu, W. (2023). Revisión de Métodos Basados en Teledetección para la Estimación de Biomasa Aérea en Bosques. *Forests*, 14(6), 1086. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14061086>
- López, J. (2003). Propiedades físicas y mecánicas de 42 especies maderables del Perú. *Revista Forestal del Perú*, 26(1), 37-56. <https://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/944/3/SERFOR%202022%20-%20Manual%20Identificacion%20Madera.pdf>
- López, J., Pérez, M., & Sánchez, R. (2023). Mejora de los Mapas de Biomasa Aérea en Bosques Secos Tropicales Integrando LiDAR, ALOS PALSAR, Clima y Datos de Campo. *Carbon Balance and Management*. DOI: <https://cbmjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13021-023-00229-7>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982221010393>
- Martin, B., Alsina, V., Asmus, J., Mazzei, M., Frassón, P., Cavalieri, O., Sender, M. (2020). Humedales: importancia y herramientas para su protección. *Agromensajes*, 05-11. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/348807246_Humedales_importancia_y_herramientas_para_su_proteccion
- MEA. (2005). Obtenido de Millenium Ecosytem Assesment: <http://www.ecosystemvaluation.org/glossary.htm>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)*. Bogotá, Colombia. URL: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-de-la-biodiversidad-y-sus-servicios-ecosistemicos/>

- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza: M&T – Manuales y Tesis SEA.
https://www.researchgate.net/publication/304346666_Metodos_para_medir_la_biodiversidad
- Moreno, V., García, J., & Villalba, J. (1989). *Descripción General de los Humedales de Bogotá*. D.C. Bogotá D.C.: Sociedad Geográfica de Colombia Academia de Ciencias Geográficas.
Recuperado el 03 de Julio de 2022, de
<https://www.sogeocol.edu.co/documentos/humed.pdf>
- Ocampo-Zuleta, K. (2019). Modelo descriptivo de restauración ecológica en zonas afectadas por incendios forestales e invasión de retamo espinoso en los Cerros Orientales de Bogotá. *Acta Biológica Colombiana*, 24(1), 1–12. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.71953>
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentos de Ecología*. Editorial Cengage.
- Organización Meteorológica Mundial (2021). *Informe del Estado del Clima Mundial 2020*. Consultado el 16 de septiembre de 2024. <https://public.wmo.int/es>
- Orwa et al., 2009. *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0*. World Agroforestry Centre. Recuperado de
http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Pithecellobium_dulce.PDF
- Pizano, C., González-M., R., López Camacho, R., & Jurado-B., R. D. (2016). *El bosque seco tropical en Colombia: Distribución y estado de conservación*. En M. F. Gómez, L. A. Moreno, G. I. Andrade & C. Rueda (Eds.), *Biodiversidad 2015: Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia* (pp. 202). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://doi.org/10.21068/B001.2015.202>
- Ramesh, B., Chaturvedi, R., & Krishna, S. (2018). Estimación de la Densidad de Biomasa y Carbono en el Bosque Seco Tropical de los Ghats Occidentales en el Sur de la India.

- iForest - Biogeosciences and Forestry*, 11, 534-541. DOI:
<https://iforest.sisef.org/contents/?id=ifor2802-011>
- Ranero, R., & Covalada, S. (2018). Financiamiento para la mitigación de emisiones en el sector forestal: experiencias internacionales y en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4-27.
- Rangel-Ch., J. O. (2015). *Colombia diversa: Diversidad biológica*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81933>
- Rincón-Ruiz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A., Tapia, C., David, A., Arias-Arévalo, P., & Zuluaga, P. (2014). *Valoración Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos: Aspectos Conceptuales y Metodológicos*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Ruiz Benito, P. (2013). Patrones y factores subyacentes de la estructura y dinámica de bosques mediterráneos: implicaciones teóricas y aplicadas. *Ecosistemas*, 22(3), 128–130.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.18>
- Singh, V., & Kumar, P. (2019). Estimación de Biomasa y Carbono Usando Herramientas de Teledetección en Bosques Secos Tropicales. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 123-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100252>
- Torres-Rodríguez, S., Díaz-Triana, J. E., Villota, A., Gómez, W., & Avella-M., A. (2019). Diagnóstico ecológico, formulación e implementación de estrategias para la restauración de un bosque seco tropical interandino (Huila, Colombia). *Caldasia*, 41(1), 42–59.
<https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71275>
- Torres-Rodríguez, S., Díaz-Triana, J. E., Villota, A., Gómez, W., & Avella-M., A. (2015). *Estrategias de restauración ecológica en el Bosque Seco Tropical interandino de*

Colombia. IV Congreso Iberoamericano y del Caribe de Restauración Ecológica.
<https://www.researchgate.net/publication/298509558>

UNESCO. (1971). *Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas*. Ramsar, Irán: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, La Ciencia y La Cultura.

Wagenführ, R. (2006). *Holzatlas*. Fachbuchverlag Leipzig.

Yepes A.P., Navarrete D.A., Duque A.J., Phillips J.F., Cabrera K.R., Álvarez, E., García, M.C., Ordoñez, M.F. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales- IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 162 p. URL:
<https://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/carbono-forestal>



ANEXO

ANEXO 1. INVENTARIO FORESTAL REALIZADO

No	Nombre Común	Nombre Científico	Latitud	Longitud	CAP (cm)	CAP sup (cm)	D (cm)	D sup (cm)	Altura Total	Altura Comercial	Ancho de Copa	Inclinación (°)	Sentido	ρ (g/cm ³)
1	Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>	10°26'53.8"	73°16'09.4"	92.22	92.14	58.71	58.66	10	8	7.67	2.7	SW	0.6
2	Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>	10°26'53.8"	73°16'99.4"	100.91	100.83	64.24	64.19	10	9	5.67	5.9	S	0.6
3	Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>	10°44'83.30"	73°16'95.4"	76.14	76.07	48.47	48.43	9	7	4	1.9	NW	0.6
4	Ceiba Bruja	<i>Hura crepitans</i>	10°44'83.54"	73°26'93.65"	57.76	57.7	36.77	36.73	13	10	8.67	2.8	SE	0.3
5	Almendro	<i>Terminalia catappa</i>	10°44'83.15"	73°26'92.96"	86.09	86.02	54.81	54.76	9	9	6	7.7	S	0.56
6	Guasimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	10°44'83.67"	73°26'92.99"	50.24	50.16	31.98	31.93	5	4	2.33	6.1	W	0.55
7	Guasimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	10°44'83.63"	73°26'92.39"	38	37.94	24.19	24.15	10	9	6.67	0.2	SW	0.55
8	Ceiba Bruja	<i>Hura crepitans</i>	10°44'83.38"	73°26'94.44"	368.12	368.05	234.35	234.31	13	8	8.67	1.2	E	0.3
9	Ceiba Bruja	<i>Hura crepitans</i>	10°44'83.66"	73°26'92.82"	244.13	244.06	155.42	155.37	12	8	8	9.9	E	0.3
10	Acacia	<i>Acacia dealbata</i>	10°44'83.44"	73°26'92.58"	52.64	52.58	33.51	33.47	9	5	7	22.7	NE	0.64
11	Acacia	<i>Acacia dealbata</i>	10°44'83.69"	73°26'94.04"	76.67	76.59	48.81	48.76	7	5	3.67	9.2	N	0.64
12	Acacia	<i>Acacia dealbata</i>	10°44'84.01"	73°26'94.69"	64.79	64.71	41.25	41.2	9	7	4	0.5	SE	0.64
13	Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>	10°44'84.05"	73°26'94.70"	89.65	89.57	57.07	57.02	9	7	6	22.6	S	0.6
14	Ceiba Bruja	<i>Hura crepitans</i>	10°44'83.56"	73°26'93.78"	608.67	608.6	387.49	387.45	14	10	10.33	8.6	E	0.3
15	Algarrobbillo	<i>Pithecellobium saman</i>	10°44'83.50"	73°26'94.66"	91.96	91.88	58.54	58.49	9	7	5	8.9	NW	0.58
16	Algarrobbillo	<i>Pithecellobium saman</i>	10°44'83.66"	73°26'93.86"	75.22	75.16	47.89	47.85	7	5	4.67	6	SW	0.58
17	Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>	10°44'83.59"	73°26'94.01"	71.16	71.09	45.3	45.26	11	7	7.33	7.3	E	0.6
18	Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>	10°44'83.94"	73°26'93.35"	89.23	89.15	56.81	56.75	10	9	6.67	4.3	SE	0.6
19	Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>	10°44'83.84"	73°26'93.61"	67.5	67.42	42.97	42.92	9	6	6	5.1	S	0.6
20	Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>	10°44'84.07"	73°26'94.08"	34.94	34.87	22.24	22.2	5	4	1.33	0.7	SE	0.6
21	Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>	10°44'84.04"	73°26'95.09"	115.65	115.58	73.63	73.58	12	10	8	26.7	S	0.6
22	Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>	10°44'84.36"	73°26'95.37"	72.65	72.58	46.25	46.21	11	8	9.33	7.1	SE	0.6