



Juan Pablo Díaz-Mariño

E-mail: jpdiaz31324@umanizales.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4257-3582>

Universidad de Manizales. Tunja, Colombia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Díaz-Mariño, J. P. (2026). Cobertura vegetal y captura de CO₂ bajo aprovechamiento forestal en San Vicente de Chucurí. *Revista Portal de la Ciencia*, 7(2), 248-263, DOI: <https://doi.org/10.51247/pdlc.v7i2.760>.

==== o =====

Cobertura vegetal y captura de CO₂ bajo aprovechamiento forestal en San Vicente de Chucurí

RESUMEN

Este estudio evaluó el impacto del aprovechamiento forestal sobre la cobertura vegetal y la captura de CO₂ en la Finca San Pedro, San Vicente de Chucurí (Santander), en el periodo 2014-2025, con el objetivo de establecer relaciones causales del uso forestal en el proceso de funcionalidad ecosistémica del territorio. Se utilizó el método de análisis multitemporal de imágenes satelitales Sentinel-2 bajo la metodología Corine Land Cover (IDEAM, 2010); ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y captura de CO₂, y triangulación metodológica con herramientas SIG, Google Earth Pro y Global Forest Watch. La vegetación secundaria alta pasó de 11,84% a 40,12% del área total; el bosque de galería disminuyó de 21,57% a 14,25%; la biomasa aérea total fue de 83.414,87 ton/ha, equivalen a 41.606,60 ton/ha de CO₂ capturado. Los resultados son aplicables no de forma general, sino en el contexto de la gestión forestal sostenible, idea de la creación de pagos por servicios ambientales, política de conservación y planificación del territorio en ecosistemas tropicales húmedos intervenidos. El estudio introduce un enfoque integrador que une análisis satelital multitemporal con estimaciones alométricas especie-específicas con el fin de evaluar simultáneamente las modificaciones de la cobertura y eficiencia de captura de carbono, aportando evidencias sobre degradación ecológica silenciosa en paisajes forestales manejados.

Palabras clave: aprovechamiento forestal, cobertura vegetal, captura de CO₂, análisis multitemporal, biomasa aérea, ecosistemas tropicales.

==== o =====

Vegetation cover and CO₂ capture under forest harvesting in san vicente de chucurí

ABSTRACT

This study evaluated the impact of forest harvesting on vegetation cover and CO₂ sequestration at Finca San Pedro, San Vicente de Chucurí (Santander), during the period 2014–2025, with the objective of establishing causal relationships between forest use and the ecosystem functionality of the territory. The multitemporal analysis method was used with

Sentinel-2 satellite imagery under the Corine Land Cover methodology (IDEAM, 2010); allometric equations were used to estimate aboveground biomass and CO₂ sequestration; and methodological triangulation was performed using GIS tools, Google Earth Pro and Global Forest Watch. Tall secondary vegetation increased from 11.84% to 40.12% of the total area; gallery forest decreased from 21.57% to 14.25%. The total aboveground biomass was 83,414.87 tons/ha, equivalent to 41,606.60 tons/ha of captured CO₂. These results are applicable not in general terms, but rather within the context of sustainable forest management, the concept of payments for ecosystem services, conservation policies, and land-use planning in managed tropical rainforest ecosystems. The study introduces an integrative approach that combines multitemporal satellite analysis with species-specific allometric estimations to simultaneously assess changes in forest cover and carbon sequestration efficiency, providing evidence of silent ecological degradation in managed forest landscapes.

Keywords: forest harvesting, vegetation cover, CO₂ capture, multitemporal analysis, aboveground biomass, tropical ecosystems.

==== o =====

Cobertura vegetal e sequestro de co2 sob gestão florestal em San Vicente de Chucurí

RESUMO

Este estudo avaliou o impacto da gestão florestal na cobertura vegetal e no sequestro de CO₂ na Finca San Pedro, San Vicente de Chucurí (Santander), durante o período de 2014 a 2025, com o objetivo de estabelecer relações causais entre o uso da floresta e a funcionalidade do ecossistema do território. O método de análise multitemporal foi utilizado com imagens de satélite Sentinel-2 sob a metodologia Corine Land Cover (IDEAM, 2010); foram utilizadas equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo e o sequestro de CO₂; e a triangulação metodológica foi realizada com recurso às ferramentas SIG, Google Earth Pro e Global Forest Watch. A vegetação secundária alta aumentou de 11,84% para 40,12% da área total; a mata ripícola diminuiu de 21,57% para 14,25%; A biomassa aérea total foi de 83.414,87 toneladas/ha, o equivalente a 41.606,60 toneladas/ha de CO₂ capturado. Estes resultados são aplicáveis não em termos gerais, mas antes no contexto da gestão florestal sustentável, do conceito de pagamento por serviços de ecossistemas, das políticas de conservação e do planeamento do uso do solo em ecossistemas de floresta tropical geridos. O estudo introduz uma abordagem integrativa que combina análises multitemporais por satélite com estimativas alométricas específicas para cada espécie, de forma a avaliar simultaneamente as alterações na cobertura florestal e na eficiência de sequestro de carbono, fornecendo evidências de degradação ecológica silenciosa em paisagens florestais geridas.

Palavras-chave: exploração florestal, coberto vegetal, sequestro de CO₂, análise multitemporal, biomassa aérea, ecossistemas tropicais.

==== o =====

INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales húmedos conforman uno de los ecosistemas más importantes del planeta, no sólo gracias a su extraordinaria biodiversidad, sino por su función estratégica como sumideros de carbono y reguladores del clima planetario. En Colombia, estos ecosistemas están sufriendo una mayor presión debido a la expansión agropecuaria, la extracción no ordenada de madera y la escasa implementación de políticas de ordenamiento territorial. El municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, hace evidente dicha presión: entre 2002 y 2023 se perdieron 632 hectáreas de bosque húmedo primario, es decir el 5,7% de la misma, y con esas pérdidas se liberaron 5,92 megatoneladas de CO₂ (Global Forest

Watch, 2023). Esa pérdida de bosque no sólo es un problema ambiental, sino también económico y social, en la medida que compromete la provisión de servicios ecosistémicos de los que dependen las comunidades rurales (regulación hídrica, fertilidad del suelo y provisión de recursos forestales que representan sustento).

El problema central que motiva esta investigación radica en que, si bien existe un creciente reconocimiento del valor de los bosques como sumideros de carbono, existen pocos estudios que, utilizando una resolución temporal fina y de manera integrada, evalúen cómo el aprovechamiento forestal modifica la estructura de la cubierta vegetal y la captura de CO₂ en parcelas concretas del trópico húmedo colombiano. Los trabajos anteriores abordan, en general, escalas zonales o nacionales (por ejemplo, Vargas et al., 2022; Gálvez, 2022; Castillo, 2022), pero raramente descienden al nivel de finca para entrelazar el análisis espacial multitemporal con estimaciones biofísicas especie-específicas. Esta brecha metodológica limita la posibilidad de generar evidencia científica capaz de aplicarse a la toma de decisiones en la escala local y a la elaboración de planes de manejo forestal sostenible.

La revisión de antecedentes revela que estudios previos han abordado el tema de manera parcial. Algunos como los de Capador et al. (2021) y Ortega-Treviño et al. (2021) aportan metodologías satelitales para el seguimiento de coberturas, otros como los de Ledesma et al. (2021) y Díaz Arango (2023) aportaban las estimaciones de biomasa y de carbono mediante modelos alométricos; Jiménez (2024); introduce la valoración económica de la pérdida de captura de carbono; Harrison et al. (2022) hace el seguimiento de las soluciones basadas en la naturaleza como estrategia climática. Sin embargo, ninguno de estos trabajos articula de manera sistemática el análisis de coberturas multitemporales, la estimación alométrica de CO₂ y la valoración ambiental en un solo caso de estudio con seguimiento de once años de manera consecutiva, la cual es la innovación que se aporta en este artículo.

La hipótesis de trabajo que orienta este estudio sostiene que el aprovechamiento forestal de la Finca San Pedro entre 2014 y 2025 ha supuesto una transformación gradual de la cobertura vegetal hacia formaciones secundarias menos eficientes en la captura de carbono, generando una degradación ecológica sutil en la que la cobertura vegetal total puede persistir o incluso aumentar, mientras la calidad funcional del ecosistema disminuye de manera sostenida, esta hipótesis desafía las lecturas superficiales sobre un crecimiento secundario de la vegetación como un sencillo indicador de una recuperación ecológica, e invita a considerar la dimensión cualitativa del paisaje forestal más allá de los datos cuantitativos de cobertura (Droppelmann et al., 2019).

Para contrastar esta hipótesis, el estudio se apoya en un diseño cuantitativo correlacional de estudio de caso, centrado en la Finca San Pedro (80,1 ha), ubicada en la ribera del río Oponcito, en el municipio de San Vicente de Chucurí. Para ello, la metodología está constituida por tres componentes: el análisis multitemporal de imágenes satelitales Sentinel-2 implementado bajo esquema de clasificación Corine Land Cover (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2010), la estimación de biomasa aérea y captura de CO₂ mediante ecuaciones alométricas validadas para ecosistemas tropicales, y la triangulación metodológica mediante herramientas de verificación como Google Earth Pro y Global Forest Watch. Los datos de campo provienen del inventario forestal de Díaz (2013), el cual reporta 1.073 individuos arbóreos perteneciente a seis especies distribuidos en 14 parcelas de muestreo y fueron reutilizados en la línea de base del análisis biofísico, siguiendo los principios de la reutilización de datos científicos propuestos por Minciencias (2022). El artículo se organiza en las siguientes secciones: resumen, abstract, introducción, metodología, resultados, discusión, conclusiones, limitaciones y estudios futuros, reconocimientos y referencias bibliográficas.

METODOLOGÍA

Diseño

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo correlacional con diseño de estudio de caso, pues el propósito del estudio fue el de asociar el aprovechamiento forestal con dos variables ecosistémicas fundamentales: la cobertura vegetal y la captura del CO₂. El análisis se realizó bajo un enfoque multitemporal corresponsal al periodo 2014-2025, y así obtener tendencias, patrones de cambio y umbrales críticos de la dinámica del paisaje forestal durante once años en secuencia. Este enfoque es el más indicado para intentar comprender fenómenos complejos en un contexto concreto de realidad, y de manera simultánea poder integrar variables biofísicas, espaciales y productivas (Creswell y Creswell, 2020).

Área de estudio y población

El estudio se realizó en la Finca San Pedro, un predio de 80,1 hectáreas ubicado en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia, justo en la orilla del río Oponcito. Esta finca está manejada bajo un plan de aprovechamiento forestal sostenible desde el año 2013 y presenta zonas con diferentes grados de intervención, insumiéndola en un caso ideal para hacer un análisis del gradiente de los impactos del uso forestal sobre la cobertura vegetal y el almacenamiento de carbono.

La población de estudio estuvo conformada por las coberturas vegetales en el predio, que fueron seleccionadas mediante un muestreo intencionado basado en tres diferentes criterios: representatividad ecológica de la cobertura, disponibilidad de datos satelitales históricos, y trayectoria documentada de intervención boscosa. Dicho muestreo no probabilístico facilitó acentuar el análisis en aquellas áreas que son las más relevantes para los objetivos del análisis, asumiendo que los resultados son aplicables a lo observado para la finca, sin pretender la generalización en los territorios.

Instrumentos y fuentes de datos

La investigación integró dos fuentes de datos principales. La primera consistió en imágenes satelitales multitemporales de la constelación Sentinel-2 (sensores MSI, 13 bandas espectrales, resoluciones de 10 a 60 m) procesadas e interpretadas mediante herramientas de teledetección y SIG a escala 1:10.000. Para la validación y corrección de interpretaciones se usa Google Earth Pro, ortofotografías de referencia del año 2024, como también la plataforma Global Forest Watch.

La segunda fuente correspondió al inventario forestal de Díaz (2013), que registró 1.073 individuos arbóreos de seis especies distribuidos en 14 parcelas de muestreo, con mediciones de diámetro a la altura del pecho (DAP), altura comercial, altura total e identificación taxonómica. La reutilización de las fuentes secundarias se fundamenta en los principios de aprovechamiento científico de información preexistente consignados en Minciencias (2022).

Procedimientos de análisis

El análisis se desarrolló en dos componentes metodológicos complementarios. El primero correspondió a la clasificación y comparación multitemporal de coberturas terrestres, según la metodología Corine Land Cover adaptada por el IDEAM (2010), la cual establece el sistema jerárquico estandarizado para la caracterización del uso y cobertura del suelo, para lo cual se procesaron imágenes del año 2014, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025 identificando en cada escena los tipos de cobertura, la extensión en hectáreas y la variación porcentual en relación con la extensión de toda el área que contuvo el predio. Para cada año se aplicaron combinaciones espectrales de las bandas Sentinel-2 específicas: falso color infrarrojo (bandas 8-4-3), composición para agricultura (bandas 11-8-2) y color natural

(bandas 4-3-2) que permite diferenciar vegetación sana, áreas degradadas, cuerpos de agua y zonas de uso agropecuario.

El segundo componente consistió en la estimación de biomasa aérea y la captura de CO₂ a partir de ecuaciones alométricas validadas para ecosistemas de tipo tropical húmedo, siguiendo los protocolos utilizados en IDEAM (2010) y siguiendo las directrices del IPCC. Se aplicaron tres subconjuntos de ecuaciones en función de la disponibilidad de datos por especie: el primero corresponde a DAP y densidad de madera (ρ), el segundo a DAP únicamente y el tercero a DAP, altura total y densidad de madera, el cual es el que con mayores niveles de precisión. Por otro lado, los valores de densidad de madera que no estaban disponibles en campo fueron obtenidos de las bases de datos del IPCC (2003, 2006). La biomasa calculada fue convertida a carbono almacenado aplicando el factor estequiométrico estándar de 3,67, con el cual se expresa el resultado en toneladas de CO₂ equivalente por hectárea.

Validación y rigor científico

Para garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados, se amplió una estrategia de triangulación metodológica que pone a prueba los datos provenientes del análisis a partir de serie temporal de imágenes a las estimaciones alométricas y con el conocimiento cualitativo derivado de entrevistas semiestructuradas a propietarios de fincas, trabajadores de la finca, técnicos ambientales y expertos en conservación forestal. Por otro lado, se realizó verificación cruzada entre los resultados del análisis SIG y las bases de datos de Global Forest Watch, y se aplicaron análisis de sensibilidad para conocer la robustez de las estimaciones de biomasa a la variabilidad en los parámetros de entrada. Dicha estrategia de validación aumenta la validez interna del estudio y disminuye los sesgos de trabajar con metodologías individuales.

RESULTADOS

El análisis integrado de coberturas vegetales y captura de CO₂ en la Finca San Pedro durante el periodo 2014–2025 manifestó una transformación estructural en el paisaje forestal que fue creciendo hacia transformaciones de coberturas boscosas más funcionales hacia formaciones secundarias o bien hacia tierras de uso agropecuario, con implicaciones directas sobre la capacidad ecosistémica de captura de carbono.

Cambios en la cobertura vegetal (2014–2025)

La clasificación multitemporal, realizada a partir de la metodología Corine Land Cover, determinó entre cinco y siete tipos de cobertura terrestre por año, con importantes diferencias en sus distribuciones espaciales a lo largo del periodo analizado. La Tabla 1 resume la evolución de las coberturas principales, expresada en hectáreas y porcentaje del área total (80,11 ha).

Tabla 1.

Análisis multitemporal de coberturas vegetales en la Finca San Pedro (2014–2025)

COBERTURAS	2014		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025	
	Area (Ha)	Area (%)	Area (Ha)	Area (%)	Area (Ha)	Area (%)	Area (Ha)	Area (%)	Area (Ha)	Area (%)	Area (Ha)	Area (%)	Area (Ha)	Area (%)	Area (Ha)	Area (%)	Area (Ha)	Area (%)
Bosque de galería y ripario	17,28	21,57	16,34	0,20	16,93	0,21	13,41	0,17	13,03	0,16	13,13	0,16	13,53	0,17	11,10	0,14	11,41	0,14
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	13,01	16,24	15,28	0,19	16,03	0,20	24,25	0,30	16,43	0,21	15,25	0,19	15,03	0,19	6,13	0,08	4,32	0,05
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,28	0,35	0,34	-	0,38	-	0,73	0,01	0,95	0,01	0,90	0,01	0,82	0,01	0,97	0,01	1,07	0,01
Pastos arbolados	2,93	3,65	2,85	0,04	3,93	0,05	3,22	0,04	3,21	0,04	2,87	0,04	-	-	-	-	-	-
Pastos enmalezados	-	-	0,48	0,01	0,57	0,01	4,03	0,05	-	-	-	-	-	-	0,83	0,01	0,93	0,01
Pastos limpios	32,62	40,72	24,32	0,30	25,91	0,32	20,70	0,26	27,27	0,34	23,42	0,29	26,58	0,33	30,78	0,38	30,23	0,38
Vegetación secundaria alta	9,49	11,84	20,50	0,26	16,36	0,20	13,77	0,17	19,21	0,24	24,54	0,31	24,14	0,30	30,29	0,38	32,14	0,40

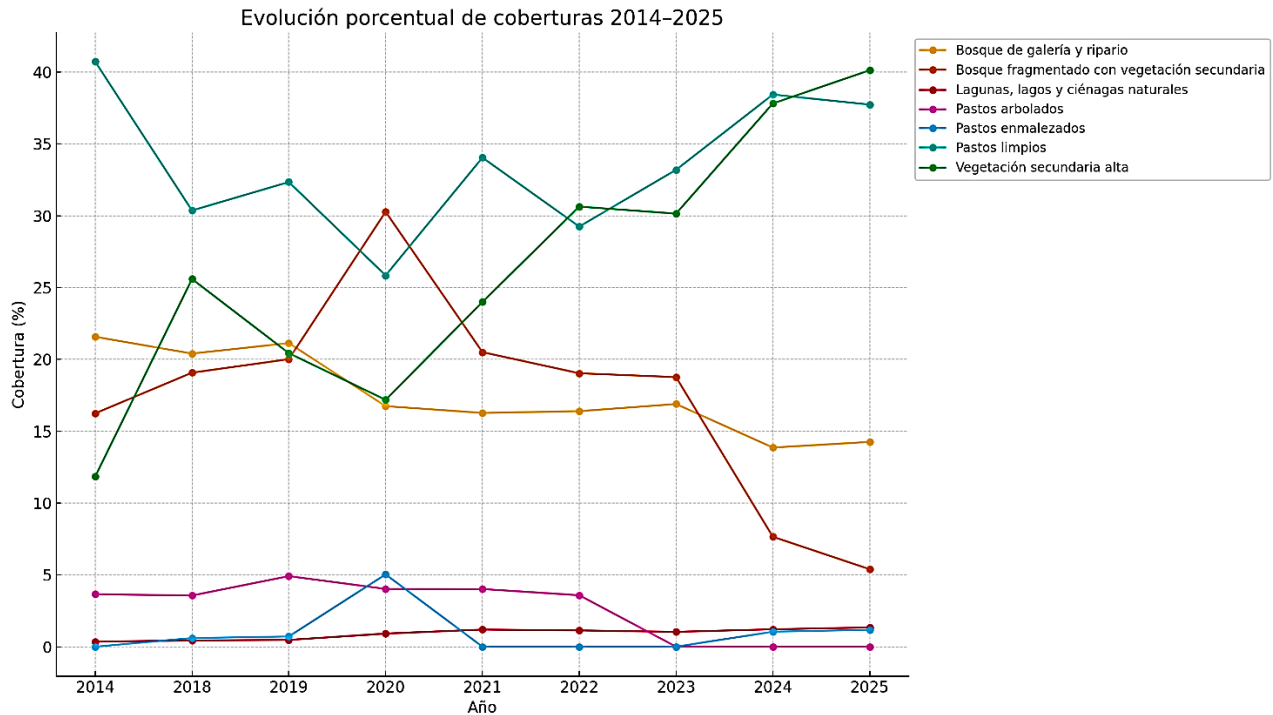
En 2014, año base del estudio, el paisaje presentaba una composición agroforestal mixta en la que los pastos limpios dominaban con el 40,72% del área (32,62 ha), seguidos por el bosque de galería y ripario (21,57%; 17,28 ha) y bosque fragmentado con vegetación secundaria (16,24%; 13,01 ha); la vegetación secundaria alta representaba una escasa superficie del 11,84% (9,49 ha); es un paisaje manifestado como un paisaje intervenido, pero con una estructura ecológica funcional aún, y ya consolidada.

A lo largo del periodo de estudio se identificaron dos tendencias simultáneas y opuestas. Por un lado, la vegetación secundaria alta mostró un crecimiento constante y sostenido, pasando de 9,49 ha en 2014 a 32,14 ha en 2025, lo que supuso una variación de los 28,28 puntos porcentuales, alcanzando el 40,12% del área total en el año final. De la misma forma, el bosque fragmentado con vegetación secundaria fue el que experimentó la mayor disminución proporcional del periodo, cayendo del 16,24% (13,01 ha) en 2014 al 5,39% (4,32 ha) en 2025. El bosque de galería y ripario pasó del 21,57% al 14,25%, una pérdida acumulada de 5,87 ha, especialmente acusada entre 2019 y 2024. Los pastos arbolados, incluidos en esta definición para obtener sistemas silvopastoriles intermedios, se extinguieron definitivamente desde 2023.

La Figura 1 ilustra la evolución porcentual de todas las coberturas entre 2014 y 2025, evidenciando la polarización del territorio hacia dos grandes núcleos: pastos limpios (37,73% en 2025) y vegetación secundaria alta (40,12% en 2025), que en conjunto representaron el 77,85% del área total al final del periodo, frente al 52,56% que sumaban en 2014.

Figura 1.

Evolución porcentual de coberturas vegetales en la Finca San Pedro (2014–2025)



El año 2020 constituyó punto de inflexión, por un lado, el bosque fragmentado daba el paso más alto en su proceso de conversión (30,27%; 24,25 ha), los pastos enmalezados daban el salto más alto (5,03%; 4,03 ha), coincidiendo con una fase de perturbación activa del paisaje; por otro, los valores de la vegetación secundaria, alta y limpia, de dicho año daban un nuevo paso en el escenario de recuperación ecológica relativa, en el que la vegetación secundaria alta alcanzó un 30,63% (24,54 ha) y los pastos limpios descendían hasta alcanzar el 29,24%. Esta oscilación refleja una dinámica de uso intermitente del suelo, alternando ciclos de intervención y abandono temporal.

Captura de CO₂ por especie forestal

En las 14 parcelas del inventario forestal de referencia mostraron que en el total se recogieron 1.073 individuos arbóreos de seis especies en las que el DAP se encuentra entre 13 y 66 cm. La especie que más individuos muestreados presentó fue *Cordia gerascanthus*, cuya representación fue del 96,27%, seguida de *Cedrela odorata* (1,39%), *Clathrotropis brachypetala* (0,84%), *Lecythis minor* (0,84%), *Jacaranda copaia* (0,46%) e *Hura crepitans* (0,28%). La Tabla 2 presenta los valores promedio de captura de CO₂ y biomasa aérea por individuo para cada especie, estimados mediante ecuaciones alométricas con factor de conversión de 3,67.

Tabla 2.

Captura de CO₂ y biomasa aérea por especie (promedio por individuo)

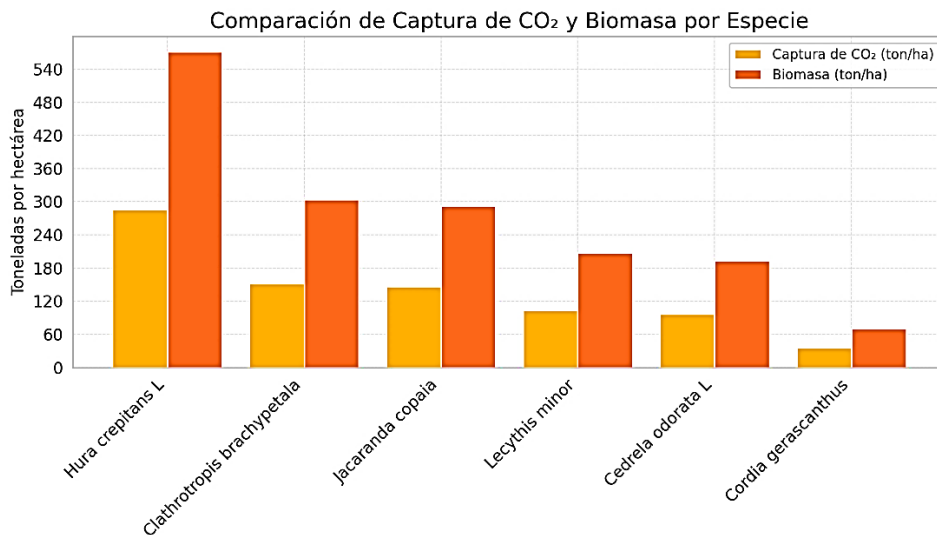
Especie	Captura de CO ₂ (ton/ha por individuo)	Biomasa aérea (ton/ha por individuo)
<i>Hura crepitans</i> L.	285,63	571,25
<i>Clathrotropis brachypetala</i> (Tul.) Klein	151,77	303,55
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	146,39	292,78
<i>Lecythis minor</i> Jacq.	103,91	207,83
<i>Cedrela odorata</i> L.	96,56	193,12
<i>Cordia gerascanthus</i> L.	35,24	70,48

Nota. Estimaciones obtenidas mediante ecuaciones alométricas (IDEAM, 2010) con factor de conversión 3,67. Elaboración propia.

Hura crepitans registró la mayor eficiencia individual de captura con 285,63 ton/ha por individuo, seguida por *Clathrotropis brachypetala* (151,77 ton/ha) y *Jacaranda copaia* (146,39 ton/ha). No obstante, dada su escasa abundancia su contribución absoluta fue de 856,88 ton/ha de CO₂. En contraste, *Cordia gerascanthus*, con la menor eficiencia individual (35,24 ton/ha), aportó 36.268,17 ton/ha de CO₂ en términos totales debido a su alta representación poblacional. La biomasa aérea total acumulada por el conjunto de individuos muestreados fue de 83.414,87 ton/ha, equivalente a una captura total de CO₂ de 41.606,60 ton/ha. La Figura 2 presenta el comparativo entre biomasa y captura de CO₂ por especie, evidenciando la relación directa y constante entre ambas variables, con independencia de la especie evaluada.

Figura 2.

Comparación de biomasa aérea y captura de CO₂ por especie forestal



El análisis de correlación mostró una relación lineal positiva de alta magnitud entre el DAP y la biomasa aérea ($r = 0,99$; $p < 0,01$), confirmando que el crecimiento radial del árbol es el predictor más confiable de la capacidad de almacenamiento de carbono. A la inversa, la altura total presentó una relación negativa muy débil con la biomasa ($r = -0,21$), en línea con nuestras suposiciones de que esta variable poco es determinante para estimar el carbono bajo

las condiciones que estudiamos en el ecosistema. Las mismas correlaciones fueron obtenidas en el análisis de la relación con la captura de CO₂ ($r_{DAP-CO_2} = 0,99$; $r_{altura-CO_2} = -0,21$). La validación mediante Global Forest Watch mostró que existe una pérdida neta de cubierta arbórea de 0,382 ha entre 2014 y 2025, lo que representa la pérdida del 0,99% desde el año 2000, lo que confirma la efectividad relativa del plan de manejo silvícola implementado en la contracorriente de la pérdida total de cobertura.

Relación integrada entre cobertura vegetal y captura de carbono

La comparación entre las tendencias de cobertura y los valores de captura de CO₂ con respecto al tipo de vegetación (Tabla 3) muestra a su vez una paradoja ecológica central: aquellas coberturas que disminuyeron durante el período en mención son las que presentan los mayores valores de captura por hectárea, mientras que aquellas coberturas que aumentan presentan unas eficiencias muy bajas en términos del mismo indicador. Esta asimetría funcional puso de relieve que el crecimiento en la cobertura vegetal no va acompañado de un crecimiento en la capacidad de captación, generando eso sí, un proceso de degradación ecológica silenciosa donde la cantidad de cobertura aumenta, pero su calidad funcional disminuye.

Tabla 3.

Comparativa entre tendencia de cobertura y captura estimada de CO₂ por tipo de vegetación (2014–2025)

Cobertura	Tendencia 2014-2025	Captura de CO₂ (ton/ha)	Valor ecosistémico
Bosque Ripario	Disminuye	140	Muy alto (protección hídrica y de carbono)
Bosque denso	Disminuye	120	Alto (bosque primario)
Vegetación secundaria alta	Aumenta	85	Medio (sucesión ecológica)
Vegetación secundaria baja	Estable	45	Bajo (suelo en recuperación)
Pastos arbolados	Disminuye	95	Medio-alto (sistemas silvopastoriles)
Pastos limpios	Aumenta	30	Muy bajo (degradación vegetal)
Cultivos	Disminuye	20	Muy bajo (uso agrícola convencional)

Nota. Elaboración propia con base en los resultados del análisis multitemporal y estimaciones biofísicas del estudio.

Desde una perspectiva espacial, los resultados indicaron que la distribución de la biomasa no fue homogénea en el predio. Las áreas donde se encontró la mayor acumulación de carbono fueron los sectores de menor accesibilidad dentro del predio, como con el río Oponcito y las laderas de difícil acceso en el predio, donde la intervención del uso forestal había sido menor. Las planicies con un mayor nivel de accesibilidad, por el contrario, habían acumulado mayor cobertura de vegetación secundaria y coberturas abiertas, lo que apuntaba claramente a un alto impacto de la intensidad del uso forestal sobre la redistribución espacial del carbono. Esta distribución espacial parece apuntar a que la presión humana no hubiera sido un proceso homogéneo sobre el ecosistema, sino que habrían establecido un gradiente de intervención sobre la funcionalidad ecológica del paisaje.

En cuanto a la valoración económica de los servicios ecosistémicos, se estima que la captura total de 41.606,60 ton/ha de CO₂ podría darse en el mercado voluntario de carbono entre 208000 y 624000 USD, considerando un rango de precio de entre 5 y 15 USD/tonelada.

Asimismo, el desarrollo de una extensión de 22,65 ha de vegetación secundaria alta entre 2014 y 2025 supondría una captura de entre 113 y 226 toneladas anuales de CO₂, lo que podría implicar entre 565 y 2260 USD adicionales anuales bajo los esquemas de pago por servicios ambientales. Estos valores permiten ver que el manejo forestal sostenible de la finca no solo tiene una importancia ecológica, sino que representa también una oportunidad económica concreta para los productores locales.

Finalmente, la pérdida neta que presentó Global Forest Watch en cuanto a la permanencia de la cubierta arbórea confirmó que, a pesar de la transformación estructural que se señaló, el manejo forestal desarrollado en la Finca San Pedro no había sido capaz de propiciar niveles de deforestación críticos. Sin embargo, este resultado debe ser considerado con cautela, ya que se comprobó con claridad que la pérdida de coberturas consideradas de alto valor ecológico no fue compensada funcionalmente por el crecimiento de la vegetación secundaria. Las evidencias mostraron que en total se configuraba un escenario de lo que se conoce como degradación ecológica silenciosa, en el que el territorio aún retenía su masa vegetal en términos cuantitativos, pero había ido cediendo poco a poco en la calidad funcional de sus ecosistemas y en su capacidad real para colaborar con la mitigación del cambio climático.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio confirman que el aprovechamiento forestal en la Finca San Pedro ha generado una transformación estructural progresiva del paisaje con efectos medidos sobre la capacidad de captura de CO₂, constituyendo este trabajo el fenómeno de degradación ecológica silenciosa: aquel proceso en el que se conserva la cobertura vegetal total bien puede acrecentarse, a pesar de que la calidad funcional y la eficiencia como sumidero de carbono se deterioran constantemente. Esta afirmación conecta directamente con la pregunta central de la investigación y encuentra respaldo tanto en los datos biofísicos obtenidos como en la literatura científica internacional sobre dinámica forestal tropical.

Transformación de coberturas y pérdida funcional

La disminución del bosque de galería y ripario de 21,57% en 2014 a 14,25% en 2025, junto con la caída del bosque fragmentado de 16,24% a 5,39%, es consistente con los patrones documentados por Global Forest Watch (2023) para el municipio de San Vicente de Chucurí, donde se reporta un total de 632 hectáreas de bosque húmedo primario perdido entre 2002 y 2023. Esta tendencia regional se replica a nivel de finca, lo cual sugiere que estos procesos de intervención forestal tienen lugar al margen de la escala de análisis y responden a las lógicas estructurales del uso del suelo en la región. En este sentido, los hallazgos de Castillo (2022) a nivel regional en la Serranía de las Quinchas son especialmente reveladores, ya que muestran que el análisis multitemporal de coberturas es plenamente válido para evidenciar pérdidas funcionales que los indicadores propios de deforestación no logran capturar.

El incremento de la vegetación secundaria alta, que ha pasado de 11,84 % a 40,12 %, podría pasar por un indicador de recuperación ecológica. Sin embargo, los datos recogidos sobre la captura de CO₂ muestran que esta cobertura presenta un valor de sólo 85 ton/ha, frente a las 140 ton/ha del bosque ripario o a las 120 ton/ha del bosque denso. Esta asimetría funcional se ajusta a lo que fue observado por Gálvez (2022), quien, en su trabajo sobre los bosques secundarios en Costa Rica, demostró que la regeneración natural tras la actividad de aprovechamiento forestal es incapaz de recuperar totalmente la capacidad de almacenamiento del carbono propio de los bosques primarios, al menos, no en periodos inferiores a 20 años. En este sentido, Droppelmann et al. (2019) indican que, en bosques intervenidos sobre Chile, el cambio de coberturas maduras hacia formaciones secundarias implica un cambio estructural en la biomasa acumulada que compromete los acuerdos de mitigación climática a medio plazo.

Captura de CO₂ y eficiencia por especie

La captura total estimada de 41.606,60 ton/ha de CO₂, concentrada en su mayoría en *Cordia gerascanthus* por efecto de su abundancia, implica una reflexión importante respecto a la relación entre diversidad estructural del ecosistema y funcionalidad ecosistémica. Los resultados muestran que las especies de mayor eficiencia individual, como *Hura crepitans* (285,63 ton/ha) y *Clathrotropis brachypetala* (151,77 ton/ha), son poco representativas en el inventario, limitando así su aportación al balance total de carbono. Este resultado se corresponde con los hallazgos de Ledesma et al. (2021), quienes, en los bosques nativos del Espinal argentino, encontraron que la capacidad para capturar carbono no está determinada por la extensión del bosque, sino por la composición de las especies específicas y por la estructura diamétrica de los individuos presentes. De la misma forma, Ortega-Treviño et al. (2021) encontraron en Veracruz, México, que la variedad de coberturas vegetales y especies con alto DAP eran determinantes para maximizar el secuestro de carbono en ecosistemas tropicales intervenidos.

La correlación de Pearson de 0,99 entre el DAP y la biomasa aérea valida el uso de esta variable dendrométrica como la principal para modelar la captura de carbono en ambientes tropicales, y está alineada con los resultados de Fluker y Sánchez (2016) y Lucano et al (2019), quienes reportaron correlaciones análogas en sistemas silvopastoriles y en bosques secundarios de América Latina. Esta correlación soporta la utilidad práctica del DAP como indicador barato de carbono forestal, un factor particularmente importante en un contexto rural, con recursos técnicos limitados como el de San Vicente de Chucurí.

La paradoja de la regeneración secundaria

Uno de los hallazgos más relevantes y potencialmente contraintuitivos de este estudio es que el aumento de la cobertura vegetal total no se traduce en una mayor capacidad de secuestro de carbono. Este fenómeno que nosotros denominamos degradación ecológica silenciosa debería considerarse en el diseño de las políticas de conservación. Vargas et al. (2022) también advierten sobre riesgos similares en ecosistemas de páramo colombiano, ya que la recuperación cuantitativa de la cobertura puede enmascarar una pérdida cualitativa en la provisión de servicios ecosistémicos. Walteros et al. (2022) documentan en el Parque Natural Regional Cortadera cómo los cambios de uso del suelo modulan las reservas de carbono orgánico, aunque la cobertura aparente sea estable, sugiriendo así la necesidad de evaluar la funcionalidad del paisaje más allá de sus indicadores superficiales.

Esta paradoja también encuentra explicación en los procesos de sucesión ecológica. La vegetación secundaria alta es dominada por especies pioneras en crecimiento rápido, pero con mayor longevidad y, a su vez, menor densidad maderable, lo que llevaría a una menor capacidad de almacenamiento de carbono a largo plazo en comparación con las formaciones boscosas maduras que estas sustituyen (Harrison et al., 2022). Por ello, la finca a pesar de tener una cobertura vegetal activa, tiene un capital natural mucho inferior en términos de biomasa y carbono que lo que tendría si se hubiesen mantenido las coberturas originales.

Implicaciones para el manejo forestal sostenible

Desde una perspectiva de gestión territorial, los resultados muestran que las estrategias de aprovechamientos aplicadas en la Finca San Pedro han contenido la deforestación neta, pero no han bastado para mantener la integridad funcional del ecosistema. Esto implica que los planes de manejo deben evolucionar, haciéndose cargo del concepto de eficiencia ecológica, incluyendo no sólo criterios de volumen maderable sino otros, tales como biomasa o diversidad estructural, así como la capacidad de captura de carbono por cada tipo de cobertura.

En este marco, la promoción de sistemas silvopastoriles y agroforestales se establece como una estrategia prioritaria. Según explicaron Díaz Arango (2023), la posibilidad de captura de

carbono que presentan los sistemas agroforestales con cacao en el departamento de Caldas es comparable a la de los bosques secundarios al mismo tiempo que se trata de un sistema de producción que genera ingresos sostenibles para los productores. La extinción total de los pastos arbolados que se hace evidente a partir de 2023 es la desaparición precisamente de este tipo de sistemas intermedios de alta eficiencia relativa (95 ton/ha) lo cual es una señal de alerta en la planificación territorial futura.

La valoración económica de la captura de carbono posiciona la viabilidad de permitir la implementación de modelos alternativos de gestión. Ante un potencial de ingresos de entre 208.000 y 624.000 USD en mercados voluntarios de carbono, el predio podría incursionar en programas de Pagos por Servicios Ambientales orientados a la conservación de coberturas de alto valor funcional, como proponen Villavicencio-Ordoñez (2024) y Arias Arévalo et al. (2023) para ecosistemas análogos en Colombia y Bolivia. La implementación de estos mecanismos requiere, sin embargo, del encadenamiento entre propietarios rurales, instituciones del Estado y organismos de certificación, cuestión que sigue siendo un reto estructural en la región (Olaya Montes et al., 2021).

Finalmente, este estudio reconoce que la metodología utilizada tiene sus limitaciones relativas a la resolución temporal del componente biofísico, puesto que las estimaciones alométricas dependen de un único momento de referencia: el año 2013. La investigación futura podría usar inventarios forestales anuales que permitieran actualizar a cada año las estimaciones de biomasa y captura de carbono en el periodo de estudio, pero también podrá utilizar sensores LiDAR o radar de apertura sintética (SAR) para aumentar la precisión en la estimación de la biomasa en los ecosistemas tropicales húmedos con una gran cobertura de nubes, como el de San Vicente de Chucurí.

CONCLUSIONES

Este estudio evaluó el impacto del aprovechamiento forestal sobre la cobertura vegetal y la captura de CO₂ en la Finca San Pedro, San Vicente de Chucurí, en el periodo 2014-2025, teniendo en cuenta el análisis multitemporal de imágenes Sentinel-2 y las ecuaciones alométricas, los cuales se integran a la triangulación metodológica. Los resultados de la investigación llevaron a las siguientes conclusiones:

El paisaje de la Finca San Pedro experimentó una transformación estructural radical en el periodo estudiado. La vegetación secundaria alta consolidó su estatus de cobertura dominante en 2025 (40,12%) en contraste con el bosque de galería y ripario que pasó del 21,57 % al 14,25 % o el bosque fragmentado que se desplomó del 16,24 % al 5,39 %. También se muestra un proceso de simplificación ecológica del territorio en la medida que se va perdiendo heterogeneidad estructural y conectividad ecosistémica.

La capacidad de captura de CO₂ del ecosistema, estimada en 41.606,60 ton/ha, se distribuye de manera desigual entre especies y coberturas. Las formaciones con un mayor valor funcional son las que han experimentado la mayor reducción y las coberturas en expansión muestran eficiencias de captura de CO₂ muy inferiores. Esta diferencia ratifica que el incremento cuantitativo de la cobertura vegetal no vendrá acompañado de un incremento equivalente en la funcionalidad ecosistémica; esto es lo que este trabajo denomina degradación ecológica silenciosa.

La correlación de Pearson de 0,99 entre el DAP y la biomasa aérea valida el empleo de esta variable dendrométrica como un indicador seguro y de coste adaptado al monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas tropicales intervenidos, con aplicabilidad directa a contextos rurales con recursos técnicos limitados.

El aprovechamiento forestal en la Finca San Pedro no alcanzó niveles críticos para la deforestación neta, lo cual es prueba del éxito relativo del plan de manejo silvícola vigente. Ahora bien, no debe interpretarse este dato como evidencia de sostenibilidad, ya que la

pérdida funcional de coberturas de gran valor ecológico no queda reflejada en los indicadores convencionales de pérdida de cobertura.

La planificación forestal sostenible debe trascender los criterios volumétricos incorporando indicadores de eficiencia funcional, de diversidad estructural y de la capacidad de captura de carbono para cada tipo de cobertura. La restauración de la vegetación riparia, el fortalecimiento de los sistemas silvopastorales y la conservación de las especies de alto rendimiento en captura como *Hura crepitans* y *Clathrotopis brachypetala* se dibujan como estrategias prioritarias para la recuperación del equilibrio ecosistémico del territorio en que se ubica la empresa.

Finalmente, el potencial económico calculado para la captura de carbono en mercados voluntarios y en la montaña oscila entre 208.000 y 624.000 USD, aspecto que se convierte en una oportunidad real para incorporar la gestión forestal de la finca a esquemas de pago por servicios ambientales que articulen las dimensiones ecológica, económica y social del desarrollo sostenible rural.

Como líneas de investigación futura se sugiere realizar muestreos de inventarios forestales periódicos que permitan una actualización de las estimaciones alométricas para cada año del intervalo de muestreo, evaluar el uso de tecnologías LiDAR y SAR que permitirán mejorar la precisión de la estimación de biomasa en condiciones de alta nubosidad e incrementar la metodología a otros predios de la región, de forma de evaluar el potencial territorial de participar en acciones de mitigación del cambio climático.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El presente estudio enfrentó limitaciones que deben tomarse en cuenta para lograr una interpretación adecuada de sus resultados. En primer lugar, las valoraciones de biomasa y captura de CO₂ se establecieron a partir de un inventario forestal de referencia elaborado en 2013 por lo que suponía que los valores biofísicos no eran anuales durante el transcurso de la serie analizada. Esta restricción impide contrastar cómo evolucionó la captura de carbono de forma anual en función de los cambios de cobertura de la tierra detectados mediante satélites.

En segundo lugar, el diseño de estudio de caso limita una posible extensión de los resultados a otros predios o territorios forestales de la región, ya que las condiciones ecológicas, productivas y socioeconómicas de la Finca San Pedro son condicionadas por su circunstancia particular. En este sentido, aunque la metodología es replicable, los valores cuantitativos obtenidos no se pueden extrapolar a priori sin un ajuste de calibración.

En tercer lugar, la clasificación de coberturas utilizando imágenes Sentinel-2, si bien es un procedimiento metodológico sólido, tiene limitaciones relacionadas con la resolución espacial de algunas bandas (20-60 metros) y la alta frecuencia de nubosidad que se presenta en la zona, lo que pudo influir negativamente en la precisión del acotamiento de algunas unidades de coberturas en años concretos. La falta de validación de campo directa para cada escena analizada supone una limitación más que puede dar lugar a errores en la clasificación de las coberturas transitorias o de porte bajo.

Finalmente, el componente socioeconómico del estudio, aunque se realiza desde el punto de vista de la valoración ambiental, prescinde de un estudio sistemático de las condiciones de vida de las comunidades rurales de la finca, y tampoco de un análisis de la efectividad en la puesta en práctica del plan de manejo de bosque cuando se realiza desde la perspectiva de los actores locales.

ESTUDIOS FUTUROS

Se recomienda el desarrollo de investigaciones que incorporen inventarios periódicos de tipo forestal para poder modernizar las estimaciones alométricas de biomasa y captura de CO₂ en función de la dinámica de los cambios en la cobertura de la tierra que son evidentes a partir del satélite, posibilitando así una comprensión dinámica y no estática de la funcionalidad de un ecosistema.

Resulta pertinente explorar el uso de tecnologías de teledetección avanzadas (sensores LIDAR aerotransportado o radar de apertura sintética (SAR)) que permitan estimar la biomasa aérea con una mejor precisión en situaciones de gran cobertura nubosa, típico de los ecosistemas tropicales húmedos de Santander.

Futuros estudios deberían ampliar el análisis a otros predios del municipio de San Vicente de Chucurí con otras modalidades de aprovechamiento forestal, con la intención de realizar comparaciones inter contextuales a fin de robustecer la validez de los hallazgos y determinar prácticas adecuadas de aprovechamiento sostenible a escala regional.

Asimismo, se sugiere profundizar en la dimensión socioeconómica del manejo forestal, analizando la manera en la que los esquemas de pagos por servicios ambientales y bonos de carbono influyen en el bienestar de las comunidades rurales y su funcionalidad como incentivo para el mantenimiento de estas prácticas de conservación. Por último, también sería de gran interés académico y práctico desarrollar modelos predictivos de captura de carbono en función de diferentes escenarios de cambio climático y de uso de los suelos, de tal forma que se articule la planificación de largo plazo en el territorio de la región en cuestión.

RECONOCIMIENTOS

El autor expresa su sincero agradecimiento a los docentes y autoridades de la Universidad de Manizales, en Tunja, Colombia, por el acompañamiento académico, la orientación investigativa y el apoyo institucional brindado durante el desarrollo del presente trabajo.

CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara que no presenta ningún conflicto de intereses en relación con la realización, desarrollo y publicación del presente estudio.

REFERENCIAS

- Capador Aguilar, Y. E., González Angarita, G. P., & Suarez Daza, P. A. (2021). Análisis de la cobertura vegetal en incendios forestales mediante índices espectrales: caso de estudio Cerros Orientales (Bogotá, Colombia). *Avances Investigación En Ingeniería*, 18(1), 1–17. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6931>
- Castillo Alarcón, L. J. (2022). *Análisis de la cobertura vegetal y uso del suelo, para identificar el potencial de captura de carbono, en la zona de amortiguación del parque natural regional Serranía de las Quinchas*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia]. <http://hdl.handle.net/11634/47477>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2020). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Díaz Arango, A. (2023). *Captura de carbono en un sistema agroforestal con cacao (Theobroma cacao) en Victoria, Caldas* [Tesis de maestría, Universidad de Caldas]. Repositorio de la Universidad de Caldas. <https://repositorio.ucaldas.edu.co/handle/ucaldas/18746>

- Díaz, J. (2013). *Plan de manejo para el aprovechamiento forestal, finca San Pedro, municipio de San Vicente de Chucurí, departamento de Santander*. [Tesis de maestría, Universidad de Manizales, Caldas]
- Fluker Puscan, R. S., & Sánchez Olivera, V. (2016). Captura de carbono en un sistema silvopastoril con aliso (*Alnus acuminata*), en el distrito de Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas 2016. [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú]. URI: <https://hdl.handle.net/20.500.14077/1221>
- Gálvez Cusiquispe, P. (2025). *Efectos del manejo forestal sostenible en la dinámica del carbono durante tres décadas, provincia Limón, Costa Rica*. [Tesis de grado, UNAD] Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.14070/1258>
- Global Forest Watch. (2023). *Pérdida de cobertura arbórea en San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia*. <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/COL/27/74/>
- Harrison, N., Herrera Jiménez, J., Krieger Merico, L. F., Lorenzo, S., Rondón Toro, E., Rouse, P., & Samaniego, J. (2022). *Soluciones basadas en la naturaleza y remoción de dióxido de carbono*. <https://repositorio.cepal.org/items/b9f58e05-09f1-4c7c-bb5b-43270f8f3b2a>
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines/>
- 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*. <https://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/leyenda-nacional-coberturas-tierra>
- Jiménez Elizondo, K. (2024). Valoración económica de los servicios ecosistémicos provenientes de corredores biológicos interurbanos. *Revista Investigium IRE: Ciencias Sociales y Humanas*, 15(2), 90-111. <https://doi.org/10.15658/INVESTIGIUMIRE.241502.06>
- Ledesma, S. G, Sione, S. M.J, Ozsust, J.D, & Rosenberger, L.J. (2021). Estimación del contenido y captura potencial de carbono en la biomasa arbórea de bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina). *Fave. Sección ciencias agrarias*, 20(1), 331-345. de 2025, de https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1666-77192021000100331&lng=es&tlng=es.
- MINCIENCIAS (2022). Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. *Resolución 0777 de 2022. Por la cual se adopta la Política Nacional de Ciencia Abierta 2022-2031 del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación*. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/politica_nacional_de_ciencia_abierta_-2022_-_version_aprobada.pdf
- Ortega-Treviño, L. E., Ordóñez Díaz, J. A. B., Munguia Barcenás, A., Galicia Naranjo, A., Cruz Torres, K., Reyero Hernández, V., Mallén Rivera, C. (2021). Estimación de contenido y captura potencial de carbono en diferentes coberturas vegetales en Coatzacoalcos, Veracruz, México. *E-CUCBA*, (17), 182–191. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi17.231>
- Vargas Terranova, C. A., González Díaz, J. M., & Rueda Ramírez, M. A. (2022). Evaluación ambiental en el escenario actual y con bonos de carbono: páramo La Cortadera, departamento de Boyacá, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 27(1), 125-145. <https://doi.org/10.19053/01233769.11953>

- Walteros-Torres, I., Palacios-Pacheco, S., Cely, G. E., Serrano, P. A., & Moreno-Pérez, D. (2022). Influencia del cambio de uso del suelo sobre las reservas de carbono orgánico en el Parque Natural Regional Cortadera, Boyacá (Colombia). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1846>
- Droppelmann, C.A., Campos-Melo, D., Moszczynski, A.J. et al. (2019). TDP-43 aggregation inside micronuclei reveals a potential mechanism for protein inclusion formation in ALS. *Scientific Reports*, 9(1), 19928. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56483-y>
- Villavicencio-Ordóñez, J. E., López-Guzmán, D. R., & Velásquez-Cajas, Á. P. (2024). Crecimiento urbano y vulnerabilidad al cambio climático de Calderón en el distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. *Urbano (Concepción)*, 27(49), 94-107.
- Arias-Arévalo, P., & Pacheco-Valdés, N. (2022). Implementación de pagos por servicios ambientales en la Cuenca del río Cali, Colombia: una mirada desde los sistemas socioecológicos. *Revista de Economía e Sociología Rural*, 61(2), e256251.
- Olaya-Montes, A., España-Cetina, G. P., Llanos-Cabrera, M. P., Silva-Olaya, A. M., & Ortiz-Morea, F. A. Métodos de evaluación de la calidad del suelo: Estudio de caso en áreas de transición Bosque-pastura de la Amazonia Colombiana. *Explorando la conexión entre el suelo y la cobertura aérea de los bosques de la Amazonia Noroccidental*. Gobernación de Caquetá y Universidad de Amazonía.