

<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v73i1.59708>

## Coberturas boscosas de la cuenca del río Sinú (Córdoba, Colombia): evidencia de los bosques transicionales seco-húmedo tropical

Merly Yenedith Carrillo-Fajardo<sup>1,2\*</sup>;  <https://orcid.org/0000-0003-0725-5703>

Carlos Cesar Vidal-Pastrana<sup>2,3</sup>;  <https://orcid.org/0009-0008-2972-8712>

María Eugenia Morales-Puentes<sup>1</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-5332-9956>

Jesús Ballesteros-Correa<sup>2</sup>;  <http://orcid.org/0000-0002-4369-8408>

1. Grupo de investigación Sistemática Biológica-SisBio, Doctorado en Ciencias Biológicas y Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia; merly.carrillo@uptc.edu.co (\*Correspondencia), maria.morales@uptc.edu.co
2. Grupo de Investigación Biodiversidad Unicórdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia; jballesteros@correo.unicordoba.edu.co
3. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Parques Nacionales Naturales de Colombia, Dirección Territorial Caribe; carlos.vidal@parquesnacionales.gov.co

Recibido 28-IV-2024. Corregido 12-VIII-2024. Aceptado 03-II-2025.

### ABSTRACT

#### Forest covers of the Sinú River basin (Córdoba, Colombia): evidence of tropical dry-humid transitional forests.

**Introduction:** Dry and humid forests are among the most threatened on the planet in Colombia, they are in Critical Danger, but the status of the transitions is unknown.

**Objective:** To establish the distribution, level of fragmentation, and floristic affinities of the transitional areas between the Tropical Dry Forest (TDF) and Tropical Wet Forest (TWF) in the climatic gradient of the Sinú River basin as a contribution to its conservation management.

**Methods:** The Forest/Non-Forest (B/NB) layer of the study area was at a scale of 1 : 25 000 with Sentinel images (2021-2022) from Planet Scope and other sources, we identified the climatic regions, using climatic data from WorldClim 2.0 (1970-2000) and Giovanni 4.38 (2001-2021), we estimated the level of fragmentation, and we identified floristic affinities from liana sampling and a clustering analysis.

**Results:** The basin has 462 972 ha of forests, 5 % are dry-humid transitional forests, 87 % are humid forests, 6 % are dry forests, and 2 % are mangrove forests. There are more than 1 000 ha of transitional forests in high-extreme fragmentation. The TWF has the lowest fragmentation (little-minimal) and the TDF is the most fragmented. The forested transitions of the basin are more floristically related to TDF.

**Conclusions:** This study contributes to closing the gap in knowledge for determining the distribution patterns of transitional dry-humid tropical forests in the Sinú River basin by applying a replicable integrative methodology. These dry-humid transitional forests should be recognized as another important type of cover for the study of ecological processes under climate change scenarios. It is proposed that dry-humid forests should be included in conservation priorities in the planning and management processes of the territory at different geographic scales and management levels.

**Key words:** semi-deciduous forests; Caribbean; life zones; fragmentation; lianas.



## RESUMEN

**Introducción:** los bosques secos y húmedos se encuentran entre los más amenazados del planeta, en Colombia se encuentran en Peligro Crítico, pero se desconoce el estado de las transiciones.

**Objetivo:** Establecer la distribución, nivel de fragmentación y afinidades florísticas de las zonas transicionales entre el bosque seco-Tropical (bs-T) y bosque húmedo Tropical (bh-T) en el gradiente climático de la cuenca del río Sinú como aporte a la gestión para su conservación.

**Métodos:** Se elaboró la capa de Bosque/No Bosque (B/NB) del área de estudio a escala 1 : 25 000 con imágenes Sentinel (2021-2022) de Planet Scope y otras fuentes, y se identificaron las zonas climáticas, con el uso de datos climáticos de WorldClim 2.0 (1970-2000) y de Giovanni 4.38 (2001-2021), se estimó el nivel de fragmentación, a su vez se identificaron afinidades florísticas a partir del muestreo de lianas y un análisis de agrupamiento.

**Resultados:** La cuenca tiene 462 972 ha de bosques, el 5 % son bosques transicionales seco-húmedo, 87 % bosques húmedos, 6 % bosques secos, y el 2 % son bosques de manglar. Hay más de 1 000 ha de bosques de transición en fragmentación alta-extrema. El bh-T presenta el menor nivel de fragmentación (poca-mínima) y el bs-T es el más fragmentado. Las transiciones boscosas de la cuenca son más afines florísticamente con el bs-T.

**Conclusiones:** Se contribuye a cerrar la brecha en el conocimiento para la determinación de los patrones de distribución de los bosques tropicales transicionales seco-húmedo en la cuenca del río Sinú, con la aplicación de una metodología integradora replicable. Se sugiere reconocer estos bosques transicionales seco-húmedos como otro tipo de coberturas importantes para la investigación de procesos ecológicos bajo escenarios de cambio climático. Se propone incluir los bosques secos-húmedos en prioridad de conservación en los procesos de ordenamiento y manejo del territorio a diferentes escalas geográficas y niveles de gestión.

**Palabras clave:** bosques semidecíduos; Caribe; zonas de vida; fragmentación; lianas.

## INTRODUCCIÓN

La información sobre el estado de los bosques del planeta muestra que dinámicas de transformación conducen a una generalizada pérdida de las coberturas vegetales. En la actualidad se estima que los bosques cubren el 31 % de la superficie terrestre (4.06 millones de hectáreas) y que producto de la deforestación en las últimas dos décadas hay pérdida de 47 millones de hectáreas y continúa creciendo (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2022). En el Trópico se encuentran los bosques más diversos y productivos de la Tierra (Blundo et al., 2021), siendo las coberturas boscosas las más transformadas y afectadas por el desarrollo socioeconómico. Dentro de los bosques, el bosque seco tropical (bs-T) se considera uno de los ecosistemas más degradado y amenazado por actividades agropecuarias (Banda et al., 2016), mientras que, el bosque húmedo tropical (bh-T) es considerado el más afectado por la extracción indiscriminada de maderas valiosas (Urquhart, 2020). En Colombia, los efectos de dichas acciones han conducido a que, estos bosques se encuentren en Peligro Crítico (CR) (Etter et al., 2017), pero

¿dónde están y cuál es el estado de las transiciones entre estos dos ecosistemas?

Para dar respuesta a esta pregunta, es importante contextualizar, y para ello, Dexter et al. (2018) sugieren que las transiciones entre bosque seco y húmedo están mediadas principalmente por la disponibilidad de agua. Este planteamiento es una aproximación que requiere asociar las coberturas con medición de caudales a diferentes escalas espaciales, sin embargo, dicha información es escasa (Kojima, 2022) y dificulta la espacialización de estos bosques.

Esta investigación relacionada con los bosques transicionales entre bs-T y bh-T se presenta en Córdoba, Colombia; es una región que inicia en las estribaciones de la cordillera Occidental de los Andes, continúa hacia la Llanura del Caribe, y es atravesada por los ríos Sinú y San Jorge. De acuerdo con Etter et al. (2008), la distribución geográfica de los bosques secos originales en Colombia, indican bosques secos semi-húmedos en la zona media del departamento de Córdoba. La Corporación Autónoma Regional de los valles del Sinú y San Jorge (Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú, y del San Jorge, 2008), también

identificó áreas ecotonales entre bosque seco y húmedo en las cuencas de los ríos San Jorge y Sinú. Sobre este último, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Parques Nacionales Naturales de Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2020), declararon la Reserva Natural de la Sociedad Civil-RNSC La Zoconita, para preservar el bs-T y el bh-T presentes en la Reserva, situación que evidencia bosques transicionales.

En contraste, la actualización de la distribución de los bosques secos en Colombia indica que, para Córdoba solo existen algunos remanentes de este ecosistema entre un mosaico de matrices transformadas (García et al., 2014), y en el Plan de Gestión Ambiental de Córdoba (Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge, 2020), se describe e ilustra de manera exclusiva vegetación de bs-T en el Norte, y bh-T en el Sur de la región, sin reconocer la existencia de transiciones boscosas. En este sentido, las investigaciones sobre biodiversidad y sistemas productivos se han desarrollado direccionadas exclusivamente a bosques secos y húmedos (Acevedo-Quintero et al., 2023; Ballesteros-Correa et al., 2019; Peñate-Pacheco et al., 2022; Pérez-Torres et al., 2016; Racero-Casarrubia et al., 2015; Ruiz & Saab, 2020), sin incluir las zonas de transición.

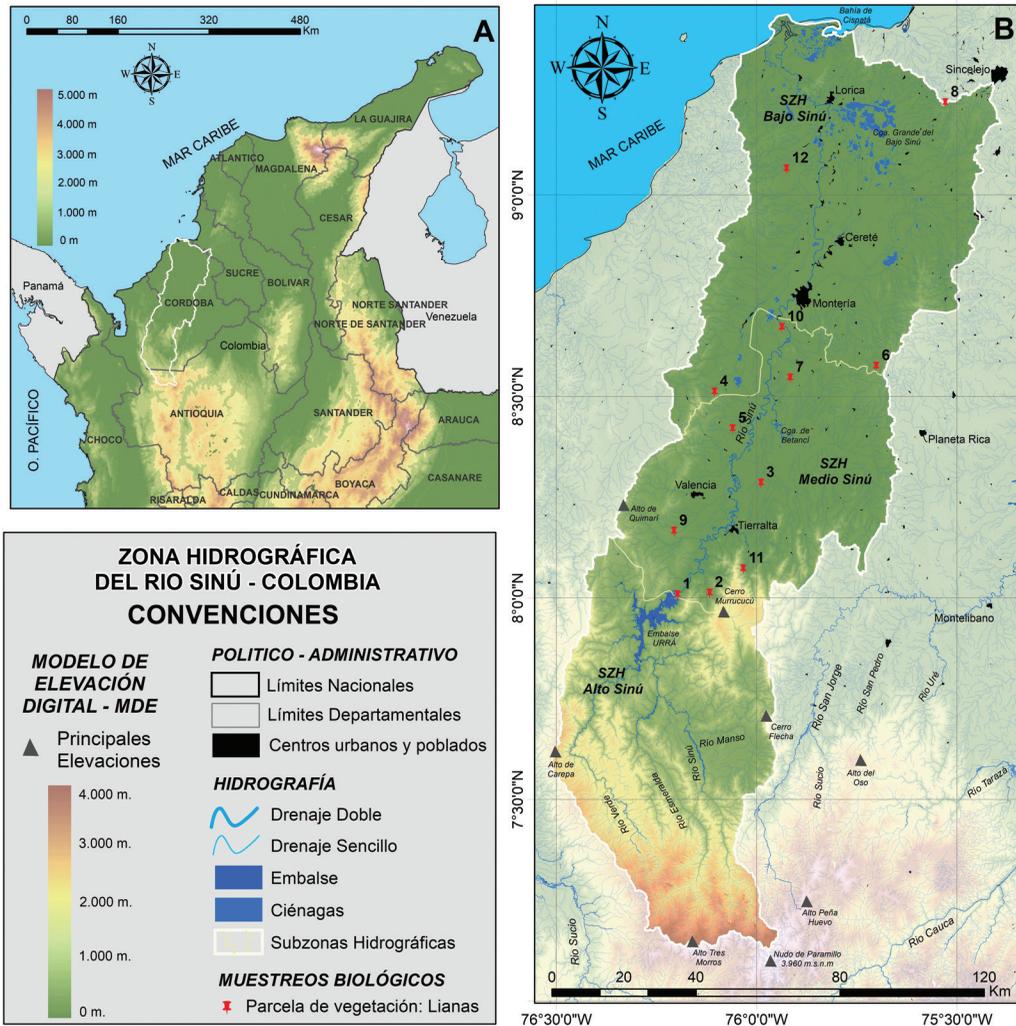
Por lo anterior, se planteó como hipótesis, que las condiciones climáticas en la cuenca del río Sinú han favorecido la formación de bosques secos, húmedos tropicales, y también de bosques transicionales que no están claramente diferenciadas. Y se predice que: (1) Hay una franja de bosques tropicales localizados en una zona climática intermedia entre seco y húmedo, (2) La fragmentación de las coberturas boscosas transicionales en la cuenca es alta, y (3) Estos bosques transicionales en la cuenca, muestran una afinidad florística con uno de los dos bosques que contribuyen a su composición.

El objetivo general fue “establecer la distribución, nivel de fragmentación y afinidades florísticas de las zonas transicionales entre el bs-T y bh-T en el gradiente climático de la cuenca del río Sinú como aporte a la gestión para su

conservación”, y como objetivos específicos: (1) Caracterizar coberturas de bosque y zonas climáticas del área de estudio, (2) Determinar el nivel de fragmentación de los bosques, e (3) Identificar las afinidades florísticas entre los bosques transicionales, húmedos y secos en la zona. El estudio propone hacer un llamado a la comunidad científica y autoridades ambientales, para que consideren direccionar esfuerzos en replicar y publicar este tipo de trabajos, que visibilizan análisis ecológicos a escala local, a través de los cuales se pueden generar aportes para la gestión de la conservación de los bosques tropicales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El río Sinú con 415 km de longitud, drena a una cuenca de 13 972 km<sup>2</sup> ubicada entre 9°30'-7°05' N & 76°35'-75°15' W (Martínez-Acosta et al., 2020), corre de sur a norte entre las serranías de Abibe y San Jerónimo en las estribaciones de la cordillera Occidental, desde los 3 960 m.s.n.m. en el páramo del Nudo del Paramillo en el departamento de Antioquia. En esta cuenca hidrográfica se encuentran bosques andinos y húmedos tropicales en la parte alta, y bosques secos (en el departamento de Sucre), valles y complejos cenagosos en la parte media y baja del departamento de Córdoba, hasta desembocar en Boca de Tinajones en el mar Caribe, donde se destaca el bosque de manglar en Cispatá como el principal ecosistema marino-costero (Bernal et al., 2016; Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge, 2020; Martínez-Acosta et al., 2020). Este río pertenece a la macrocuenca Caribe, zona hidrográfica Sinú y la conforman tres Subzonas Hidrográficas (SZH): Alto Sinú-Urrá, Medio Sinú y Bajo Sinú (Suárez-Castaño et al., 2019). En el territorio cordobés por razones administrativas y ambientales, la cuenca hidrográfica ha sido delimitada en tres subregiones: alto Sinú (Tierralta y Valencia), medio Sinú (Montería, Cereté y San Pelayo), y bajo Sinú con Lórica, Chimá, Tuchín, Purísima, San Andrés de Sotavento, San Antero y San Bernardo del Viento



**Fig. 1.** Área de estudio cuenca del río Sinú, departamento de Córdoba, región Caribe, Colombia. **A.** Delimitación de la cuenca. **B.** Ubicación geográfica (norte del país). / **Fig. 1.** Sinú River basin study area, department of Córdoba, Caribbean region, Colombia. **A.** Delimitation of the basin. **B.** Geographic location (North of the country).

(Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge, 2020, Fig. 1).

#### Determinación de coberturas de bosque:

Se elaboró la capa de coberturas de la Tierra con las categorías de Bosque y No Bosque (B/NB) de la cuenca hidrográfica del río Sinú a partir de diferentes fuentes de información a escala 1 : 25 000. Las capas que fueron fusionadas para obtener una capa completa de la cuenca siguiendo la metodología Corine Land

Cover (Aguilar-Corrales et al., 2010). Para la zona baja y media de la cuenca se usaron 28 imágenes Sentinel (periodo 2021-2022) descargadas de la plataforma Planet Scope (Esceñas 18PUR, 18PVR, 18PUQ, 18PVQ, 18NUP, 18NVP, 18NUN y 18NVN), se hizo el análisis espectral en Erdas (Hexagon Geospatial, 2015), con un proceso de clasificación supervisada a través de puntos de control en terreno (se validaron las coberturas de bosque y no bosque con puntos conocidos previamente), se generó

una primera capa ráster, y posteriormente en ArcGIS 10.4 (Esri, 2015) se hizo la transformación a la capa vectorial. Para la zona alta de la cuenca se usó la información disponible de la capa de coberturas de la Tierra del Plan de Manejo de Parque Nacional Natural Paramillo (Parques Nacionales Naturales de Colombia. Dirección Territorial Caribe. Parque Nacional Natural Paramillo, Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Paramillo, Informe técnico no publicado, 2021), y del diagnóstico del Plan de Ordenamiento de la Cuenca-POMCA (Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge, Diagnóstico del Plan de Ordenamiento de la Cuenca del río Sinú, Informe técnico no publicado, 2021), que fueron recategorizadas para obtener la salida de B/NB.

**Identificación de zonas climáticas:** Las coberturas de bosque fueron categorizadas según el sistema de clasificación propuesto por Holdridge (1947), y se estimaron previamente las variables climáticas: temperatura media anual (°C), precipitación anual (mm/año), presión de vapor (KPa) y la evapotranspiración potencial (mm/día).

Se utilizaron datos climáticos históricos mensuales de los últimos 50 años, a partir de los productos de sensores remotos. En el análisis del periodo de 1970-2000 se usaron datos de WorldClim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017) con resolución espacial de 30" (aprox. 1 km<sup>2</sup> de pixel) para la temperatura media, precipitación y presión de vapor de agua. La serie de tiempo (2001-2021) se completó con la descarga de información de la plataforma Giovanni (McNally & Hydrological Science Laboratory-Goddard Space Flight Center-National Aeronautics and Space Administration., 2018), con 0.1° de resolución espacial y suavizada para obtener un modelo de 30" y homologable con la información de WorldClim. El modelo para la temperatura fue FLDAS\_NOAH01\_C\_GL\_M v001, en precipitación se usó el modelo combinado del pluviómetro satelital en ejecución final, recomendada para uso general (GPM\_3IMERGM v06), y para la presión de

vapor se utilizó el modelo Surface pressure (FLDAS\_NOAH01\_C\_GL\_M v001).

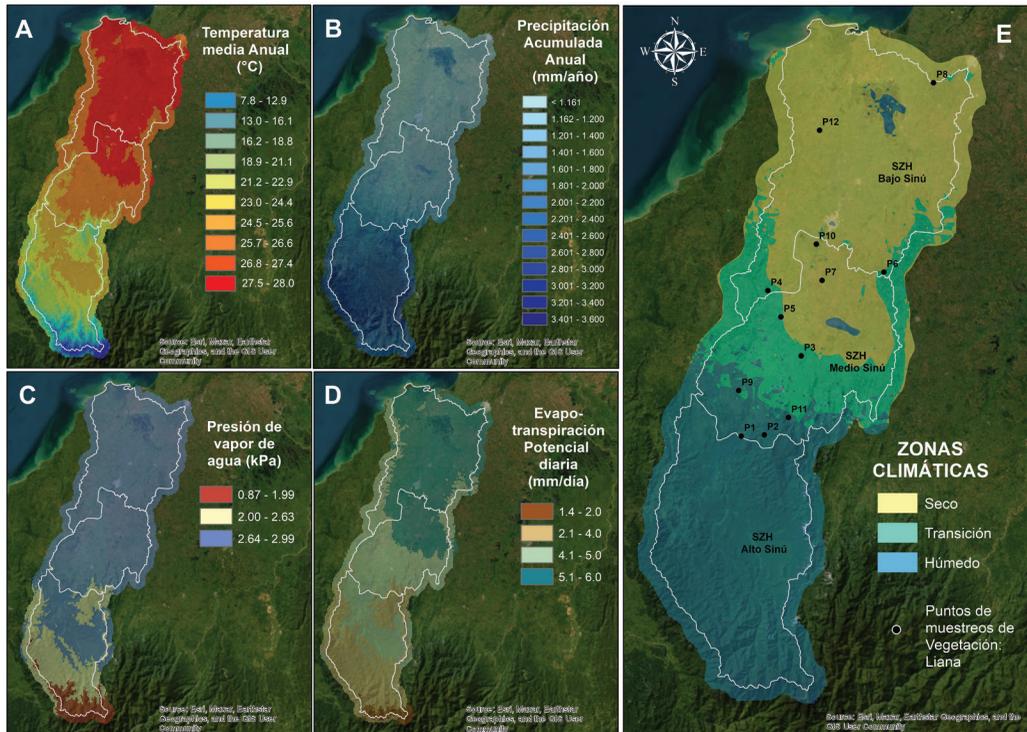
La evapotranspiración se estimó a través del método de Thornthwaite, usado en estudios de cuencas hidrográficas y zonas ambientalmente sensibles (Li et al., 2022; Palmer & Havens, 1958; Thornthwaite, 1948), mediante capas de máximos y mínimos de temperatura, y previamente homologadas para calcular el índice térmico anual y el exponente *a* de la fórmula, posteriormente, se estimó la evapotranspiración potencial considerando la capa geográfica de los factores de corrección que establece este método.

Una vez elaboradas las cuatro capas, se fusionaron, en una matriz de decisión basado en el esquema de zonas de vida de Holdridge (1947) y se identificaron las zonas climáticas secas, de transición y húmedas de la cuenca (Fig. 2).

#### **Estimación del índice de fragmentación:**

La fragmentación del paisaje se estimó a partir del método de Pfister (2004), que se basa en dos procedimientos: 1. La construcción de paisajes de muestreo en hexágonos, y 2. La estimación del índice de fragmentación para cada hexágono, a partir de métricas de paisaje (Fig. 3).

Para determinar el tamaño o radio apropiado de los hexágonos, se tuvo en cuenta las recomendaciones de Schindler et al. (2008), quienes proponen hacer análisis por grupos de métricas. Inicialmente se generó una malla de 274 cuadrículas de 4 x 4 km para toda la cuenca (Fig. 3A), y aleatoriamente se seleccionaron 18 de estas cuadrículas, sobre las cuales se creó un centroide como punto de origen a un multibuffer con radios cada 200 m hasta los 4 km (Fig. 3B). A partir de la capa de bosques (Fig. 3C) en el multibuffer, se estimaron las métricas propuestas por McGarigal & Cushman (2002) con los programas ArcGIS 10.4 (Esri, 2015) y FRAGSTAT 4.2 (McGarigal, 2014; Sapeña & Ruíz, 2015). Los resultados se analizaron mediante gráficas de regresión de cada variable en cada radio por paisaje, y se encontró que, los valores de las métricas se estabilizaron a los 2 000 m, y sobre la capa de bosques se



**Fig. 2.** Etapas para la identificación de las zonas climáticas de la cuenca del río Sinú. **A.** Gradiente de temperatura en aumento en sentido Sur-Norte. **B.** Gradiente de precipitación en aumento Norte-Sur. **C.** Presión de vapor de agua sectorizada. **D.** Evapotranspiración potencial sectorizada. / **Fig. 2.** Stages for identifying the climatic zones of the Sinú River basin. **A.** Increasing temperature gradient in the South-North direction. **B.** Increasing North-South precipitation gradient. **C.** Sectorized water vapor pressure. **D.** Sectorized potential evapotranspiration.

construyó una malla de hexágonos con 2 km de radio cada uno (Fig. 3C, Fig. 3D).

Se estimaron nuevamente las métricas de McGarigal & Cushman (2002) para cada uno de los hexágonos, con las pruebas estadísticas en SPSS v.29.0 (IBM Corp., 2023) (correlación de Pearson, análisis factorial, análisis de componente principales), se seleccionaron las métricas para la definición del índice. Para calcular la puntuación factorial en el análisis de componentes principales se utilizó el método de rotación Varimax con normalización Kaiser en cinco iteraciones. Las métricas seleccionadas fueron: Área Total (AT), Índice del Parche más Grande (LPI), Área Núcleo Total (TCA), Índice de Proximidad Media (PROX MN), Densidad de Parches (PD) e Índice de Cohesión de Parches, Índice de Porcentaje de adyacencias

similares (PLADJ) e Índice de la Forma del Paisaje (LSI).

Para calcular el Índice de Fragmentación en cada celda de análisis, es decir, los paisajes hexagonales, se definió el siguiente modelo matemático (Fig. 3E; Fig. 3F; Fig. 3G; Fig. 3H; Fig. 3I; Fig. 3J; Fig. 3K; Fig. 3L).

$$\ln Fra = \sum_i z_{ij} ((a_{i1}\lambda_1) + (a_{i2}\lambda_2))$$

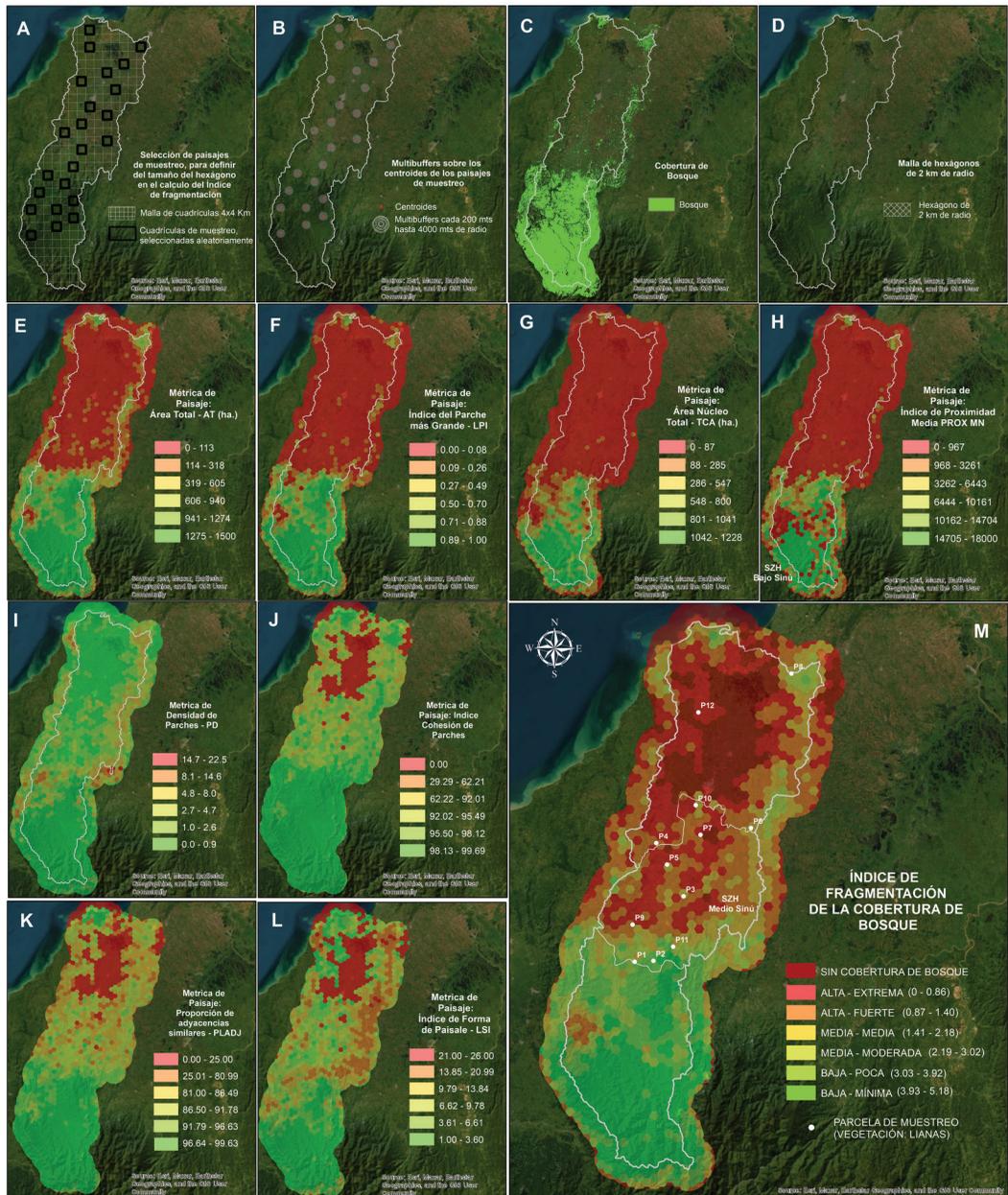
En donde:

InFra = Índice de fragmentación

$z_{ij}$  = Valor estandarizado de la métrica  $i$  en el paisaje hexagonal de muestreo  $j$

$a_{i1}$  = Coeficiente de puntuación factorial para la métrica  $i$  en el factor 1

$a_{i2}$  = Coeficiente de puntuación factorial para la métrica  $i$  en el factor 2



**Fig. 3.** Etapas para el cálculo del índice de fragmentación cuenca del río Sinú. **A.** Malla y cuadrículas seleccionadas para paisajes multibuffer. **B.** Paisajes multibuffer. **C.** Capa de bosques. **D.** Malla de unidades paisaje hexagonales. **E.-L.** Representación de métricas de paisaje. **M.** Índice de fragmentación para cuenca en categorías. Los colores se presentan con 40 % de transparencia. / **Fig. 3.** Stages for the calculation of the fragmentation index of the Sinú river basin. **A.** Selected mesh and grids for multi-buffer landscapes. **B.** Multibuffer landscapes. **C.** Forest layer. **D.** Mesh of hexagonal landscape units. **E.-L.** Representation of landscape metrics. **M.** Fragmentation index for basin in categories. Colors are presented with 40 % transparency.



$\lambda_1$  = Autovalor del factor 1

$\lambda_2$  = Autovalor del factor 2

InFrag =  $(1.053 \times CA) + (0.851 \times LPI) + (1.039 \times TCA) + (0.713 \times PROX.MN) + (1.355 \times PD) + (1.761 \times PLADJ) + (0.855 \times LSI) + (2.185 \times COHESION)$

Una vez estimado el índice en el mapa de algabras de ARCGIS, los resultados numéricos fueron reclasificados a través del método de divisiones naturales en seis categorías nominales: Alta-Extrema, Alta-Fuerte, Media-Media, Media-Moderada, Baja-Poca y Baja-Mínima (Fig. 3M), para tener elementos detallados que permitan mejor interpretación del territorio.

**Muestreo de lianas-Afinidades florísticas:** Se escogieron las lianas como modelo de estudio, porque particularmente presentan alta riqueza y abundancia en los bosques tropicales, y son elementos característicos para el entendimiento de la estructura y funcionalidad de estos ecosistemas (Schnitzer et al., 2014; Schnitzer, 2018).

A partir de los mapas de Bosque/NoBosque, zonas climáticas y fragmentación, se identificaron 35 parches potenciales para el muestreo de las lianas, con diferentes características de tamaño y categorías de fragmentación (Fig. 3M), sin embargo, la selección y número de parches estuvo condicionada al orden público de la zona (Landholm et al., 2019; Vanegas-Cubillos et al., 2022) y al permiso autorizado en áreas privadas. Se muestrearon 12 parches, cuatro por cada tipo de bosque (húmedo, transicional y seco). Los parches se categorizaron así: Muy Pequeño ( $\leq 10$  ha, P7: RNSC Zoconita y P8: Resguardo Indígena Zenú-Vereda Mata de Caña), Pequeño ( $> 10-60$  ha, P2: finca La Esperanza, P6: RNSC Santa Isabel, P11: San Rafael, P12: finca Providencia), Mediano-Pequeño ( $> 60-200$  ha, P1: URRÁ-Policía-Batallón BITER, P4: Las Palmeras, P9: Nuevo Oriente, P10: finca Pensilvania), Mediano-Grande ( $> 200-450$  ha, P3: El Danubio, P5: El Pino), Grande ( $> 450-1\ 000$  ha) y Muy Grande ( $> 1\ 000$  ha).

En cada sitio se implementó una parcela de  $100 \times 50$  m, con subparcelas de  $10 \times 10$  m,

donde se recolectaron las lianas, muestras que se procesaron en el Herbario de la Universidad de Córdoba-HUC. El material se encuentra depositado en los Herbarios HUC y UPTC bajo la numeración de Carrillo-Fajardo M.Y. Posteriormente, se elaboró un análisis de agrupamiento con el método de Ward y la distancia Euclidiana en el programa Past v4.0 (Hammer et al., 2001).

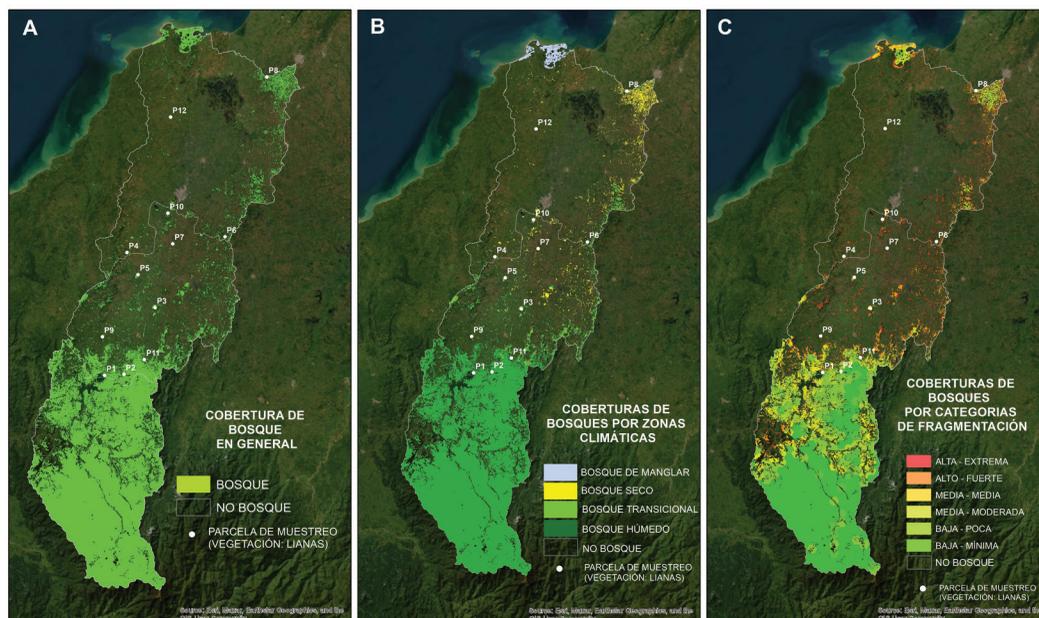
## RESULTADOS

La caracterización de las coberturas de Bosque/NoBosque en la cuenca del río Sinú y la relación de dichos bosques con las zonas climáticas y el nivel de fragmentación (Fig. 4), además de identificar las afinidades florísticas, permitió visibilizar la presencia de coberturas boscosas transicionales entre los bosques húmedos y secos del área de estudio.

**Coberturas de bosque:** La caracterización de los bosques y las condiciones climáticas en las que se desarrollan en la cuenca del río Sinú, indican que hay 462 972 ha de coberturas forestales. El 87 % (404 007 ha) son bh-T, seguido de un área de bs-T que ocupa el 6 % (27 355) del territorio, una extensión de 22 803 ha (5 %) de bosques de transición entre esas dos coberturas, y 8 807 ha (2 %) son bosque de manglar (Fig. 4A, Fig. 4B).

**Distribución espacial y ambiental de los bosques:** Con relación a las Subzonas Hidrográficas (SZH), la distribución espacial de los bosques tropicales transicionales de bosque húmedo y seco se encuentran ubicados principalmente en la SZH Medio Sinú y algunos remanentes en la SZH Bajo Sinú (Fig. 4). Las condiciones ambientales que predominan en estas coberturas son temperatura media anual entre 25.7-26.6 °C, precipitación acumulada anual hasta 2 200 mm, presión de vapor de agua entre 2.64-2.99 kPa y la evapotranspiración potencial diaria de 4.1-5.0 mm (Fig. 2).

El bh-T se encuentra en las SZH Alto y Medio Sinú, y crece a temperaturas que van desde los 18-25 °C, con precipitaciones



**Fig. 4.** Caracterización de coberturas boscosas cuenca del río Sinú. **A.** Capa de Bosque/NoBosque actualizada a 2022. **B.** Bosques según zonas climáticas. Se evidencia bosque transicional. **C.** Categorías de fragmentación de bosques en área de estudio. / **Fig. 4.** Characterization of forest cover in the Sinú River basin. **A.** Forest/Non-Forest Layer updated to 2022. **B.** Forests according to climatic zones. Transitional forest is evident. **C.** Categories of forest fragmentation in the study area.

acumulada entre 2 000-2 800 mm/año, la presión de vapor de agua oscila entre 2.0-2.99 kPa y la evapotranspiración se presenta desde 2.1-5.0 mm/día. En la SZH Bajo Sinú, está el bs-T y los manglares (Fig. 4B), que comparten las condiciones ambientales de máxima temperatura media anual de 26.8-28 °C, precipitaciones hasta 1 200 mm, presión de vapor de 2.64-2.99 kPa, y la evapotranspiración más alta de la cuenca de 5.1-6.0 mm/día (Fig. 2).

**Fragmentación de los bosques:** El índice de fragmentación calculado para la cuenca presenta un gradiente que aumenta en el territorio en sentido Sur-Norte (0-5 186) (Fig. 3). La SZH Alto Sinú, cuentan con las áreas más continuas, mientras que las SZH Medio Sinú y Bajo Sinú son las más fragmentadas, en ésta última incluso hay áreas donde no hay coberturas boscosas (Fig. 4).

La métrica densidad de parches (PD) indica que las áreas limítrofes de la cuenca tienen

mayor número de parches (PD = 14.7-22.5) por paisaje (1 257 ha cada uno). Al calcular la cohesión de parches se evidencia un área donde no existe conexión física entre parches (0.0); visto en el territorio, corresponde a la ausencia de coberturas boscosas. En concordancia con la métrica anterior, donde no hay parches sino un continuo de bosque (PD = 0.0), la máxima cohesión se da al sur de la cuenca (98.13-99.69) (Fig. 3).

Todos los bosques de la cuenca del río Sinú se encuentran en alguna categoría de fragmentación, en general, el 69 % (232 250 ha) del territorio está en condiciones de baja-mínima fragmentación, el 54 % (115 632 ha) en baja-poca, el 67 % (61 598 ha) en media-moderada, el 65 % (33 147 ha) en media-media, 33 % (15 572 ha) es alta-fuerte y el 11 % (4 773 ha) y en alta-fuerte. El análisis SZH muestra que no hay coberturas en el Alto Sinú con fragmentación alta-extrema, en Medio Sinú se presentan todas las categorías de fragmentación y en el

**Tabla 1**

Hectáreas por categoría de fragmentación en bosques tropicales y subzonas hidrográficas cuenca del río Sinú. / **Table 1.** Hectares by fragmentation category in tropical forests and hydrographic subzones of the Sinú River basin

Subzonas hidrográficas del río Sinú	Cobertura de bosques por zonas climáticas	Categorías del índice de fragmentación/ha						Total general
		Baja-minima	Baja-poca	Media-moderada	Media-media	Alta-fuerte	Alta-extrema	
Bajo Sinú (450 000 ha)	Manglar	0	1 187	3 508	3 235	877	0	8 807
	Seco	0	1 047	5 042	6 551	4 335	2 235	19 211
	Transición	0	0	1 872	2 017	888	299	5 076
	Subtotal	0	2 234	10 422	11 803	6 101	2 534	33 093
Medio Sinú (380 000)	Seco	0	0	0	3 218	4 167	760	8 145
	Transición	0	662	3 863	8 606	3 504	1 092	17 727
	Húmedo	4 449	11 083	11 617	4 400	900	388	32 837
	Subtotal	4 449	11 745	15 480	16 224	8 571	2 240	58 709
Alto Sinú-Urrá (420 000)	Húmedo	227 801	101 652	35 696	5 121	900	0	371 170
	Subtotal	227 801	101 652	35 696	5 121	900	0	371 170
Área total SZH (1 250 000 ha)		232 250	115 632	61 598	33 147	15 572	4 773	462 972

Bajo Sinú, todos los bosques están entre media y alta fragmentación (Tabla 1, Fig. 3, Fig. 4).

Los bosques transicionales en general (22 803 ha) presentan el 2.9 % (662 ha) de sus coberturas en fragmentación baja-poca ubicadas en el Medio Sinú y el 6.1 % (1 391 ha) en fragmentación alta-extrema, con la mayor proporción en el Medio Sinú (1 092 ha). Los bosques con menor categoría de fragmentación (poca-mínima), corresponden a 232 250 ha de bosque húmedo tropical, distribuidas en el Alto y Medio Sinú. El bosque seco es el que presenta la mayor fragmentación de la cuenca, en total 11 947 ha se encuentran en categoría alta (fuerte y extrema) y se ubican entre el Medio y Bajo Sinú, este último con 2 235 ha con fragmentación alto-extremo. Y el bosque de manglar, aunque con menor representación está igualmente fragmentado, en todas las categorías (Tabla 1, Fig. 3, Fig. 4).

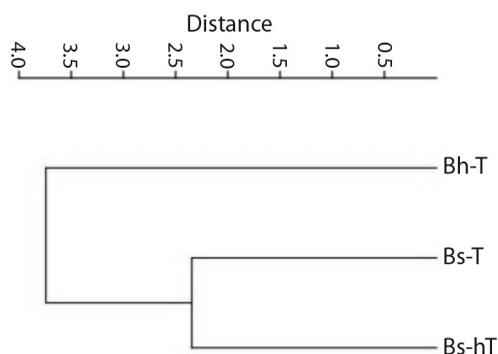
**Composición de lianas:** en el área muestreada se registró 44 familias de lianas, de las cuales 32 familias están representadas en el bosque seco, 29 en la zona transicional y 34 en bosque húmedo. Del total de las especies de lianas identificadas se reportan 22 familias compartidas:

Apocynaceae, Arecaceae, Aristolochiaceae, Asteraceae, Bignoniaceae, Celastraceae, Combrataceae, Convolvulaceae, Dioscoriaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Loganiaceae, Malpighiaceae, Menispermaceae, Passifloraceae, Petiveraceae, Rhamnaceae, Rubiaceae, Sapindaceae, Smilacaceae, Trigoniaceae y Verbenaceae. Una familia exclusiva para la zona de transición que es Annonaceae, cinco familias exclusivas de bosques seco, correspondientes a Amaranthaceae, Icacinaeae, Malvaceae, Polygalaceae y Solanaceae, y siete únicas del bosque húmedo, que son Acanthaceae, Gnetaeae, Piperaceae, Plantaginaceae, Polygonaceae, Ranunculaceae y Shlegeliaceae. Las familias Cucurbitaceae y Nyctaginaceae son compartidas entre bosque seco y bosque húmedo.

El análisis de agrupamiento (Fig. 5) indica una similitud cofenética de 0.74 entre el bs-T y bosques transicionales, es decir, que la composición de lianas entre estos dos bosques tiene más elementos compartidos que con el bh-T.

## DISCUSIÓN

Colombia se destaca a nivel global porque la superficie de bosque natural continental e



**Fig. 5.** Dendrograma de similitud de la composición de lianas en los bosques secos, transicionales y húmedos tropicales, cuenca del río Sinú. Bh-T: Bosque húmedo-Tropical. Bs-T: Bosques seco-Tropical. Bs-hT: Bosques seco-húmedo Tropical (Transicional). / **Fig. 5.** Dendrogram of similarity of liana composition in dry, transitional and humid tropical forests, Sinú River basin. Bh-T: Humid-Tropical Forest. Bs-T: Dry-Tropical Forests. Bs-hT: Tropical dry-humid forests (Transitional).

insular equivale al 52.1 % de su territorio; el 2.8 % de esos bosques están en la región Caribe (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022), de los cuales 462 972 ha están en la cuenca del río Sinú. Se presenta evidencia empírica que permite afirmar que, de esta área de la cuenca, 5 % son bosques transicionales seco-húmedo, 87 % bosques húmedos, 6 % bosques secos, y 2 % son bosques de manglar (Tabla 1). Estas cifras son importantes; la evidencia documental de las coberturas a escalas más detalladas, permiten explorar los cambios espaciotemporales que se han presentado en las mismas y analizar en el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono en Colombia (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022) y el estado de los bosques del mundo (FAO, 2022) hasta la fecha que no han sido considerados.

Las coberturas transicionales entre bosque seco y húmedo en el área han sido ocasionalmente ignoradas en el ámbito científico (Acevedo-Quintero et al., 2023; Ballesteros-Correa et al., 2019; Peñate-Pacheco et al., 2022; Pérez-Torres et al., 2016; Racero-Casarrubia

et al., 2015; Ruiz & Saab, 2020) y de gestión (Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge, 2020); no obstante, en las figuras 2 y 4, evidencian que esta transición se está presentando. Mediante este trabajo, se vislumbra que la caracterización climática se refleja también en las condiciones de ambos bosques de acuerdo con las variables de las zonas de vida de Holdridge (1947) y cumple con el traslape de precipitación que presentan los bosques transicionales o semidecuidos descritos por Dexter et al. (2018) para las tierras bajas de Sur América (< 1 000-3 000 mm/año), y para el Sinú, se da entre 1 200-2 200 mm/año, es decir, se cumple la predicción uno, sobre variables climáticas compartidas. Por lo anterior, se propone que los bosques seco-húmedo de la cuenca del río Sinú, se reconozcan dentro de las áreas de transición del continente, junto con la franja de bosques semidecuidos entre el bosque Atlántico y el bosque seco en la árida Caatinga (noreste de Brasil) y los bosques semidecuidos de la región de la Chiquitania entre Bolivia y Brasil, entre otros.

Se ha sugerido que las transiciones entre bosque seco y bosque húmedo están mediadas principalmente por la disponibilidad de agua (Dexter et al., 2018). Aunque no fue objetivo de este trabajo analizar la oferta de este recurso en la cuenca, se conoce que en el Medio y Bajo Sinú, según la temporada climática, se desarrollan procesos de intercambio de caudales con complejos cenagosos que amortiguan los máximos caudales que provienen de la SZH Alto Sinú y aportan agua en época seca, la ciénaga de Betancí y la de Grande de Lórica (Fig. 1) (Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú, y del San Jorge, 2020; Suárez-Castaño et al., 2019) Se considera el desarrollo de estos bosques transicionales en la cuenca en relación con la llamada disponibilidad intermedia de agua que plantean Oliveira-Filho & Fontes (2006).

Para conocer el estado de los bosques del área de estudio, se aplicó un índice de fragmentación que requirió un procesamiento riguroso para obtener paisajes hexagonales,



bajo una visión integradora junto con la subcategorización de las coberturas fragmentadas (Baja-mínima, baja-poca, media-moderada, media-media, alta-fuerte y alta-extrema), que facilitan la priorización de inversiones en el territorio bajo escenarios más detallados y realistas; estos aspectos pueden ser complemento para otros enfoques integrales como el desarrollado por Yan et al. (2021) en la incorporación del concepto de la complejidad del paisaje para la evaluación de la calidad del agua en cuencas hidrográficas.

La fragmentación hallada en las coberturas boscosas de la cuenca también muestra el panorama general de la configuración de los bosques a escala de paisajística. Esta condición en el área tiene importantes repercusiones, porque incide sobre los patrones y procesos biológicos (Ochoa-Quintero et al., 2015), que deberán ser investigados a futuro.

Los resultados alertan sobre el nivel de fragmentación de las 22 803 ha de los bosques transicionales en la cuenca, solo 662 ha están en categoría baja-poca fragmentación, es decir, que el 70 % (22 141 ha) están en nivel de alta-extrema, aspecto que valida la segunda predicción. De acuerdo con las observaciones en campo, las causas se le pueden atribuir, al desarrollo de las actividades de ganadería y agricultura que predominan en Córdoba, pero no se conocen datos específicos. Según Argel-Fernández & Puerta-Avilés (2023) las coberturas recuperadas en el Bajo Sinú y zona costanera en los últimos años, ya se han fragmentado. El escenario de presiones para el bosque húmedo del Alto Sinú se direcciona a fuertes procesos de explotación maderera (Pérez-Torres et al., 2016).

Ante tales dinámicas de fragmentación, identificar las afinidades florísticas que permitan reconocer la composición compartida de las transiciones con las floras aportantes, provee información para el manejo y delimitación de dichas áreas, así como, para el mapa de la vegetación natural de Colombia (Rangel & Suárez, 2022) donde las clasificaciones de la composición a partir del enfoque fitosociológico, presentan asociaciones donde las lianas no se destacan. Con relación a las lianas, los

bosques transicionales de la cuenca mostraron mayor afinidad florística con el bosque seco, y se corrobora la tercera predicción. Se desconoce alguna publicación donde se haya hecho este análisis con lianas exclusivamente, pero para plantas leñosas en general, los resultados muestran concordancia con Murphy & Lugo (1986) y Pennington et al. (2000), pero contrastan con Banda et al. (2016) quienes encontraron que estas coberturas se han relacionado más con bosques húmedos. En las transiciones de la cuenca, se destaca el registro exclusivo de la familia Annonaceae, porque según Acevedo-Rodríguez (2015), este grupo de lianas se desarrolla principalmente en ambientes húmedos, un aspecto que genera expectativas para seguir explorando la diversidad de lianas en esta área.

La RNSC Santa Isabel (P6) y la RNSC La Zoconita (P7), deberían ser priorizadas porque a través del trabajo de campo se corroboran los resultados de los análisis a escala paisajística. P6 cuenta con bosque transicional seco-húmedo y P7 con bosque seco, hallazgos que discrepan con las resoluciones de la declaratoria de estas áreas protegidas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2012; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2020).

Los resultados de este estudio han revelado la descripción de los bosques tropicales en la cuenca del río Sinú, destacando la importancia de investigaciones locales en el contexto de una cuenca hidrográfica. Se contribuye a cerrar la brecha en el conocimiento para la determinación de los patrones de distribución de los bosques tropicales transicionales seco-húmedo con la aplicación de una metodología integradora replicable. Se sugiere, basados en evidencia empírica, reconocer los bosques transicionales seco-húmedos de la cuenca del río Sinú como otro tipo de coberturas vegetales que pueden representar un interés investigativo sobre los procesos ecológicos relevantes bajo escenarios de cambio climático como: identificación de taxones resilientes a ambientes extremos, refugios climáticos, entre otros; con prioridad en grupos taxonómicos poco estudiados, que

aportan a la comprensión de las dinámicas, patrones y conectividad espaciotemporal de dichos refugios (Mokany et al., 2016). Las lianas, son un excelente modelo de estudio, porque el cambio climático se postula como un impulsor del aumento en la abundancia de estas plantas (Vogado et al., 2022) y esto tiene efectos sobre la estructura y composición de los ecosistemas tropicales (Schnitzer et al., 2020).

A nivel ecosistémico, sobre los bosques que aportan elementos florísticos y faunísticos a las transiciones estudiadas, Manrique-Ascencio et al. (2024), afirman que el Bosque Seco Estacional Neotropical, será uno de los más amenazados según las predicciones de cambio global, ante escenarios con aumento en la estacionalidad de la temperatura media y la precipitación, que conllevarán a disminuciones significativas en la riqueza y distribución de plantas; y Sales & Pires (2023) han planteado que los bosques húmedos tropicales con gran altitud y topografía compleja concentrarán la mayor diversidad local de refugios de especies. Estos resultados generan expectativas frente a los resultados que arrojen investigaciones similares en las zonas transicionales de estos dos bosques, porque tal como lo manifiesta Igu (2023), comprender la dinámica y los patrones de diversidad en los bosques de transición es vital para promover la conservación y abordar las problemáticas del cambio ambiental. Por tal motivo, se propone la inclusión de los bosques transicionales secos-húmedos en las prioridades de conservación de autoridades ambientales, en los procesos de ordenamiento y manejo del territorio a diferentes escalas geográficas y niveles de gestión.

**Declaración de ética:** la autora declara que está de acuerdo con esta publicación; que no existe conflicto de interés de ningún tipo; y que ha cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

## AGRADECIMIENTOS

A la Empresa URRÁ S.A. E.S.P. y a las comunidades que otorgaron el permiso de ingreso a las áreas para la realización de esta investigación; al equipo de trabajo en campo y de apoyo en el herbario HUC con el procesamiento de material, representados por Liseth Ossa y Jesús D. Pacheco. A José D. Vega y Fabián Camargo por el trabajo en el procesamiento de imágenes y Julio Anaya por sus aportes para estimar el índice de fragmentación. A Lúcia Lohmann, Marcelo Pace y Pedro Acevedo con la determinación del material vegetal.

## REFERENCIAS

- Acevedo-Quintero, J. F., Zamora-Abrego, J. G., Chica-Vargas, J. P., & Mancera-Rodríguez, N. J. (2023). Rasgos funcionales de frutos con importancia particular para los dispersores de semillas en el bosque seco tropical. *Revista de Biología Tropical*, 71(1), e52288. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v71i1.52288>
- Acevedo-Rodríguez, P. (2015). *Lianas and climbing plants of the Neotropics*. Smithsonian Institution. <https://naturalhistory.si.edu/research/botany/research/lianas-and-climbing-plants-neotropics>
- Aguilar-Corrales, D. A., Cabrera-Montenegro, E., Castellanos-Quiroz, H. O., Corredor, L. P., Cruz, A. E., García-Valencia, C., Latorre-Parra, J. P., Martínez-Ardilla, N. J., Martín-Novoa, C. G., Montenegro-Calderón, L., Murcia-García, U. G., Rodríguez-Rondón, J. M., Ramírez-Daza, H. M., Rodríguez-Eraso, N., Rojas-Suárez, A., Romero-Reyes, J. A., Ruiz-Linares, J., Romero-Ruiz, M. H., & Rozo-Garzón, D. M. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Argel-Fernández, A. J., & Puerta-Avilés, O. (2023). Composición y configuración del paisaje en municipios con bosques remanentes en la franja noroeste de Córdoba y Sucre, Colombia (1985-2020). *Estudios Socioterritoriales Revista de Geografía*, (33), 1–23. <https://doi.org/10.37838/unicen/est.33-151>
- 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>
- Banda, K., Delgado-Salinas, A., Dexter, K. G., Linares-Palomino, R., Oliveira-Filho, A., Prado, D., Pullan,



- M., Quintana, C., Riina, R., Rodríguez, G. M., Weintritt, J., Acevedo-Rodríguez, P., Adarve, J., Álvarez, E., Aranguren B., A., Arteaga, J. C., Aymard, G., Castaño, A., Ceballos-Mago, N., ... & Pennington, R. T. (2016). Plant diversity patterns in Neotropical dry forests and their conservation implications. *Science*, 353(6306), 1383–1387. <https://doi.org/10.1126/science.aaf5080>
- Bernal, R., Gradstein, R., & Celis, M. (2016). *Catálogo de plantas y líquenes en Colombia. Volumen 1*. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales.
- Blundo, C., Carilla, J., Grau, R., Malizia, A., Malizia, L., Osinaga-Acosta, O., Bird, M., Bradford, M., Catchpole, D., Ford, A., Graham, A., Hilbert, D., Kemp, J., Laurance, S., Laurance, W., Ishida, F. Y., Marshall, A., Waite, C., Woell, H., ... & Tran, H. D. (2021). Taking the pulse of Earth's tropical forests using networks of highly distributed plots. *Biological Conservation*, 260, 108849. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108849>
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. (2008). *Plan de Gestión Ambiental Regional-PGAR. Actual. 008-2019*. Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge.
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. (2020). *Plan de Acción Institucional 2020-2031*. <https://cvs.gov.co/download/775/participa/16163/plan-de-accion-institucional-2020-2023-3.pdf>
- Dexter, K. G., Pennington, R. T., Oliveira-Filho, A. T., Bueno, M. L., Silva de Miranda, P. L., & Neves, D. M. (2018). Inserting tropical dry forests into the discussion on biome transitions in the tropics. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 104. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00104>
- Esri. (2015). *ArcGIS Desktop* (Versión 10.4.1.5686) [Computer software]. Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Etter, A., Andrade, A., Saavedra, K., Amaya, P., & Arevalo, A. (2017). *Estado de los ecosistemas colombianos: una aplicación de la metodología de la Lista Roja de Ecosistemas (Vers. 2.0)* [Informe técnico]. Pontificia Universidad Javeriana y Conservación Internacional Colombia. [https://www.conservation.org.co/media/A7.LRE-Colombia\\_INFORME%20FINAL\\_%202017.pdf](https://www.conservation.org.co/media/A7.LRE-Colombia_INFORME%20FINAL_%202017.pdf)
- Etter, A., McAlpine, C., & Possingham, H. (2008). Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: A regionalized spatial approach. *Annals of the American Association of Geographers*, 98(1), 2–23. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00045600701733911>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *El estado de los bosques del mundo 2022. Vías forestales hacia la recuperación verde y la creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360es>
- García, H., Corzo, G., Isaac, P., & Etter, A. (2014). Distribución del estado actual de los remanentes del bioma de bosque seco tropical en Colombia: Insumos para su gestión. En C. Pizano, & H. García (Eds.), *El bosque seco tropical en Colombia* (pp. 228–251). Instituto de Investigaciones y Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9333>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). *PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis* (Version 4.0) [Software de cómputo]. Øyvind Hammer.
- Hexagon Geospatial. (2015). *ERDAS Imagine 2015* (Version 2015) [Software de cómputo]. Hexagon Geospatial.
- Holdridge, L. R. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105(2727), 367–368. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.105.2727.367>
- IBM Corp. (2023). *IBM SPSS Statistics for Windows* (Version 29.0.2.0.) [Software de cómputo]. IBM Corp. <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-29020>
- Igu, N. I. (2023). Species Distribution and Patterns in a Forest-savannah Ecotone: Environmental Change and Conservation Concerns. *Journal of Botanical Research*, 5(3), 27–35. <https://doi.org/10.30564/jbr.v5i3.5588>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque-Año 2021*. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/126555417/Cifras+de+monitoreo+de+la+superficie+de+bosque+y+la+deforestaci%C3%B3n+2021.pdf/e665b4ef-4f87-467c-b2ad-a09d79a99d56?version=1.0>
- Kojima, T. (2022). Relationship between forest stand condition and water balance in a forested basin. In F. Li, Y. Awaya, K. Kageyama, & Y. Wei (Eds.), *River basin environment: Evaluation, management and conservation* (pp. 231–259). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-4070-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-19-4070-5_11)
- Landholm, D. M., Pradhan, P., & Kropp, J. P. (2019). Diverging forest land use dynamics induced by armed conflict across the tropics. *Global Environmental Change*, 56, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.03.006>

- Li, Y., Qin, Y., & Rong, P. (2022). Evolution of potential evapotranspiration and its sensitivity to climate change based on the Thornthwaite, Hargreaves, and Penman-Monteith equation in environmental sensitive areas of China. *Atmospheric Research*, 273, 106178. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106178>
- Manrique-Ascencio, A., Prieto-Torres, D. A., Villalobos, F., Mercado Gómez, J., & Guevara, R. (2024). Limited drought tolerance in the neotropical seasonally dry forest plants impairs future species richness. *Plant Biology*. <https://doi.org/10.1111/plb.13683>
- Martínez-Acosta, L., Medrano-Barboza, J. P., López-Ramos, Á., Remolina López, J. F., & López-Lambraño, Á. A. (2020). SARIMA approach to generating synthetic monthly rainfall in the Sinú river watershed in Colombia. *Atmosphere*, 11(6), 602. <https://doi.org/10.3390/atmos11060602>
- McGarigal, K. (2014). *Fragstats 4.2* [Software de cómputo]. <https://www.fragstats.org/>
- McGarigal, K., & Cushman, S. A. (2002). Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological Applications*, 12(2), 335–345. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[0335:CEOEAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[0335:CEOEAT]2.0.CO;2)
- McNally, A., & Hydrological Science Laboratory-Goddard Space Flight Center-National Aeronautics and Space Administration. (2018). *FLDAS Noah land surface Model L4 global monthly 0.1 x 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS), Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)* [Base de datos]. [https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/FLDAS\\_NOAH01\\_C\\_GL\\_M\\_001](https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/FLDAS_NOAH01_C_GL_M_001)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2012). *Resolución 026 del 13 de julio de 2012*. <https://runap.parquesnacionales.gov.co/area-protegida/691>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2020). *Resolución 045 del 08 de abril de 2020*. <https://runap.parquesnacionales.gov.co/area-protegida/1687>
- Mokany, K., Jordan, G. J., Harwood, T. D., Harrison, P. A., Keppel, G., Gilfedder, L., Carter, O., & Ferrier, S. (2016). Past, present and future refugia for Tasmania's palaeoendemic flora. *Journal of Biogeography*, 44(7), 1537–1546. <https://doi.org/10.1111/jbi.12927>
- Murphy, P. G., & Lugo, A. E. (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 67–88. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.17.110186.000435>
- Ochoa-Quintero, J. M., Gardner, T. A., Rosa, I., de Barros Ferraz, S. F., & Sutherland, W. J. (2015). Thresholds of species loss in Amazonian deforestation frontier landscapes. *Conservation Biology*, 29(2), 440–451. <https://doi.org/10.1111/cobi.12446>
- Oliveira-Filho, A. T., & Fontes, M. A. L. (2006). Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. *Biotropica*, 32(4b), 793–810. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x>
- Palmer, W. C., & Havens, A. V. (1958). A graphical technique for determining evapotranspiration by the Thornthwaite method. *Monthly Weather Review*, 86(4), 123–128.
- Peñate-Pacheco, L., Gil-Novoa, J. E., & Carrillo-Fajardo, M. Y. (2022). Diversidad taxonómica y funcional de briófitos en diferentes coberturas de un bosque seco tropical, Córdoba (Colombia). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 57(4), 687–704. <http://dx.doi.org/10.31055/1851.2372.v57.n4.36922>
- Pennington, R. T., Prado, D. E., & Pendry, C. A. (2000). Neotropical seasonally dry forests and quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography*, 27(2), 261–273. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00397.x>
- Pérez-Torres, J., Vidal-Pastrana, C., & Racero-Casarrubia, J. (Eds.). (2016). *Biodiversidad asociada a los sectores Manso y Tigre del Parque Nacional Natural Paramillo*. Parques Nacionales Naturales de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Pfister, J. L. (2004). *Using landscape metrics to create an index of forest fragmentation for the state of Maryland* [Tesis doctoral no publicada]. Towson University.
- Racero-Casarrubia, J., Ballesteros-Correa, J., & Pérez-Torres, J. (2015). Mamíferos del departamento de Córdoba-Colombia: historia y estado de conservación. *Biota Colombiana*, 16(2), 128–148.
- Rangel, O., & Suárez, M. (Eds.). (2022). *Memoria técnica del Mapa de la vegetación natural de Colombia* (1a Ed.). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia.
- Ruiz, V. R., & Saab, R. H. P. (2020). Diversidad florística del bosque seco tropical en las subregiones bajo y medio Sinú, Córdoba, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 167–179. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i1.38286>
- Sales, L. P., & Pires, M. M. (2023). Identifying climate change refugia for South American biodiversity. *Conservation Biology*, 37(4), e14087. <https://doi.org/10.1111/cobi.14087>
- Sapena, M., & Ruiz, L. A. (2015). Descripción y cálculo de índices de fragmentación urbana: Herramienta IndiFrag. *Revista de Teledetección*, 43, 77–90. <https://doi.org/10.4995/raet.2015.3476>
- Schindler, S., Poirazidis, K., & Wrba, T. (2008). Towards a core set of landscape metrics for biodiversity



- assessments: A case study from Dadia National Park, Greece. *Ecological Indicators*, 8(5), 502–514. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.06.001>
- Schnitzer, S. A. (2018). Testing ecological theory with lianas. *New Phytologist*, 220(2), 366–380. <https://doi.org/10.1111/nph.15431>
- Schnitzer, S. A., Bongers, F., Burnham, R. J., & Putz, F. E. (Eds.). (2014). *The ecology of lianas*. John Wiley & Sons.
- Schnitzer, S. A., Michel, N. L., Powers, J. S., & Robinson, W. D. (2020). Lianas maintain insectivorous bird abundance and diversity in a Neotropical Forest. *Ecology*, 101(12), e03176. <https://doi.org/10.1002/ecy.3176>
- Suárez-Castaño, R., Rodríguez, C. A., Ramírez-Huertas, M. L., Pabon, W. A., Guerrero, O. J., Zambrano-Fajardo, S. L., Bernal-Forero, C. A., Fajardo-Triana, D. F., Almonacid, I., Escudero-Vasquez, C. Y., & Villalba-Cifuentes, A. (2019). *Reporte de alerta subzonas hidrográficas río Sinú y Alto San Jorge SZH-RSASJ* [Informe técnico]. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. <https://www.anla.gov.co/documentos/biblioteca/27-01-2021-anla-rash-rio-sinu-alto-san-jorge.pdf>
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55–94.
- Urquhart, G. (2020). The Neotropical Rain-forests. In M. I. Goldstein, & D. A. DellaSala (Eds.), *Encyclopedia of the world's biomes* (pp. 56–65). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11805-6>
- Vanegas-Cubillos, M., Sylvester, J., Villarino, E., Pérez-Marulanda, L., Ganzenmüller, R., Löhr, K., Bonatti, M., & Castro-Núñez, A. (2022). Forest cover changes and public policy: A literature review for post-conflict Colombia. *Land Use Policy*, 114, 105981. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.105981>
- Vogado, N. O., Engert, J. E., Linde, T. L., Campbell, M. J., Laurance, W. F., & Liddell, M. J. (2022). Climate change affects reproductive phenology in lianas of Australia's wet tropics. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, 787950. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.787950>
- Yan, W., Chen, H., Wang, Y., & Chen, C. (2021). The effect of landscape complexity on water quality in mountainous urbanized watersheds: A case study in Chongqing, China. *Landscape and Ecological Engineering*, 17, 165–193. <https://doi.org/10.1007/s11355-021-00448-9>