

# Patrón multivariado de la cobertura arbórea en un relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal (Colombia)\*

Luis Alfredo Lozano Botache<sup>a</sup> ■ Angie Liseth Bahena Bonilla<sup>b</sup>  
■ Lina Marcela Bahena Bonilla<sup>c</sup>

**Recibido:** 03/12/2025 | **Aceptado:** 25/08/2026

**Cómo citar:** L. A. Lozano-Botache, A. L. Bahena-Bonilla y L. M. Bahena-Bonilla, "Patrón multivariado de la cobertura arbórea en un relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal (Colombia)", *Rev. Fac. Cienc. Básicas*, vol. 20, n.º 2, 7787, 2026. <https://doi.org/10.18359/rfcb.7687>

**Resumen:** Esta investigación evalúa variables ambientales y dasométricas para identificar un patrón multivariado de la cobertura arbórea con diámetro normal  $\geq 5$  cm en un relicto ribereño de bosque seco tropical (bs-T), ubicado en el Centro Universitario Regional del Norte de la Universidad del Tolima (Colombia), sobre la quebrada La Zorra, afluente del río Sabandija. Se establecieron cuatro parcelas distribuidas al azar, perpendiculares al cauce, para evaluar la composición florística, el diámetro normal, la altura total y de reiteración, la cobertura del dosel, la luminosidad, la temperatura y la humedad ambiental y del suelo. La diversidad se caracterizó mediante números de Hill ( $q = 0, 1$  y  $2$ ) y rarefacción basada en la cobertura, utilizando iNEXT en R; además, se aplicó un análisis de conglomerados jerárquicos para identificar similitudes entre las parcelas. Se evidenció un dosel continuo, con árboles de hasta 24 m de altura, asociado a una mayor humedad y una menor luminosidad. Se identificaron especies importantes para la conservación, como *Ormosia macrophylla*, *Myrcia multiflora* y *Erythroxylum* sp. La parcela 3 presentó la mayor riqueza y diversidad efectivas ( $q_0 = 29$ ;  $q_1 = 21,54$ ;  $q_2 = 17,46$ ), mientras que la parcela 4 presentó valores menores. El análisis mostró similitud entre las parcelas 2, 3 y 4 y mayor disimilitud en la parcela 1. El relicto presenta condiciones ambientales similares entre las parcelas, con diferencias en la diversidad alfa y en el patrón multivariado, lo que lo convierte en un referente para la conservación y la restauración ecológica.

**Palabras clave:** bosque seco tropical; cobertura arbórea; diversidad alfa; estructura de la vegetación; variables ambientales; análisis multivariado.

---

\* Artículo de investigación.

**a** Magíster en Ciencias Biológicas y profesor asociado, Universidad del Tolima (Colombia). Correo electrónico: [lozano@ut.edu.co](mailto:lozano@ut.edu.co); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1448-8794>

**b** Ingeniera Forestal, Universidad del Tolima (Colombia). Correo electrónico: [albahenab@ut.edu.co](mailto:albahenab@ut.edu.co); ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6738-4946>

**c** Ingeniera Forestal, Universidad del Tolima (Colombia). Correo electrónico: [lbahenab@ut.edu.co](mailto:lbahenab@ut.edu.co); ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8592-3417>

## *Multivariate pattern of tree cover in a tropical dry forest relict at CURDN, Armero-Guayabal (Colombia)*

**Abstract:** This study evaluates environmental and dasometric variables to identify a multivariate pattern of tree cover with a normal diameter  $\geq 5$  cm in a riparian tropical dry forest (TDF) relict located at the Centro Universitario Regional del Norte of the Universidad del Tolima (Colombia), along the La Zorra stream, a tributary of the Sabandija River. Four randomly distributed plots, perpendicular to the watercourse, were established to assess floristic composition, normal diameter, total and reiteration height, canopy cover, light availability, temperature, and both ambient and soil moisture. Diversity was characterized using Hill numbers ( $q = 0, 1$ , and  $2$ ) and coverage-based rarefaction with the iNEXT package in R; in addition, hierarchical cluster analysis was applied to identify similarities among plots. A continuous canopy was observed, with trees reaching up to 24 m in height, associated with higher moisture levels and reduced light availability. Species of conservation importance were identified, including *Ormosia macrophylla*, *Myrcia multiflora*, and *Erythroxylum* sp. Plot 3 exhibited the highest effective richness and diversity ( $q_0 = 29$ ;  $q_1 = 21.54$ ;  $q_2 = 17.46$ ), while Plot 4 showed lower values. The analysis revealed similarity among plots 2, 3, and 4, and greater dissimilarity in Plot 1. The relict presents similar environmental conditions across plots, with differences in alpha diversity and multivariate pattern, making it a valuable reference site for conservation and ecological restoration.

**Keywords:** tropical dry forest; tree cover; alpha diversity; vegetation structure; environmental variables; multivariate analysis.

## *Padrão multivariado da cobertura arbórea em um relicto de floresta tropical seca do CURDN, Armero-Guayabal (Colômbia)*

**Resumo:** Esta pesquisa avalia variáveis ambientais e dasométricas para identificar um padrão multivariado da cobertura arbórea com diâmetro normal  $\geq 5$  cm em um relicto ripário de floresta tropical seca (FTS), localizado no Centro Universitario Regional del Norte da Universidad del Tolima (Colômbia), às margens do córrego La Zorra, afluente do rio Sabandija. Foram estabelecidas quatro parcelas distribuídas aleatoriamente, perpendiculares ao leito do curso d'água, para avaliar a composição florística, o diâmetro normal, a altura total e de reiteração, a cobertura do dossel, a luminosidade, a temperatura e a umidade ambiental e do solo. A diversidade foi caracterizada por meio de números de Hill ( $q = 0, 1$  e  $2$ ) e rarefação baseada na cobertura, utilizando o pacote iNEXT no R; além disso, aplicou-se uma análise de agrupamento hierárquico para identificar similaridades entre as parcelas. Constatou-se um dossel contínuo, com árvores de até 24 m de altura, associado a maior umidade e menor luminosidade. Foram identificadas espécies de importância para a conservação, como *Ormosia macrophylla*, *Myrcia multiflora* e *Erythroxylum* sp. A parcela 3 apresentou a maior riqueza e diversidade efetivas ( $q_0 = 29$ ;  $q_1 = 21,54$ ;  $q_2 = 17,46$ ), enquanto a parcela 4 registrou os menores valores. A análise evidenciou similaridade entre as parcelas 2, 3 e 4, e maior dissimilaridade na parcela 1. O relicto apresenta condições ambientais semelhantes entre as parcelas, com diferenças na diversidade alfa e no padrão multivariado, o que o torna uma referência para a conservação e a restauração ecológica.

**Palavras-chave:** floresta tropical seca; cobertura arbórea; diversidade alfa; estrutura da vegetação; variáveis ambientais; análise multivariada.

## Introducción

Las diversas condiciones ambientales de Colombia han permitido el uso de clasificaciones como por ejemplo la de Holdridge [1], en la cual, a partir de la precipitación promedia anual, la biotemperatura promedia anual y la altura con respecto al nivel del mar (o la latitud, en otros casos), es posible una clasificación de zonas de vida, con una descripción de cobertura vegetal potencial a cada zona [2]. Al interés de esta investigación, corresponde la zona de vida bs-T, con precipitación media anual de hasta 1791,2 mm, temperatura media anual de 28,2°C y altitudes menores a 1000 m [3]. El bs-T es un bioma que incluye una variedad de formaciones vegetales, que van desde matorrales xéricos hasta bosques siempreverdes y caducifolios [4]. Este bioma se caracteriza por una estacionalidad pronunciada, con periodos de sequía que oscilan entre 3 y 8 meses, una o dos temporadas de lluvias al año [5]. Dicha estacionalidad induce adaptaciones específicas en las plantas para afrontar el déficit hídrico, lo que se traduce en altas tasas de endemismo y una notable diversidad [6].

El bs-T es considerado uno de los ecosistemas degradados, fragmentados y poco estudiados de Colombia. Cerca del 92% del territorio donde el bs-T se distribuía naturalmente ha sido transformado en una gran matriz poblada y productiva que rodea pequeños fragmentos de bosque [7]. Estos bosques están altamente amenazados debido a presiones antrópicas históricas que han afectado negativamente su conservación, entre ellas la perturbación por obras de infraestructura, actividades de quema, ganadería, plantaciones y monocultivos agrícolas [8]. Se ha observado que los valles interandinos, especialmente el valle geográfico del río Magdalena, la región Norteandina y el valle del río Patía, son las áreas con los mayores impactos antrópicos [9]. Además, las zonas con los mayores procesos de degradación del suelo por erosión en Colombia coinciden con áreas de bosque seco y, dado que estos se encuentran principalmente en regiones secas, son más susceptibles a la degradación [10].

El departamento del Tolima representa cerca del 7% del área total de bs-T del país [11]. Asimismo,

este departamento tiene más o menos el 49,8% de su territorio dentro de la zona de vida de bs-T [12]; sin embargo, solo el 4% se mantiene en fragmentos boscosos. Las cifras anteriores contextualizan las amenazas a la conservación de este ecosistema derivadas de la perturbación causada por obras de infraestructura, actividades de fuego, ganadería, plantaciones y monocultivos agrícolas [7].

La caracterización de la diversidad alfa permite evaluar la composición de las comunidades vegetales a partir de su riqueza y abundancia relativa. En este sentido, los números de Hill permiten expresar la diversidad como números efectivos de especies, considerando diferentes niveles de dominancia ( $q = 0$ ,  $q = 1$  y  $q = 2$ ) [13], [14]. Para comparar las parcelas, la rarefacción y la extrapolación basadas en la cobertura permiten estandarizar las muestras según su completitud, lo cual reduce el efecto de las diferencias en el esfuerzo de muestreo [15], [16].

De manera complementaria, el análisis de conglomerados posibilita identificar agrupaciones de parcelas con características ambientales, florísticas y estructurales similares, lo que facilita la detección de patrones multivariados en la comunidad vegetal.

Con el propósito de proporcionar una comprensión detallada de esta zona de vida, el objetivo de esta investigación fue identificar un patrón multivariado mediante el análisis de la relación entre variables ambientales y dasométricas en un bs-T. Específicamente, se buscó determinar la macroestructura del hábitat, la biodiversidad alfa de la vegetación arbórea, las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad del aire y del suelo, así como la luminosidad y la cobertura. Este estudio se llevó a cabo en un relicto ribereño ubicado en Armero-Guayabal, al norte de Tolima (Colombia), con el fin de proporcionar herramientas útiles para programas de restauración ecológica.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El relicto ribereño de bs-T se encuentra dentro del Centro Universitario Regional del Norte

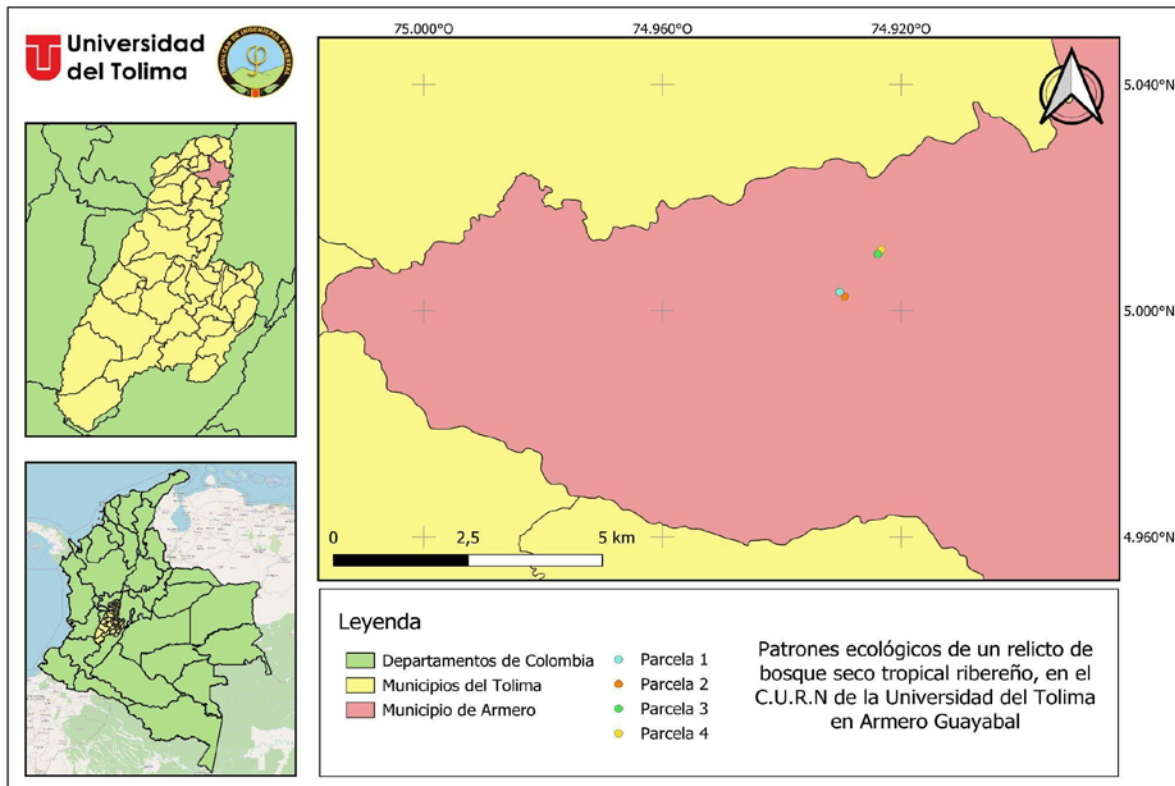


**Figura 1.** Ubicación geográfica del CURDN y de las cuatro parcelas, Universidad del Tolima, municipio de Armero-Guayabal, departamento del Tolima [3]

(CURDN) de la Universidad del Tolima (Colombia). De acuerdo con la cartografía temática del CURDN, el relicto se ubica al suroccidente de la granja, en el curso de la quebrada La Zorra, en una extensión aproximada de 90,42 ha, entre los 432 y 520 m de altitud y entre las coordenadas 74°55'23,6"-74°55'48,8" W y 5°00'34,9"-5°00'09,1" N (figura 1).

## Criterios de selección y variables dentro de una parcela

Los criterios de selección se basaron en identificar, sobre cartografía de cobertura y uso del suelo, bosques ribereños con árboles de alturas superiores a 15 m de altura, con intervención antrópica moderada, dado que el uso de los terrenos con pendiente suave es de pastoreo extensivo de vacunos, y que además tuvieran un área representativa y continua, lo suficientemente grande como para establecer una parcela representativa y ser considerada una *mancha* de bosque. Se incluyeron variables

ambientales como la temperatura del suelo, la luminosidad y la cobertura proyectada por el dosel sobre el suelo del bosque. Además, se evaluaron variables edáficas, como la textura, la estructura y la humedad del suelo. De manera similar, se analizó la composición florística de plantas de hábito arbóreo hasta el nivel taxonómico mínimo posible en individuos con un diámetro normal mayor o igual a 5 cm, o a la mitad de la altura total si no se cuenta con suficiente para marcar el diámetro normal.

## Metodología para la toma de la información

Se tomó como línea de orientación base para cada parcela, la perpendicular al curso de la quebrada La Zorra o a otro cuerpo de agua menor y afluente de esta. Las parcelas se establecieron con un ancho de 20 m y una longitud o profundidad variable, determinada por el borde de la cobertura boscosa, formando así la parcela principal o unidad de

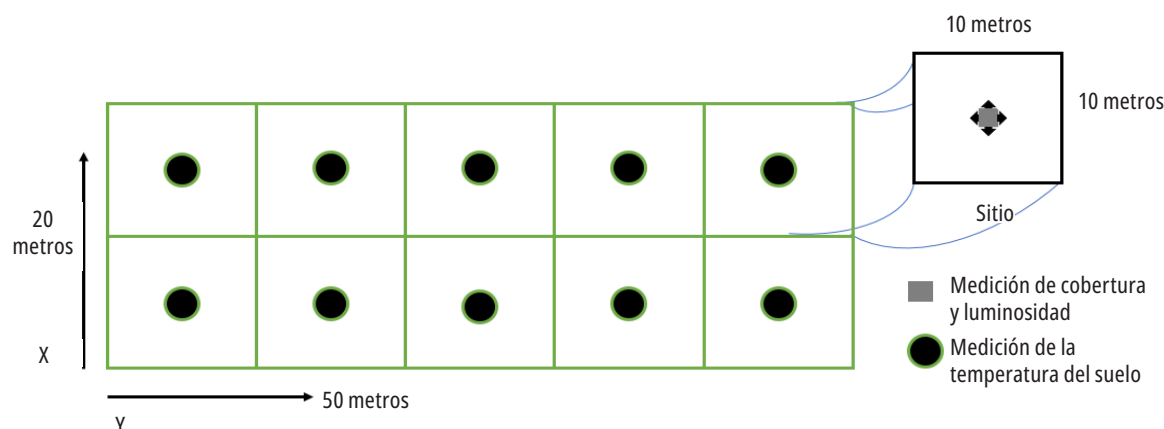


**Figura 2.** Parcela principal donde se muestran las parcelas secundarias y los sitios de medición

muestreo. A su vez, cada parcela principal se dividió en parcelas secundarias de  $10 \times 10$  m ( $100 \text{ m}^2$ ), con el propósito de identificar cualquier variación que pudiera presentarse desde la orilla de la quebrada hasta el límite del bosque. Seguidamente, las parcelas secundarias se subdividieron en sitios o parcelas de  $5 \times 5$  m ( $25 \text{ m}^2$ ), lo que permitió el orden y el control de las mediciones (figura 2).

Las parcelas se delimitaron con tubos de PVC y con cuerda o cinta plástica. Las coordenadas geográficas de las unidades de muestreo o parcelas se determinaron con un GPS Garmin Etrex. La cobertura se midió con un densiómetro cóncavo, tomando el promedio de cuatro lecturas porcentuales, realizadas en el centro de cada parcela secundaria y orientadas según la dirección o el sentido de cada parcela.

La luminosidad relativa fue medida con dos luxómetros (Extech): uno a plena exposición en un claro del bosque y otro en el centro de cada parcela secundaria, procurando tomar ambas lecturas al mismo tiempo. Para medir la temperatura del suelo, se tomaron las parcelas secundarias en sus centros, con un termómetro graduado en grados centígrados. La medición diamétrica se realizó con cinta métrica con una precisión de 1 mm. La composición florística y la determinación de los individuos se realizaron colectando muestras vegetales con órganos reproductores y otras sin ellos (ramas y cortezas) y comparándolas en el herbario Toli de la Universidad del Tolima.

Para validar la taxonomía de las especies forestales, se consultó la plataforma Plants of the World Online (POWO) del Royal Botanic Garden (POWO) [17], con el fin de garantizar la correcta nomenclatura y la actualización taxonómica de las especies registradas. Por otra parte, para establecer la relevancia del patrón, dentro del relicto se tomaron, como comparación, las mismas variables ambientales en sitio abierto, en pastizales, fuera del relicto y fuera de las parcelas.

## Evaluación de los datos

Se calculó el índice de valor de importancia definido por Curtis y McIntosh (1951) [18], el cual se calcula para cada especie a partir de la suma de la abundancia relativa, la frecuencia relativa y la dominancia relativa, y se presenta en tablas resumidas, en las que se ordenan las especies de acuerdo con su índice de valor de importancia en forma decreciente [19]. Los resultados fueron evaluados conforme a los criterios propuestos por Caviedes [20].

Por otra parte, la diversidad de las comunidades se evaluó mediante los índices de Hill ( $qD$ ), una familia de índices que permite analizar la diversidad efectiva con diferentes sensibilidades a especies raras o dominantes [13]. La ecuación general empleada fue:

$$qD = \left( \sum_{i=1}^s p_i^q \right)^{1/(1-q)} \quad (1)$$

En la cual:

$qD$ : número de Hill del parámetro  $q$ , que determina la sensibilidad del índice.

$S$ : número total de especies observadas en la comunidad.

$p_i$ : proporción relativa de abundancia de la especie  $i$  ( $p_i = n_i/N$ ), en la que  $n_i$  es el número de individuos de la especie  $i$  y  $N$  es el número total de individuos muestreados).

El valor de  $q$  determina el peso asignado a las especies raras o dominantes:

$q = 0$ : mide la riqueza de especies sin considerar las abundancias relativas.

$q = 1$ : mide la diversidad efectiva según el índice de Shannon, utilizando su forma adaptada a la indeterminación matemática.

$q = 2$ : mide la diversidad efectiva según el índice de Simpson, priorizando las especies dominantes.

Para  $q = 1$ , se utilizó la expresión basada en el límite matemático del índice de Shannon (2) [21]:

Igual a la 1, mayúscula  $D$ ,

$$igual a {}^1D = EXP\left(-\sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)\right) \quad (2)$$

Por su parte, para  $q = 2$ , el número de Hill corresponde a la inversa del índice de Simpson (3) [19]:

$D$  al cuadrado,

$$igual a 1 entre el {}^2D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S p_i^2} \quad (3)$$

El uso de diferentes valores de  $qqq$  permite interpretar la diversidad desde una perspectiva que considera todas las especies de manera uniforme ( $q = 0$ ) hasta otra que se centra en las especies más abundantes ( $q = 2$ ).

Para garantizar la comparabilidad entre comunidades, se normalizaron los datos mediante rarefacción por cobertura [15]. Este procedimiento ajusta las abundancias a un nivel común de cobertura ( $C$ ) (4).

$$C = 1 - \frac{f_1}{N} \quad (4)$$

En la cual:

$f_1$ : número de especies representadas por un solo individuo (*singletons*).

$N$ : número total de individuos muestreados.

Todas las métricas de diversidad fueron calculadas utilizando el paquete iNEXT, versión 3.0.2 [22], en R, versión 4.6.1 [23], mediante procedimientos de rarefacción y extrapolación basados en la cobertura [15].

Además, se realizó un análisis jerárquico de conglomerados para identificar patrones ecológicos entre las parcelas. Los datos se estandarizaron mediante puntuaciones  $Z$ , con el fin de garantizar su comparabilidad entre las diferentes escalas de medición, utilizando la expresión  $Z_{ij} = (X_{ij} - \bar{X}_j)/S_j$ .

Posteriormente, se empleó la distancia euclidiana y el método de enlace completo, utilizando el paquete Stats de R versión 4.6.1 [23]. El resultado se representó en un dendrograma, lo que permitió visualizar las relaciones de similitud y de diferencia entre las parcelas.

Los perfiles de vegetación fueron elaborados mediante ilustración botánica a partir de los datos de campo y, luego, mejorados con herramientas de inteligencia artificial; se graficó el diagrama de Ogawa [24] para cada parcela.

## Resultados

### Variables ambientales en cobertura de pastizales

Las variables ambientales se midieron en áreas de pastizal con plena exposición, fuera del relicto. Los datos se recopilaron en campo entre octubre del 2023 y junio del 2024, no distantes de la estación meteorológica Armero Granja [21255090], perteneciente al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), que abarca tanto la temporada seca como la de lluvias, registrándose los valores máximos y mínimos durante este periodo (tabla 1) [25].

**Tabla 1.** Promedio de las variables ambientales en la cobertura de pastura

| Temperatura ambiental (°C) | Humedad relativa ambiental (%) | Temperatura del suelo (°C) | Cobertura de dosel sobre el suelo (%) | Luminosidad (%) |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 31,8                       | 75,5                           | 23                         | 0                                     | 100             |

### Variables ambientales en cobertura de bosque

Las variables se midieron en el centro de cada sub-parcela. Los datos se recopilaron entre octubre del 2023 y junio del 2024, y se abarcó tanto la temporada seca como la de lluvias, registrándose los valores máximos y mínimos durante este periodo (tabla 2).

Por suma algebraica de las coberturas, se observa una diferencia de 1,55 °C en la temperatura ambiente, de 0,07 °C en la temperatura del suelo y del 99,85 % en la luminosidad entre la cobertura de pastura y el relicto de bosque. Por otro lado, la humedad relativa aumenta en el 5,28 % y la cobertura del dosel es mayor en el relicto de bosque en el 88,27 %. Mediante análisis de correlación de Pearson se encontró una relación negativa y de sentido inverso, lo cual indica que, bajo cobertura de dosel, es menor la temperatura ambiental y mayor la humedad relativa ambiental; y que, a menor temperatura del suelo y luminosidad, mayor es la humedad relativa ambiental. De igual manera, a mayor porcentaje de cobertura del dosel, menor es

la temperatura del suelo, y a mayor cobertura del dosel, menor es la luminosidad.

### Índice de Valor de Importancia (IVI)

El análisis de la cantidad de especies y familias identificadas se realizó siguiendo la metodología propuesta por Caviedes [20]. La composición florística suma 389 individuos distribuidos en 15 órdenes, 28 familias, 45 géneros y 52 especies. Los datos recopilados incluyen el recuento de individuos por especie en cada parcela principal (tabla 3), lo que facilitó determinar la presencia o ausencia de especies y calcular la similitud entre las parcelas. Las tres primeras especies: *Ormosia macrophylla* Benth (51,21 %), *Myrcia multiflora* (Lam.) DC. (30,71 %) y *Erythroxylum* sp. (18,39), alcanzaron un valor relativo acumulado de 100,32 valores relativos del IVI, lo que equivale al 33,44 % del total del índice calculado para el relicto. Las siguientes nueve especies suman 89, 47 y 35 valores relativos del IVI, lo que representa el 29,82 % del total del índice; es decir, con doce especies del relicto (23,08 % de la composición florística) se representa el 63,26 % del índice.

**Tabla 2.** Valores máximos, mínimos y promedio de las variables ambientales en la cobertura de bosque

|          | Temperatura ambiental (°C) | Humedad relativa ambiental (%) | Temperatura del suelo (°C) | Cobertura de dosel sobre el suelo (%) | Luminosidad (%) |
|----------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Mín.     | 29,47                      | 70,96                          | 21,25                      | 86,62                                 | 0,03            |
| Máx.     | 31,90                      | 88,55                          | 24,96                      | 90,44                                 | 0,30            |
| Promedio | 30,25                      | 80,78                          | 22,93                      | 88,27                                 | 0,15            |

**Tabla 3.** Listado de las especies encontradas en las cuatro parcelas del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

| Familia         | Nombre científico                                    | Parcela 1 | Parcela 2 | Parcela 3 | Parcela 4 | IVI   |
|-----------------|------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Achariaceae     | <i>Mayna odorata</i> Aubl.                           |           |           | 2         |           | 2,34  |
| Anacardiaceae   | <i>Astronium graveolens</i> Jacq.                    |           |           | 8         |           | 6,19  |
| Annonaceae      | <i>Annona rensoniana</i> (Standl.) H. Rainer         | 1         |           | 2         |           | 4,18  |
|                 | <i>Xylopia aromática</i> (Lam.) Mart.                |           | 2         |           |           | 3,04  |
|                 | <i>Xylopia</i> sp.                                   | 1         |           |           |           | 2,25  |
| Apocynaceae     | <i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll. Arg.            |           | 1         | 3         | 1         | 5,08  |
| Bignoniaceae    | <i>Jacaranda</i> sp.                                 |           | 1         |           |           | 1,45  |
| Boraginaceae    | <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken           |           |           | 4         | 7         | 6,13  |
| Capparaceae     | <i>Morisonia indica</i> (L.) ined.                   |           |           | 5         |           | 3,00  |
| Clusiaceae      | <i>Clusia alata</i> Planch. & Triana                 | 3         |           |           |           | 1,98  |
| Dichapetalaceae | <i>Dichapetalum</i> sp.                              | 1         |           | 6         | 2         | 8,37  |
| Dilleniaceae    | <i>Curatella americana</i> L.                        | 1         | 1         |           |           | 2,95  |
| Erythroxylaceae | <i>Erythroxylum</i> sp.                              | 29        | 1         |           | 1         | 18,39 |
| Euphorbiaceae   | <i>Croton leptostachyus</i> Kunth                    |           | 1         |           |           | 1,39  |
| Fabaceae        | <i>Ormosia macrophylla</i> Benth.                    | 12        | 23        | 5         |           | 51,21 |
|                 | <i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poir.) Kunth ex DC.    | 19        |           | 1         | 5         | 13,23 |
|                 | <i>Calliandra magdalenae</i> (Bertero ex DC.) Benth. | 3         | 1         | 5         | 12        | 15,97 |
|                 | <i>Swartzia</i> sp.                                  |           |           | 10        | 4         | 6,79  |
|                 | <i>Machaerium capote</i> Triana ex Dugand            |           |           | 2         |           | 1,87  |
|                 | <i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby  |           | 1         | 1         |           | 2,79  |
|                 | <i>Machaerium isadelphum</i> (E. Mey.) Amshoff       | 1         |           | 1         |           | 2,78  |
|                 | <i>Pterocarpus officinalis</i> Jacq.                 |           | 1         |           |           | 1,53  |
|                 | <i>Platymiscium hebestachyum</i> Benth.              |           |           | 1         |           | 1,39  |
|                 | <i>Tamarindus indica</i> L.                          |           |           | 1         |           | 1,38  |
| Hypericaceae    | <i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.        |           | 1         |           |           | 1,41  |
| Lacistemataceae | <i>Lacistema aggregatum</i> (PJBergius) Rusby        | 2         | 1         |           |           | 3,06  |
| Lauraceae       | <i>Nectandra mollis</i> (Kunth) Nees                 | 5         | 15        | 6         | 5         | 15,53 |
|                 | <i>Ocotea amazonica</i> (Meisn.) Mez                 | 3         |           |           |           | 2,06  |
|                 | <i>Nectandra</i> sp.                                 | 1         |           |           |           | 1,40  |
| Malvaceae       | <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.        |           | 7         |           |           | 3,99  |
|                 | <i>Pseudobombax septenatum</i> (Jacq.)               |           |           | 2         |           | 1,78  |
| Meliaceae       | <i>Trichilia</i> sp.                                 |           |           | 2         |           | 1,68  |

Continúa

**Continuación tabla 3.** Listado de las especies encontradas en las cuatro parcelas del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

| Familia      | Nombre científico                                           | Parcela 1  | Parcela 2 | Parcela 3 | Parcela 4 | IVI        |
|--------------|-------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Moraceae     | <i>Ficus dendrocida</i> Kunth                               | 2          |           |           |           | 2,02       |
|              | <i>Olmedia aspera</i> Ruiz & Pav.                           |            |           | 1         |           | 1,38       |
| Myrtaceae    | <i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.                         | 37         | 4         | 4         | 1         | 30,71      |
|              | <i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.                           | 12         | 5         |           | 4         | 12,20      |
|              | <i>Myrcia</i> sp.                                           |            | 14        |           | 2         | 7,61       |
| Polygonaceae | <i>Coccoloba obovata</i> Kunth                              | 4          | 1         |           |           | 4,61       |
|              | <i>Coccoloba padiformis</i> Meisn.                          | 1          |           | 3         |           | 3,56       |
| Primulaceae  | <i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze                    | 1          |           |           |           | 1,54       |
|              | <i>Ardisia foetida</i> Willd. ex Roem. & Schult.            | 1          |           |           |           | 1,39       |
| Rubiaceae    | <i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K.Schum.                   | 5          |           |           | 4         | 5,81       |
|              | <i>Simira cordifolia</i> (Hook.f.) Steyerf.                 |            |           | 10        |           | 4,69       |
|              | <i>Rondeletia pubescens</i> Kunth                           |            |           | 1         | 2         | 4,23       |
| Rutaceae     | <i>Amyris pinnata</i> Kunth                                 |            |           | 5         |           | 3,35       |
|              | <i>Zanthoxylum schreberi</i> (J.F.Gmel.) Reynel ex C.Nelson |            |           | 1         |           | 1,41       |
|              | <i>Zanthoxylum rigidum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Engl. | 1          |           |           |           | 1,39       |
| Salicaceae   | <i>Casearia corymbosa</i> Kunth                             |            |           | 1         |           | 1,38       |
| Sapindaceae  | <i>Cupania cinerea</i> Poepp.                               | 1          | 2         | 1         | 1         | 5,88       |
|              | <i>Allophylus nitidulus</i> (Triana & Planch.) Radlk.       | 3          |           |           |           | 2,25       |
| Urticaceae   | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul                         |            | 4         |           |           | 2,46       |
| Verbenaceae  | <i>Petrea rugosa</i> Kunth                                  |            | 5         | 1         | 1         | 5,51       |
| <b>Total</b> |                                                             | <b>150</b> | <b>92</b> | <b>95</b> | <b>52</b> | <b>300</b> |

IVI: índice de valor de importancia.

El análisis de la diversidad ecológica de las parcelas mediante los índices de diversidad de Hill, evaluados con los índices  $q_0$ ,  $q_1$  y  $q_2$ , reveló que la parcela 3 presentó la mayor riqueza de especies ( $q_0 = 29$ ), así como los mayores valores de diversidad efectiva de especies comunes ( $q_1 = 21,54$ ) y dominantes ( $q_2 = 17,46$ ). En contraste, la parcela 4 presentó la menor riqueza ( $q_0 = 15$ ), aunque registró valores de  $q_1 = 11,09$  y  $q_2 = 8,78$ , cercanos a

los observados en las parcelas 1 y 2. Las parcelas 1 y 2 presentaron valores intermedios, con mayor riqueza en la parcela 1 ( $q_0 = 25$ ), pero valores de  $q_1$  y  $q_2$  inferiores a los de la parcela 3. En conjunto, la parcela 3 presentó la mayor diversidad efectiva, mientras que las diferencias entre  $q_0$ ,  $q_1$  y  $q_2$  evidencian variaciones en la distribución de las abundancias entre las parcelas (figura 3).

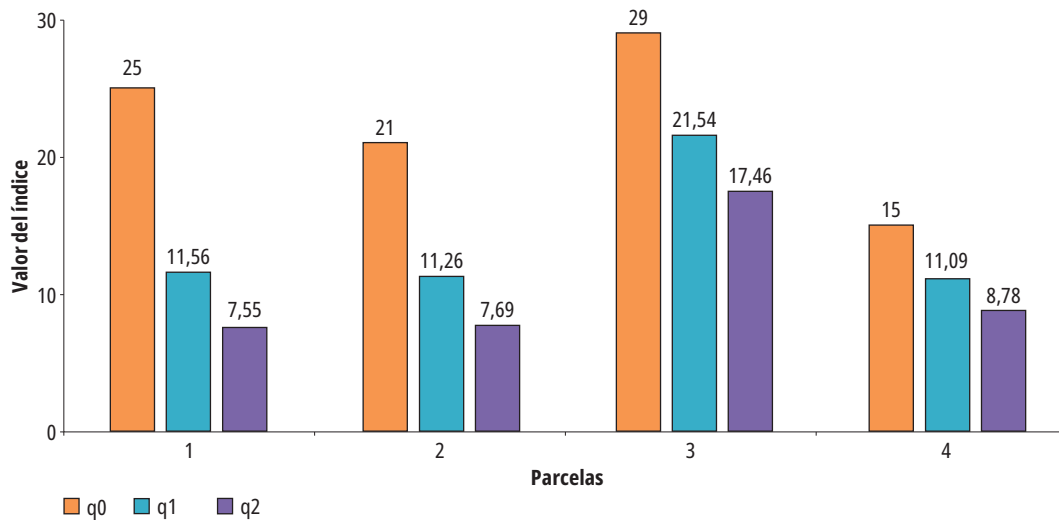


**Figura 3.** Índices de diversidad de Hill ( $q_0$ ,  $q_1$  y  $q_2$ ) para las cuatro parcelas del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

## Análisis mediante curvas de rarefacción y extrapolación

Las curvas de rarefacción y extrapolación mostraron diferencias en la diversidad efectiva ( $q$ ) entre las parcelas. La parcela 3 presentó los mayores valores durante la rarefacción, seguida por las parcelas 4 y 2, mientras que la parcela 1 registró los

valores más bajos. En la extrapolación, la parcela 1 presentó el mayor incremento en la diversidad estimada, mientras que las parcelas 3 y 4 mostraron una tendencia más cercana a la estabilización. Este comportamiento evidencia diferencias en la diversidad efectiva y en el grado de representatividad del muestreo entre las parcelas (figura 4).

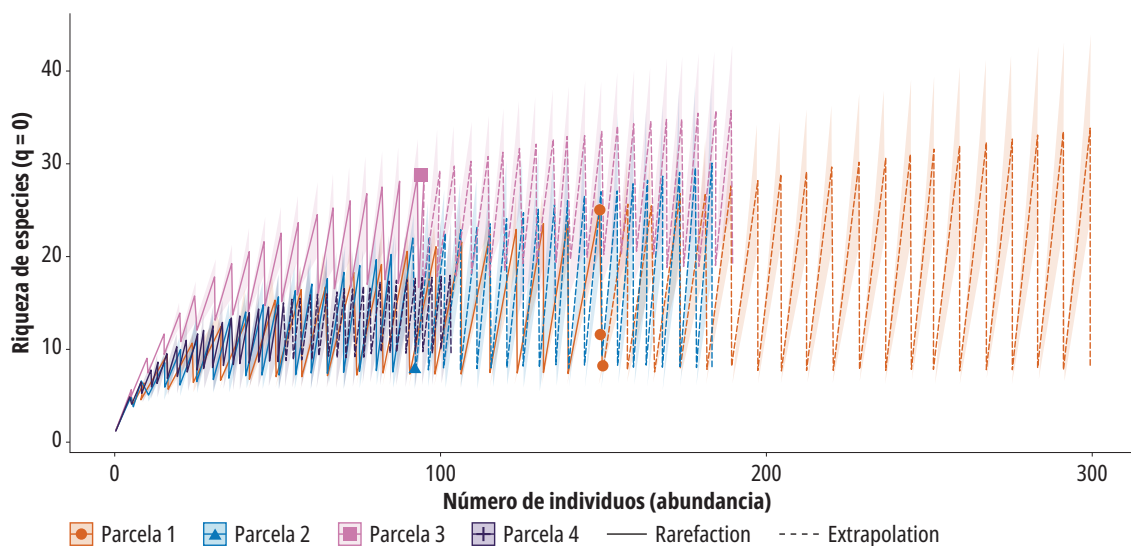


**Figura 4.** Curvas de rarefacción y extrapolación de la diversidad efectiva ( $q$ ) para las cuatro parcelas del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

## Estructura de la vegetación

Se recopiló información sobre la cobertura arbórea con un diámetro mayor a 5 cm a la altura del pecho (DAP). Además, se registraron las pendientes del terreno y, con estos datos, se graficaron tanto los perfiles como los planos de la vegetación, siguiendo la metodología propuesta por Davis y Richards [26]. También se midió la distancia entre árboles contiguos.

Las especies del sotobosque no fueron incluidas en los perfiles de la vegetación (figuras 5 a 8). Estos perfiles permiten visualizar el estado del dosel y la posible presencia de estratificación. En este

sentido, para identificar la presencia de estratos, se utilizó el método del diagrama de dispersión de Ogawa [24] (véanse figuras 9 a 12). En las cuatro parcelas se observó una distribución sin una estratificación claramente definida, con una tendencia ascendente de los individuos a medida que aumenta la altura, formando una dispersión similar a una cola de cometa estelar, asociada con una estructura vertical heterogénea [27]. Las mayores alturas se registraron en la parcela 3, mientras que las parcelas 1, 2 y 4 presentaron una distribución más concentrada de individuos en los rangos intermedios de altura.

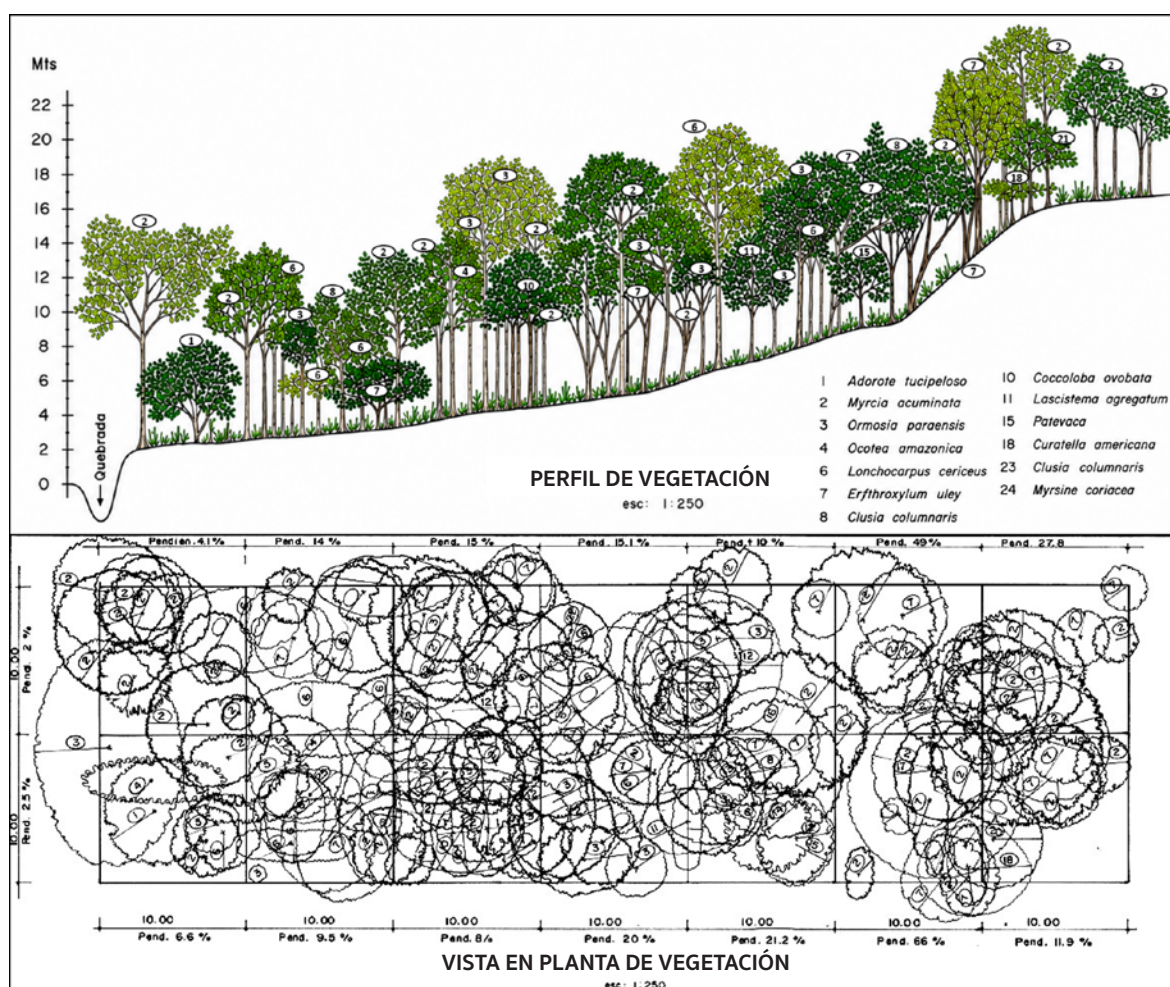


**Figura 5.** Perfil y planta de la parcela 1 para la cobertura arbórea con diámetros superiores o iguales a 5 cm, a la altura del pecho del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

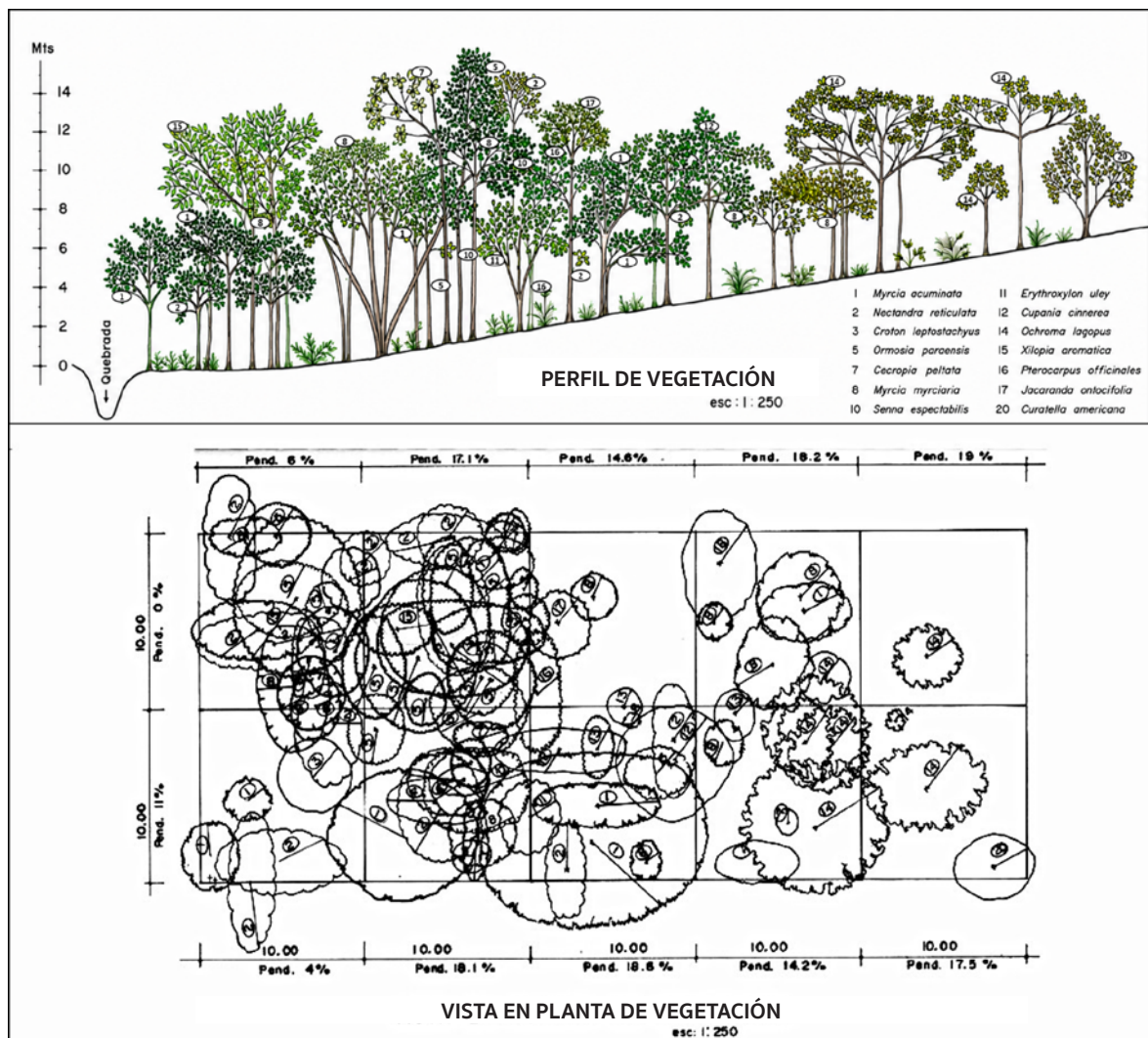


**Figura 6.** Perfil y planta de la parcela 2 para la cobertura arbórea con diámetros superiores o iguales a 5 cm, a la altura del pecho del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

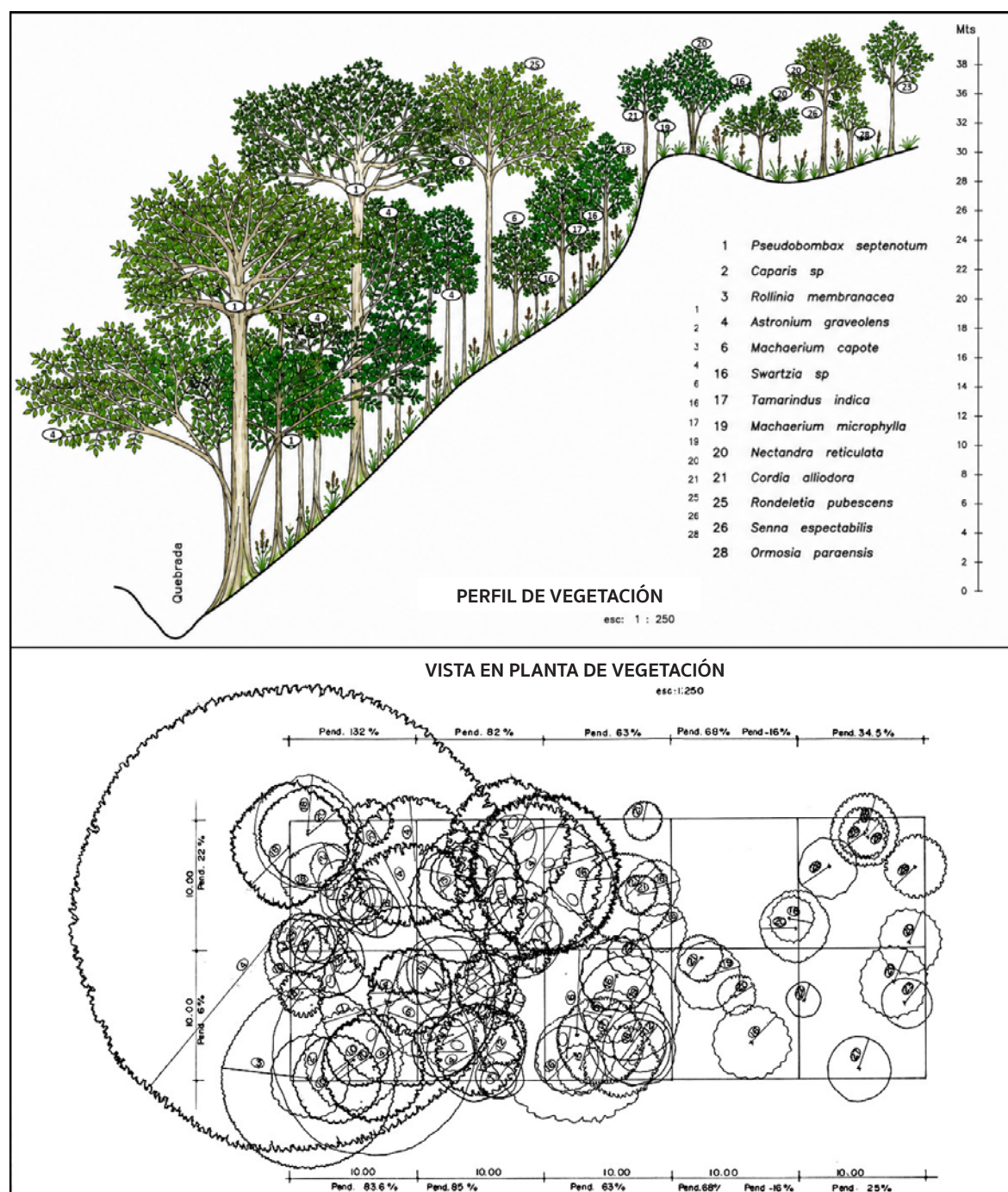


**Figura 7.** Perfil y planta de la parcela 3 para la cobertura arbórea con diámetros superiores o iguales a 5 cm, a la altura del pecho del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

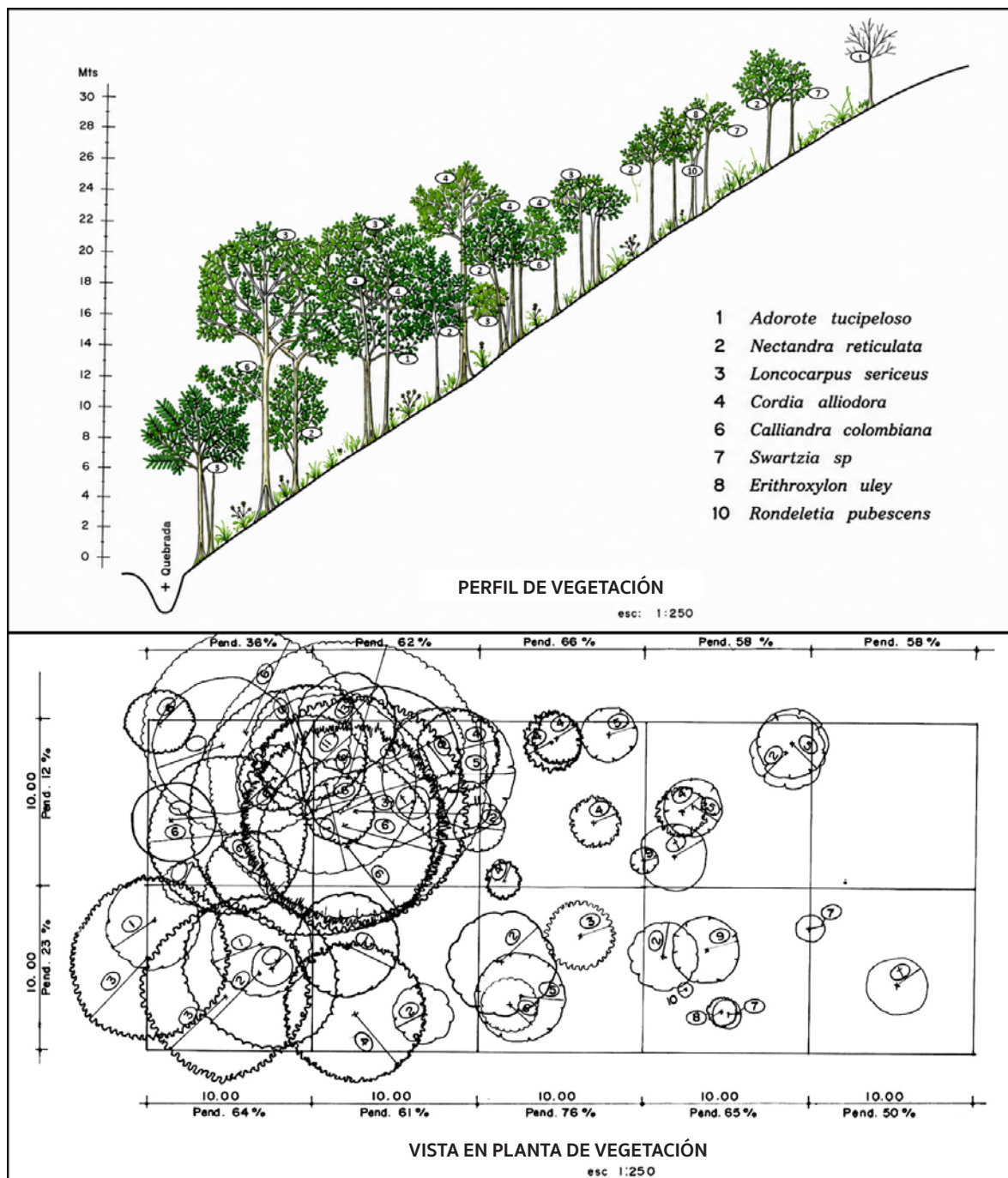


**Figura 8.** Perfil y planta de la parcela 4 para la cobertura arbórea con diámetros superiores o iguales a 5 cm, a la altura del pecho del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

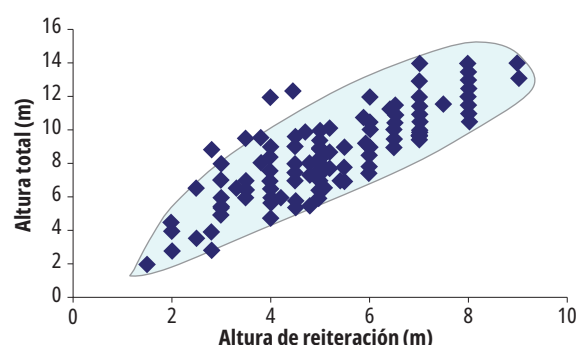


**Figura 9.** Dispersión de Ogawa de la parcela 1 en la cobertura arbórea, con diámetros superiores o iguales a 5 cm a la altura del pecho, del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

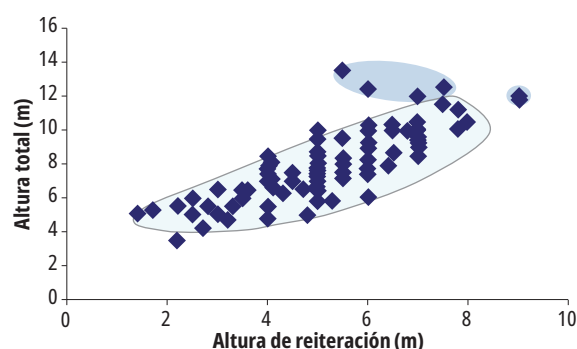


**Figura 10.** Dispersión de Ogawa de la parcela 2 en la cobertura arbórea con diámetros superiores o iguales a 5 cm, a la altura del pecho del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

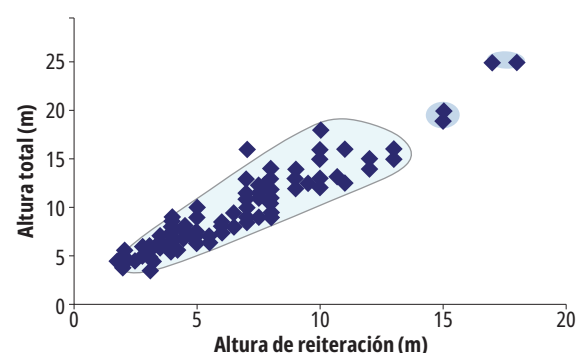


**Figura 11.** Dispersión de Ogawa de la parcela 3 en la cobertura arbórea con diámetros superiores o iguales a 5 cm, a la altura del pecho del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

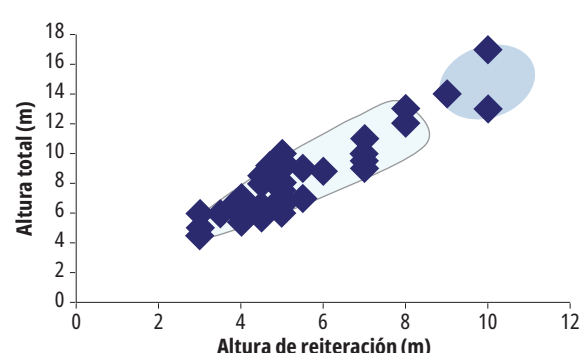


**Figura 12.** Dispersión de Ogawa de la parcela 4 en la cobertura arbórea con diámetros superiores o iguales a 5 cm, a la altura del pecho del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

La dispersión de copas sigue una tendencia sin estratificación. Por su forma de cola de cometa estelar, sugiere una comparación con las dispersiones características de bosques heterogéneos. Además, exhibe una condición fitosociológica notable, con un dosel continuo y la presencia de algunos individuos emergentes.

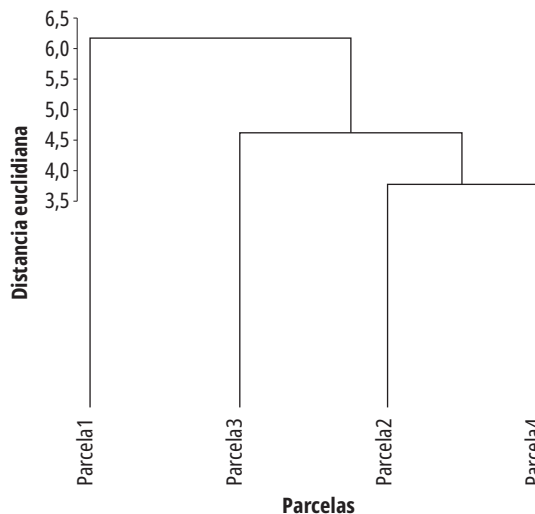
## Análisis multivariado de las cuatro parcelas

Para el análisis del dendrograma, se utilizaron las variables consideradas (tabla 4), previamente estandarizadas mediante puntuaciones Z, lo

que permitió identificar diferencias en la similitud ecológica entre las parcelas. Las parcelas 2 y 4 presentaron la mayor afinidad, con una distancia euclidiana de 3,825, mientras que la parcela 3 se incorporó a este grupo a una distancia de 4,658. Por su parte, la parcela 1 se separó del conjunto a una distancia de 6,242, lo que evidencia la mayor disimilitud respecto de las demás parcelas. Este agrupamiento indica que las parcelas 2, 3 y 4 presentan una mayor similitud en el conjunto de variables evaluadas, mientras que la parcela 1 muestra una condición ecológica más diferenciada dentro del relicto de bs-T (figura 13).

**Tabla 4.** Arreglo de datos correspondientes a las variables evaluadas en cada una de las cuatro parcelas principales

| Variables                  | Parcela 1 | Parcela 2 | Parcela 3 | Parcela 4 |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Total de especies (q0)     | 25        | 21        | 29        | 15        |
| Total de individuos (N)    | 150       | 92        | 95        | 52        |
| Temperatura ambiental (°C) | 31,9      | 29,75     | 29,47     | 29,88     |
| Temperatura del suelo (°C) | 24,96     | 22,74     | 22,77     | 21,25     |
| Humedad ambiental (%)      | 70,96     | 80,2      | 83,4      | 88,55     |
| Cobertura (%)              | 90,44     | 88,54     | 87,48     | 86,62     |
| Luminosidad relativa (%)   | 0,03      | 0,3       | 0,08      | 0,2       |
| Pendiente media en (%)     | 26        | 18        | 60        | 60        |
| q1 (Shannon)               | 11,56     | 11,26     | 21,54     | 11,09     |
| q2 (Simpson)               | 7,55      | 7,69      | 17,46     | 8,78      |
| Especies raras             | 11        | 11        | 11        | 5         |
| Nivel de cobertura C       | 0,93      | 0,88      | 0,88      | 0,90      |


**Figura 13.** Clúster o dendrograma que muestra la relación entre el grupo de variables estandarizadas de las cuatro parcelas del relicto de bosque seco tropical del CURDN, Armero-Guayabal

## Discusión

La cobertura arbórea de este relicto ribereño presenta una alta diversidad alfa, con especies propias de sucesiones pioneras, secundarias y tardías [3]. Estas últimas le dan características de madurez, al presentar en algunos de sus individuos grandes portes morfológicos que alcanzaron hasta los 24 m de altura total. Además, el número de familias y

especies encontradas en el CURDN (28 y 52, respectivamente) es semejante a lo reportado en dos fragmentos de bs-T en el municipio de Venadillo [28]; esto permite suponer que el número de familias y especies registradas en las cuatro es similar a lo reportado para otros bosques secos de la región.

Los resultados de los números de Hill evidencian diferencias en la diversidad entre las parcelas. La parcela 3 presentó la mayor riqueza de especies ( $q_0 = 29$ ), así como los mayores valores de diversidad efectiva de especies comunes ( $q_1 = 21,54$ ) y dominantes ( $q_2 = 17,46$ ). En contraste, la parcela 4 presentó la menor riqueza ( $q_0 = 15$ ), aunque sus valores de  $q_1 = 11,09$  y  $q_2 = 8,78$  fueron cercanos a los registrados en las parcelas 1 y 2, lo que evidencia que una menor riqueza no implica necesariamente una menor diversidad efectiva en todos los órdenes de Hill. Este comportamiento coincide con estudios realizados en bosques secos tropicales, donde se han registrado diferencias en la diversidad efectiva entre áreas y tipos de cobertura [29], [30], [31]. Asimismo, en un remanente de bosque seco tropical ripario de la cuenca alta del río Magdalena se encontraron variaciones en la diversidad y estructura florística entre las zonas evaluadas, lo que evidencia diferencias en la composición y organización de estos bosques [32]. En conjunto, estos resultados resaltan la importancia de considerar tanto la riqueza como la distribución de las

abundancias para caracterizar la diversidad de estos ecosistemas.

La cobertura de muestreo registrada en las cuatro parcelas (0,88-0,93) indica una alta completitud del muestreo y respalda la comparación de la diversidad entre parcelas mediante rarefacción y extrapolación [15], [33]. La estabilización de las curvas en las parcelas 3 y 4 sugiere un menor aporte esperado de nuevas especies con un esfuerzo adicional, mientras que el incremento en la parcela 1 significa un mayor potencial de incorporación de especies. Este comportamiento resalta la importancia de interpretar la rarefacción junto con los órdenes de Hill, como se ha señalado en estudios sobre bosques secos tropicales [29].

Por otra parte, según los hallazgos de Lozano [3], se evidencia uniformidad entre las cuatro parcelas, lo que sugiere la presencia de un microclima homogéneo en el área estudiada. Este resultado es coherente con la teoría de que la presencia de un dosel cerrado y de menor altura contribuye a un incremento en la humedad en comparación con las áreas periféricas de las parcelas, donde el dosel es más abierto y con radiación y luminosidad directas. Estos resultados coinciden con lo reportado por Duval y Campo [34] y sugieren que los claros en el dosel generan variaciones en el microclima del bosque, debido a que modifican la incidencia de la radiación. Asimismo, esta dinámica se relaciona con el crecimiento de las plantas, cuyos cambios en forma y tamaño influyen en el contenido de calor del suelo y del aire, como consecuencia de la intercepción de la radiación y la precipitación por parte de las hojas y las ramas [35].

Con relación a lo anterior, las diferencias en las condiciones climáticas entre los bosques y las áreas de pasto están estrechamente vinculadas a la deforestación de los bosques tropicales. Este proceso conlleva la formación de paisajes fragmentados, donde la reducción de extensas áreas de bosque puede causar cambios en el clima, ya que la cobertura de pastura presenta temperaturas superiores y mayor incidencia de la luminosidad [34], [35], [36], [37], [38]. Esto resalta la importancia de una cobertura vegetal densa para crear condiciones óptimas que favorezcan el aumento de la humedad del

suelo, lo que puede tener un impacto directo en el microclima de la región.

La diferenciación observada entre las parcelas refleja una heterogeneidad ecológica a escala local, en la que las condiciones ambientales, estructurales y de diversidad se manifiestan de manera conjunta. Este patrón es consistente con estudios de bosques secos tropicales que han documentado variaciones en la composición y la estructura asociadas a la heterogeneidad ambiental [9], [30]. Mientras González-M. et al. [9] evidenciaron diferencias florísticas relacionadas con la heterogeneidad ambiental a escala regional, Muñoz et al. [30] encontraron diferencias en estructura, diversidad y composición asociadas con condiciones ambientales particulares. En el presente estudio, aunque se observa una diferenciación entre las parcelas, el análisis multivariado no permite atribuirle a una variable específica, sino a la respuesta conjunta de las variables consideradas.

Finalmente, las especies documentadas en esta investigación coinciden con listados previamente descritos para Colombia [28], [39], [40], [41] en el contexto del ecosistema de bs-T. Esta correspondencia indica que las especies registradas ya han sido documentadas previamente para el contexto del bs-T en Colombia. Además, según la clasificación de Caviedes [20], se refleja una notable riqueza de especies con relación al número de individuos contabilizados.

## Conclusión

Hasta donde se pudo establecer, no se encontraron investigaciones previas similares que hayan caracterizado de manera integral las condiciones ambientales, la estructura y la diversidad de la cobertura arbórea del relicto de bosque seco tropical del CURN. En este sentido, los resultados obtenidos constituyen una línea de base para el seguimiento de la dinámica del relicto y para futuros procesos de conservación y restauración ecológica.

La cobertura arbórea presentó un dosel continuo, con individuos emergentes y árboles que alcanzaron hasta 24 m de altura. Las condiciones bajo la cobertura forestal se diferenciaron de las

registradas en la cobertura de pastizal, con menores valores de temperatura ambiental y del suelo y luminosidad, y mayores valores de humedad relativa, lo cual evidencia la influencia de la cobertura arbórea sobre las condiciones microclimáticas del sitio.

La diversidad alfa presentó diferencias entre las parcelas, y se destacó la parcela 3 por presentar los mayores valores de riqueza y diversidad efectiva, mientras que la parcela 4 presentó los menores. Los niveles de cobertura de muestreo, entre 0,88 y 0,93, indican una alta completitud del muestreo y respaldan la comparación de la diversidad entre las parcelas mediante los procedimientos de rarefacción y extrapolación empleados.

El análisis multivariado mostró una mayor similitud entre las parcelas 2, 3 y 4, mientras que la parcela 1 presentó la mayor diferenciación respecto al conjunto. Este patrón refleja diferencias entre las parcelas al considerar conjuntamente las variables ambientales, estructurales y de diversidad evaluadas. En conjunto, los resultados aportan información de referencia para futuros estudios de monitoreo, conservación y restauración del bosque seco tropical en el norte del Tolima.

## Referencias

- [1] L. R. Holdridge, "Determination of world plant formations from simple climatic data", *Science*, vol. 105, n.º 2727, pp. 367-368, 1947. <https://doi.org/10.1126/science.105.2727.367>
- [2] C. Pulido Roa, C. Chamorro Bello, D. Malagón Castro et al., *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1995.
- [3] L. A. Lozano, "Patrones ecológicos de un relicto de bosque seco tropical ribereño, en el CURDN de la Universidad del Tolima, Armero-Guayabal, Colombia", tesis de maestría, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia, 2005.
- [4] R. T. Pennington, M. Lavin y A. Oliveira-Filho, "Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests", *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, vol. 40, n.º 1, pp. 437-457, 2009. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120327>
- [5] P. G. Murphy y A. E. Lugo, "Ecology of tropical dry forest", *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, vol. 17, n.º 1, pp. 67-88, 1986. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.17.110186.000435>
- [6] Dryflor, K. Banda-R., A. Delgado-Salinas et al., "Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications", *Science*, vol. 353, n.º 6306, pp. 1383-1387, 2016. <https://doi.org/10.1126/science.aaf5080>
- [7] C. Alcázar, É. Avella, N. Norden et al., *Programa Nacional para la Conservación y Restauración del Bosque Seco Tropical en Colombia: Plan de Acción 2020-2030*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021. Disponible en: <https://agris.fao.org/search/en/providers/124901/records/67122da57f591113e2a4ddd0>
- [8] M. E. Chaves, R. Gómez-S, W. Ramírez et al., eds., *Evaluación nacional de biodiversidad y servicios ecosistémicos de Colombia: resumen para tomadores de decisión*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Centro Mundial de Monitoreo para la Conservación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania, 2021.
- [9] R. González-M., H. García, P. J. Isaacs-Cubides et al., "Disentangling the environmental heterogeneity, floristic distinctiveness and current threats of tropical dry forests in Colombia", *Environ. Res. Lett.*, vol. 13, n.º 4, p. 045007, 2018. <https://doi.org/gfkkp8>
- [10] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100 000*. Bogotá, Colombia: Ideam, 2010.
- [11] C. Pizano y H. García, eds., *El bosque seco tropical en Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2014.
- [12] Corporación Autónoma Regional del Tolima (Cortolima), *Diseño de dos corredores de conectividad ecológica en fragmentos de bosque seco tropical, en los municipios de Alvarado, Ambalema, Piedras y Venadillo en el departamento del Tolima, como modelo para la restauración de la vegetación natural del alto Magdalena*. Ibagué, Colombia: Cortolima, 2017.

- [13] M. O. Hill, "Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences", *Ecology*, vol. 54, n.º 2, pp. 427-432, 1973. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- [14] L. Jost, "Entropy and diversity", *Oikos*, vol. 113, n.º 2, pp. 363-375, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- [15] A. Chao, N. J. Gotelli, T. C. Hsieh et al., "Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies", *Ecol. Monogr.*, vol. 84, n.º 1, pp. 45-67, 2014. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>
- [16] A. Chao y L. Jost, "Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size", *Ecology*, vol. 93, n.º 12, pp. 2533-2547, 2012. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>
- [17] Kew Science, "Plants of the world online", *Plants World Online*, [en línea]. Disponible en: <https://powo.science.kew.org/> [Consultado: 19 de noviembre de 2024].
- [18] J. T. Curtis y R. P. McIntosh, "An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin", *Ecology*, vol. 32, n.º 3, pp. 476-496, 1951. <https://doi.org/10.2307/1931725>
- [19] A. Melo Cruz y R. Vargas Ríos, *Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos*. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima, 2003.
- [20] M. Caviedes, *Manual de métodos y procedimientos estadísticos*. Bogotá, Colombia: Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1999.
- [21] C. E. Shannon y W. Weaver, *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL, USA: University of Illinois Press, 1964.
- [22] T. Hsieh, K. Ma y A. Chao, *iNEXT: interpolation and extrapolation for species diversity*, ver. 3.0.1, paquete de R, [en línea]. Disponible en: [http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/descarga\\_de\\_software/](http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/descarga_de_software/)
- [23] R Core Team, *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2024. [en línea]. Disponible en: <https://www.R-project.org/>
- [24] H. Ogawa, K. Yoda, K. Ogino et al., "Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. plant biomass", *Nat. Life Southeast Asia*, vol. 4, pp. 49-80, 1965.
- [25] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), "Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos - DHIME", Ideam, Colombia, [en línea]. Disponible en: <https://ideam.gov.co> [Consultado: 23 de agosto de 2026].
- [26] T. A. W. Davis y P. W. Richards, "The vegetation of Moraballi Creek, British Guiana: an ecological study of a limited area of tropical rain forest. Part II", *J. Ecol.*, vol. 22, n.º 1, p. 106, 1934.
- [27] G. de las Salas y O. A. Melo, "Estructura, biodiversidad y dinámica sucesional en los ecosistemas húmedos tropicales del Pacífico colombiano", en *Seminario Internacional de Ecología: el funcionamiento de los ecosistemas tropicales*. Bogotá, Colombia: Fundación Universitaria Manuela Beltrán, 2000, pp. 75-85.
- [28] Á. M. Rojas Gutiérrez, L. A. Lozano Botache y M. G. Yaya Mejía, *Evaluación ecológica y estructural de los bosques del departamento del Tolima*. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima, 2011.
- [29] O. R. Lanuza, F. Casanoves, S. Vilchez-Mendoza et al., "Structure, diversity, and the conservation value of tropical dry forests in highly fragmented landscapes", *J. Plant Ecol.*, vol. 16, n.º 1, 2023. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtac046>
- [30] R. Muñoz, M. Enríquez, F. Bongers et al., "Lithological substrates influence tropical dry forest structure, diversity, and composition, but not its dynamics", *Front. For. Glob. Change*, vol. 6, art. 1082207, 2023. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1082207>
- [31] X. Haro-Carrión, B. Loiselle y F. E. Putz, "Tree species diversity, composition and aboveground biomass across dry forest land-cover types in coastal Ecuador", *Trop. Conserv. Sci.*, vol. 14, art. 1940082921995415, 2021. <https://doi.org/10.1177/1940082921995415>
- [32] J. A. Cuéllar-Cardozo, D. Nossa-Silva y M. I. Vallejo, "Diversidad y estructura florística en zonas riparias de un remanente de bosque seco tropical", *Colomb. For.*, vol. 25, n.º 2, pp. 70-84, 2022. <https://doi.org/10.14483/2256201X.19029>
- [33] A. Chao y L. Jost, "Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size", *Ecology*, vol. 93, n.º 12, pp. 2533-2547, 2012. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>
- [34] V. S. Duval y A. M. Campo, "Variaciones microclimáticas en el interior y exterior del bosque de caldén (*Prosopis caldenia*), Argentina", *Cuad. Geogr. Rev. Colomb. Geogr.*, vol. 26, n.º 1, pp. 37-49, 2017. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n1.42372>
- [35] A. Uribe de Camargo, "Microclima del bosque", *Actual. Biol.*, vol. 10, n.º 36, pp. 61-66, 1981. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.330367>
- [36] T. C. E. Aravena, "Efecto del tamaño de los claros de dosel sobre variables microclimáticas en un bosque de *Nothofagus antarctica* (G. Forst.) Oerst. en la Región de Aysén", tesis, Universidad de Chile, 2018. [en línea]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152319> [Consultado: 13 de abril de 2024].

- [37] A. F. Carvajal y J. D. Pabón, “Temperatura de la superficie terrestre en diferentes tipos de cobertura de la Región Andina Colombiana”, *Soc. Nat.*, vol. 26, n.º 1, pp. 95-112, 2014. <https://doi.org/10.1590/1982-451320140107>
- [38] E. Otero Álvarez, L. Mosquera Aguirre, G. Silva Castro et al., eds., *Bosque seco tropical Colombia*. Cali, Colombia: Banco de Occidente, 2006. [en línea]. Disponible en: <https://www.imeditores.com/banocc/seco/creditos.htm>
- [39] J. A. Quiroga C. y H. Y. Roa R., “Estructura de los fragmentos boscosos de la ecorregión de la Tatacoa y su área de influencia en el Tolima”, tesis de pregrado, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia, 2002.
- [40] J. A. Quiroga C., H. Y. Roa R., O. Melo et al., “Estructura de fragmentos de bosque seco tropical en el sur del departamento del Tolima, Colombia”, *Bol. Cient. Cent. Mus. Hist. Nat.*, vol. 23, n.º 1, pp. 31-51, 2019. <https://doi.org/10.17151/bccm.2019.23.1.2>
- [41] J. O. Rangel Churio, T. van der Hammen, A. Velázquez et al., *Colombia diversidad biótica II: tipos de vegetación en Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 1997. [en línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80774>