

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 14, 2026, enero-diciembre



Artículo original

Relación entre variables ambientales y la flora arbórea en dos fragmentos de bosque pluviselva submontano, Parque Nacional Alejandro de Humboldt, Cuba

Relationship between environmental variables and tree flora in two fragments of submontane rainforest, Alejandro de Humboldt National Park, Cuba

Relação entre variáveis ambientais e flora arbórea em dois fragmentos de floresta submontana, Parque Nacional Alejandro de Humboldt, Cuba

Yobanis Osorio Bornot^{1*}  , Rogelio Sotolongo Sospedra² 

Gretel Geda López²  , Hayler M. Pérez Trejo³  , Aysel García de la Cruz³ 

¹Universidad de Guantánamo, Facultad Agroforestal. Guantánamo, Cuba.

²Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". Facultad de Forestal y Agronomía. Pinar del Río, Cuba.

³Centro de Estudios y Servicios Ambientales y Tecnológicos Alejandro de Humboldt, Guantánamo, Cuba

*Autor para la correspondencia: yobanisob@gmail.com

Recibido: 15/04/2026.

Aprobado: 05/05/2026.



RESUMEN

Los bosques pluvisilvas submontanos del Parque Nacional Alejandro de Humboldt en Cuba albergan una extraordinaria biodiversidad y endemismo, pero pocos estudios han documentado las variables que condicionan la distribución de su diversidad florística. Se evaluó la relación entre variables ambientales topográficas, estructurales, edáficas y antrópicas como tala y accesibilidad con la flora arbórea en dos fragmentos, Mola sobre sustrato de ofiolitas y Monte Fresco sobre rocas metamórficas. Se establecieron 32 parcelas de 400 m², 21 en Mola y 11 en Monte Fresco, donde se registraron todos los individuos arbóreos con DAP $\geq$ 1 m. Se calcularon los índices de diversidad de Shannon y Simpson, diversidad beta según el índice de Whittaker. Se aplicó un análisis de correlación canónica para determinar las relaciones en las variables ambientales, las especies y parcelas, un análisis de clúster para revelar las similitudes entre parcelas y un IndVal para identificar especies indicadoras. Mola presentó menor riqueza, 36 especies, pero alta equidad, dominada por *Calophyllum utile* y especies tolerantes a serpentinitas. Monte Fresco mostró el doble de riqueza con 64 especies, y numerosas especies clímax como *Carapa guianensis* y *Manilkara zapota*. El análisis de correlación canónica explicó el 35,9 % de la variabilidad, e identificó la altitud, la accesibilidad, la densidad de dosel y el relieve como predictores significativos. El análisis IndVal reveló nueve especies indicadoras para Mola y 33 para Monte Fresco. Los resultados confirman que alta complementariedad florística entre ambos fragmentos subraya la necesidad de conservar la heterogeneidad ambiental del Parque Nacional.

Palabras clave: diversidad alfa, beta, sucesión, ofiolitas, bosque pluvisilva, *Calophyllum utile*.

ABSTRACT

The submontane rainforests of the Alejandro de Humboldt National Park in Cuba harbor extraordinary biodiversity and endemism, but few studies have documented the variables that condition the distribution of its floristic diversity. The relationship between topographic, structural, edaphic, and anthropogenic environmental variables, such as logging and accessibility, and the tree flora was evaluated in two fragments:



Mola, on ophiolite substrate, and Monte Fresco, on metamorphic rocks. Thirty-two 400 m² plots were established, 21 in Mola and 11 in Monte Fresco, where all tree individuals with a diameter at breast height (DBH) ≥ 1 m were recorded. Shannon and Simpson diversity indices and beta diversity (based on Whittaker's index) were calculated. Canonical correlation analysis was applied to determine the relationships between environmental variables, species, and plots; cluster analysis was used to reveal similarities between plots; and an IndVal was used to identify indicator species. Mola exhibited lower species richness (36 species) but high evenness, dominated by *Calophyllum utile* and serpentine-tolerant species. Monte Fresco showed twice the richness with 64 species, including numerous climax species such as *Carapa guianensis* and *Manilkara zapota*. Canonical correlation analysis explained 35.9 % of the variability and identified altitude, accessibility, canopy density, and topography as significant predictors. IndVal analysis revealed nine indicator species for Mola and 33 for Monte Fresco. The results confirm that high floristic complementarity between the two fragments underscores the need to conserve the environmental heterogeneity of the National Park.

Keywords: alpha and beta diversity, endemism, ophiolites, serpentinites, rainforest, conservation.

RESUMO

As florestas tropicais submontanas do Parque Nacional Alejandro de Humboldt, em Cuba, abrigam biodiversidade e endemismo extraordinários, mas poucos estudos documentaram as variáveis que influenciam a distribuição de sua diversidade florística. A relação entre variáveis ambientais topográficas, estruturais, edáficas e antropogênicas (como exploração madeireira e acessibilidade) e a flora arbórea foi avaliada em dois fragmentos: Mola, em substrato ofiolítico, e Monte Fresco, em rochas metamórficas. Trinta e duas parcelas de 400 m² foram estabelecidas, 21 em Mola e 11 em Monte Fresco, onde todos os indivíduos arbóreos com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 1 m foram registrados. Os índices de diversidade de Shannon e Simpson e a diversidade beta (baseada no índice de Whittaker) foram calculados. A análise de correlação canônica foi aplicada para determinar as relações entre variáveis ambientais, espécies e parcelas; a



análise de agrupamento foi usada para revelar similaridades entre as parcelas; e o IndVal foi usado para identificar espécies indicadoras. Mola apresentou menor riqueza de espécies (36 espécies), mas alta equitabilidade, dominada por *Calophyllum utile* e espécies tolerantes à serpentinita. Monte Fresco apresentou o dobro da riqueza, com 64 espécies, e numerosas espécies clímax, como *Carapa guianensis* e *Manilkara zapota*. A análise de correlação canônica explicou 35,9% da variabilidade e identificou altitude, acessibilidade, densidade do dossel e topografia como preditores significativos. A análise IndVal revelou nove espécies indicadoras para Mola e 33 para Monte Fresco. Os resultados confirmam que a alta complementaridade florística entre os dois fragmentos ressalta a necessidade de conservar a heterogeneidade ambiental do Parque Nacional.

Palavras-chave: diversidade alfa e beta, endemismo, ofiolitos, serpentinitos, floresta tropical, conservação.

INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Alejandro de Humboldt, área protegida de categoría II por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), es considerado uno de los sitios más importantes de Cuba en términos de biodiversidad y endemismo. Constituye el remanente más extenso de ecosistemas montañosos conservados del país, albergando 595 especies endémicas, lo que representa el 55,5 % de las especies registradas y el 18,7 % del total de plantas vasculares endémicas de Cuba. Esta riqueza lo posiciona como un área clave dentro del hotspot de biodiversidad del Caribe (Myers *et al.*, 2000). La compleja geología del parque, que incluye rocas ofiolíticas (serpentinitas) y metamórficas, combinada con una topografía variada, ha generado una diversidad de ecosistemas sin igual en el Caribe insular.

De las 28 formaciones vegetales descritas para Cuba (Capote y Berazaín, 2025), en el parque se encuentran 16, entre las que destacan los bosques pluvisilvas submontanos. Estos contienen una flora arbórea con alto endemismo y con diferentes criterios de amenaza. Estos bosques funcionan como reservorios de diversidad biológica, constituyen sitios prioritarios para la conservación. En la actualidad, según Reyes y Acosta-Cantillo (2018 y 2017), son los de mejor desarrollo, extensión y grado de



conservación de la región oriental de Cuba y del archipiélago cubano. Estos bosques pluvisilvas ocurren sobre sustratos de ofiolitas y rocas metamórficas.

Múltiples estudios han demostrado que variables como la altitud, la pendiente o la densidad del bosque actúan como filtros ambientales que condicionan la distribución de las especies arbóreas (Gonmadje *et al.*, 2019). Sin embargo, en regiones con suelos ultramáficos (serpentiníticos), el sustrato geológico puede ejercer un control incluso más fuerte que el clima o la topografía sobre la comunidad vegetal (Geadá-López *et al.*, 2021). Estos suelos son conocidos por su alta toxicidad por metales pesados como níquel, cromo y magnesio y deficiencia de nutrientes esenciales (Reyes y Acosta-Cantillo 2017), lo que genera condiciones extremas para el desarrollo vegetal y promueve un alto endemismo (López-Almirall 2013).

Teniendo en cuenta estos antecedentes, el objetivo de este estudio fue explicar la relación que existe entre los factores ambientales: edáficos, topográficos y estructurales, con la flora arbórea en dos fragmentos de bosque pluvisilva submontano en Cupeyal del Norte, Parque Nacional Alejandro de Humboldt.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló en dos fragmentos de bosque pluvisilva submontano localizados en Cupeyal del Norte del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, Cuba. Se seleccionaron dos fragmentos. El primero, Mola (MO): 20°28'12,59" N y 75°34'5,64" W con una altitud media de 689 m s.n.m. sobre suelos derivados de ofiolitas; y el segundo, Monte Fresco (MF): 20°26'57,21" N y 75°0'42,15" W con una altitud media de 615 m s.n.m. sobre suelos derivados de rocas metamórficas de tipo ferralíticos rojos.

Diseño del muestreo y recolección de datos

En cada fragmento se establecieron 32 parcelas, de forma aleatoria, parcelas de 20 m × 20 m (400 m²); de estas, 21 parcelas corresponden a Mola y 11 parcelas a Monte Fresco.



Dentro de cada parcela se midieron todos los individuos de especies arbóreas con altura total ≥ 1 m. A cada individuo se le registró:

- Identificación taxonómica: Identificación en campo o mediante herborización para determinación posterior en herbario. Las especies se clasificaron por familia botánica.
- Diámetro (DAP): Medido con cinta diamétrica a 1,30 m del suelo.

Variables ambientales

En cada parcela se midieron las siguientes variables:

Topográficas:

- Pendiente (%), medida con clinómetro.
- Altitud (MSMN): expresada en m s.n.m.
- Relieve (R): clasificación cualitativa (1=llano, 2=ondulado, 3=abrupto).

Estructurales del bosque:

- Densidad (D, N ha⁻¹): $D = \frac{n}{a} \times 10\,000$, donde n = número de individuos en la parcela, a = área (400 m²).
- Área basal (G): suma del área basal de todos los individuos por hectárea, expresada en m² ha⁻¹.
- Mortalidad (Ma): conteo de árboles muertos en pie o caídos dentro de la parcela.

Antrópicas:

- Tala (T): conteo de tocones o árboles talados dentro de la parcela.
- Accesibilidad (Acc): índice semicuantitativo compuesto (Tabla 1), suma de puntuaciones de tipo de camino, estado del camino y distancia a la vía principal (rango: 1=Difícil a 9=Fácil).



Tabla 1. - Criterios para la evaluación del índice de accesibilidad

Tipo de camino	Puntos	Estado del camino	Puntos	Distancia a vía principal	Puntos
Pavimento	3	Óptimo (transitable todo el año)	3	< 1 km	3
Tierra/grava	2	Moderado (transitable en estaciones secas)	2	1-5 km	2
Sendero natural	1	Crítico (inaccesible sin equipo)	1	> 5 km	1

Nota: Clasificación final: Fácil acceso = 7-9 puntos; acceso medio = 4-6 puntos; difícil acceso = 1-3 puntos.

Análisis de datos

Composición y diversidad alfa: Se compararon la riqueza de especies (S) y la abundancia. Se calcularon los índices de Shannon-Wiener (H' , base log 10), Simpson ($\frac{1}{D}$) (Magurran, 2004) y la equidad se calculó como $J' = \frac{H'}{\ln(S)}$

Diversidad beta: Se estimó mediante el índice de Whittaker.

Similitud entre fragmentos: se realizó un análisis de conglomerados (clúster) usando el método de Ward y la distancia de Bray-Curtis. La bondad del ajuste se evaluó mediante el coeficiente de correlación cofenética con el programa InfoStat (Di Rienzo, 2020)

Relación especies-variables ambientales: Se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC) con las variables ambientales evaluadas. La significancia estadística se estimó mediante prueba de permutación de Monte Carlo (499 permutaciones) (ter Braak, 1986).

Número efectivo de ocurrencias (N2 de Hill): Se calculó para cada especie siguiendo Hill (1973); valores bajos ($N2 < 5$) indican especialistas o especies de distribución restringida y valores altos ($N2 > 5$), especies generalistas.

Especies indicadoras: Se realizó mediante el método de Dufrêne y Legendre implementado en el software PAST ver 4.0 (Hammer *et al.*, 2001). Se consideraron especies indicadoras aquellas con $\text{IndVal} \geq 0,7$ y $P < 0,05$; se evaluó con 9999 permutaciones y los p-valores fueron corregidos para comparaciones múltiples utilizando el método de Bonferroni para reducir la tasa de falsos positivos. Los análisis



multivariados como el ACC y N2 de Hill se ejecutaron en CANOCO ver 4.5 (ter Braak y Šmilauer, 2002).

RESULTADOS

Composición y diversidad alfa

En la Tabla 2, se muestra que ambos fragmentos difieren en la riqueza de especies y su abundancia, particularmente en Monte Fresco. Sin embargo, mostraron alta equidad y baja dominancia. Las familias con mayor riqueza fueron: en Mola, Sapotaceae (tres especies); en Monte Fresco, Bignoniaceae y Sapotaceae con cuatro especies cada una. El 91,7 % de las especies de Mola, es decir, 33 de 36, estuvieron presentes en Monte Fresco.

Tabla 2. Índices de diversidad por localidad

Índices	Mola	Monte Fresco
Riqueza (S)	36	63
Individuos	1 419	991
Especies comunes	33	33
Shannon H' (log10)	1,318	1,494
Equidad J'	0,847	0,827
Simpson ($\frac{1}{D}$)	16,239	17,977

Diversidad beta y similitud

El índice de Whittaker fue $\beta_w = 3,64$; indica un alto recambio de especies entre localidades. El dendrograma (Figura 1) mostró cuatro grupos principales, separando claramente la mayoría de las parcelas de Mola (grupo 1) de las de Monte Fresco (grupo 4). Un grupo intermedio (grupo 3) mezcló parcelas de ambos sitios dominadas por *Miconia elata* y un segundo grupo (parcelas MO 19, 20 y 21) adyacente al grupo 1 (Mola), pero que se diferencia en la ausencia de *Calophyllum utile*.



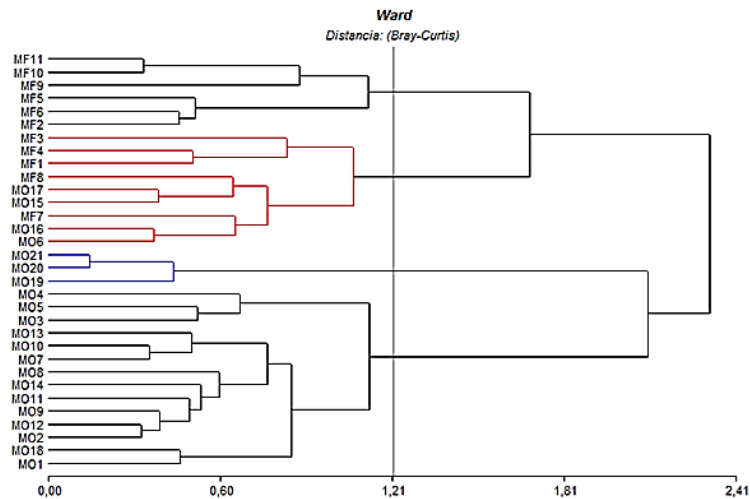


Figura 1. - Dendrograma de agrupación de parcelas de Mola y Monte Fresco, con coeficiente de correlación cofenético = 0,622

Relación con variables ambientales (ACC)

El análisis de correlación canónica explicó el 35,9 % de la variabilidad total en la composición de especies con una inercia total = 3,76. Los primeros cuatro ejes canónicos acumularon el 74,3 % de la relación especies-ambiente (Tabla 3).

Tabla 3. - Resultados del análisis de correspondencia canónico

Ejes	1	2	3	4
Autovalores:	0,416	0,25	0,198	0,138
Correlación especies - variables ambientales	0,932	0,852	0,856	0,827
Porcentaje de varianza acumulado				
de datos de especies:	11,1	17,7	23	26,7
de relación especies - variables ambientales:	30,8	49,4	64,1	74,3
Correlación de las variables ambientales con los ejes				
P	-0,3892	0,172	-0,0013	0
MSNM	-0,685	0,3879	0,395	0
Acc	-0,6814	0,4256	-0,1364	0,0959
Ma	-0,4238	0,1984	0,4808	0,1602
T	-0,4023	0,3506	0,1634	0,1946
D	0,7321	0,3147	0,0352	-0,3383
G	-0,1441	-0,3555	0,4221	-0,0321
R	-0,339	-0,5553	-0,0418	-0,4895



El procedimiento de selección hacia adelante identificó a MSNM ($p=0,002$), D ($P=0,002$), Acc ($P=0,026$) y R ($P=0,022$) como variables significativas. La ordenación (Figura 2) mostró que el Eje 1 separa fundamentalmente las dos localidades: Monte Fresco se proyecta hacia el lado positivo (asociado a mayor densidad de dosel D, $r=0,732$), mientras que Mola lo hace hacia el lado negativo (asociado a mayor altitud MSNM, $r=-0,685$, y accesibilidad Acc, $r=-0,681$).

Por otra parte, en la Figura 3, se presenta la ordenación de las especies con respecto a las variables ambientales, donde las especies más al centro del plano de ordenación muestran menos influencia con las variables ambientales y pueden considerarse como generalistas.

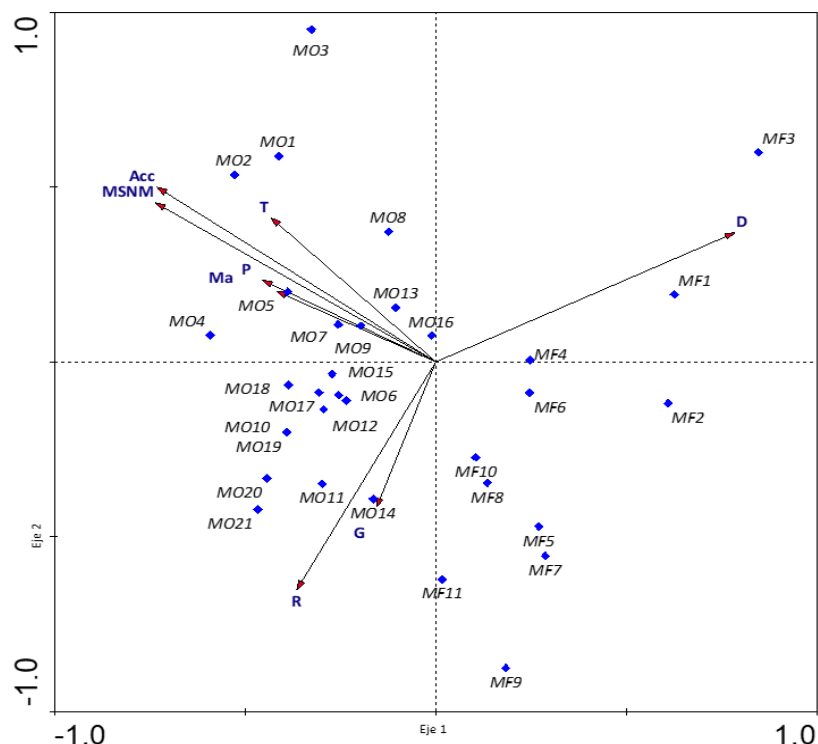


Figura 2. - Proyección de las variables ambientales, de las unidades de censo según los dos primeros ejes canónicos

Leyenda: MO – Mola, MF – Monte Fresco

(T-Tala); (P-Pendiente); (ACC-Accesibilidad); (D-Densidad); (G-Área basal); (MSNM-Altura sobre nivel del mar); (MA - Mortalidad); (R – Relieve)



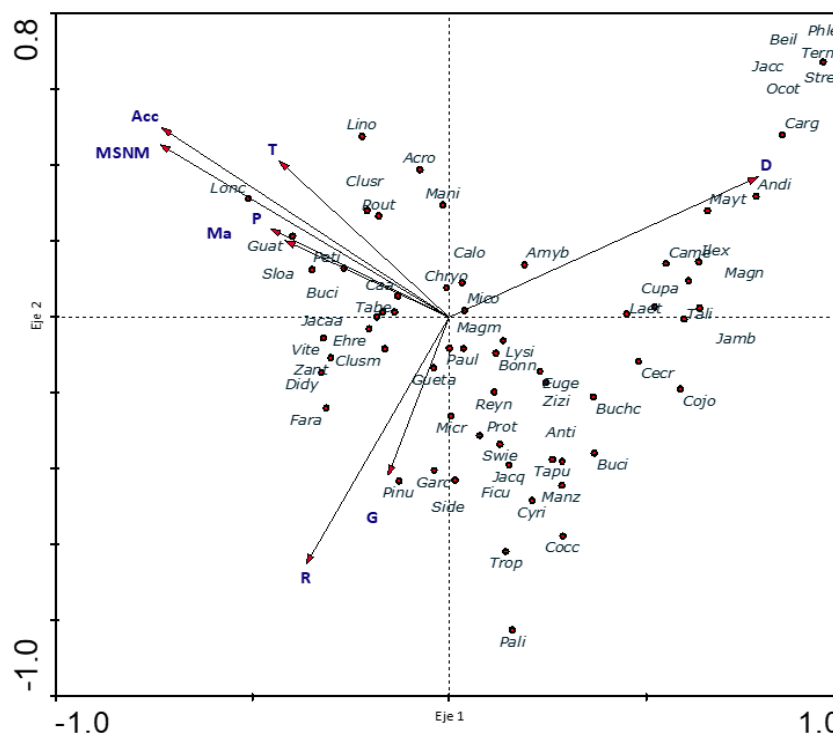


Figura 3 - Proyección de las variables ambientales y de las especies según los dos primeros ejes canónicos

Legenda: MO – Mola, MF – Monte Fresco

(T-Tala); (P-Pendiente); (ACC-Accesibilidad); (D- Densidad); (G -Área basal); (MSNM-Altura sobre nivel del mar); (MA - Mortalidad); (R – Relieve)

Especies y sus siglas

Acrosynanthus trachyphyllus -Acro, *Amyris balsamifera* -Amyb; *Andira inermis* -Andi; *Antirhea lucida* -Anti; *Beilschmiedia pendula* -Beil; *Bonnetia cubensis* -Bonn; *Buchenaia capitata* -Buchc; *Bucida buceras* -Buci; *Byrsonima crassifolia* -Buci; *Calophyllum utile* -Calo; *Cameraria latifolia* -Came; *Carapa guianensis* -Carg; *Casearia arborea* -Caa; *Cecropia peltata* -Cecr; *Chrysophyllum oliviforme* -Chryo; *Clusia minor* -Clusm; *Clusia rosea* -Clusr; *Coccoloba rufescens* -Cocc; *Cojoba arborea* -Cojo; *Cupania americana* -Cupa; *Cyrilla cubense* -Cyri; *Didymopanax morototoni* -Didy; *Ehretia tinifolia* -Ehre; *Eugenia glabrata* -Euge; *Fareamea occidentalis* -Fara; *Ficus citrifolia* -Ficu; *Garcinia aristata* -Garc; *Guatteria moralesii* -Guat; *Guettarda calypttrata* -Gueta; *Ilex nannophylla* -Ilex; *Jacaranda arborea* -Jacaa; *Jacaranda cowellii* -Jacc; *Jacquinia aculeata* -Jacq; *Jambosa vulgaris* -Jamb; *Laetia ternstroemioides* -Laet; *Linociera bakeri* -Lino; *Lonchocarpus sericeus* -Lonc; *Lysiloma sabicu* -Lysi; *Magnolia cristalensis* -Magn; *Magnolia minor* -Magm; *Manilkara albescens* -Mani; *Manilkara zapota* -Manz; *Maytenus elaeodendroides* -Mayt; *Miconia elata* -Mico; *Micropholis polita* -Micr;



Ocotea leucoxylon -Ocot; *Palicourea alpina* -Pali; *Paullinia fuscescens* -Paul; *Petitia domingensis* -Peti; *Phlebotaenia cuneata* -Phle; *Pinus cubensis* -Pinu; *Pouteria aristata* -Pout; *Protium fragrans* -Prot; *Reynosia wrightii* -Reyn; *Sideroxylon jubilla* -Side; *Sloanea curatellifolia* -Sloa; *Strempeliopsis strempelioides* -Stre; *Swietenia mahagoni* -Swie; *Tabebuia shaferi* -Tabe; *Taliparitis elatus* -Tali; *Tapura cubensis* -Tapu; *Terminalia nipensis* -Term; *Trophis racemosa* -Trop; *Vitex heptaphylla* -Vite; *Zanthoxylum duplicipunctatum* -Zant; *Ziziphus rhodoxylon* -Zizi

Análisis por especies

El análisis del número efectivo de ocurrencias (N2 de Hill) revela que 45 de las 66 especies, el 68 %, presentan un $N2 < 5$, lo que indica que son poco frecuentes y aparecen en un número reducido de parcelas. Ocho de estas especies fueron exclusivas de una sola parcela (únicas), siete de estas en Monte Fresco: *Ficus citrifolia*, *Jacquinia aculeata*, *Beilschmiedia pendula*, *Jacaranda cowellii*, *Ocotea leucoxylon*, *Phlebotaenia cuneata*, *Strempeliopsis strempelioides* y *Terminalia nipensis*, lo que contribuye a la alta singularidad de este fragmento, especialmente en la parcela MF3 que contiene seis de estas especies.

Por otro lado, se identificó un grupo de diez especies con $N2 > 5$ que actúan como las más comunes y generalistas en el área de estudio, con valores de N2 entre 10 y 15 (e.g., *Calophyllum utile*, *Miconia elata*, *Clusia rosea*). Estas especies generalistas se proyectan hacia el centro del diagrama de ordenación de la Figura 3, mientras que las especies con N2 bajo, denominadas especialistas o raras, se ubican en los extremos de los ejes, definiendo los hábitats más particulares de Mola o Monte Fresco.

Especies indicadoras

El análisis de especies indicadoras (IndVal) identificó nueve especies indicadoras para Mola ($P < 0,05$) y 33 para Monte Fresco ($P < 0,05$). Tras la corrección de Bonferroni, las especies más confiables fueron:

Mola: *Pouteria aristata* (IndVal=9,5; $P=0,0132$)

Monte Fresco: *Antirhea lucida*, *Beilschmiedia pendula*, *Cameraria latifolia*, *Carapa guianensis*, *Cecropia peltata*, *Coccoloba rufescens*, *Eugenia glabrata*, *Ficus citrifolia*, *Jacaranda cowellii*,



Jacquinia aculeata, *Jambosa vulgaris*, *Laetia ternstroemioides*, *Ocotea leucoxylon*, *Phlebotaenia cuneata*, *Stremmeliopsis stremmelioides*, *Swietenia mahagoni*, *Taliparitis elatus*, *Terminalia nipensis*, *Ziziphus rhodoxylon* ($P=0,0132$ en todos los casos).

DISCUSIÓN

La presencia y dominancia de especies de la familia Sapotaceae en ambos fragmentos sugiere que se trata de bosques relativamente maduros y conservados, ya que esta familia es característica de ecosistemas poco perturbados (Finegan, 1996). Monte Fresco, con 64 especies y una elevada equidad ($J' = 0.827$), presenta características propias de un bosque en etapa avanzada de sucesión (Villa *et al.*, 2019; Finegan, 1996). La alta diversidad (Simpson $(\frac{1}{D}) = 17,98$) sugiere una comunidad estructurada con baja dominancia, típica de bosques maduros (Finegan, 1996; Odum, 1969), donde las especies secundarias tardías y clímax se han establecido tras más de seis décadas de recuperación (Villa *et al.*, 2019; Dent *et al.*, 2013).

Mola presenta una riqueza menor (36 especies) pero una equidad ligeramente superior ($J' = 0,847$), lo que sugiere una comunidad más homogénea (Reyes y Acosta-Cantillo, 2018). Este patrón es consistente con bosques maduros donde dominan especies clímax de dosel cerrado (Villa *et al.*, 2019; Dent *et al.*, 2013; Odum, 1969). La menor riqueza absoluta refleja condiciones ambientales más restrictivas asociadas al sustrato de ofiolitas (Jaffré *et al.*, 2024; Rivero-Gutiérrez *et al.*, 2018).

Estudios recientes en bosques tropicales sobre sustratos ultramáficos han reportado patrones similares. En Nueva Caledonia, Jaffré *et al.* (2024) encontraron que bosques adyacentes sobre serpentinitas y rocas volcano-sedimentarias mostraron riqueza comparable, pero composición florística marcadamente diferente, con solo 35,8 % de especies de árboles compartidas. Estos autores atribuyeron las diferencias a la química del suelo, particularmente al pH, aluminio, manganeso y níquel. En este estudio, la altitud y el relieve emergieron como variables significativas, probablemente actuando junto a las condiciones edáficas (Castillo-Ávila *et al.*, 2025; Rivero-Gutiérrez *et al.*, 2018).



Los resultados del ACC y el análisis de especies indicadoras respaldan la idea de que el sustrato geológico actúe como el filtro ambiental primario (Jaffré *et al.*, 2024; Reyes y Acosta-Cantillo, 2017). Por ejemplo, Mola sobre ofiolitas, presenta características que sugieren suelos serpentiniticos, ampliamente distribuidos en la región oriental de Cuba (Reyes y Acosta-Cantillo, 2017; López-Almirall, 2013). Estos suelos son conocidos por su alta toxicidad por metales pesados: níquel, cromo, cobalto; y deficiencia de nutrientes esenciales como el calcio, el fósforo y el potasio (Jaffré *et al.*, 2024; Adamidis *et al.*, 2014; Berazaín *et al.*, 2007), lo que explica la menor riqueza (36 especies) y la dominancia de *Calophyllum utile* (186 individuos), una especie con adaptaciones fisiológicas a suelos ultramáficos.

Investigaciones en bosques sobre serpentinitas han documentado que las plantas desarrollan mecanismos de tolerancia que incluyen la exclusión de metales pesados, la acumulación en tejidos específicos o la hiperacumulación (Jaffré *et al.*, 2024; Adamidis *et al.*, 2014; Berazaín *et al.*, 2007). En Nueva Caledonia, Jaffré *et al.* (2024) demostraron que las concentraciones foliares de níquel son significativamente mayores en plantas que crecen sobre sustratos ultramáficos, mientras que el manganeso y el aluminio son más elevados en sustratos volcano-sedimentarios. Estudios futuros deberían evaluar las concentraciones foliares de metales pesados en las especies dominantes de Mola para confirmar estas adaptaciones.

En contraste, Monte Fresco, sobre rocas metamórficas con suelos ferralíticos rojos más fértiles y profundos (Reyes y Acosta-Cantillo, 2018), sustenta una mayor riqueza y especies clímax como *Carapa guianensis* y *Manilkara zapota*. La presencia de 19 especies indicadoras confiables en Monte Fresco refleja la mayor heterogeneidad de microhábitats disponibles en suelos más fértiles (Castillo-Avila *et al.*, 2025).

El alto recambio de especies ($\beta w=3,64$) indica que ambos sitios representan ensamblajes florísticos diferentes dentro del paisaje. Este valor es comparable con el recambio observado entre bosques sobre sustratos contrastantes en otras regiones tropicales (Jaffré *et al.*, 2024; Villa *et al.*, 2019). La complementariedad florística entre ambos fragmentos tiene implicaciones fundamentales para la conservación: ninguna de las dos localidades es redundante (IUCN, 2025).



Las 33 especies compartidas (91,7 % de la riqueza de Mola) indican un núcleo común de especies capaces de tolerar un rango relativamente amplio de condiciones edáficas (Bisse, 1988). Estas especies generalistas (*e.g.*, *Miconia elata*, *Clusia rosea*) se proyectan hacia el centro del diagrama de ordenación y presentan valores altos de N2 de Hill (>5) (Hill, 1973; ter Braak, 1986). Por el contrario, las 31 especies exclusivas de Monte Fresco y las tres exclusivas de Mola representan componentes florísticos asociados a condiciones ambientales más específicas (Reyes y Acosta-Cantillo, 2018).

El patrón de alta diversidad beta y presencia de especies raras (68 % de las especies con $N2 < 5$) es consistente con lo reportado para bosques tropicales maduros, donde predominan las especies raras a escala local y solo unas pocas especies comunes dominan la comunidad (Jaffré *et al.*, 2024; Villa *et al.*, 2019). Este patrón tiene implicaciones para la resiliencia del ecosistema frente a perturbaciones, ya que las especies raras pueden desempeñar funciones ecológicas únicas y contribuir a la estabilidad del ecosistema (Castillo-Ávila *et al.*, 2025; Tasnim *et al.*, 2024).

Contrario a lo esperado, la tala (T) no resultó estadísticamente significativa en el modelo de selección hacia adelante ($P > 0,05$), aunque su proyección en el diagrama de ordenación sugiere una asociación con parcelas de Mola. La accesibilidad (Acc) sí fue significativa ($P = 0,026$), pero estuvo fuertemente correlacionada con el primer eje canónico, mezclada con la altitud.

Estos resultados indican que, aunque la accesibilidad es mayor en Mola, no es la causa principal de las diferencias florísticas. Este hallazgo coincide con la evaluación de la UICN (2025), que señala que las talas selectivas en el parque son localizadas y no amenazan la integridad general del ecosistema. Investigaciones recientes en áreas protegidas del Sudeste Asiático, como las de Lineva *et al.* (2025) en el Parque Nacional Cat Tien, han demostrado que el índice de perturbación humana puede variar significativamente entre zonas núcleo y zonas buffer, con presiones antropogénicas localizadas que no necesariamente afectan la integridad ecológica general.

La ausencia de un efecto significativo de la tala puede deberse a que los bosques estudiados se encuentran en etapas avanzadas de sucesión, donde los bancos de semillas, las fuentes de semillas y las comunidades de dispersores se encuentran



relativamente intactas, permitiendo que la sucesión no se vea interrumpida por la tala repetida (Chazdon, 2003; Helmer *et al.*, 2008).

La alta diversidad beta ($\beta_w=3,64$) y la presencia de especies indicadoras exclusivas en ambos fragmentos demuestran que ninguna de las dos localidades es redundante para la conservación de la flora arbórea del parque. La especificidad de hábitat observada, con especies adaptadas a serpentinitas en Mola y especies clímax de suelos fértiles en Monte Fresco, subraya la necesidad de mantener la heterogeneidad ambiental del Parque Nacional Alejandro de Humboldt (IUCN, 2025; Reyes y Acosta-Cantillo, 2017).

Estudios recientes sobre restauración de bosques tropicales han enfatizado la importancia de considerar la heterogeneidad edáfica en el diseño de estrategias de conservación (Castillo-Ávila *et al.*, 2025; Tasnim *et al.*, 2024). En el Indo-Burma Biodiversity Hotspot, Tasnim *et al.* (2024) demostraron que los bosques maduros sostienen niveles más altos de nutrientes que las plantaciones mixtas y monoespecíficas, lo que subraya la importancia de preservar los bosques primarios y secundarios avanzados.

Los esfuerzos de conservación deben enfocarse en preservar ambos fragmentos como unidades complementarias de conservación (IUCN, 2025), monitorear las amenazas localizadas (tala, accesibilidad) que, aunque no son actualmente determinantes, podrían volverse críticas si aumentan (IUCN, 2025), mantener la conectividad entre fragmentos para permitir el flujo génico y la recolonización de especies (Tasnim *et al.*, 2024) y profundizar en estudios ecofisiológicos que permitan comprender los mecanismos de adaptación de las especies a los sustratos de oliofitas, incluyendo análisis de concentraciones foliares de metales pesados y rasgos funcionales (Jaffré *et al.*, 2024; Adamidis *et al.*, 2014).

La complementariedad florística entre ambos fragmentos implica que la conservación efectiva del parque requiere acciones de conservación en ambos fragmentos. Así, Monte Fresco destaca por su mayor riqueza (64 especies) y la presencia de numerosas especies clímax exclusivas, mientras que Mola presenta una comunidad más homogénea y especializada, dominada por *Calophyllum utile* y tolerante a condiciones extremas.



CONCLUSIONES

La altura sobre el nivel del mar, el relieve, la densidad y la accesibilidad fueron las variables con un efecto significativo en la distribución de flora arbórea de los dos fragmentos de bosque pluvisilva submontano en Cupeyal del Norte.

Los dos fragmentos de bosque pluvisilva submontano estudiados albergan comunidades arbóreas maduras, pero florísticamente diferenciadas, con una alta diversidad beta.

La complementariedad florística entre ambos fragmentos implica que la conservación efectiva del parque requiere acciones de conservación diferenciada en ambos fragmentos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Estudios y Servicios Ambientales y Tecnológicos Alejandro de Humboldt por el apoyo logístico, y a los guardaparques de Cupeyal del Norte por su colaboración en el trabajo de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMIDIS, G.C., KAZAKOU, E., FYLLAS, N.M. y DIMITRAKOPOULOS, P.G. 2014. Species Adaptive Strategies and Leaf Economic Relationships across Serpentine and Non-Serpentine Habitats on Lesbos, Eastern Mediterranean. *PLoS ONE*, vol. 9, no. 5, e96034. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096034>
- BERAZAÍN, R., DE LA FUENTE, V., RUFO, L., RODRÍGUEZ, N., AMILS, R. y DÍEZ-GARRETAS, B. 2007 Nickel localization in tissues of different hyperaccumulator species of Euphorbiaceae from ultramafic areas of Cuba. *Plant and Soil*, [en línea], vol. 293, no 1, p. 99-106. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9227-3>



- BISSE, J., 1988. Árboles de Cuba [en línea]. La Habana: Editorial Científico-Técnica. Disponible en: https://books.google.com.cu/books/about/Arboles_de_Cuba.html?hl=es&id=R9olAQAAMAAJ&redir_esc=y. Brooks, R.R. (1987). *Serpentine and its vegetation: a multidisciplinary approach*. Dioscorides Press, Portland.
- CAPOTE LÓPEZ, R. P. y BERAZAÍN ITURRALDE, R. 2025. Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba: aplicaciones en América Latina y el Caribe. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, [en línea], 46 (Número especial 1), e53. Recuperado a partir de <https://revistas.uh.cu/rjbn/article/view/11995>
- CASTILLO-AVILA, C., CASTILLO-FIGUEROA, D. y POSADA, J.M. 2025. Drivers of soil fauna communities along a successional gradient in upper Andean tropical forests. *Soil Biology and Biochemistry*, [en línea], vol. 202, p. 109692. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071724003845>
- CHAZDON, R.L. 2003. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, [en línea], vol. 6, pp. 51-71. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1433831904700670>
- DI RIENZO, J.A., CASANOVES, F., BALZARINI, M.G., GONZALEZ, L., TABLADA, M. y ROBLEDO, C.W. 2020. *InfoStat versión 2020*. [en línea] Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- FINEGAN, B., 1996. Pattern and process in neotropical secondary rain forests. *Trends in Ecology and Evolution*, [en línea], vol. 11, no. 3, pp. 119-24. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0169534796810901>
- GEADA LÓPEZ, G., SOTOLONGO SOSPEDRA, R., PÉREZ DEL VALLE, L. y RAMÍREZ HERNÁNDEZ, R., 2021. Diferenciación anatómica foliar en poblaciones naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* (Pinaceae) en Pinar del Río y Artemisa, Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional* [en línea], vol. 42, pp. 175-188.



[Consulta: 23 febrero 2026]. ISSN 0253-5696. Disponible en:
<https://www.jstor.org/stable/48672484>

GONMADJE, C., DOUMENGE, C., SUNDERLAND, T. C. H. y MCKEY, D. 2019. Environmental filtering determines patterns of tree species composition in small mountains of Atlantic Central African forests. *Acta Oecologica*, [en línea], vol. 94, pp. 12-21. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1146609X1730396X>

HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T. y RYAN, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, [en línea], vol. 4, no 1, pp.9. Disponible en: https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf

HELMER, E.H., BRANDEIS, T.J., LUGO, A.E., y KENNAWAY, T. 2008. Factors influencing spatial pattern in tropical forest clearance and stand age: implications for carbon storage and species diversity. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, [en línea], vol. 113, no. G02. Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007JG000568>

HILL, M.O., 1973. Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, [en línea], vol. 54, no. 2, pp. 427-432. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/1934352>

IUCN 2025. Alejandro de Humboldt National Park: Conservation Outlook Assessment. World Heritage Outlook. [en línea], [consulta: 4 mayo 2026]. Disponible en: <https://worldheritageoutlook.iucn.org/explore-sites/alejandro-de-humboldt-national-park>

JAFFRÉ, T., ISNARD, S. y IBÁÑEZ, T. 2024. Leaf elemental composition of species growing on contrasting soils in two adjacent rainforests: Serpentinized ultramafic versus volcano-sedimentary rock. *Ecological Research*, [en línea], vol. 39, no 6, p. 852-861. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12508>



- LINEVA, N., Gorbunov, R., Kashirina, E., Gorbunova, T., Drygval, P., Pham, C.N., Kuznetsov, A., Kuznetsova, S., Nguyen, D.H., Dinh, V.A.T., NGO, T.D. y Chuprina, E. 2025. Landscape Dynamics of Cat Tien National Park and the Ma Da Forest Within the Dong Nai Biosphere Reserve, Socialist Republic of Vietnam. *Land*, [en línea], 2025, vol. 14, no 10, p. 2003. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land14102003>
- LÓPEZ ALMIRALL, A. 2013. Contribución al catálogo de flora cubana: endemismos de suelos derivados de ofiolitas. *Botánica Complutensis*, [en línea], vol. 37, pp. 135-152. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Contribuci%C3%B3n-al-cat%C3%A1logo-de-flora-cubana%3A-de-suelos-Almirall/903a176a0533d5c9a214e7ce34c1503558eec330?p2df>
- MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., FONSECA, G.A.B. da y KENT, J., 2000. *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. *Nature*, [en línea], vol. 403, no. 6772, pp. 853-858. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/35002501>
- ODUM, E.P., 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* [en línea], vol. 164, no. 3877, Disponible en: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.164.3877.262>.
- REYES, O.J. Y ACOSTA-CANTILLO, F. 2018. Fitocenosis en la pluvisilva de baja altitud sobre rocas metamórficas, Cuba Oriental. *Revista del Jardín Botánico Nacional* [en línea], vol. 39, pp. 49-57. [Consulta: 23 febrero 2026]. ISSN 0253-5696, 39, 49-57. Disponible en: <https://revistas.uh.cu/rjbn/article/view/6721?articlesBySimilarityPage=1>
- REYES, O.J. y ACOSTA-CANTILLO, F., 2017. Fitocenosis en las pluvisilvas sobre ofiolitas del Parque Nacional Alejandro de Humboldt. *Caldasia* [en línea], vol. 39, no. 1, Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317998239_Fitocenosis_en_las_pluvisilvas_sobre_ofiolitas_del_Parque_Nacional_Alejandro_de_Humboldt_Cuba_Oriental.



- RIVERO-GUTIERREZ, E., SOSA-RODRIGUEZ, J.L. y HERRADA-RIVERO, M. 2018. Flora del bosque pluvial montano y su relación con variables ambientales, en el Parque Nacional Turquino de Cuba. *Revista Ciencia y Tecnología*, [en línea], 2018, vol. 11, no 2, p. 57-67. Disponible en: <https://doi.org/10.18779/cyt.v11i2.240>
- TASNIM, N., HOSSAIN, M. R., FAYEEM, H. A. M., MOSTOFA, Z. B., ANIKA, T. T., MOU, M., Y SARKER, S. K. 2024. Towards data-driven tropical forest restoration: Uncovering spatial variation, interactions and historical management effects on nutrients along soil depth gradients. *Science of The Total Environment*, [en línea], vol. 954, p. 176756. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969724069134>
- TER BRAAK, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, [en línea], vol. 67, no 5, p. 1167-1179. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/216900651_Canonical_Correspondence_Analysis_A_New_Eigenvector_Technique_for_Multivariate_Direct_Gradient_Analysis
- TER BRAAK, C.J.F. Y ŠMILAUER, P. 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide. Software for canonical community ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, NY, 2002, [en línea], p. 500. Disponible en: https://books.google.com.cu/books/about/CANOCO_Reference_Manual_and_CanoDraw_for.html?id=0ZhoGwAACAAJ&redir_esc=y
- VILLA, P.M., MARTINS, S.V., RODRIGUES, A.C., SAFAR, N.V.H., BONILLA, M.A.C. y ALI, A. 2019. Testing species abundance distribution models in tropical forest successions: implications for fine-scale passive restoration. *Ecological Engineering*, [en línea], vol. 135, pp. 28-35. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.05.015>



Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial
4.0 Internacional.

