OPEN ACCESS

ARTÍCULO ORIGINAL

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola

Ingeniería Agrícola 16
enero-diciembre 2026
ISSN 2306-1545, eISSN 2227-8761
Cu-ID: https://cu-id.com/2284/v16e25

Evaluación de la vulnerabilidad ecológica en bosque semicaducifolio sobre suelos calizos ante desastres naturales

Assessment of ecological vulnerability in semi-deciduous forest on calcareous soils to natural disasters

Ariel Martínez Fuente[1*], José Sánchez Fonseca[2] y Camilo Bonet Pérez[3]

[1]*Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Grupo de Investigación de Guantánamo, Guantánamo, Cuba.*
[2]*Universidad de Guantánamo, Facultad Agroforestal, Guantánamo, Cuba. Teléf.: 59790551; E-mail: jsanchezf@cug.co.cu;*
[3]*Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Grupo de Investigación de Camagüey. Teléf.: 51934003, E-mail: camilobp51@gmail.com*

[*]Autor para correspondencia: Ariel Martínez Fuente, e-mail: arielmartinezfuente22@gmail.com

RESUMEN: La investigación comprendió desde mayo de 2024 hasta diciembre de 2025, en un bosque semicaducifolio sobre suelos calizos, situado en la Reserva Florística Manejada Sierra Canasta, Cuenca Hidrográfica Guantánamo-Guaso, Provincia Guantánamo con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad ecológica. Se establecieron 12 parcelas de 500 m^2 (0,05 ha) con un muestreo sistemático, donde se determinó el número de especies y de individuos por especies. Se caracterizó la estructura horizontal y vertical, y el índice de Valor de Importancia Ecológica, así como el índice de Simpson. Los resultados evidenciaron que el análisis de la diversidad florística facilitó la valoración de la estructura, composición y comportamiento del bosque. El uso de los indicadores propuestos fue factible para la evaluación de la vulnerabilidad ecológica ante variaciones en su estructura. El bosque se caracterizó por presentar vulnerabilidad ecológica baja, las especies menos vulnerables fueron: *Phyllostylon brasiliensis* C. 59,8 %, *Burcera simaruba* L. 59,8 %, y *Dipholis salicifolia* L. 26,68 %. La familia Sapindaceae fue la mejor representada con cuatro taxones, que representan un 30,76 %, seguida de Fabaceae, Sapotaceae y Moraceae con dos taxones, las cuales representan un 15,38 %, el resto de las familias en el estudio representan un taxón correspondiente a un 7,69 %.
Palabras clave: diversidad florística, estructura y composición, índice de valor de importancia ecológica, muestreo sistemático.

ABSTRACT: The research was conducted from May 2024 to December 2025, in a semi-deciduous forest on limestone soils, located in the Sierra Canasta Managed Floristic Reserve, Guantánamo-Guaso Watershed, Guantánamo Province, with the aim of evaluating ecological vulnerability. Twelve plots of 500 m² (0.05 ha) were established using systematic sampling, where the number of species and individuals per species were determined. The horizontal and vertical structure, as well as the Ecological Importance Value index and Simpson's index, were characterized. The results showed that the analysis of floristic diversity helped in assessing the structure, composition, and behavior of the forest. The use of the proposed indicators was feasible for evaluating ecological vulnerability in response to changes in its structure. The forest was characterized by having low ecological vulnerability, the least vulnerable species were: Phyllostylon brasiliensis C. 59.8%, Burcera simaruba L. 59.8%, and Dipholis salicifolia L. 26.68%. The Sapindaceae family was the best represented with four taxa, representing 30.76%, followed by Fabaceae, Sapotaceae, and Moraceae with two taxa each, representing 15.38%, while the remaining families in the study each represent one taxon, corresponding to 7.69%.
Keywords: floristic diversity, structure and composition, ecological importance value index, systematic sampling.

INTRODUCCIÓN

Los fenómenos meteorológicos extremos provocan daños importantes siendo la degradación de los ecosistemas como uno de los factores que incrementa el riesgo de desastre. La vulnerabilidad a los desastres es la predisposición a sufrir pérdidas o daños, de los elementos bióticos o abióticos expuestos al impacto de un peligro de determinada severidad. Se relaciona directamente con las cualidades y propiedades del o de los elementos en cuestión en relación con el peligro o los peligros que podrían incidir sobre (Zequeira-Álvarez et al., 2021).

Recibido: 30/01/2026
Aceptado: 29/06/2026
Conflicto de interés: Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.
Contribuciones de autor: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición: Ariel Martínez Fuente. **Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Metodología, Validación, Redacción - borrador original, Redacción-revisión y edición:** José Sánchez Fonseca. **Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Validación, Redacción-revisión y edición:** Camilo Bonet Pérez.
La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para el editor.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

El análisis de la vulnerabilidad es la primera medida de un proceso de gestión enfocada en la adaptación al cambio climático (Metternicht et al., 2014). En el mundo, países como España, Dinamarca, Costa Rica, Alemania, Colombia, México, Perú y Brasil; desde el siglo pasado estudian el concepto de la vulnerabilidad ante el cambio climático expresado como la habilidad que tienen los sistemas humanos y ecológicos para responder o hacer frente a los cambios en el clima.

Los sistemas naturales, se consideran especialmente vulnerables por su limitada capacidad adaptativa, y pueden experimentar daños significativos e irreversibles. El conocimiento de estos ecosistemas tan valiosos, implica el diseño de mecanismos que posibiliten un adecuado manejo y conservación de sus potencialidades, la comprensión de sus diferentes aspectos ecológicos y estructurales, permitirá orientar de manera eficaz el manejo exitoso de estos tipos de bosques (Alvis-Gordo, 2009).

A escala global, los bosques tropicales estacionales desempeñan funciones clave como sumideros de carbono, mantenimiento de procesos de polinización, reciclaje de nutrientes y regulación del microclima, influyendo directamente en la estabilidad ecosistémica (Matsuo et al., 2021; Murphy & Lugo, 1986). Sin embargo, estos ecosistemas se encuentran entre los más amenazados debido a la expansión agropecuaria, la tala selectiva y la fragmentación del paisaje (Tadeo et al., 2024).

Por lo que, es necesario conocer la vulnerabilidad ecológica. Sin embargo, la Empresa para la Protección de la Flora y la Fauna en la provincia de Guantánamo, en el caso particular de Sierra Canasta ha llevado un arduo trabajo en materia de protección de estos bosques; pero aún siguen siendo explotados irracionalmente por parte de las comunidades aledañas, pues están muy antropizado y se desconoce su estado ecológico. Por ello, el objetivo de la investigación es determinar la vulnerabilidad ecológica del bosque semicaducifolio sobre suelos calizos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El área de estudio se localiza en la Reserva Florística Manejada Sierra Canasta, en un bosque semicaducifolio sobre suelos calizos**,** provincia Guantánamo. Con coordenadas Geográfica de 20.1667^0 de latitud norte -75.3333^0 de longitud oeste, una elevación de 397 msnm (Figura 1). La investigación comprendió desde mayo de 2024 hasta diciembre de 2025, en 50 has.



Figura 1. Área de investigación. Bosque semicaducifolio sobre suelos calizos.

Clima: Cálido tropical con temperatura medias entre 28-32^{0}C durante el día y mínimas a 20^{0}C en la noche, acompañado de alta humedad y lluvias estacionales posees temperatura máxima diurna alrededor 30-32^{0}C. Mínima nocturna entre 19-21^{0}C (CITMA-Cuba, 2020).

Tipo de suelos: Se destacan cuatro subtipos de suelos, según el Mapa de Suelos a escala 1: 25 000, utilizando la 2da Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (J. Hernández et al., 2015). Por su extensión, el más abundante corresponde al Esquelético Natural, bien delimitado dentro de los demás subtipos.

Diseño experimental o metodológico

Para la ubicación de las unidades de muestreo en el bosque, se muestrearon 12 parcelas de 0,05 ha (500 m^2) situadas a una distancia estimada de 50 m; empleándose un diseño sistemático, registrándose los individuos con más de 2 m de altura y ≥ a 5 cm de d_1 **,** 3 m de acuerdo con los criterios de muestreo utilizados por (Sánchez-Fonseca et al., 2023). Para los individuos no identificados en el campo, se tomó muestra botánica para su posterior identificación. Asimismo, los nombres comunes fueron proporcionados por los guías locales, y Árboles de Cuba (Bisse, 1988).

Mediciones, equipamiento y tecnología utilizados

Para el trabajo de campo se utilizaron: Hipsómetro de Sunnto, Cinta métrica y diamétrica, machetes, jalones, pintura y mapas a escala 1/50000.

Para determinar si el esfuerzo de muestreo fue suficiente para representar adecuadamente el bosque en estudio se analizó la curva área-especie utilizando el software BioDiversity Pro: para calcular los índices de Biodiversidad (índice de riqueza, abundancia y dominancia de especies). Para introducir los datos, confección de tablas y gráficos se empleó el Microsoft Excel y para la interpretación de los resultados obtenidos Microsoft Word.

Se determinaron la altura promedio en las parcelas, el área basal de cada clase diamétrica aplicando la siguiente ecuación:

$$G = \frac{\pi}{4} d^2$$

donde: $^{\pi}/_4$ = 0,7854, d^2: diámetro medido a la altura de 1,30 m del diámetro elevado al cuadrado.

Para el cálculo de los volúmenes se utilizó la ecuación:

$$V = \frac{G}{h}(h+3)f$$

donde: G: área basal, h +3: altura más 3, f: coeficiente mórfico.

Diversidad de especies. Diversidad alfa (α)

La diversidad (alfa) de especies forestales por tipo de cobertura vegetal, fue estimada mediante la riqueza de especies (Magurran, 1989). Por la ecuación siguiente:

$$Dmg = \frac{S-1}{\ln N}$$

donde: S = Número de especies, N= Número total de individuos.

Parámetros estructurales. Estructura horizontal

Se determinaron los parámetros de la estructura horizontal a través del cálculo de: abundancia relativa (Ar), frecuencia relativa (Fr), y dominancia relativa (Dr) de cada especie (Moreno, 2001).

Índice de valor de importancia ecológica (IVIE)

Se evaluó el índice de valor de importancia ecológica de las especies (Lamprecht, 1990), el cual fue obtenido mediante la suma de los parámetros de la estructura horizontal, conforme a la fórmula: IVIE = AR +DR +FR

Para la vulnerabilidad ecológica, se partió de la metodología de Delgado et al. (2016); Noguera (2017), modificada por (Assef-Rodriguez et al., 2020). Se combinaron técnicas de evaluación cualitativa y cuantitativa, así como rangos de evaluación, según criterios de EMNDC (2017), adaptados por Assef-Rodriguez et al. (2020) al contexto forestal.

La vulnerabilidad ambiental se determinó según Delgado et al. (2016), a partir del análisis de sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación.

Sensibilidad (S): Se evaluó a través del Índice de Valor de Importancia Ecológico (IVIE), como resultado de los parámetros horizontales. Para determinar la sensibilidad, se partió de lo propuesto por Assef-Rodriguez et al. (2020) en no sensibles, moderadamente sensible y sensible. En función del IVIE (Tabla 1) se establecieron rangos de evaluación para su clasificación, mediante el empleo de criterio cuantitativo ponderado propuesto por EMNDC-Cuba (2017), modificados por Assef-Rodriguez et al. (2020).

Exposición (E)

Fue evaluada mediante el uso interpretativo del IVIE, estableciéndose que la exposición de una especie es directamente proporcional al índice. Mientras mayor sean los valores de IVIE, mayor será su exposición ante cualquier fenómeno perturbador. Para la evaluación se utilizó un criterio cuantitativo ponderado (Tabla 2).

Capacidad de adaptación (Ca)

Se realizó un análisis de diversidad mediante el índice de Simpson (D) (Moreno, 2001), al defender el criterio que: una diversidad alta favorece la capacidad de adaptación de la especie y, por ende, disminuye su vulnerabilidad ambiental. Se utilizaron rangos de evaluación cuantitativos (Tabla 3).

Evaluación de la vulnerabilidad ambiental (Va)

Se realizó a partir del análisis de la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Se aplicó una ecuación matemática adaptada para el cálculo de vulnerabilidad ambiental (Va): Va= (S + Ex) - Ca. Según Delgado et al. (2016). Donde: Va: Vulnerabilidad ambiental; S: Sensibilidad; Ex: Exposición; Ca: Capacidad de adaptación. Para determinar los niveles de vulnerabilidad (Tabla 4) de las especies se evaluaron los indicadores ambientales de biodiversidad. A cada factor se le otorgaron valores de 1, 3 y ≥ 5 que clasifican el comportamiento bajo, medio y alto de vulnerabilidad.

Evaluación de la vulnerabilidad estructural (Ve)

Se tomarán en cuenta los valores estructurales obtenidos, al establecer una relación de la Posición sociológica relativa de cada especie (PSr), según fórmula: Ve= PSr. Donde: PSr = posición sociológica relativa. Se interrelacionan los valores de la posición sociológica con la vulnerabilidad estructural (Tabla 5). A cada factor se le otorgaron valores de 1, 3 y 5 que clasifican el comportamiento cuantitativo de la vulnerabilidad.

Tabla 1. Rangos de clasificación para la sensibilidad. Fuente: Assef-Rodriguez et al. (2020)

Rangos de evaluación (IVIE)	Nivel de sensibilidad	Valor ponderado
≥90	No sensibles	1
>50 y <90	Moderadamente Sensibles	3
≤ 50	Sensibles	5

Tabla 2. Rangos de clasificación de la exposición. Fuente: Assef-Rodriguez et al. (2020)

Rangos de evaluación (IVIE)	Nivel de exposición	Valor ponderado
≥ 90	Alta	5
>50 y <90	Media	3
≤ 50	Baja	1

Tabla 3. Rangos de evaluación cuantitativos. Fuente: Assef-Rodriguez et al. (2020)

Rangos de índice Simpson	Capacidad de adaptación	Valor ponderado
0,61 - 1,00	Baja	1
0,31 - 0,60	Media	3
0,00 - 0,30	Alta	5

Evaluación de la vulnerabilidad ecológica (Vec)

Se utilizó la metodología planteada por Delgado et al. (2016); Noguera (2017), modificada por (Assef-Rodriguez et al., 2020). Se realizó mediante la suma de los resultados de la vulnerabilidad ambiental y estructural, según fórmula: Vec= Va + Ve. Donde: Vec: vulnerabilidad ecológica; Va: vulnerabilidad ambienta; Ve: vulnerabilidad estructural. Se empleó una matriz de análisis de doble entrada, mediante la combinación del comportamiento de vulnerabilidad ambiental y estructural. A partir de la idea que: a mayor nivel de vulnerabilidad ambiental e igual vulnerabilidad estructural, las parcelas y especies contenidas en ellas deben ser vulnerable ecológicamente (Tabla 6)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la curva área-especies (Figura 2) indica que el muestreo con 10 parcelas es representativo de la diversidad florística. De acuerdo a la tendencia de la curva de especies obtenida no debe incrementarse significativamente el número de especies con un muestreo mayor.

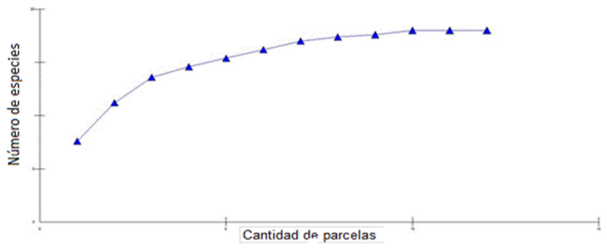


Figura 2. Curva área/especies para el bosque semicaducifolio sobre suelos calizos**.**

Jiménez (2026), utilizo curvas de áreas- especies para indica que el muestreo con seis parcelas fue suficiente para determinar el tamaño de la muestra en la caracterización florística del bosque Semideciduo Mesófilo de la Reserva Natural «El Mulo», Artemisa, Cuba.

Caracterización florística. Diversidad alfa

En el inventario florístico realizado al bosque semicaducifolio sobre suelos calizos se identificaron un total de 18 especies, 13 familias, 18 géneros y 325 individuos. Destacando la presencia de especies que se encuentran incluidas en la lista roja de la flora vascular cubana (Berazaín et al., 2005) como: *Dipholis salicifolia* L., *Cordia gerascanthus* L., *Burcera simaruba* L., entre otras, pues según Sánchez (2015), estos taxones han sido antropizados en algún momento del desarrollo de sus comunidades.

Esta investigación registra datos similares a lo reportado por González (2016) en estudios florísticos del bosque semicaducifolio sobre suelo calizo de la localidad "Punta de Piedra" provincia Granma, el cual reportó 547 individuos, 39 géneros y 26 familias.

Las familias mejor representadas según la riqueza de especies, se muestran en la figura 3, las cuales determinan la diversidad existente en el área de investigación.

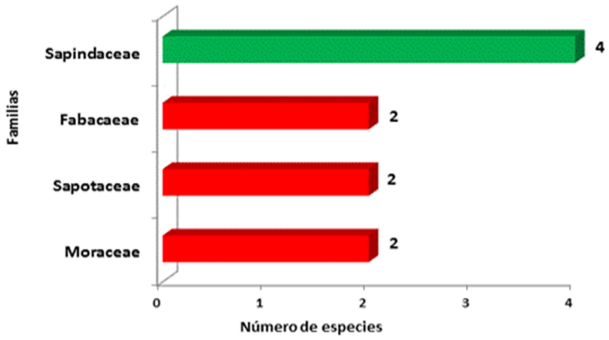


Figura 3. Familias con mayor riqueza de especies de plantas arbóreas en el bosque.

Tabla 4. Evaluación de la vulnerabilidad ambiental. Fuente: Assef-Rodriguez et al. (2020)

Rangos de evaluación	Nivel de vulnerabilidad
1	Vulnerabilidad baja
3	Vulnerabilidad media
≥ 5	Vulnerabilidad alta

Tabla 5. Clasificación la Posición Sociológica relativa. Fuente: Assef-Rodriguez et al. (2020)

Rangos PSr	Vulnerabilidad estructural	Valor ponderado
0,61 - 1,00	Baja	1
0,31 - 0,60	Media	3
0,0 - 0,30	Alta	5

Tabla 6. Evaluación de la vulnerabilidad ecológica. Fuente: Assef-Rodriguez et al. (2020)

Vulnerabilidad Ambiental	Nivel de vulnerabilidad estructural		
	Baja	Media	Alta
Baja	Baja	Baja	Media
Media	Baja	Media	Alta
Alta	Media	Alta	Alta

El bosque semicaducifolio (Figura 3), la familia Sapindaceae fue la mejor representada con cuatro taxones, que representan 30,76 %, seguida de Fabaceae, Sapotaceae y Moraceae con dos taxones, para 15,38 %, el resto de las familias en el estudio representan un taxón correspondiente a 7,69 %.

Entre las familias que se reportan con mayor riqueza de especies se encuentra Fabaceae y Malvaceae que según Mendoza et al. (2021) suelen figurar entre las familias más diversas debido a su plasticidad ecológica y tolerancia a condiciones de estacionalidad hídrica. Los géneros más representados son Cupania, Hebetigma, y Belairia.

Las familias más abundantes según la riqueza de especies en el bosque agrupan a la mayoría de los individuos inventariados, pues se encuentran familias representadas por una especie y pocos individuos como: Meliaceae, Annonaceae con una especie y un individuo respectivamente.

En esta investigación se encuentran algunas especies por familias con mayor representatividad en el bosque debido al porcentaje alto de índice de valor de importancia ecológico como: Ulmaceae: *Phyllostylon brasiliensis* C., Burceraceae: *Burcera simaruba*, Sapotaceae: *Dipholis salicifolia*, entre otras.

Leucaena leucocephala L. se reporta por Mendoza et al. (2021) como planta invasora. Esta especie presenta diferentes grados o niveles de afectación dentro del área protegida la que se encuentra ocupando un 40% de cobertura, proporcionando fuerte presión para la estabilidad y el crecimiento de la flora autóctona del área, y en especial representa una amenaza para el bosque.

Estructura horizontal y vertical. Índice de valor de importancia ecológica a nivel de especie

Teniendo en cuenta el índice de valor de importancia ecológico (IVIE) a nivel de especie, la vegetación presenta un comportamiento heterogéneo en su estructura, pues el peso ecológico de las especies con diámetro ≥ a 5 cm, resultó con valores diferentes, reflejando que las especies que presentan menor dominancia son las menos abundantes y frecuentes (Figura 4).

En este contexto, la dominancia no implica necesariamente simplificación del sistema, sino una jerarquización funcional en la que ciertas especies estructurales consolidan la arquitectura del bosque mientras otras contribuyen a mantener la diversidad interna (Jiménez-González et al., 2026).

Entre las diez especies de mayor peso ecológico en el área (Figura 4), que representa el 59,8 % de la flora registradas, *Phyllostylon brasiliensis, Burcera simaruba, y Dipholis salicifolia* ocupan las tres primeras posiciones, especialmente por su abundancia, frecuencia y dominancia acumulando de conjunto 33,33 % del valor de importancia, aunque *Leucaena leucocephala* y *Cordia gerascanthus* también estuvieron determinadas por su abundancia y frecuencia ocupando la cuarta y

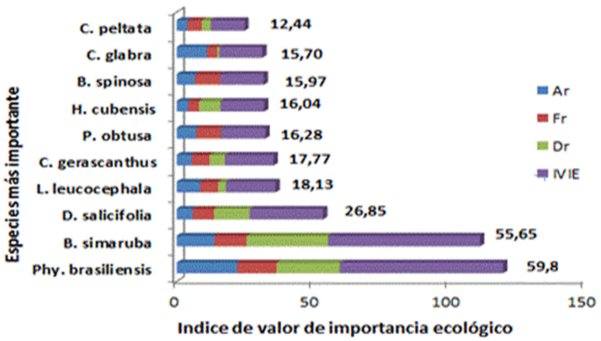


Figura 4. Índice de valor de importancia ecológica para las 10 especies más importantes.

quinta posición respectivamente, por presentar árboles con grandes dimensiones. El resto de las especies que se encuentran situadas hasta la séptima posición ecológica presentaron valores similares entre ellas.

Leucaena leucocephala y *Cordia gerascanthus,* se localizan en la cuarta y quinta posición por su abundancia y frecuencia, presentando árboles con grandes dimensiones. Esto pudiera ser por las labores silviculturales que realiza la Empresa Flora y Fauna, la que garantiza el control y estabilidad de las especies en el bosque.

Evaluación de la vulnerabilidad ecológica. Sensibilidad

De las 18 especies inventariadas en el bosque, 16 fueron evaluadas de sensibles para el 88,88 % por presentar valores de IVIE ≤ 50 %. Entre ellas, se destacan: *Phyllostylon brasiliensis, Burcera simaruba, y Dipholis salicifolia,* entre otras. Las especies sensibles se caracterizan por ser las de menor peso ecológico, menos importantes por su dominancia; la escasa representatividad, las hace más susceptibles a las perturbaciones ambientales y antropogénicas, son propensas a tener reducción en su crecimiento, en la reproducción y supervivencia; además, poseen poca distribución en el rodal y se esperan que ocurran variaciones potenciales en la composición, estructura y funcionamiento de sus poblaciones, por tanto, serán las menos adaptadas a los factores físicos-ambientales del hábitat (Assef-Rodriguez et al., 2020).

Estos resultados, están relacionados con la extracción de productos forestales maderables; así como la apertura de caminos y tala del bosque para la realización de estas actividades.

Por otra parte, *Burcera simaruba* y *Phyllostylon brasiliensis*, son evaluadas de moderadamente sensibles por tener valores de IVIE >50 y <90, las cuales representan 11, 11 %.

De igual forma Sánchez (2015), afirmó que la práctica de la roza, tumba y quema, el cultivo de *Coco nuciferas* y *Theobroma cacao L.*, producen cambios desfavorables en la estructura y composición de especies, así como en la biodiversidad del bosque.

De manera similar, Delgado et al. (2016), en el análisis de la vulnerabilidad al cambio climático de bosques de montaña en Latinoamérica, plantean que las especies de distribución restringida se consideran sensibles a cambios climáticos y consideran que estos bosques sufrirán variaciones a nivel de las poblaciones de especies dominantes (abundancia, distribución y crecimiento).

Exposición

En la evaluación por especies el 87 % predominó con bajo nivel de exposición, al presentar valores de IVIE ≤ 50 %. De las 18 incluidas en este rango, se destacan con valores bajos de IVIE: *Cecropia peltata* L., *Cupania glabra* SW., y *Belairia spinosa* A.

Las especies con bajo nivel de exposición, se caracterizan por ser las menos abundantes, frecuentes y dominantes, son las menos representativas del área y por consiguiente, se induce que tendrán pocas variaciones en su estructura original, funcionamiento y composición florística del bosque (Sánchez-Fonseca et al., 2023).

El resto de los taxones mucho más bajos, por presentar valores de IVIE <50. Existen otros factores que intervienen directamente en la exposición, como los cambios de temperaturas, precipitaciones, frecuencia e intensidad de eventos extremos, que pueden afectar o influir sobre el funcionamiento del ecosistema, por ejemplo: sobre el crecimiento de los árboles, la supervivencia de las especies, los períodos de floración y fructificación.

Por otro lado, la condición hidrológica del bosque y la variabilidad climática, también ocasionan cambios, tal es el caso, que una reducción en los niveles de precipitación, puede incrementar la probabilidad de incendios forestales y la aparición de condiciones favorables para plagas o especies invasoras perjudiciales al ecosistema.

Capacidad de adaptación

En función de los valores del Índice de Simpson, se evaluó la capacidad de adaptación para el área en estudio. Se observa que el área en cuestión presenta baja capacidad de adaptación relacionada con la diversidad de especies representadas. Estas revelan valores que oscilan en el rango de 0,61- 1,00.

Las especies que integran esta vegetación de bosque, presentan bajo potencial ecológico para favorecer el equilibrio natural (IVIE ≤ 50 %), por ende, menor será la capacidad de adaptación en el ecosistema.

Lo antes expuesto, corrobora los resultados reportados por Fuentes et al. (2020), que la mayoría de los centros globales de diversidad se localizan en las regiones montañosas de los trópicos húmedos, producto a que coinciden condiciones climáticas idóneas y altos niveles de geodiversidad. Varios estudios han demostrado que los ecosistemas más diversos son más resilientes.

Estos comportamientos pudieran estar dados por la capacidad de adaptación autónoma del ecosistema, que depende mucho de su estado y de otras presiones no climáticas; por ejemplo, la degradación o fragmentación de un bosque por presiones humanas reduce su resiliencia, tal es el caso de los bosques altamente fragmentados en zonas urbanas o agrícolas y los parches de bosques aislados.

Fuentes et al. (2020) en sus investigaciones de la biodiversidad de la flora leñosa en un bosque pluvisilva del PNAH, exponen que las áreas que presentan menor diversidad y pocos elementos en común, se encuentran asentadas en los sitios más antropizados, donde fueron aplicadas prácticas silvícolas inapropiadas, acción que conllevó a la pérdida de elementos importantes en la biodiversidad del bosque.

Eguiguren (2022), reportan que en microcuencas de alta montaña abastecedoras de agua en la Región Sur del Ecuador, muestran una adecuada capacidad adaptativa, debido a las acciones activas de conservación que se han desarrollado en estas áreas.

Evaluación de la vulnerabilidad ambiental (Va)

Se observó predominio de vulnerabilidad ambiental baja, al tener incluidas las especies menos dominantes, las que menos se van a adaptar a las condiciones edafoclimáticas del área, garantizándoles bajas probabilidad de supervivencia, estas son consideradas de gran importancia para planes futuro de rehabilitación o restauración, pues son las que tienden a desaparecer en condiciones mucho más desfavorables.

Los niveles bajos de vulnerabilidad ambiental obtenidos en las áreas y, aunque no muestran representatividad, afectan la biodiversidad, y se pueden expresar en alteraciones fisiológicas, fenológicas o demográficas que modifican tanto la composición y funcionamiento de la comunidad, como los servicios claves que proveen los ecosistemas, las interacciones bióticas, que, a su vez, provocan impactos negativos a nivel de especies y sus comunidades.

Los cambios ante variaciones en la composición y estructura de una comunidad, se expresan mediante transformaciones en la distribución de especies y la respuesta específica de cada una, de esta forma, las especies menos vulnerables serán las que presenten mayor dominancia frente escenarios recurrentes similares.

Entre otros cambios se encuentran los de uso del suelo, pérdida y fragmentación de hábitats, introducción o expansión de especies invasoras, reducción de la producción forestal. Estos resultados fueron evaluados de manera similar por Hernández et al. (2003) en el estudio de bosque y la biodiversidad frente al cambio climático.

Evaluación de la vulnerabilidad estructural (Ve)

Teniendo en cuenta los resultados de la posición sociológica relativa de las especies se realizó la evaluación de la vulnerabilidad estructural por taxones, expresados en tanto por ciento. Existe baja superioridad de especies con baja vulnerabilidad estructural.

Los resultados discutidos anteriormente exteriorizan el predominio de áreas con baja vulnerabilidad estructural, producto a la distribución en la composición florística de la vegetación en los distintos subestratos, y del papel preponderante que juegan las diferentes especies en cada uno de ellos.

Evaluación de la vulnerabilidad ecológica (Vec)

Al aplicar la matriz de clasificación de la vulnerabilidad ecológica, fueron mostrados los resultados por especies, con el predominio de vulnerabilidad ecológica baja.

La vegetación se identifica por ser sensibles, con bajo nivel de exposición y baja capacidad de adaptación, que le otorgan baja vulnerabilidad ambiental y estructural, por tener un patrón de distribución no continuo, que les impide tener un lugar garantizado en la estructura y composición florística del bosque, se prevén afectaciones en la estructura y funciones ecológicas de estas especies en el ecosistema, así como variaciones en las distribuciones geográficas con consecuencias para la biodiversidad.

Lo antes expuesto, pudiera estar ocasionado por variables y disturbios ambientales como: talas incontroladas, pendiente, carretera, viviendas e introducción de cultivos varios, que afectan la dinámica de la regeneración natural, estructura y composición florística del bosque pluvisilva de baja altitud sobre complejo metamórfico (Sánchez, 2015).

CONCLUSIONES

La estructura y composición florística del bosque semicaducifolio sobre suelos calizos es irregular con pocas especies con alto valor económico y baja vulnerabilidad ecológica. Esto evidencia la importancia de rehabilitar ecosistemas con altos niveles de fragmentación.

RECOMENDACIONES

Profundizar el estudio sobre vulnerabilidad ecológica y la estructura florística del bosque semicaducifolio sobre suelos calizos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvis-Gordo, J. F. (2009). Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 115-122.

Assef-Rodriguez, M., Pérez-Perera, J., Sánchez-Fonseca, J., & Pérez-Díaz, A. (2020). Evaluación de la vulnerabilidad ambiental en el Parque Nacional Alejandro de Humboldt. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, *24*, 57-66.

Berazaín, R., Areces, F., Lazcano, J. C., & González, L. R. (2005). *Lista roja de la flora vascular cubana*.

Bisse, J. (1988). *Árboles de Cuba*. Editorial Científica-Técnica, La Habana, Cuba.

CITMA-Cuba, C. (2020). *Estrategia Ambiental Nacional 2021-2025* Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), La Habana, Cuba.

Delgado, D., Finegan, B., Acosta, M., & Carrillo, F. (2016). *Análisis de la vulnerabilidad al cambio climático de bosques de montaña en Latinoamérica: Un punto de partida para su gestión adaptativa*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Turrialba, Costa Rica.

Eguiguren, P. (2022). Vulnerabilidad al cambio climático en microcuencas de alta montaña abastecedoras de agua en la Región Sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, *12*(1), 43-53. https://doi.org/10.54753/blc.v12i1.1324

EMNDC-Cuba. (2017). *Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil. Consejo de Defensa Nacional: Guía Metodológica para la evaluación de los Estudios de Riesgo de Desastres* [Informe 2017]. Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil. Consejo de Defensa Nacional, La Habana, Cuba.

Fuentes, I., González, L., & Mancina, C. (2020). Efectos del cambio climático sobre la distribución de plantas asociadas a bosques húmedos del oriente de Cuba. *Acta Botánica*, *218*(2), ISSN: 2519-7754.

González, J. A. (2016). Caracterización florística del bosque semideciduo mesófilo de la reserva natural El Mulo, Artemisa, Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 4(1), 3, ISSN: 2310-3469, Publisher: Tipografía de Comas Hermanos.

Hernández, A., Ascanio, M., Cabrera, A., Morales, M., & Medina, N. (2003). Nuevos aportes a la clasificación de suelos en el ámbito nacional e internacional. *Problemas actuales de la clasificación de suelos: Énfasis en Cuba. Veracruz: Universidad Veracruzana. México*.

Hernández, J., Pérez, J., Bosch, I., & Castro, S. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba 2015. *Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA*, *93*.

Jiménez-González, A., Guachamín-Arámbulo, E. O., Briones-Mero, G. G., & Salvatierra-Pilozo, D. M. (2026). Diversidad y composición florística del bosque semideciduo mesófilo del recinto La Cruz, Manabí, Ecuador. *Revista Científica del Amazonas*, 9(17), 19-30.

Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas. Posibilidades para un aprovechamiento sostenido*.

Magurran, A. E. (1989). *Diversidad ecológica y su medición*. Ediciones España, Vedrá, España.

Matsuo, T., Martínez-Ramos, M., Bongers, F., van der Sande, M. T., & Poorter, L. (2021). Forest structure drives changes in light heterogeneity during tropical secondary forest succession. *Journal of Ecology*, *109*(8), 2871-2884.

Mendoza, Z. H. A., Valarezo, M. C., López, M. D., & Pineda, E. P. (2021). Composición florística y estructura de un remanente de bosque seco en la Estación Experimental Zapotepamba, Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, *11*(1), 97-112.

Metternicht, G., Sabelli, A., & Spensley, J. (2014). Climate change vulnerability, impact and adaptation assessment: Lessons from Latin America. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 6(4), 442-476.

Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad: Vol. I.* M y T-Manuales y Tesis SEA, Zaragoza, España.

Murphy, P., & Lugo, A. (1986). *Ecology of tropical dry forests. Annual Review Ecology and Systematics 17: 67-88*.

Noguera, A. (2017). *Metodologías para evaluar vulnerabilidad del bosque frente al cambio climático. Conference: Metodologias de Análisis de vulnerabilidad del recurso forestal. Universidad Nacional Agraria· Manejo de Bosques y Ecosistemas*.

Sánchez, F. J. (2015). *Acciones silvícolas para la rehabilitación del bosque pluvisilva de baja altitud sobre complejo metamórfico del sector Quibiján-Naranjal del Toa* [Tesis (presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales), Universidad de Pinar del Río]. https://rc.upr.edu.cu/jspui/handle/DICT/2185.

Sánchez-Fonseca, J., Rodríguez-Matos, Y., & García-Serret, M. (2023). Vulnerabilidad ecológica en un bosque pluvisilva de baja altitud sobre rocas metamórficas. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, *11*(2).

Tadeo, A. F., García, M. E., Valdez, H. J. I., López, M. L., Luna, C. M., Santos, P. H. M. D. L., & Hernández, S. J. L. (2024). Patrones de estructura y diversidad de selva mediana subperennifolia bajo condiciones de gestión forestal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *15*(81), 133-159. https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i81.1424.

Zequeira-Álvarez, M. E., Plasencia-Fraga, J. M., Salas-Fuentes, H., & Matos-Sánchez, Y. (2021). Vulnerabilidades ante inundaciones costeras y los bienes y servicios ecosistémicos, zona costera norte de Camagüey. *Anuario Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, *12*, 53-74.