



CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

Artículo original de investigación

Diferenciación anatómica foliar en poblaciones naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* en Pinar del Río y Artemisa, Cuba

Gretel Geada-López ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-8421-0624>
Rogelio Sotolongo- Sospedra ¹ <https://orcid.org/0000-0003-0116-4157>
Liutmila Pérez-del Valle ¹ <https://orcid.org/0000-0002-1838-4482>
Caridad Rivera-Calvo ¹ <https://orcid.org/0000-0002-4474-7144>
Robert Ramirez-Hernández ¹ <https://orcid.org/0000-0002-0224-0011>
Carlos Alberto Miranda-Sierra ² <https://orcid.org/0000-0003-2947-2573>
Irmina Armas-Armas ¹ <https://orcid.org/0000-0002-3690-3119>

¹ Departamento de Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias, Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. Pinar del Río, Cuba

² Centro Meteorológico Provincial Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba

*Autor para la correspondencia: gabriel@upr.edu.cu

Editor

Lisset González Navarro
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

Traductor

Darwin A. Arduengo García
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

RESUMEN

Introducción: Las variaciones en la anatomía foliar pueden ser respuestas adaptativas o de aclimatación interpoblacional al estrés edafoclimático, sobre todo de especies que se desarrollan en ambientes extremos. *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* se distribuyen en el occidente de Cuba, principalmente en la provincia de Pinar del Río, donde forman poblaciones puras o en simpatria. **Objetivo:** Determinar la variación anatómica de las acículas de ambas especies como respuesta adaptativa diferencial ante las condiciones ambientales determinadas por la litología, la altitud y la pendiente. **Métodos:** Se muestrearon de 20 a 30 individuos de todos los ecótopos donde crecen ambos taxones naturalmente. Los estudios se basan fundamentalmente en análisis estadísticos multivariados. **Resultados:** Los análisis empleados permitieron diferenciar los 2 taxones desde el punto de vista de su anatomía foliar, ambos presentan variaciones propias para adaptarse a un mismo ambiente. Para *P. caribaea* se distinguen la formación de grupos por la relación de las variables anatómicas, principalmente por el efecto de la litología y las que más contribuyeron a diferenciarlos fueron las de regulación hídrica, metabolismo primario junto al grosor de la cutícula. En *P. tropicalis* los resultados revelaron diferencias significativas entre ecótopos, fundamentalmente con respecto al ubicado en las arenas cuarcíticas con alto contenido de sílice. La formación de grupos está dada fundamentalmente por efecto de la litología. Las variables que más contribuyeron a discriminar entre ecótopos fueron las relacionadas con la regulación hídrica, número y diámetro de los canales de resina y grosor de la cutícula. **Conclusiones:** La disponibilidad de agua y nutrientes del sustrato son los factores que más influyen en la variación anatómica. Los resultados contribuyen a la conservación local del taxón pues la estructura de la variación anatómica es consecuencia de la evolución genética de las poblaciones y son muy importantes en estudios ecológicos y para el manejo silvicultural.

Anatomical foliar differentiation on natural population of *Pinus caribaea* var. *caribaea* and *Pinus tropicalis* in Pinar del Río and Artemisa, Cuba

ABSTRACT

Introduction: Variations in needle anatomy can be adaptive responses or interpopulation acclimatization to edaphoclimatic stress, especially of species that develop in extreme environments. *Pinus caribaea* var. *caribaea* and *Pinus tropicalis* are distributed in western Cuba, mainly in the province of Pinar del Río, where they form pure populations or in sympatry. **Objective:** To determine the anatomical variation of the needles of both species as a differential adaptive response to environmental conditions determined by lithology, altitude and slope. **Methods:** They were sampled between 20 and 30 individuals from all the ecotopes where both taxa grow naturally. The studies are fundamentally based on multivariate statistical analyses. **Results:** The analysis used allowed us to differentiate the two taxa from the point of view of their foliar anatomy, both present their own variations to adapt to the same environment. For *P. caribaea*, the formation of groups is distinguished by the relationship of the anatomical variables, mainly due to the effect of the lithology, and the ones that most contributed to differentiating them were those of water regulation, primary metabolism together with the thickness of the cuticle. In *P. tropicalis*, the results revealed significant differences between ecotopes, fundamentally with respect to the one located in the quartzite sands with high silica content; the formation of groups is given fundamentally by the effect of the lithology. The variables that most contributed to discriminate between ecotopes were those related to water regulation, number and diameter of resin channels and cuticle thickness. **Conclusions:** The availability of water and nutrients in the substrate are the factors that most influence anatomical variation. The results contribute to the local conservation of the taxon since the structure of the anatomical variation is a consequence of the genetic evolution of the populations and they are very important in ecological studies and for silvicultural management.

Keywords: needles; adaptation; multivariate analysis; anatomical variation; resin canals

INTRODUCCIÓN

Los pinos en Cuba se distribuyen fundamentalmente en condiciones edáficas extremas, ya sea por las desfavorables características físico-químicas del sustrato o por aspectos orográficos. ^(1,2) Los pinares constituyen una importante formación vegetal en el occidente de Cuba, que ocupa cerca del 50 % de la superficie forestal, concentrada en Pinar del Río e Isla de la Juventud, representada por *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari (pino macho) y *Pinus tropicalis* Morelet (pino hembra).

P. tropicalis constituye un endemismo cubano y relicto de *Pinus* subsect. *Pinus* en América. ^(3,4) Forma pinares continuos monotípicos en Pinar del Río y el centro de la Isla de la Juventud sobre sustratos oligotróficos de pizarra, arenisca y arenas cuarcíticas. ⁽¹⁾ *P. caribaea* var. *caribaea*, por su parte,

puede ocupar áreas simpatria con *P. tropicalis* y solo forma naturalmente masas puras en sustratos derivados de serpentina y rocas ultrabásicas en la meseta de Cajalbana. ^(1,2)

Las acículas juegan un rol importante en el proceso de aclimatación o adaptación al ser el órgano responsable de la fotosíntesis, la asimilación del CO₂ atmosférico y el intercambio de gases. Estas ajustan o modifican su estructura anatómica para soportar ambientes desfavorables lo cual, a largo plazo, afectará la supervivencia y el crecimiento de la planta. ⁽⁵⁻⁷⁾ Las variaciones en la morfología y la estructura anatómica de la acícula entre individuos y poblaciones obedecen a diferencias en las condiciones del edátopo y los regímenes de humedad del hábitat donde crecen. ^(6,8,9) Pueden ser usadas como un método rápido para explorar la variabilidad morfoanatómica entre poblaciones. ⁽¹⁰⁻¹²⁾ Por lo tanto, estos elementos

pueden ser usados como un método confiable y eficientemente rápido para explorar la variación genética entre poblaciones y en los ensayos de pruebas de procedencias y progenies. ^(6,12-14)

La variación en la anatomía acicular ha sido estudiada fundamentalmente para especies con amplios rangos de distribución y ambientes contrastados. ^(10,11,15-17) Sin embargo, son escasos en especies insulares donde aparentemente las condiciones ambientales son más homogéneas y son usadas en plantaciones de distintos lugares del mundo, como es el caso de *Pinus caribaea*. Gran parte de estos análisis se centran en pinos continentales y de amplia distribución.

En Cuba los estudios de variación morfológica en especies de *Pinus* han sido limitados y estos se han desarrollado para diferenciar desde el punto de vista cladístico las 4 especies cubanas y con limitaciones del muestreo en cuanto al número de individuos y localidades. ⁽¹⁸⁾ Al respecto *Pinus caribaea* var. *caribaea* registró mayor variabilidad morfológica en las acículas, el cono y las semillas entre localidades, en comparación con *Pinus tropicalis* que fue mucho más estable. ⁽¹⁸⁾ Recientemente estudios con un enfoque ecofisiológico demuestran para *Pinus tropicalis* la existencia de diferencias en la anatomía de las acículas, especialmente en 2 edátos extremos (pizarra y arenas blancas) donde la especie crece en masas puras. ⁽¹⁹⁾ Existe información disponible sobre el comportamiento anatómico desigual entre ambas especies de pino cuando se desarrollan en simpatria junto a una gran estructuración de la variación anatómica atribuible al sustrato en *Pinus caribaea* var. *caribaea* y en *Pinus tropicalis*. ⁽²⁰⁻²²⁾

Desde el punto de vista silvicultural *Pinus caribaea* var. *caribaea* es una especie con más rápido crecimiento y mayor plasticidad ecológica que *Pinus tropicalis*, de acuerdo a la variedad de sustratos donde se presenta. Fue utilizada con buenos resultados en los programas de reforestación de las décadas de 1960-1990, durante los cuales llegó a sustituir gran parte de pinares naturales de *Pinus tropicalis*. Sin embargo, estas plantaciones no tuvieron los incrementos productivos que se esperaban después de los 15 años de establecidas, en particular en aquellos sitios que originalmente correspondían a *Pinus tropicalis*. Asimismo, los esfuerzos en los programas de mejoramiento genético forestal le favorecieron y llegaron a establecerse ensayos de procedencias, de progenies, bancos y huertos semilleros. Desde el punto de vista biológico para la conservación, *Pinus caribaea* var. *caribaea* se considera en la categoría en peligro debido fundamentalmente al intenso aprovechamiento de sus rodales y los incendios forestales, mientras que la categoriza como bajo riesgo. ^(2,23,24)

Por otro lado, *Pinus tropicalis* es la más antigua especie de género en Cuba que data desde finales de Mioceno, por lo que podría haber ocupado una mayor extensión territorial que

en la actualidad. ⁽³⁾ Muchos autores le han atribuido su mayor distribución en el occidente a la capacidad de ocupar los terrenos más oligotróficos y afectados por fuegos recurrentes que confirma las potencialidades para la supervivencia de esta especie bajo esas condiciones. ^(1,25,26)

Para lograr el éxito en los programas de manejo, principalmente en el diseño de estrategias de conservación, se debe partir del conocimiento de la variabilidad genética, la plasticidad fenotípica y las diferencias genéticas de la plasticidad de las especies forestales en caracteres adaptativos, entre y dentro de sus poblaciones. Una de las herramientas más apropiadas para observar la respuesta de los distintos orígenes a un mismo ambiente, y además evaluar el comportamiento de un mismo origen ante distintas condiciones ambientales son los ensayos de procedencia de multilocalidad. ⁽⁶⁾ Con ellos se pueden definir la fuente de semilla más adecuada para un sitio determinado al evaluar los patrones de variación de los componentes genéticos y ambientales y sus interacciones.

La selección de una buena procedencia como fuente de semillas para un programa de plantaciones puede incrementar sustancialmente los rendimientos ya que las poblaciones de diferentes procedencias podrían presentar diversos niveles de variación adaptativa. De ahí que el reconocimiento de los patrones de variación asociados con las condiciones ecológicas en las que la especie evolucionó tiene un impacto sustancial, dada la importancia de conocer el origen de las semillas y su obtención de los mejores lugares.

De manera general, las pruebas de procedencias y ensayos procedencia-progenie no han recogido la variabilidad de ambientes en que estas especies se desarrollan, lo cual no ha permitido la detección de posibles ecotipos, en particular en *Pinus caribaea* var. *caribaea* y por tanto el reconocimiento de plasticidad adaptativa o adaptaciones locales fuertes a ambientes particulares, que después determinan el éxito de las plantaciones o la conservación del genofondo de estas especies. Si bien las diferencias entre procedencias en cuanto a variables como el diámetro, la altura y la velocidad de crecimiento han sido verificadas, aún faltan estudios básicos que sustenten desde el punto de vista biológico estas diferencias y son una tarea pendiente en las ciencias forestales.

Desde el punto de vista genético se ha comprobado gran diferenciación entre 5 poblaciones naturales de *Pinus tropicalis* con el uso de marcadores moleculares RAPD (Random Amplified Polymorphism DNA), microsátélites del cloroplasto (cpDNA) y secuencias de intrones, la cual fue atribuida a la distribución geográfica de la especie, sin embargo, este estudio no analizó la existencia de variación morfo-anatómica en el taxón. ⁽²⁷⁾ La diferenciación genética entre poblaciones naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* ha sido demostrada

con el uso de marcadores moleculares como isoenzimas, microsátélites del cloroplasto (cpDNA) y nucleares (nSSR).^(3,28-31) No obstante, en todos estos estudios han primado objetivos filogenéticos y biogeográficos con un número muy reducido de localidades e individuos.

Es objetivo de este estudio caracterizar la variación anatómica de las acículas de *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* en Pinar del Río y Artemisa como base para el manejo de las especies y sus procedencias a partir de las variaciones anatómicas intraespecíficas por efectos del ecótopo.

MÉTODOS

Las muestras fueron tomadas en pinares naturales donde se desarrollan *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis*, en localidades de la provincia de Pinar del Río y Artemisa, Cuba, donde habitan formando rodales puros o en simpatria (figura 1).

Estas localidades representan la mayoría de los hábitats en que están presentes estos taxones y se caracterizaron por su formación y litología, el piso altitudinal y la pendiente.^(32,33) La combinación de estas 3 características es la base para identificar los ecótopos (tabla 1).

Mediciones de rasgos en las acículas

En cada localidad se recolectaron acículas de los $\frac{2}{3}$ inferiores de la copa de 20 a 30 individuos seleccionados al azar en estado adulto. Para el estudio anatómico se eligieron

10 acículas al azar de cada individuo muestreado en cada localidad. Previamente y solo para el análisis de anatomía comparada a las acículas se les midió la longitud y ancho con un pie de rey (error de 0,1 mm). Para comprobar la continuidad de los canales de resina y de las hileras de estomas se realizaron cortes transversales cada 1 cm a lo largo de la acícula, como estos fueron continuos se escogió el corte de la parte media para las observaciones. Un total de 3550 ca, en *Pinus caribaea* var. *caribaea* y 2610 ca, en *Pinus tropicalis*, fueron analizadas con un microscopio óptico NLCD-307B. Las variables anatómicas medidas, con un aumento de 400x fueron: el grosor de la cutícula (GC), el grosor de la epidermis (GEp), el grosor de la hipodermis (GH) y el número de capas de células de la hipodermis (CH). Mientras que con un aumento de 100x fueron medidas: el grosor del tejido de transfusión (PT), el grosor del parénquima clorofílico (PC), el ancho del canal resinífero izquierdo (DCi), el ancho del canal resinífero derecho (DCd), la altura del haz vascular (HHv) y el ancho del haz vascular (AHv) y contadas, con esta lente el número de estomas (NoE), el número de canales de resina (NC). Todas las variables se definieron según según Pérez del Valle *et al.* (ver figura 1).⁽²⁰⁾

Variación anatómica intraespecífica. Efecto del ecótopo sobre la variación anatómica

Se describió mediante la media y la desviación estándar cada variable, el efecto del ecótopo sobre el comportamiento de las variables anatómicas se determinó mediante la prueba de

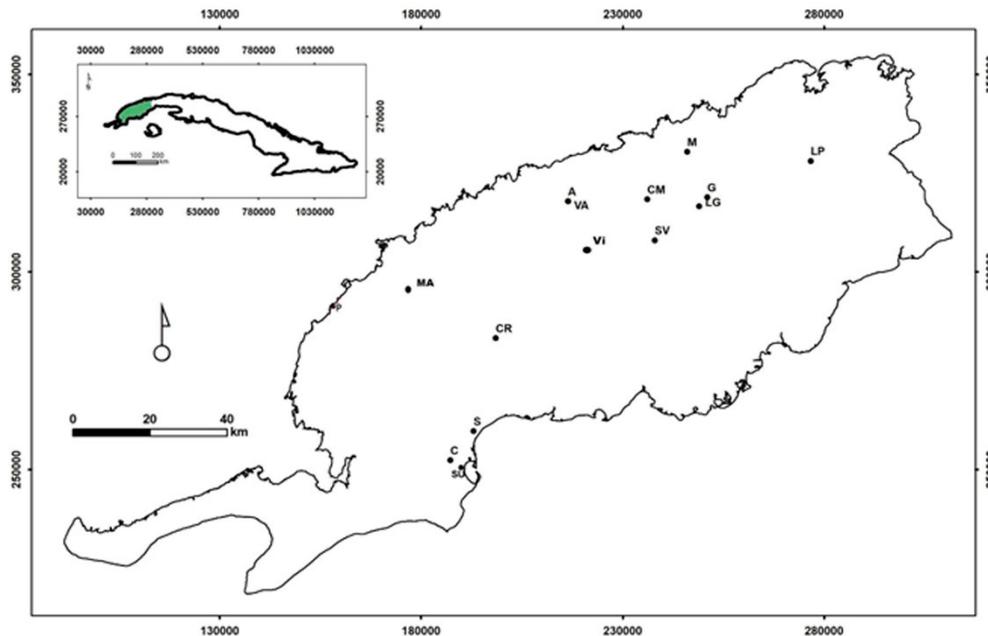


Fig. 1. Distribución geográfica de las localidades incluidas en el estudio anatómico foliar de *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* en Pinar del Río y Artemisa. A: Abra; MA, Manaja; B, Sabanalamar; C, Catalinas; CR, Cayo Ratones; CM, Cayo la Mula; G, Galalón; LG, La Güira; LP, Los Pinos; M, Marbajita; P, Pretiles; SU, San Ubaldo; SV, San Víctor; VA, Valle Ancón; Vi, Viñales

Tabla 1. Georeferenciación y características de los ecótopos. Pt: *Pinus tropicalis* y Pc: *Pinus caribaea* var. *caribaea*

| Localidades | Especie | Coordenadas | | Sustrato (Formación - Litología) | Piso altitudinal | Pendiente | Ecótopos |
|--------------|---------|--------------|--------------|--------------------------------------|------------------|-----------------------|-------------|
| | | Latitud N | Longitud W | | | | |
| Sabanalamar | Pc y Pt | 22°08'12,01" | 83°58'34,99" | Siguanea-Arenas cuarcíticas | Llanuras bajas | Llano | AC-LLB-Tfi |
| Catalina | Pc | 22°04'09,02" | 84°01'49,01" | | | | |
| Cayo La Mía | Pc y Pt | 22°40'25,62" | 83°34'04,76" | San Cayetano-Areniscas grises | Alturas medias | Fuertemente inclinado | AG-ALM-Tfi |
| Galalón | Pc y Pt | 22°40'49,70" | 83°25'23,41" | | | | |
| San Víctor | Pc | 22°34'48,60" | 83°32'52,57" | San Cayetano-Areniscas grises | Llanuras medias | Fuertemente inclinado | AG-LLM-Tfi |
| Valle Ancón | Pc y Pt | 22°39'57,7" | 83°45'32,17" | | | | |
| Cayo Ratonés | Pc y Pt | 22°21'0,6" | 83°55'37,57" | San Cayetano-Areniscas grises | Submontañas | Fuertemente inclinado | AG-SM-Tfi |
| La Güira | Pc | 22°39'35,27" | 83°26'32,29" | Guasasa-Calizas micríticas | Submontañas | Fuertemente inclinado | CM-SM-Tfi |
| Los Pinos | Pc | 22°46'01,24" | 83°10'30,00" | | | | |
| Márbajita | Pc | 22°47'30,9" | 83°28'10,44" | Serpentina-Roca | Alturas medias | Fuertemente inclinado | R-AM-Tfi |
| Abra | Pc | 22°39'56,82" | 83°45'33,38" | Serpentina-Roca | Llanuras medias | Fuertemente inclinado | R-LLM-Tfi |
| San Ubaldo | Pt | 22°03'52" | 84°01'02" | Siguanea-Arenas cuarcíticas silíceas | Llanuras bajas | Llano | AcS-LLB-Tfi |
| Mánaja | Pt | 22°27'29" | 84°05'12" | Mánacas-Areniscas polimicticas | Submontañas | Ligeramente inclinado | AP-SMLI |
| Preñales | Pt | 22°23'53" | 84°19'24" | Sedimentos-Restos vegetales | Llanuras bajas | Llano | RV-LLB-Tfi |
| Vinales | Pt | 22°33'19" | 83°43'54" | San Cayetano-Areniscas grises | Alturas medias | Ligeramente inclinado | AG-ALMLI |

Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$) y una prueba de comparación múltiple de pares entre las medias de los rangos de los tratamientos. ⁽³⁴⁾

Se confeccionó un diagrama según la metodología de Jentys-Szaferowa ⁽³⁵⁾ para distinguir la variación en la anatomía entre los ecótopos estudiados y de estos con respecto a la línea patrón para la especie, que se asume como los promedios de cada variable, representada en el diagrama por una línea a lo largo del valor de 1.

Se utilizó un análisis de discriminante para además de analizar la posición de cada ecótopo definido por las 2 primeras funciones de clasificación, identificar las variables anatómicas que más contribuyeron a la diferenciación entre estos. Como grupos *a priori* se consideraron los ecótopos. Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa Infostat ver. 15. ⁽³⁶⁾

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del ecótopo sobre la variación anatómica de *Pinus caribaea* var. *caribaea*

Las características que definen los 7 ecótopos de *Pinus caribaea* var. *caribaea* tienen un efecto significativo sobre todas las variables anatómicas evaluadas de esta especie. ⁽²¹⁾ De acuerdo al diagrama de Jentys-Szaferowa (figura 2) el grosor y número de capas de células de la hipodermis, el grosor de cutícula y los diámetros de los canales de resina son las variables que más se desvían con respecto a la media de cada variable en el taxón, mientras que el ancho y la altura del tejido de conducción tienen el comportamiento más homogéneo. Por ecótopos AG-LLM-Tfi es en el que las variables ana-

tómicas se desvían menos con respecto al comportamiento promedio de la especie. Las localidades sobre areniscas grises tienen mayor grosor del parénquima clorofílico y diámetro de los canales de resina.

Las 2 funciones discriminantes utilizadas para la clasificación permitieron explicar el 76,29 % de las variaciones entre ecótopos principales: Siguanea-Arenas cuarcíticas (AC), San Cayetano-Areniscas grises (AG), Guasasa-Calizas micríticas (CM) y Serpentina-Roca (R). De acuerdo a los coeficientes estandarizados, las variables más importantes en la discriminación entre ecótopos en la primera función son: el ancho del tejido conducción y el número de capas de células de la hipodermis. En la segunda función la variable de mayor peso discriminante es el grosor de cutícula. La figura 3 representa las observaciones multivariadas en el espacio discriminante conformado por las 2 funciones.

De acuerdo a los valores de los centroides, la primera función permite explicar el máximo de diferencias entre los ecótopos sobre arenas cuarcíticas (AC) y calizas micríticas (CM) respecto a los ecótopos sobre areniscas grises (AG) y serpentina (R) que se ubican hacia la parte negativa de este eje (ver figura 3). Las variables relacionadas con la regulación hídrica se asocian más con los 2 primeros grupos, arenas cuarcíticas y calizas micríticas. La segunda función opone los ecótopos sobre arenas cuarcíticas (AC) de los que están sobre calizas micríticas (CM) y es el mayor valor del grosor de cutícula la variable que más contribuye a la diferenciación de ambos grupos. Por sus valores y la posición, la segunda función no distingue bien entre los ecótopos de serpentina (R) y areniscas grises, pero sí entre estos con respecto a las arenas cuarcíticas.

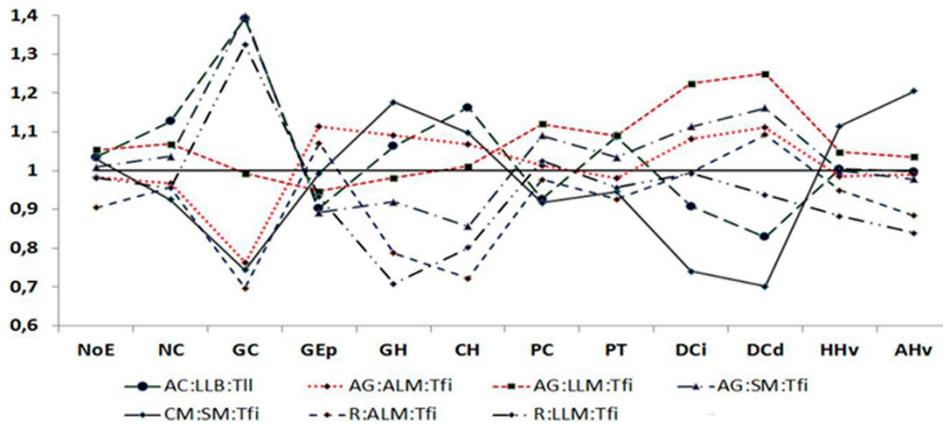


Fig. 2. Diagrama de Jentys-Szaferowa de la variabilidad anatómica de las acículas de *Pinus caribaea var. caribaea* en 7 ecótopos. GC, Grosor de la cutícula; GEp, Grosor de la epidermis; GH, Grosor de la hipodermis; CH, Número de capas de células de la hipodermis; NoE, Número de estomas; PT, Grosor del tejido de transfusión; NC, Número de canales; PC, Grosor del parénquima clorofílico; DCi, Diámetro del canal izquierdo; DCd, Diámetro del canal derecho; HHv, Altura del tejido de conducción; AHv, Ancho del tejido de conducción. Ecótopos: AC-LLB-Tfi, Arenas cuarcíticas-llanuras bajas-terrenos llanos; AG-ALM-Tfi, Areniscas grises-alturas medias-terrenos fuertemente inclinados; AG-LLM-Tfi, Areniscas grises-llanuras medias-terrenos fuertemente inclinados; AG-SM-Tfi, Areniscas grises-submontañas-terrenos fuertemente inclinados; CM-SM-Tfi, Calizas micríticas-submontañas-terrenos fuertemente inclinados; R-ALM-Tfi, Serpentina-alturas medias-terrenos fuertemente inclinados; R-LLM-Tfi, Serpentina-llanuras medias-terrenos fuertemente inclinados

Efecto del ecótopo sobre la variación anatómica de *Pinus tropicalis*

La prueba H de Kruskal-Wallis reveló un efecto significativo ($p < 0,05$) de los ecótopos sobre las variables anatómicas. ⁽²²⁾ De acuerdo a la prueba de comparación múltiple, el ecótopo donde difieren significativamente el mayor número de variables, con respecto al resto, es la que pertenece a la formación geológica Siguanea con litología de arenas cuarcíticas con sílice, a diferencia de los ecótopos sobre la formación San Cayetano con litología de arenas grises donde las diferencias se concentran fundamentalmente en las variables grosor de epidermis e hipodermis, parénquima clorofílico y tejido de transfusión (figura 4).

La figura 4 muestra que las variables que más se desvían del fenotipo promedio son las relacionadas con la regulación hídrica (el grosor de cutícula, el grosor y el número de capas de célula de la hipodermis y el grosor de la epidermis) y la defensa como es el número de canales de resina. El fenotipo promedio está relacionado con los ecótopos de areniscas polimícticas y areniscas grises-llanuras medias-terreno fuertemente inclinado.

En los ecótopos que pertenecen a las localidades que está en la formación geológica Siguanea y litología de arenas cuarcíticas (2 en este estudio) los individuos poseen los valores más bajos de grosor de la epidermis e hipodermis junto con los mayores grosores de cutícula (ver figura 4). En las localidades sobre areniscas grises las diferencias son menores y se encuentran alrededor del fenotipo promedio.

Las 2 funciones discriminantes utilizadas para la clasificación permitieron explicar el 84 % de las variaciones. De acuerdo a los coeficientes estandarizados las variables más importantes en la discriminación entre ecótopos, en la función 1 son: el grosor de cutícula y el número de estomas. En la segunda función la variable de mayor peso discriminante es el número de capas de células de la hipodermis y el grosor de la epidermis.

De acuerdo a los valores de los centroides (figura 5), la primera función permite explicar el máximo de diferencias entre el ecótopo sobre arenas cuarcíticas con sílice (AcS), los restos vegetales y un grupo de areniscas grises con respecto a los demás ecótopos.

La segunda función separa los ecótopos de restos vegetales, areniscas grises y arenas cuarcíticas con sílice hacia la parte positiva del eje del resto de los ecótopos de areniscas grises, areniscas polimícticas y arenas cuarcíticas. Ambas funciones discriminan las arenas cuarcíticas con sílice del resto. Las variables relacionadas con la regulación hídrica y la defensa se asocian con el ambiente de más baja disponibilidad hídrica (AcS).

Para *Pinus caribaea* la relación entre los diferentes ecótopos (figura 3) claramente separa las serpentinas (R) y la formación Guasasa con litología de calizas micríticas (CM) de los ecótopos de la formación San Cayetano con litología de areniscas grises (AG) y estos de la formación Siguanea con litología de arenas cuarcíticas (AC). Este patrón también se corresponde con la distribución geográfica de dichos ecótopos (ver figura 1).

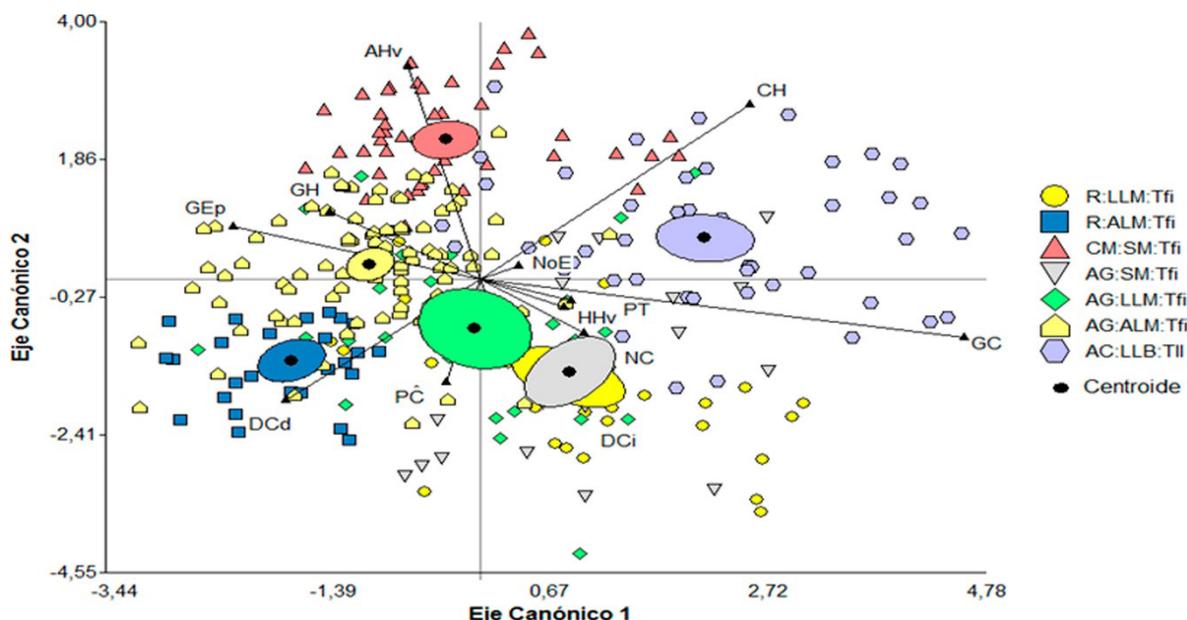


Fig. 3. Ordenación de los ecótopos en las 2 primeras funciones discriminantes basados en variables anatómicas de *Pinus caribaea*. Los contornos corresponden a elipses de predicción al 95 % de probabilidad de cada ecótopo. GC, grosor de la cutícula; GEp, grosor de la epidermis; GH, grosor de la hipodermis; CH, número de capas de células de la hipodermis; NoE, número de estomas; PT, grosor del tejido de transfusión; NC, número de canales; PC, grosor del parénquima clorofílico; DCi, diámetro del canal izquierdo; DCd, diámetro del canal derecho; HHv, altura del tejido de conducción; AHv, ancho del tejido de conducción. Ecótipos: AC-LLB-TII, arenas cuarcíticas-llanuras bajas-terrenos llanos; AG-ALM-Tfi, areniscas grises-alturas medias-terrenos fuertemente inclinados; AG-LLM-Tfi, areniscas grises-llanuras medias-terrenos fuertemente inclinados; AG-SM-Tfi, areniscas grises-submontañas-terrenos fuertemente inclinados; CM-SM-Tfi, calizas micríticas-submontañas-terrenos fuertemente inclinados; R-ALM-Tfi, serpentina-alturas medias-terrenos fuertemente inclinados; R-LLM-Tfi, serpentina-llanuras medias-terrenos fuertemente inc

La diferenciación anatómica entre ecótipos es congruente, con la evolución geológica de parte de la provincia Pinar del Río y Artemisa. La gran variabilidad entre las areniscas grises pudiera estar relacionada con el paquete rocoso erosionado a partir del Eoceno Medio, lo cual origina cambios en la composición mineralógica del sustrato y de sus propiedades físico-químicas.⁽³⁷⁾ En el caso de los ecótipos sobre calizas micríticas, por el origen geológico, y la presencia de los pinos con latifolias, deben estar las poblaciones periféricas de la especie.

Las variaciones en los tejidos encargados de regulación hídrica y el metabolismo primario y secundario juegan un papel fundamental en la respuesta diferencial a los 4 grupos generales (ver análisis de conglomerados): arenas cuarcíticas (AC), areniscas grises (AG), calizas micríticas (CM) y serpentina (R) (ver tabla 1). Como se aprecia en la figura 3 la disposición de los ecótipos sigue un gradiente de estrés hídrico: hacia la derecha (parte positiva del eje 1) se encuentran los ecótipos más extremos (AC y CM) y hacia la izquierda los ecótipos sobre serpentina y areniscas grises. Esta última se ubica en una posición cercana de la intersección de ambos ejes, lo que pudiera ser entendido como una condición ambiental intermedia pues ninguna variable lo distingue.

Los resultados de las pruebas de procedencias de *Pinus caribaea* en Cuba,⁽³⁸⁻⁴¹⁾ entre algunas procedencias en China,⁽⁴²⁾ las respuestas diferenciales de la procedencia Cajálbana en diferentes condiciones edáficas en Viet Nam y en Australia,^(43,44) así como las diferencias detectadas en este estudio apuntan a la existencia de ecotipos en la especie, los que además pueden distinguirse por las características anatómicas foliares. Por tanto, el manejo de los recursos genéticos de *Pinus caribaea* debe realizarse a la luz de estos resultados y refuerza la necesidad de la conservación local, pues la estructura de la variación se considera consecuencia de la evolución genética de las poblaciones y son muy importantes en estudios ecológicos y de mejoramiento genético.⁽¹⁶⁾ También es necesario llegar a un consenso relativo a su categoría de amenaza, dadas las diferentes categorías asignadas al taxón.^(24,23)

En el caso de *Pinus tropicalis* las diferencias estadísticamente significativas se obtuvieron entre los ecótipos con la misma formación y litología. Hacia el interior de las arenas cuarcíticas, donde la abundancia de sílice provoca cambios en las variables anatómicas de regulación hídrica, plantean que el ecótopo de arenas cuarcíticas con depósitos silíceos finos, que en este estudio aparecen representados como are-

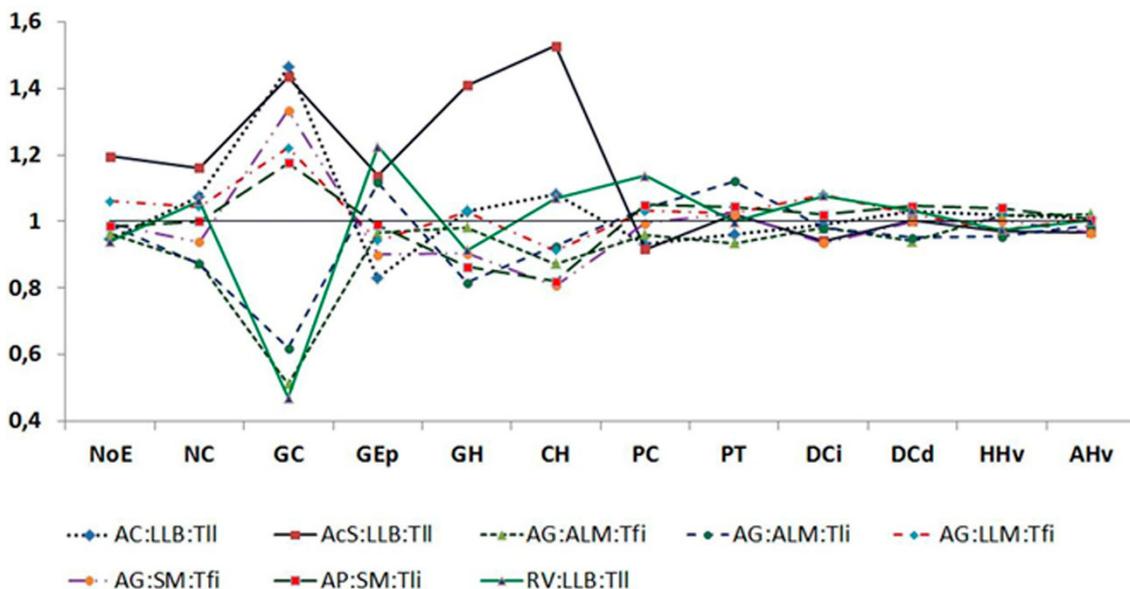


Fig. 4. Diagrama Jentys-Szaferowa de la variabilidad de variables anatómicas de *Pinus tropicalis* en los ecótopos estudiados. GC, grosor de la cutícula; GEp, grosor de la epidermis; GH, grosor de la hipodermis; CH, número de capas de células de la hipodermis; NoE, número de estomas; PT, grosor del tejido de transfusión; NC, número de canales; PC, grosor del parénquima clorofílico; DCi, diámetro del canal izquierdo; DCd, diámetro del canal derecho; HHv, altura del tejido de conducción; AHv, ancho del tejido de conducción. Ecótopos: AC-LLB-TII, arenas cuarcíticas-llanuras bajas-terrenos llanos; AcS-LLB-TII, arenas cuarcíticas con sílice-llanuras bajas-terrenos llanos; AP-SM-LI, areniscas polymíticas- submontaña-ligeramente inclinados; AG-ALM-Tfi, areniscas grises-alturas medias-terrenos fuertemente inclinados; AG-ATM-LI, areniscas grises-alturas medias-ligeramente inclinados; AG-LLM-Tfi, areniscas grises-llanuras medias-terrenos fuertemente inclinados; AG-SM-Tfi, areniscas grises-submontañas-terrenos fuertemente inclinados; RV-LLB-TII, restos vegetales-llanuras bajas-terreno llano

nas cuarcíticas con sílice (AcS) y que ocupan geográficamente el área entre La Fe y Cortés, difieren no solo en su textura sino además en los contenidos de nitrógeno, potasio, fósforo y materia orgánica más bajos en comparación con los ecótopos de las zonas llamadas arenas cuarcíticas de la llanura suroccidental de Pinar del Río. ⁽¹⁾ Este hecho de conjunto con la alta capacidad de infiltración por su textura, conduce a una menor disponibilidad de agua en comparación con el resto de los ecótopos analizados, lo que lo convierte en el ecótopo más oligotrófico y seco para la especie y el género en Cuba.

En este ambiente seco se observan los mayores valores en el tejido de la hipodermis (GH y CH) y el grosor de la cutícula. Esto es comúnmente reconocido como una adaptación a condiciones secas ya que estos tejidos actúan como mecanismo adicional para controlar la pérdida de agua. ^(5,45-47) Por otra parte, el comportamiento detectado es similar al reportado para *Pinus sylvestris*, en *Pinus canariensis* y *Pinus heldreichii* donde los tejidos protectores, en especial la epidermis y sus modificaciones, juegan un rol importante en la adaptabilidad a las condiciones áridas. ^(46,48,49) Asimismo, la presencia en la especie de una hipodermis con numerosas esclereidas confieren un mejor control hídrico junto a mayor resistencia mecánica. ⁽²⁰⁾

En segundo lugar, hay diferencias en las variables anatómicas entre los ecótopos sobre areniscas grises las cuales podrían ser atribuibles a la altitud y la pendiente. Las areniscas grises de la formación San Cayetano son las de mayor representación en el occidente de Pinar del Río y a esta formación y litología se corresponden la mayor cantidad de poblaciones naturales de la especie, en las que puede encontrarse en simpatria con *Pinus caribaea* var. *caribaea* o formar masas continuas y puras hacia los sitios más extremos de cimas de las colinas donde la capacidad competitiva favorece a *Pinus tropicalis* al ser la menos exigente desde el punto de nutricional entre los pinos cubanos. ^(1,18)

El número de canales varía entre los ecótopos y aumenta hacia los lugares más secos. El rol de los canales de resina en la regulación del agua no se comprende completamente. Se ha detectado que la mayor densidad de canales se asocia con áreas de menor disponibilidad de humedad y su incremento en número y tamaño está correlacionado en *Pinus yunnanensis* con disminuciones de la precipitación y aumento de la temperatura que contribuye a reducir la influencia de la extrema sequía y el calor similar a lo encontrado en esta especie. ^(7,15,16) Los resultados en este estudio apuntan a que en

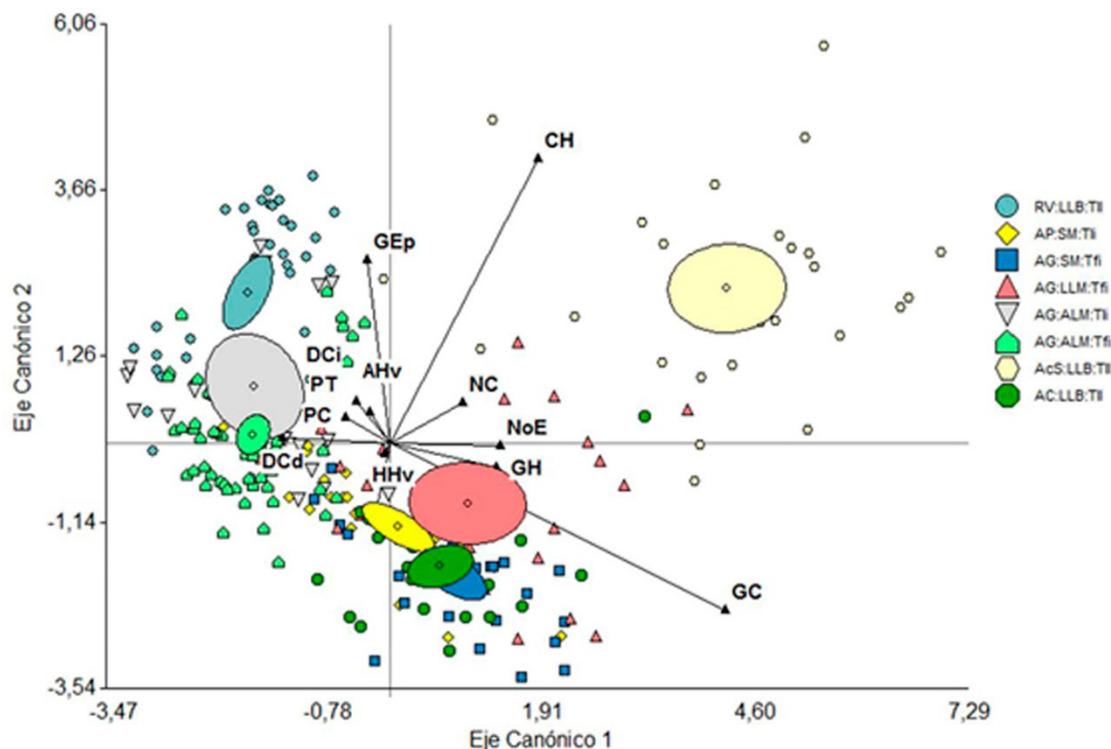


Fig. 5. Ordenación de los ecótopos en las 2 primeras funciones discriminantes, basado en variables anatómicas de *Pinus tropicalis* representada por los 8 ecótopos. Los contornos corresponden a elipses de predicción al 95 % de probabilidad. GC, grosor de la cutícula; GEp, grosor de la epidermis; GH, grosor de la hipodermis; CH, número de capas de células de la hipodermis; NoE, número de estomas; PT, grosor del tejido de transfusión; NC, número de canales; PC, grosor del parénquima clorofílico; DCi, diámetro del canal izquierdo; DCd, diámetro del canal derecho; HHv, altura del tejido de conducción; AHv, ancho del tejido de conducción ecótopos; AC-LLB-TII, arenas cuarcíticas-llanuras bajas-terrenos llanos; AcS-LLB-TII, arenas cuarcíticas con sílice-llanuras bajas-terrenos llanos; AP-SM-LI, areniscas polimícticas- submontaña-ligeramente inclinados; AG-ALM-Tfi, areniscas grises-alturas medias-terrenos fuertemente inclinados; AG-ATM-LI, areniscas grises-alturas medias-ligeramente inclinados; AG-LLM-Tfi, areniscas grises-llanuras medias-terrenos fuertemente inclinados; AG-SM-Tfi, areniscas grises-submontañas-terrenos fuertemente inclinados; RV-LLB-TII, restos vegetales-llanuras bajas-terreno llano

Pinus tropicalis hay un aumento en número y en área que ocupan estos, siendo sus diámetros superiores a los de *Pinus caribaea* var. *caribaea* lo que sugiere tanto la función defensiva como la de posible almacenamiento de agua junto con sustancias del metabolismo secundario.^(14,20,50) La relación entre los diferentes ecótopos claramente separa las arenas cuarcíticas con sílice del resto y por tanto las arenas cuarcíticas quedan separadas del resto (ver figura 5). A pesar que el sustrato de San Cayetano-Areniscas grises queda separado y que este comportamiento se atribuye a la altitud y la pendiente, pues determina la disponibilidad y capacidad de retención de agua en el sustrato, hay una cierta homogeneidad entre los ecótopos de la especie (ver figura 5).

A pesar que existen diferencias entre las variables anatómicas entre ecótopos estas no son tan marcadas como en *Pinus caribaea* var. *caribaea* (ver figura 2).⁽²¹⁾ Solo las variables relacionadas con el control hídrico se diferencian (ver figura 4), ya que el comportamiento es más homogéneo entre sus ecótopos a excepción de las arenas cuarcíticas con sílice. Finalmente, este

estudio logra definir entre que ecótopos se hayan las diferencias para la especie y la tendencia del comportamiento anatómico a un gradiente de disponibilidad de agua y fertilidad.

La diferenciación anatómica entre ecótopos es también congruente con la evolución geológica de la provincia Pinar del Río. Como se aprecia en la figura 5, la disposición de los ecótopos sigue un gradiente de estrés hídrico hacia la derecha, parte positiva del eje 1, el ecótopo más extremos (AcS) y hacia la izquierda los ecótopos sobre sedimentos de restos vegetales y areniscas grises. Esta última se ubica en una posición cercana de la intersección de ambos ejes, lo que pudiera ser entendido como una condición ambiental intermedia pues ninguna variable lo distingue. Hacia la parte positiva del eje 1 y negativa del eje 2 se ubican las arenas cuarcíticas, areniscas polimícticas y el resto de las areniscas grises donde el grosor de la cutícula determina su posición.

Aunque los pinares naturales de la especie forman una masa más o menos continua, en particular en Alturas de pizarra, los ecótopos de las arenas cuarcíticas han sido severa-

mente degradados y en algunos casos completamente aprovechados, como los pinares de la Fé a Cortés, donde hoy quedan árboles aislados en un ecótopo de arenas cuarcíticas son sílice sobre los que no hay acciones de conservación al no estar incorporados alguna unidad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP).⁽¹⁾ Sin embargo, los reductos de pinares en este sustrato de la especie pura o en simpatria con *Pinus caribaea* var. *caribaea* tienen acciones de conservación y restauración al quedar dentro de la Reserva Florística Manejada Sabanalamar-San Ubaldo.

Por tanto, para el manejo de los recursos genéticos de la especie deben considerarse estos resultados y refuerza la necesidad de la conservación local en la zona donde se encuentran los ecótopos de arenas cuarcíticas con sílice que ocupan una pequeña área geográfica y en el cual la especie se ha visto desplazada por el desarrollo agrícola en la década del 70 y que en la actualidad se está regenerando naturalmente como parte de la sucesión. Además, a esta área se asocia fundamentalmente la comunidad *Eragrost-Pinetum tropicalis asteretosum grisebachii* (subass. nov.), que representa la más extrema de las 3 comunidades de los pinares sobre arenas blancas la cual, ante perturbaciones grandes provocadas por el fuego o la reconversión del suelo, la erosión puede volverse severa y produciría una degradación hasta los estadios más primitivos de esta comunidad y donde la alternativa más prometedora estaría en la restauración.⁽¹⁾

De acuerdo a las características morfológicas, anatómicas, la propia ecología de la especie, las áreas naturales que aún ocupa, las proyecciones de condiciones más secas y calurosas como parte del cambio climático para el occidente de Cuba y la mayor distribución potencial de áreas, basados en los modelos de distribución de especies hasta 2100 en comparación con *Pinus caribaea* var. *caribaea*, hacen que la especie sea una alternativa apropiada para la plantación y restauración en Pinar del Río en los próximos 100 años.^(51,52) De ahí que el conocimiento de las características anatómicas y ecofisiológicas en determinadas condiciones facilita la selección de la fuente de material para su propagación y argumenta la necesidad de la selección de nuevas fuentes semilleras y restauración de las existentes en Manaja y Mina Dora y la incorporación del huerto semillero de brinjal Ceja del Negro.

Por su parte, es necesario realizar la reevaluación del estatus del taxón para su conservación, con el fin de llegar a un consenso relativo a su categoría de amenaza, ya que la en la Lista Roja de la Flora Vasculosa de Cuba aparece como una especie con datos insuficientes y se reporta como vulnerable.^(24,23)

Impactos en la silvicultura y la conservación

El reconocimiento de patrones de variación mediante estudios genecológicos, principalmente en poblaciones natura-

les tiene gran impacto para la silvicultura, en especial en sus 2 direcciones: manejo forestal, ya sea por la creación de nuevas masas con fines productivos, así como en la selección de material de propagación y conservación del genofondo del recurso forestal.⁽⁵³⁾ Conocer la distribución de la variación morfológica, anatómica y la estructura genética de la variación en estas poblaciones es uno de los requisitos más importantes en el inicio de todo programa de reforestación y mejoramiento ya que son la base del manejo de los recursos genéticos.

La caracterización anatómica foliar, ante un rango de condiciones ambientales de las especies *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* ofrece una visión adaptativa de la variación de estas especies en poblaciones naturales y son una contribución para el logro de un manejo adecuado de procedencias y la toma de decisiones del material a propagar para la reforestación basada en la adaptación. Además, proporciona criterios para la conservación del genofondo y mejora genética de ambas especies.

La zonificación de las poblaciones naturales de las especies de acuerdo a la variación anatómica, sobre todo por su significado desde el punto de vista adaptativo, debe contribuir a la identificación de fuentes semilleras y el manejo de las procedencias. Esto adquiere especial importancia de acuerdo a las proyecciones de los nichos climáticos bajo diferentes escenarios de cambio climático hasta el 2100, en particular RCP 4,5; 6; 8,5 que apuntan a la existencia de condiciones favorables para el desarrollo de *Pinus caribaea* var. *caribaea* hacia el este de su distribución actual (al este de Viñales) y *Pinus tropicalis* cuyas proyecciones representan una oportunidad para su desarrollo por el aumento de su nicho climático en todo Pinar del Río.

Todo esto facilita la toma de decisiones acerca de las potencialidades de ambas especies en la reforestación recogidas en la Tercera Comunicación Nacional al Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.⁽⁵⁴⁾ Se demuestra en este estudio que dada la variación desplegada por *Pinus tropicalis* en el número y ancho de los canales resiníferos esta especie puede ser priorizada en la resinación sobre *Pinus caribaea* var. *caribaea* y los ecótopos sobre sustratos de pizarra serían potencialmente deseables para la planificación de la resinación de esta especie.

Un aspecto que se demuestra es que las características anatómicas están determinadas en la mayoría de los casos por las características de los ecótopos por lo que el uso de material de propagación local debe ser más factible para la forestación o reforestación en cada territorio. Todo esto argumenta la necesidad de un reenfoque del manejo de las procedencias y de programa de identificación de fuentes semilleras. De acuerdo a los resultados obtenidos en la es-

pecie *Pinus caribaea* var. *caribaea* se identifican la presencia de 4 ecotipos anatómicos foliares en estrecha relación con el sustrato donde se desarrollan. Esto determina la necesidad de conservar estos orígenes, en especial el origen de la Meseta de Cajálbana, que tiene asociado 3 fuentes semilleras: huerto semillero de primera generación y segunda generación y una masa semillera. Estos enfrentan el riesgo del posible desarrollo de la actividad minera por lo que serían totalmente aprovechados, perdiéndose este origen de incalculable valor en particular para su uso como material propagable para los sitios de serpentina en Camagüey y Baracoa de probada adaptación y productividad. ⁽³⁸⁾

Por el origen geológico del ecótopo de formación Guasa-Calizas micríticas, y la presencia de los pinos con latifolias, en particular hacia el este de las localidades estudiadas, apuntan a que en este ecótopo deben estar las poblaciones periféricas de la especie y estas poblaciones se consideran importante en la capacidad de adaptación y resiliencia para la especie ante los cambios climáticos que se prevén. Esto hace necesario la consideración de determinados sitios para conservación como parte de las unidades comprendidas en el SNAP.

Por las características únicas en la estructura anatómicas de la acícula de las localidades comprendidas en los ecótopos de arenas cuarcíticas se propone la identificación de una fuente semillera a partir del genofondo propio del origen geográfico de este ecótopo y el mantenimiento de las atenciones en la Reserva Florística Manejada de Sabanalamar-San Ubaldo como áreas de conservación *in situ*, lo cual además sería válido para *Pinus tropicalis* ya que sobre este ecótopo habitan en simpatria. Esto además conduce a la propuesta de eliminación de los huertos de La Grifa y La Pimienta ya que se encuentran en sitios fuera del nicho potencial de la especie y que no cuenta con representación de genofondo adaptado a estas condiciones. ⁽⁵²⁾ Esta pudiera ser la causa de la poca productividad de dichos huertos.

En el caso de *Pinus tropicalis* se confirma la necesidad de la conservación local en la zona donde se encuentran los ecótopos de arenas cuarcíticas con sílice, que ocupan una pequeña área geográfica entre la Fé y Cortes, ya que representa el ecótopo más extremo para el taxón y es la especie dominante de esta formación de pinares, así como de la comunidad vegetal *Eragrost-Pinetum tropicalis asteretosum grisebachii* (*subass. nov.*) en lugares extremadamente pobres en nutrientes y disponibilidad de agua. ⁽¹⁾

Dada la cierta homogeneidad entre los ecótopos de la formación San Cayetano con litología de areniscas grises, las áreas de formación Manacas con litología de areniscas polimícticas, en *Pinus tropicalis* justifica la recuperación de las masas semilleras de La Manaja y Ceja del Negro, así como

promover la compatibilización con el Área Protegida de Recursos Manejados Mil Cumbres, perteneciente a la Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna, y la Empresa Agroforestal de La Palma, para el rescate de la función de masa semillera de Galalón y la producción de semilla por encontrarse limítrofe al área protegida.

Por otro lado, se refuerza la necesidad de acciones más precisas de la población de este taxón en la Reserva Ecológica Los Pretiles no contempladas en el actual Plan de manejo hasta el 2025, así como en el Área Protegida Cayo Ratones.

Conclusiones

En poblaciones simpátricas cada taxón tiene una respuesta diferencial opuesta en sus variables anatómicas para hacer frente a las mismas condiciones ambientales. La anatomía foliar de *Pinus caribaea* var. *caribaea* difiere entre ecótopos y la disponibilidad de agua es el factor que más influye en su variación anatómica. La anatomía foliar de *Pinus tropicalis* difiere entre ecótopos, fundamentalmente con respecto a las arenas cuarcíticas con sílice. La disponibilidad de agua y la oligotrofia de los sustratos son los factores que más influyen en la variación anatómica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Samek V, Del Risco-Rodríguez E. Los pinares de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Estudio sinecológico. La Habana, Cuba: Academia; 1989. 89 p
2. Farjon A, Filter D. An Atlas of the World's Conifers; An analysis of their distribution, biogeography, diversity, and conservation status [Internet]. Netherlands: Brill, Leiden; 2013 [citado 2 mar 2021]. 512 p. Disponible en: <https://www.doi.org/10.1163/9789004211810>
3. Geada-López G, Kamiya K, Harada K. Phylogeny of Diploxylon pines (subgenus Pinus). Forest Genetics [Internet]. 2004 [20 ene 2020];11(3-4):213-21. Disponible en: https://kf.tuzvo.sk/sites/default/files/FG11-34_213-221.pdf
4. Gernandt DS, Geada-López G, García SO, Liston A. Phylogeny and classification of Pinus. Taxon [Internet]. 2005 [20 ene 2020]; 54(1):29-42. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.2307/25065300>
5. Grill D, Tausz M, Pöllinger UTE, Jiménez MS, Morales D. Effects of drought on needle anatomy of Pinus canariensis. Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants [Internet]. 2004 [20 abr 2021]; 199(2):85-9. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0367253004701012>
6. López R, Climent J, Gil L. Intraspecific variation and plasticity in growth and foliar morphology along a climate gradient in the Canary Island pine. Trees [Internet]. 2010 [31 ene 2020]; 24(2):343-50. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s00468-009-0404-2>
7. Huang Y, Mao J, Chen Z, Meng J, Xu Y, Duan A, Li Y. Genetic structure of needle morphological and anatomical traits of Pinus yunnanensis. Journal of Forest Research [Internet]. 2016 [25 jul 2021]; 27(1):13-25. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s11676-015-0133-x>

8. Ghimire B, Kim M, Lee JH, Heo K. Leaf anatomy of *Pinus thunbergii* Parl. (Pinaceae) collected from different regions of Korea. *Korean Journal of Plant Taxonomy*. 2014; 44(2):91-9.
9. Meng J, Chen X, Huang Y, Wang L, Xing F, Li Y. Environmental contribution to needle variation among natural populations of *Pinus tabuliformis*. *Journal of Forest Research* [Internet]. 2018 [27 jun 2021]; 30(4):1311-22. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s11676-018-0722-6>
10. Boratyńska K, Sękiewicz K, Jasińska AK, Tomaszewski D, Iszkuło G, Ok T. Effect of geographic range discontinuity on taxonomic differentiation of *Abies cilicica*. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* [Internet]. 2015a [27 jun 2021]; 84(4): 419-30. Disponible en: <https://doi.org/10.5586/asbp.2015.037>
11. Boratyńska K, Jasińska AK, Boratyński A. Taxonomic and geographic differentiation of *Pinus mugo* complex on the needle characteristics. *Systematics and Biodiversity* [Internet]. 2015b [28 abr 2021]; 13(6):581-95. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14772000.2015.1058300>
12. Zhang M, Meng JX, Zhang ZJ, Zhu SL, Li Y. Genetic analysis of needle morphological and anatomical traits among nature populations of *Pinus tabuliformis*. *Journal of Plant Studies* [Internet]. 2017 [2 oct 2021];6(1):62. Disponible en: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jps/article/view/64939>
13. López R, Cano FJ, Choat B, Cochard H, Gil L. Plasticity in vulnerability to cavitation of *Pinus canariensis* occurs only at the driest end of an aridity gradient. *Frontiers of Plant Science* [Internet]. 2016 [3 oct 2021]; 7:769. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00769>
14. Donnelly K, Cavers S, Cottrell JE, Ennos RA. Genetic variation for needle traits in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Tree Genetics & Genomes* [Internet]. 2016 [3 oct 2021];12(3):40. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11295-016-1000-4>
15. Jankowski A, Wyka TP, Żytkowiak R, Nihlgård B, Reich PB, Oleksyn J. Cold adaptation drives variability in needle structure and anatomy in *Pinus sylvestris* L. along a 1,900 km temperate–boreal transect. *Functional Ecology* [Internet]. 2017 [3 dic 2021];31(12):2212-23. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12946>
16. Jankowski A, Wyka TP, Żytkowiak R, Danusevičius D, Oleksyn J. Does climate-related in situ variability of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles have a genetic basis? Evidence from common garden experiments. *Tree Physiology* [Internet]. 2019 [3 dic 2019];39(4):573-89. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy145>
17. Hodžić MM, Hajrudinović-Bogunić A, Bogunić F, Marku V, Ballian D. Geographic variation of *Pinus heldreichii* Christ from the western Balkans based on cone and seed morphology. *Dendrobiology* [Internet]. 2020 [3 dic 2020]; 84:81-93. Disponible en: <https://doi.org/10.12657/denbio.084.007>
18. López-Almirall A. Variabilidad del género *Pinus* (Coniferales: Pinaceae) en Cuba. *Acta Botánica de Cuba*. 1982;12:1-32.
19. Pérez-del Valle L, Geada-López G, Sotolongo-Sospedra R. Diferencias anatómicas en acículas de *Pinus tropicalis* Morelet en edátopos extremos de pizarras y arenas blancas en Pinar del Río. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [Internet]. 2019 [12 ene 2020];7(2):225-39. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/455>
20. Pérez-del Valle L, Geada-López G, Sotolongo-Sospedra R. Anatomía foliar comparada de *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *P. tropicalis* (Pinaceae) en asociación simpátrica. *Revista del Jardín Botánico Nacional Universidad de la Habana* [Internet]. 2020 [18 dic 2020];41:163-74. Disponible en: <https://revistas.uh.cu/rjbn/article/view/5825>
21. Geada-López G, Sotolongo-Sospedra R, Pérez-del Valle L, Ramírez-Hernández R. Diferenciación anatómica foliar en poblaciones naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* (Pinaceae) en Pinar del Río y Artemisa, Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional Universidad de la Habana* [Internet]. 2021 [14 jun 2021];42:175-88. Disponible en: <https://revistas.uh.cu/rjbn/article/view/6521>
22. Geada-López G, Sotolongo-Sospedra R, Pérez-del Valle L. Variación anatómica foliar en poblaciones naturales de *Pinus tropicalis* en Pinar del Río. *Revista del Jardín Botánico Nacional Universidad de la Habana* [Internet]. 2022 [10 jun 2022];43:157-72. Disponible en: <https://revistas.uh.cu/rjbn/article/view/211>
23. IUCN. IUCN Red List of Threatened Species: 2021, Version 2021-2. <https://www.iucnredlist.org>. Acceso [18 oct 2021]
24. González-Torres LR, Palmarola A, González-Oliva L, Bécquer ER, Testé E, Castañeira-Colomé MA, Barrios D, Gómez-Hechavarría JL, García-Beltrán JA, Granado L, Rodríguez-Cala D, Berazaín R, Regalado L. Lista Roja de la Flora de Cuba. Bissea. 2016;10:33-283.
25. De Las Heras J, Bonilla-Vichot M, Martínez-Becerra LW. Germination after heat treatments of *Pinus tropicalis* Morelet and *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* seeds of west Cuban forests. *Annals of Forest Science* [Internet]. 2006 [18 oct 2019];63(5):469-75. Disponible en: <https://www.edpsciences.org/10.1051/forest:2006027>
26. Badik KJ, Jahner JP, Wilson JS. A biogeographic perspective on the evolution of fire syndromes in pine trees (*Pinus*: Pinaceae). *Royal Society Open Science* [Internet]. 2018 [3 abr 2018];5(3):172412. Disponible en: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.172412>
27. Geada-López G. Phylogenetic relationships of *Diploxylon* pines, genetic variation of *Pinus tropicalis* and the cuban pines. [Tesis de Doctorado]. Japón: Ehime University; 2003. 120 p.
28. Nelson CD, Nance WL, Wagner DB. Chloroplast DNA variation among and within taxonomic varieties of *Pinus caribaea* and *Pinus elliottii*. *Canadian Journal of Forest Research* [Internet]. 1994 [12 ene 2019];24(2):424-6. Disponible en: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/x94-057>
29. Zheng YQ, Ennos RA. Genetic variability and structure of natural and domesticated populations of Caribbean pine (*Pinus caribaea* Morelet). *Theoretical and Applied Genetics* [Internet]. 1999 [12 ene 2019]; 98(5):765-71. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s001220051133>
30. Jardón-Barbolla L, Delgado-Valerio P, Geada-López G, Vázquez-Lobo A, Piñero D. Phylogeography of *Pinus* subsection *Austerales* in the Caribbean Basin. *Annals of Botany* [Internet]. 2011 [12 ene 2020];107(2):229-41. Disponible en: <https://academic.oup.com/aob/article-lookup/doi/10.1093/aob/mcq232>
31. Rebolledo-Camacho V, Jardón-Barbolla L, Ramírez-Morillo I, Vázquez-Lobo A, Piñero D, Delgado P. Genetic variation and dispersal patterns in three varieties of *Pinus caribaea* (Pinaceae) in the Caribbean Basin. *Plant Ecology and Evolution* [Internet]. 2018 [12 ene 2019];151(1):61-76. Disponible en: <https://www.plecevo.eu/index.php/plecevo/article/view/1343>

32. Pszczolkowski A. Geosynclinal sequences of the Cordillera de Guaniguanico in western Cuba; their lithostratigraphy, facies development, and paleogeography. *Acta Geologica Polonica* [Internet]. 1978 [12 ene 2018];28(1):1-96. Disponible en: <https://geojournals.pgi.gov.pl/agp/article/view/9571>
33. Magaz-García AR, Hernández-Santana JR, Díaz-Díaz JL, Hernández-Guerrero I. Formación y consolidación de las morfoestructuras septentrionales de la región central del archipiélago cubano y su geodinámica reciente. *Investigaciones Geográficas* [Internet]. 2006 [12 ene 2018];61:7-23. Disponible en: <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/29992>
34. Conover WJ. *Practical Nonparametric statistics*. 1999. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.
35. Jentys-Szaferowa J. A graphical method of comparing the shapes of plants. *Review Polish Academic Science*. 1959;4(1):9-38.
36. Di Rienzo JA., Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. *InfoStat versión 2015*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
37. Cobiella-Reguera JL. Reconstrucción palinspástica del paleomargen mesozoico de América del Norte en Cuba occidental y el sudeste del Golfo de México. Implicaciones para la evolución del SE del Golfo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* [Internet]. 2008 [12 ene 2021]; 25(3):382-401. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v25n3/v25n3a2.pdf>
38. Álvarez-Brito A, Romero A, Mesa M, Ramírez P. Variaciones mensuales de los rendimientos en las especies del género *Pinus* resinadas en Cuba. *Boletín Técnico Forestal*. 1991b; 9(2):45-53.
39. Álvarez-Brito A, Mercadet-Portillo A, Echevarría P, Hidalgo E, Rodríguez E, Martínez J, et al. Estudio de interacción genotipo-ambiente en pruebas de procedencias de *Pinus caribaea* Morelet. *Boletín Técnico Forestal*. 1991a;9(2):3-13.
40. Mercadet-Portillo A, Marquetti JR, Alvarez-Brito A, Pérez M, Echevarría P, Hidalgo E, Ortiz O, Rodríguez E, Romeu P, Avila B, Parada D, Yero L, Sotolongo P, Martínez E, Maresma H, González A, Hecchavarría O, Hernández O, Paredes L. Introducción de especies y procedencias en Cuba: Resultados de la investigación y proyecciones. *Recursos Genéticos Forestales*. 2001;29:15-8.
41. García-Quintana Y, Álvarez-Brito A, Guízar-Nolazco E. Ensayo de procedencias de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en Alturas de pizarras, Viñales Pinar del Río, Cuba. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 2007;13(2):125-9.
42. Wang H, Malcolm DC, Fletcher AM. *Pinus caribaea* in China: Introduction, genetic resources and future prospects. *Forest Ecology and Management* [Internet]. 1999 [12 ene 2021];117(1-3):1-15. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00479-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00479-4)
43. Dieters MJ, Tinh HH, Huong PT, Nhan HD. Review of the performance and suitability of *Pinus caribaea* in Vietnam [Internet]. 2006 [citado 6 mar 2021]. Report No.: Report prepared for CARD project 033/05VIE: Field evaluation and advanced vegetative mass-propagation technology for scaling up high-value plantations of *Pinus caribaea* and related hybrids in Vietnam. Disponible en: <http://tailieu.vn/xem-tai-lieu/review-of-the-performance-and-suitability-of-pinus-caribaea-in-vietnam.1104001.html>
44. Dieters MJ, Nikles DG. The genetic improvement of caribbean pine (*Pinus caribaea* Morelet)-building on a firm foundation. En: *Proceeding of 24th Southern Forest Tree Improvement Conference*. Gainesville, FL, University of Florida; 1997. 33-52 p.
45. Nikolić B, Bojović S, Marin PD. Morpho-anatomical properties of *Pinus heldreichii* needles from natural populations in Montenegro and Serbia. *Plant Biosystems* [Internet]. 2016 [12 ene 2021]; 150(2):254-63. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/11263504.2014.984008>
46. Nikolić B, Mitic Z, Bojovic S, Matevski V, Krivosej Z, Marin P. Variability of needle morpho-anatomy of natural *Pinus heldreichii* populations from Scardo-Pindic mountains. *Genetika* [Internet]. 2019 [12 ene 2021];51(3):1175-84. Disponible en: <https://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0534-00121903175N>
47. Pawlaczyk EM, Baczkiewicz A, Wawrzyniak P, Czolpinska M, Gónnera P, Buczkowska-Chmielewska K. Population differences in morphological and anatomical traits of *Pinus mugo* Turra needles from the Polish part of the Tatra mountains. *Forest Research Papers* [Internet]. 2017 [12 abr 2021]; 78(1):67-76. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/frp-2017-0007>
48. Galdina T, Khazova E. Adaptability of *Pinus sylvestris* L. to various environmental conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [Internet]. 2019 [12 abr 2020];316:012002. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/316/1/012002>
49. López R, Zehavi A, Climent J, Gil L. Contrasting ecotypic differentiation for growth and survival in *Pinus canariensis*. *Australian Journal of Botany*. [Internet] 2007 [12 abr 2020];55(7):759. Disponible en: <https://www.publish.csiro.au/?paper=BT07016>
50. Farrell BD, Dussourd DE, Mitter C. Escalation of plant defense: Do latex and resin cannals spur plant diversification? *The American Naturalist*. 1991.38(4):881-900.
51. Martínez-Castro D, Vichot-Llano A, Bezanilla-Morlot A, Centella-Artola A, Campbell J, Giorgi, F, Vilorio-Holguin CC. The performance of RegCM4 over the Central America and Caribbean region using different cumulus parameterizations. *Climate Dynamics* [Internet]. 2018 [12 abr 2022];50(11-12):4103-26. Disponible en: <https://link.springer.com/10.1007/s00382-017-3863-y>
52. Geada-López G, Miranda-Sierra CA, Sotolongo-Sospedra R. Posibles implicaciones del cambio climático sobre la distribución de *P. caribaea* M. var. *caribaea* B.&G. y de *P. tropicalis* M. en el occidente de Cuba. (En): *Impactos y adaptación al cambio climático en el sector forestal cubano: Sexta aproximación*. Inst. Investig. AgroForestales, Gpo. Emp. Agroforestal, La Habana, Cuba. 2018; p. 195-227. Disponible en: <https://rc.upr.edu.cu/jspui/handle/DICT/2876>
53. Fady B, Cottrell J, Ackzell L, Alía R, Muys B, Prada A, González-Martínez SC. Forests and global change: what can genetics contribute to the major forest management and policy challenges of the twenty-first century? *Regional Environmental Change* [Internet]. 2016 [12 abr 2022];16:927-39. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0843-9>
54. Planos-Gutiérrez EO, Gutiérrez Pérez TL. Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. La Habana. AMA. 2020. Disponible en: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Third%20National%20Communication.%20Cuba.pdf>

Recibido: 18/09/2023

Aprobado: 09/12/2023

Agradecimientos

Al colectivo del Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad de Pinar del Río. Al cuerpo de guardabosques de la provincia y al personal de las áreas protegidas de la provincia.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribuciones de autores

Conceptualización: Gretel Geada López, Rogelio Sotolongo Sospedra

Curación de datos: Gretel Geada López, Liutmila Pérez del Valle, Rogelio Sotolongo Sospedra

Análisis formal: Gretel Geada López, Liutmila Pérez del Valle, Rogelio Sotolongo Sospedra, Robert Ramirez Hernández

Adquisición de fondos: Gretel Geada López, Carlos Alberto Miranda Sierra

Investigación: Gretel Geada López, Liutmila Pérez del Valle, Rogelio Sotolongo Sospedra, Carlos Alberto Miranda Sierra, Caridad Rivera Calvo, Irma Armas Armas

Metodología: Gretel Geada López, Rogelio Sotolongo, Liutmila Pérez del Valle

Administración del proyecto: Gretel Geada López

Recursos: Gretel Geada López, Irma Armas Armas, Caridad Rivera Calvo

Supervisión: Gretel Geada López, Rogelio Sotolongo Sospedra.

Visualización: Gretel Geada López, Rogelio Sotolongo Sospedra, Liutmila Pérez del Valle

Redacción-borrador original: Rogelio Sotolongo Sospedra, Gretel Geada López

Redacción-revisión y edición: Rogelio Sotolongo Sospedra, Gretel Geada López, Liutmila Pérez del Valle

Financiamientos

La investigación estuvo financiada por el Proyecto PE 44, Variación anatómica en especies de coníferas occidentales e indicadores reproductivos.

Cómo citar este artículo

Gretel Geada-López G, Sotolongo- Sospedra R, Pérez-del Valle L, Rivera-Calvo C, Ramirez-Hernández R, Miranda-Sierra CA **et al.** Diferenciación anatómica foliar en poblaciones naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* en Pinar del Río y Artemisa, Cuba. An Acad Cienc Cuba [Internet] 2023 [citado en día, mes y año]; No. (Vol):e1495. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1495>

El artículo se difunde en acceso abierto según los términos de una licencia Creative Commons de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0), que le atribuye la libertad de copiar, compartir, distribuir, exhibir o implementar sin permiso, salvo con las siguientes condiciones: reconocer a sus autores (atribución), indicar los cambios que haya realizado y no usar el material con fines comerciales (no comercial).

© Los autores, 2023.

