

Revista Cubana de
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 11, número 1; 2023

Efecto de la posición de las acículas en la copa del árbol sobre la anatomía foliar de Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barret y Golfari

Effect of the position of the needles in the crown of the tree on the foliar anatomy of Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barrett and Golfari

Efeito da posição da agulha no dossel sobre a anatomia da folha de Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barret e Golfari

Rogelio Sotolongo Sospedra^{1*} , Gretel Geadá-López¹ , Luitmila Pérez-del Valle¹ ,
Norberto Miguel Armas Crespo² 

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

²Universidad de Ciego de Ávila. Ciego de Ávila, Cuba

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

Recibido:2023-02-23.

Aprobado:2023-04-06.



RESUMEN

Las variaciones de la estructura de las hojas de las plantas se deben fundamentalmente a la variabilidad ambiental. En muchos casos la vía para la aclimatación a condiciones desfavorables. Está documentado que en Cuba las características anatómicas y morfológicas de las acículas de *P. caribaea* difieren entre ecótopos con distintas condiciones edafoclimáticas. En este estudio, se analiza el efecto que tiene la posición en la copa del árbol en la anatomía de las acículas. Para esto se colectaron acículas de la parte inferior, media y alta a 30 árboles. Las variables analizadas fueron grosor del parénquima clorofílico, grosor del parénquima de transfusión, altura del tejido de conducción y ancho del tejido de conducción, grosor de la cutícula, grosor de epidermis, grosor de hipodermis, número de capas de células de la hipodermis, número de canales y número de estomas. Los resultados de los análisis muestran una mayor diferenciación de la morfología de las acículas hacia la parte superior del árbol, que se expresa por el aumento del grosor de los tejidos de protección y relacionado con la mayor exposición al sol y menor humedad relativa a la que están expuestas. Las variables que más contribuyen a diferenciar las acículas según la posición en el árbol son el número de estomas y el número de células de la hipodermis.

Palabras clave: acícula, variación anatómica, copa del árbol, canal de resina.

ABSTRACT

Variations in the structure of plant leaves are mainly due to environmental variability. In many cases the way to acclimatize to unfavorable conditions. It is documented that in Cuba the anatomical and morphological characteristics of *P. caribaea* needles differ between ecotopes with different edaphoclimatic conditions. In this study, the effect of the position in the tree crown on the anatomy of the needles is analyzed. For this purpose, needles were collected from the lower, middle and upper part of 30 trees. The variables analyzed were thickness of the chlorophyll parenchyma, thickness of the transfusion parenchyma, height of the conduction tissue and width of the conduction tissue, cuticle thickness, epidermis thickness, hypodermis thickness, number of layers of hypodermis cells, number of channels



and number of stomata. The results of the analyzes show a greater differentiation of the morphology of the needles towards the upper part of the tree, which is expressed by the increase in the thickness of the protective tissues and related to the greater exposure to the sun and lower relative humidity than they are exposed. The variables that contribute the most to differentiate the needles according to their position in the tree are the number of stomata and the number of cells in the hypodermis.

Keywords: needle, anatomical variation, resin canal, tree crown.

SÍNTESE

As variações na estrutura das folhas das plantas são devidas principalmente à variabilidade ambiental. Em muitos casos, é o caminho para a aclimação a condições desfavoráveis. Está documentado que em Cuba as características anatômicas e morfológicas das agulhas de *P. caribaea* diferem entre ecótonos com diferentes condições de solo e clima. Neste estudo, é analisado o efeito da posição do dossel sobre a anatomia das agulhas. Para este fim, as agulhas foram coletadas da parte inferior, média e superior de 30 árvores. As variáveis analisadas foram espessura do parênquima clorofila, espessura do parênquima transfusional, altura e largura do tecido de condução, espessura da cutícula, espessura da epiderme, espessura da hipoderme, número de camadas celulares da hipoderme, número de canais e número de estomas. Os resultados das análises mostram uma maior diferenciação na morfologia das agulhas em direção ao topo da árvore, que é expressa por um aumento na espessura dos tecidos protetores e está relacionada à maior exposição ao sol e à menor umidade relativa a que estão expostos. As variáveis que mais contribuem para diferenciar as agulhas de acordo com sua posição na árvore são o número de estômatos e o número de células na hipoderme.

Palavras-chave: agulha, variação anatômica, canópia, canal de resina.



INTRODUCCIÓN

En la isla de Cuba, se desarrollan cuatro especies endémicas de pino: *Pinus tropicalis* Morelet, *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari, *Pinus cubensis* Griseb y *Pinus maestrensis* Bisse, de ellas dos en la zona occidental y las dos últimas en la oriental. Estas especies son de suma importancia, económica y ecológica, pues ocupan grandes extensiones de tierra en el archipiélago y por tanto en los bosques de pinos cubanos se puede encontrar una gran cantidad de recursos madereros y no madereros y una gran variedad de especies animales y vegetales.

Pinus caribaea var. *caribaea*, se distribuye geográficamente en la provincia de Pinar del Río e Isla de la Juventud (López-Almirall, 1987; Geada-López *et al.*, 2021). En gran parte este se asocia simpátricamente con el *Pinus tropicalis* Morelet o en rodales puros solamente en la meseta de Cajalbana. Desde el punto de vista evolutivo es una especie joven y que reporta un comportamiento invasor (Camacho *et al.*, 2018; Gallien *et al.*, 2015).

Las variaciones anatómicas y morfológicas en plantas son respuestas a la variabilidad ambiental, procesos como la adaptación y la aclimatación se derivan o se asocian a estas variaciones. Por esto el estudio de la variabilidad en la anatomía foliar entre poblaciones que ocupan ecótopos con diferentes condiciones edafoclimáticas son de gran importancia para la conservación y manejo del genofondo de la especie, sobre todo para el uso de procedencias para la reforestación.

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. De ahí que modifiquen la estructura anatómica de la acícula, para soportar ambientes desfavorables como respuesta diferencial a estos, lo cual a largo plazo afectará la supervivencia y el crecimiento de la planta (Grill *et al.*, 2004, López *et al.*, 2010, Huang *et al.*, 2016, GeadaLópez *et al.*, 2021).



Los factores ambientales tienen una influencia directa en la estructura de los tejidos de la acícula, en el patrón y posición de los estomas, el número y tamaño de los conductos de resina, en especial para las especies de *Pinus* (Tiwari *et al.*, 2013; Ghimire *et al.*, 2014; Meng *et al.*, 2018), el grosor de parénquima de transfusión y área del mesófilo (Meng *et al.*, 2018; Köbölkuti *et al.*, 2017, Huang *et al.*, 2016). Por lo que, la anatomía puede variar entre poblaciones y especies, en especial, dentro de aquellas con amplios rangos de distribución continental (Jasińska *et al.*, 2014; Boratyńska *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2017).

Hasta el momento se han llevado a cabo diversos estudios relacionados con el tema, por ejemplo: (Pérez-del Valle *et al.*, 2016) demostraron cierta variación atómica en la acícula de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en seis localidades de Pinar del Río. Más adelante (Pérez-del Valle *et al.*, 2020) encontró diferencias en la anatomía de la acícula de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en tres ecótopos de la especie donde habita en simpátria con *Pinus tropicalis*. Recientemente se demostraron diferencias anatómicas foliares en poblaciones naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* (Pinaceae) en Pinar del Río y Artemisa, Cuba. (Geada-López *et al.*, 2021).

En general, las acículas de *Pinus caribaea* var. *caribaea* presentan $13,6 \pm 1,0$ cm de largo y $1,3 \pm 0,3$ mm de ancho. La estructura anatómica equifacial, en forma de abanico, muestra la epidermis uniestratificada. Las estomas se distribuyen en ambas superficies de la acícula, el número promedio de hileras de estomas por acícula es 17 y estos se encuentran hundidos en la hipodermis. La hipodermis posee tres a cinco capas de células, de tipo multiforme y con esclereidas. El parénquima clorofílico tiene como promedio tres capas de células de bordes replegados, seguido de varias capas de células del tejido parénquima de transfusión. El tipo de canal resinífero es endonales dentro del parénquima clorofílico, en ocasiones llega al parénquima de transfusión (Pérez-del Valle *et al.*, 2020).

Para *P. caribaea* hasta el momento el factor de estudio que ha prevalecido es la influencia del ecótopo sobre la anatomía foliar (Pérez-del Valle *et al.*, 2020, Geada-López *et al.*, 2021), la posición en el árbol no se ha abordado y la variabilidad bajo este factor puede ser indicador de la madures del individuo, del rodal y las potencialidades de producción de resina. El estudio se plantea como hipótesis que la altura a la que se desarrolla la acícula en el árbol influye en sus características anatómicas y morfológicas. Teniendo en cuenta que en otras



especies del género *Pinus* se ha demostrado esta variabilidad se plantea como objetivo de este trabajo caracterizar la variación anatómica de las acículas de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en función su posición altitudinal en el árbol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

Las muestras fueron tomadas de 30 árboles de un rodal de *P. caribaea* ubicado en áreas de la estación experimental de Viñales, provincia Pinar del Río, Cuba. Se recolectaron acículas en la parte inferior, media y alta de individuos jóvenes de aproximadamente tres metros de altura.

Variables

Para las mediciones anatómicas se realizaron cortes transversales en la parte media de la acícula. Se midieron con un aumento de 100x las siguientes estructuras: el grosor del parénquima clorofílico (GPc), el grosor del parénquima de transfusión (GPt), la altura del tejido de conducción (ATC) y el ancho del tejido de conducción (LTC), el número de estomas (NE) y el número de canales (NC); y con aumento de 400x: el grosor de la cutícula (GC), el grosor de epidermis (GEp), el grosor de hipodermis (GHp) y el número de capas de células de la hipodermis (NCHp),

Análisis estadístico

Se determina el efecto del factor posición de la acícula en la copa, con tres niveles: alto (A tercio superior de la copa), bajo (B, tercio inferior) y medio (M la parte central de la copa). Para esto se realizó un análisis de varianza por rangos de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$) y una prueba de comparación múltiple de pares entre las medias de los rangos de los tratamientos, según lo descrito en Conover (1999), ya que los datos no se ajustaron a una distribución normal.



Se empleó el análisis de discriminantes en el que se asume como grupos *a priori* las tres zonas donde se colectaron las acículas alto (A), medio (M) y bajo (B) con el objetivo maximizar las diferencias de la anatomía foliar, así como distinguir las variables que más contribuyen a diferenciación. El análisis estadístico se realizó con el programa *InfoStat v.2015*.

RESULTADOS

Caracterización anatómica de las acículas según su posición en la copa

En la Tabla 1, se presentan los valores medios de la variable anatómica y su desviación estándar de acuerdo a la posición en la copa. Este factor tiene efecto significativo, según la prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0,05$), sobre las variables número de estomas, el número de células de la hipodermis, el grosor del parénquima de transfusión y el largo del tejido de conducción (Tabla 1).

Tabla 1. - Valores medios y desviación estándar de las variables anatómicas evaluadas de *Pinus caribaea* en tres posiciones del árbol

Variable	A	M	B	H	P
NC	2,17 ± 0,53	2,03 ± 0,18	2 ± 0	0,47	0,16
NE	15,43 ± 2,87 ^B	13,13 ± 2,24 ^A	12,27 ± 2,02 ^A	18,6	0,00
GC	0,73 ± 0,33	0,73 ± 0,33	0,78 ± 0,3	0,68	0,71
GEp	15,48 ± 2,68	15,11 ± 3	14,48 ± 1,99	2,08	0,35
GHp	41,35 ± 10,47	39,59 ± 7,9	37,98 ± 9,63	2,17	0,33
NCHp	2,63 ± 0,72 ^B	2,1 ± 0,76 ^A	1,93 ± 0,87 ^A	10,28	0,00
GPc	109,67 ± 15,34	105,74 ± 18,09	105,53 ± 18,04	1,73	0,42
GPt	129 ± 19,26 ^B	121,35 ± 14,19 ^{AB}	112,44 ± 19,15 ^A	9,62	0,00
ATC	248,55 ± 49,64	252,13 ± 52,11	238,68 ± 59,74	1,52	0,46
LTC	506,71 ± 69,42 ^B	480,14 ± 81,8 ^{AB}	439,28 ± 87,18 ^A	10,78	0,00



NC: Número de canales, NE: Número de estomas, GC: Grosor de cutícula, GEp: Grosor de epidermis, GHp: Grosor de hipodermis, NCHp: Número de células de la hipodermis, GPC: Grosor del parénquima clorofílico, GPt: Grosor del parénquima de transfusión, ATC: Ancho del tejido de conducción, LTC: Largo del tejido de conducción. Posición A-alta, B-bajo, M-medio

En la Figura 1, se representa la tendencia del comportamiento en las variables en las que la posición de la acícula en la copa tuvo un efecto significativo para un $\alpha < 0,05$ en la prueba de Kruskal Wallis (Figura 1).

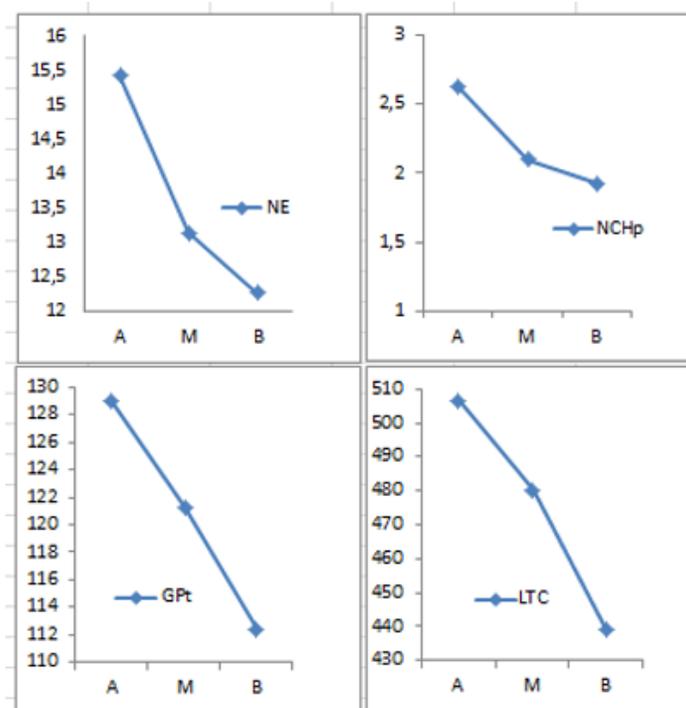


Figura 1. - Comportamiento de las variables número de estomas (NE), el número de células de la hipodermis (NCHp), el grosor del parénquima de transfusión (GPt) y el largo del tejido de conducción (LTC) en las tres posiciones de la copa (alta A, media M y baja B)

Diferenciación anatómica entre las posiciones de las acículas en el árbol

En la Tabla 2, se presentan los resultados del análisis de discriminante, las dos funciones que se obtienen del análisis permitieron explicar el 100 % de las variaciones entre los tres grupos definidos *a priori* (Tabla 2).



Tabla 2. - Resultado del análisis de discriminante, coeficientes estandarizados de cada variable y centroides de las tres posiciones de *P. caribaea* en las dos funciones discriminantes

	Función	
	1	2
Autovalores	0,57	0,05
%	91,34	8,66
% acumulado	91,34	100
Variables	Coeficientes estandarizados	
Número de canales	0	0,26
Número de estomas	-0,78	0,35
Grosor de cutícula	0,31	0,02
Grosor de epidermis	-0,02	-0,39
Grosor de hipodermis	0,17	-0,32
Número de células de la hipodermis	-0,63	0,61
Grosor del parénquima clorofílico	0,27	0,46
Grosor del parénquima de transfusión	-0,15	-0,72
Ancho del tejido de conducción	0,08	-0,39
Largo del tejido de conducción	-0,17	-0,41
	Centroides	
Grupo (Posición en la copa)	Eje 1	Eje 2
Tercio superior (A)	-1	0,1
Tercio inferior (B)	0,79	0,21
Parte central (M)	0,21	-0,32

De acuerdo a los coeficientes estandarizados las variables más importantes en la discriminación entre las tres posiciones son, en la primera función el número de estomas y número de células de la hipodermis. En la segunda el grosor de epidermis y el grosor del parénquima de transfusión.



De acuerdo a los valores de los centroides y la ubicación en el plano definido por las dos funciones discriminantes (Figura 2), hay mayor diferenciación en la anatomía de las acículas colectadas en la parte superior de la copa con respecto a las otras dos, que, aunque bien definidas tienen cierto grado de solapamiento.

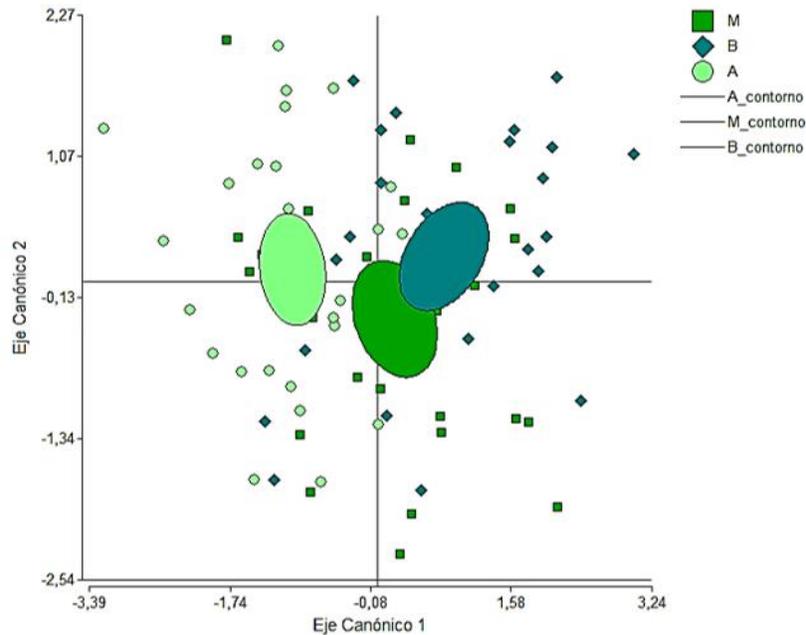


Figura 2. - Agrupación de las posiciones en las dos primeras funciones discriminantes, basado en variables anatómicas de *Pinus caribaea* representadas en tres grupos a priori.

Los contornos corresponden a elipses de predicción al 95 % de probabilidades NC: Número de canales, NE: Número de estomas, GC: Grosor de cutícula, GEp: Grosor de epidermis, GHp: Grosor de hipodermis, NCHp: Número de células de la hipodermis, GPC: Grosor del parénquima clorofílico, GPt: Grosor del parénquima de transfusión, ATC: Ancho del tejido de conducción, LTC: Largo del tejido de conducción.

Lo anterior se confirma en la Tabla 3, donde se presenta la clasificación de cada caso según las funciones discriminantes obtenidas. Se muestra que hay mayor indefinición en cuanto a las diferencias anatómicas (error 60 %) de las acículas entre la parte media, sobre todo con respecto a la parte inferior de la copa (Tabla 3).



Tabla 3. - Clasificación cruzada de cada caso según las funciones discriminantes y error de clasificación

Grupo	Alto	Bajo	Medio	Total	Error (%)
Alto	23	2	5	30	23,33
Bajo	6	20	4	30	33,33
Medio	7	11	12	30	60
Total	36	33	21	90	38,89

DISCUSIÓN

Variación anatómica de las acículas de acuerdo a la posición en la copa

La variabilidad anatómico morfológica que se observan en una especie pueden estar determinadas por variaciones geográficas, climáticas, de sitio, entre árboles de un mismo sitio y hasta variaciones dentro de un mismo árbol (Cattuse 1991).

La variación anatómica de las acículas en las tres posiciones en la copa del árbol que se estudiaron se ve reflejada principalmente por cuatro variables: número de estomas, número de células de la hipodermis, grosor del parénquima de transfusión y largo del tejido de conducción, todas vinculadas a procesos de regulación hídrica y sostén como es el caso del tejido de conducción.

Geadá-López *et al.* (2022) reporta que la especie *P. caribaea* en comparación con *Pinus tropicalis* puede desarrollar mayor número de estomas, mayor número de células de la hipodermis y mayor grosor del tejido de transfusión como respuesta a diferencias en las condiciones ambientales.

En este estudio se confirma en las cuatro variables de la anatomía de la acícula en que se comprobó efecto estadístico significativo de la posición en la copa, un ligero aumento de sus valores hacia la parte superior, que es la más expuesta al efecto desecante del viento y a la luz, estas características ayudan a evitar el colapso de los elementos del haz vascular en condiciones de pérdida de turgencia (Larcher 2003, Grill *et al.*, 2004), comportamiento



comprobado en la anatomía de *P. canariensis* cuando se somete a ensayos de sequía (Grill *et al.*, 2004) y entre pruebas de procedencias establecidas en lugares secos y xéricos (López-Rodríguez 2009). Sin embargo, Dörken y Stützel (2012) plantean que comúnmente se asume que los representantes de *Pinus* subg. *Diploxylon* tienen dos haces vasculares, cuando estos en realidad son un único haz separado por bandas de células de parénquima que pueden ser más o menos numerosas y lignificadas o no. Cambios en el tamaño de esta estructura parecen estar relacionados con la disponibilidad de agua en el suelo (Boratyńska *et al.*, 2011, 2015b, Ghimire *et al.*, 2014).

En el estudio se comprobó que en la parte alta de la copa además de aumentar el número de células de la hipodermis también hay un pequeño incremento en el grosor de hipodermis (Tabla 1), aunque es necesario aclarar que el aumento del grosor de la hipodermis no siempre está acompañado con un mayor número de capas de célula de la hipodermis, aunque ambas características, regulan las pérdidas de agua, en especial si se acompaña de esclereidas como elemento del tejido de sostén (Grill *et al.*, 2004). Nikolaiæ *et al.*, (2014 y 2019) en estudios de las poblaciones naturales de *Pinus heldreichii* en los Balcanes reportaron que, hacia sitios más secos, debido a la pendiente y el sustrato, el grosor de la hipodermis y cutícula eran mayores, pero con un menor número de capas de la hipodermis.

El parénquima de transfusión tiene sus valores más altos en la parte alta, donde es necesaria una mayor reserva de agua, pues estas acículas van a estar más expuestas a la radiación solar. López *et al.* (2010) plantean que este comportamiento es común donde es necesario almacenar gran cantidad de agua junto a materiales de reserva, pues representa un ahorro en la síntesis de compuestos y almacén de metabolitos bajo estas condiciones. (López-Rodríguez 2009, Esteban *et al.* 2010). Esta característica es ventajosa para plantas que experimentan períodos prolongados de estrés hídrico ya que permite mantener vivos los tejidos de la hoja ante prolongadas sequías (López *et al.*, 2010, Hodžiaë *et al.* 2020).

Existe además muy poca variación respecto al número de canales, solamente se observa un pequeño aumento hacia la parte alta, la cual se comporta como la parte más seca debido a las fuertes exposiciones al sol y al viento. En estudios preliminares se ha detectado que la mayor densidad de canales se asocia a áreas de menor disponibilidad de humedad



(Jankowski *et al.* 2017, 2019) y su incremento en número y tamaño está correlacionado en *Pinus yunnanensis* con disminuciones de la precipitación y aumento de la temperatura, que contribuyen a reducir la influencia de la extrema sequía y el calor (Huang *et al.* 2016).

En la Figura 2, resultado del análisis de discriminantes, se puede observar que las acículas de la parte alta de la copa se distinguen de las colectadas en las otras dos posiciones, dicha disyunción está dada por la influencia de las variables ambientales a las que están sometidas las acículas según su posición, pues los factores ambientales tienen una influencia directa en la estructura de los tejidos de la acícula, en el patrón y posición de los estomas, el número y tamaño de los conductos de resina, en especial para las especies del género *Pinus* (Tiwari *et al.*, 2013, Ghimire *et al.*, 2014, Meng *et al.*, 2018), el grosor de parénquima de transfusión y área del mesófilo (Meng *et al.*, 2018, Huang *et al.*, 2016, Köbölkuti *et al.*, 2017).

El análisis de discriminante destaca en la primera función las variables número de estomas y número de células de la hipodermis como las variables más importantes, desviándose hacia el cuadrante negativo de la Figura 2, cuyas acículas se desarrollan en un ambiente de más alta intensidad lumínica y menor humedad relativa.

Dörken y Stützel (2012) y Grill *et al.*, (2004) describen que las especies de *Pinus* que se desarrollan en ambientes extremos, generalmente desarrollan una cutícula prominente, gruesa y una hipodermis conformada por varias capas de células gruesas de forma circular. Sin embargo, *P. caribaea* desarrolla mayor número de capas y grosor de la hipodermis (tipo multiforme) como adaptación a iguales condiciones. Kivimäenpää *et al.*, 2017 plantea que una especie adaptada a hábitats soleados puede tener un tejido del mesófilo más grueso y una mayor densidad estomática para alcanzar mayores rendimientos fotosintéticos. Esto también explica las diferencias enmarcadas entre la posición Alta con respecto a la Baja y la posición Medio.

Con respecto a la segunda función de discriminante la mayor importancia corresponde al parénquima de transfusión, cuyo tejido está presente solo en las coníferas, en especial en el género *Pinus* (Canny 1993 y Liesche *et al.*, 2011) cuya función es almacenar gran cantidad de agua, pero que además tiene un complejo mecanismo de funcionamiento post-xylema, pre-



floema que transporta agua, nutrientes minerales junto a fotoasimilatos simples (Canny 1993, Liesche *et al.*, 2011) que en caso de ser necesario emplean una vía simplástica para llevar energía al tejido de asimilación.

Al respecto López *et al.*, (2010) y Liesche *et al.*, (2011) plantean que en condiciones ecológicas de sequía o xéricas el desarrollo de un tejido de transfusión grueso significaría, además, una ventaja con el almacenamiento de agua y un ahorro en la síntesis de compuestos (López *et al.*, 2010, Esteban *et al.*, 2010, Hodžia *et al.*, 2020).

Implicaciones en la silvicultura

Hasta el momento muchos de los estudios desarrollados están dirigidas principalmente hacia la selección de árboles con capacidades superiores en producción, e identifican el número adecuado de individuos con la suficiente variabilidad genética (Barrett, 1980). La caracterización de la variabilidad anatómica a lo largo del fuste del árbol de *P. caribaea* puede ser un indicador de las potencialidades para la producción de resina. Sin embargo, son pocos los estudios que han abordado las relaciones entre la producción de resina y los aspectos ecológicos y climáticos donde crecen los árboles (Reyes-Ramos *et al.*, 2019, Abdillah *et al.*, 2020, Rodríguez-García *et al.*, 2015).

Este estudio no va dirigido directamente a la producción de resina, independientemente de que la especie *P. caribaea* se encuentra dentro los planes de resinación del país, sino que se enfoca hacia la importancia de conocer el sitio dentro del árbol donde cabría encontrar la mayor cantidad de canales. Para esto el conocimiento de la variación anatómica de la acícula facilita diagnosticar la capacidad de producción neta de la especie conociendo que el número y tamaño de canales resiníferos están relacionados con el flujo de resina (Westbrook *et al.*, 2015). Por ejemplo, Reyes-Ramos *et al.*, (2019) demostraron la relación entre la temperatura y la producción de resina en *P. oocarpa*, entonces las acículas en la parte superior de la copa están expuestas a mayor radiación solar y temperatura, por ende, la producción de resina tendría a ser mayor. En este sentido, identificar la existencia de diferencias en los canales y de dimensiones en los tejidos es crucial, para estimar la producción de resina.



La característica anatómica foliar es un punto a tener en cuenta no solo a la hora de obtener grandes resultados en la producción con fines económico sino también en la selección del material de propagación, de modo que la variación en cuanto a dimensiones de las variables estudiadas, pudiese estar vinculado a estrategias del sistema de defensa de las coníferas para hacer frente a distintas perturbaciones bióticas y abióticas, que integran una respuesta compleja de defensa a corto y largo plazo.

CONCLUSIONES

En la especie *Pinus caribaea var caribaea* existe variación en la anatomía de la acícula determinada por la posición de la misma en la copa, se manifiesta un aumento del grosor de los tejidos de protección hacia la parte superior. Las variables que más contribuyen a diferenciar las acículas según la posición en el árbol son el número de estomas y el número de células de la hipodermis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDILLAH, E., MUHARYANI, N. y NA'ITEM, M., 2020. The characteristics of *Pinus mercusii* resin productivity flow pattern. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 528, pp. 012031. DOI 10.1088/1755-1315/528/1/012031.
- BARRET, W.H., 1980. Selección y manejo de rodales semilleros con especial referencia a coníferas. En: FAO-DANIDA (ed.), *Mejora genética de árboles forestales* [en línea]. Mérida, Venezuela: FAO Montes, pp. 158-165. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3950>.
- BORATYŃSKA, K., JASIŃSKA, A., MARCYSIAK, K. y SOBIERAJSKA, K., 2011. *Pinus uliginosa* from Czarne Bagno peat-bog (Sudetes) compared morphologically to related *Pinus* species. *Dendrobiology* [en línea], vol. 65, pp. 17-28. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235735271_Pinus_uliginosa_from_Cza



rne_Bagno_peat -

bog_Sudetes_compared_morphologically_to_related_Pinus_species.

BORATYŃSKA, K., JASIŃSKA, A.K. y BORATYŃSKI, A., 2015. Taxonomic and geographic differentiation of *Pinus mugo* complex on the needle characteristics. *Systematics and Biodiversity* [en línea], vol. 13, no. 6, pp. 581-595. [Consulta: 7 marzo 2023]. ISSN 1477-2000. DOI 10.1080/14772000.2015.1058300. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/14772000.2015.1058300>.

CAMACHO, V.R., BARBOLLA, L.J., MORILLO, I.R., VÁZQUEZ-LOBO, A., PIÑERO, D. y DELGADO, P., 2018. Genetic variation and dispersal patterns in three varieties of *Pinus caribaea* (Pinaceae) in the Caribbean Basin. *Plant Ecology and Evolution* [en línea], vol. 151, no. 1, pp. 61-76. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 2032-3921. DOI 10.5091/plecevo.2018.1343. Disponible en: <https://plecevo.eu/article/24459/>.

CANNY, M.J., 1993. Transfusion tissue of pine needles as a site of retrieval of solutes from the transpiration stream. *New Phytologist* [en línea], vol. 123, no. 2, pp. 227-232. [Consulta: 7 marzo 2023]. ISSN 1469-8137. DOI 10.1111/j.1469-8137.1993.tb03730.x. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03730.x>.

DÖRKEN, V. y STÜTZEL, T., 2012. Morphology, anatomy and vasculature of leaves in *Pinus* (Pinaceae) and its evolutionary meaning. *Fuel and Energy Abstracts* [en línea], vol. 207, no. 1. DOI 10.1016/j.flora.2011.10.004. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/241094109_Morphology_anatomy_and_vasculature_of_leaves_in_Pinus_Pinaceae_and_its_evolutionary_meaning.

GALLIEN, L., SALADIN, B., BOUCHER, F.C., RICHARDSON, D.M. y ZIMMERMANN, N.E., 2016. Does the legacy of historical biogeography shape current invasiveness in pines? *New Phytologist* [en línea], vol. 209, no. 3, pp. 1096-1105. [Consulta: 7 marzo 2023]. ISSN 1469-8137. DOI 10.1111/nph.13700. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/nph.13700>.



- GEADA-LÓPEZ, Gretel; PÉREZ-DEL VALLE, Luitmila; SOTOLONGO-SOSPEDRA, ROGELIO. 2022. Respuesta diferencial en la anatomía acicular de *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* (Pinaceae) en simpatria. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 197-214, aug. 2022. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/764>
- GEADA-LÓPEZ, G., SOTOLONGO-SOSPEDRA, R., VALLE, L.P. y RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, R., 2021. Diferenciación anatómica foliar en poblaciones naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* (Pinaceae) en Pinar del Río y Artemisa, Cuba - Anatomical foliar differentiation on natural population of *Pinus caribaea* var. *caribaea* (Pinaceae) in Pinar del Río and Artemisa, Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional* [en línea], vol. 42, pp. 175-188. [Consulta: 7 marzo 2023]. ISSN 0253-5696. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/48672484>.
- GRILL, D., TAUSZ, M., PÖLLINGER, U. t. e., JIMÉNEZ, M.S. y MORALES, D., 2004. Effects of drought on needle anatomy of *Pinus canariensis*. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* [en línea], vol. 199, no. 2, pp. 85-89. [Consulta: 7 marzo 2023]. ISSN 0367-2530. DOI 10.1078/0367-2530-00137. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0367253004701012>.
- HODŽIÆ, M.M., HAJRUDINOVIÆ-BOGUNIÆ, A., BOGUNIÆ, F., MARKU, V. y BALLIAN, D., 2020. Geographic variation of *Pinus heldreichii* christ from the western Balkans based on cone and seed morphology. *Dendrobiology* [en línea], vol. 84, pp. 81-93. [Consulta: 7 marzo 2023]. ISSN 1641-1307. Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20210066371>.
- HUANG, Y., MAO, J., CHEN, Z., MENG, J., XU, Y., DUAN, A. y LI, Y., 2016. Genetic structure of needle morphological and anatomical traits of *Pinus yunnanensis*. *Journal of Forestry Research* [en línea], vol. 27, no. 1, pp. 13-25. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 1993-0607. DOI 10.1007/s11676-015-0133-x. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0133-x>.



- JANKOWSKI, A., WYKA, T., ÝTKOWIAK, R., NIHLGÅRD, B., REICH, P. y OLEKSYN, J., 2017. Cold adaptation drives variability in needle structure and anatomy in *Pinus sylvestris* L. along a 1900 km temperate boreal transect. *Functional Ecology* [en línea], vol. 31. DOI 10.1111/1365-2435.12946. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318727745_Cold_adaptation_drives_variability_in_needle_structure_and_anatomy_in_Pinus_sylvestris_L_along_a_1900_km_temperate-boreal_transect.
- JANKOWSKI, A., WYKA, T.P., ÝTKOWIAK, R., DANUSEVIÈIUS, D. y OLEKSYN, J., 2019. Does climate-related in situ variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles have a genetic basis? Evidence from common garden experiments. *Tree Physiology* [en línea], vol. 39, no. 4, pp. 573-589. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 1758-4469. DOI 10.1093/treephys/tpy145. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy145>.
- JASIŃSKA, A.K., BORATYŃSKA, K., DERING, M., SOBIERAJSKA, K.I., OK, T., ROMO, A. y BORATYŃSKI, A., 2014. Distance between south-European and south-west Asiatic refugial areas involved morphological differentiation: *Pinus sylvestris* case study. *Plant Systematics and Evolution* [en línea], vol. 300, no. 6, pp. 1487-1502. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 1615-6110. DOI 10.1007/s00606-013-0976-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0976-6>.
- KIVIMÄENPÄÄ, M., SUTINEN, S., VALOLAHTI, H., HÄIKIÖ, E., RIIKONEN, J., KASURINEN, A., GHIMIRE, R.P., HOLOPAINEN, J.K. y HOLOPAINEN, T., 2017. Warming and elevated ozone differently modify needle anatomy of Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Canadian Journal of Forest Research* [en línea], vol. 47, no. 4, pp. 488-499. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 0045-5067. DOI 10.1139/cjfr-2016-0406. Disponible en: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/cjfr-2016-0406>.



LARCHER, W., 2003. *Physiological Plant Ecology* [en línea]. 4th. S.l.: Springer Berlin Heidelberg. [Consulta: 8 marzo 2023]. Disponible en: <https://link.springer.com/book/9783540435167>.

LIESCHE, J., MARTENS, H.J. y SCHULZ, A., 2011. Symplasmic transport and phloem loading in gymnosperm leaves. *Protoplasma* [en línea], vol. 248, no. 1, pp. 181-190. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 1615-6102. DOI 10.1007/s00709-010-0239-0. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00709-010-0239-0>.

LÓPEZ, R., CLIMENT, J. y GIL, L., 2010. Intraspecific variation and plasticity in growth and foliar morphology along a climate gradient in the Canary Island pine. *Trees* [en línea], vol. 24, no. 2, pp. 343-350. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 1432-2285. DOI 10.1007/s00468-009-0404-2. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00468-009-0404-2>.

MENG, J., CHEN, X., HUANG, Y., WANG, L., XING, F. y LI, Y., 2019. Environmental contribution to needle variation among natural populations of *Pinus tabuliformis*. *Journal of Forestry Research* [en línea], vol. 30, no. 4, pp. 1311-1322. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 1993-0607. DOI 10.1007/s11676-018-0722-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0722-6>.

NIKOLIC, B., MITLÆ, Z., BOJOVIC, S., MATEVSKI, V., KRIVOSEJ, Z. y MARIN, P., 2019. Variability of needle morpho-anatomy of natural *Pinus heldreichii* populations from Scardo-Pindic mountains. *Genetika* [en línea], vol. 51, no. 3, pp. 1175-1184. DOI 10.2298/GENSR1903175N. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/339174580_Variability_of_needle_morpho-anatomy_of_natural_Pinus_heldreichii_populations_from_Scardo-Pindic_mountains.

PÉREZ-DEL VALLE, L., GEADA-LÓPEZ, G. y SOTOLONGO-SOSPEDRA, R., 2020. Anatomía foliar comparada de *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *P. tropicalis* (Pinaceae) en asociación simpátrica - Comparative leaf anatomy of *Pinus caribaea* var. *caribaea* and *P. tropicalis* (Pinaceae) in sympatric association. *Revista del Jardín Botánico*



- Nacional* [en línea], vol. 41, pp. 163-174. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 0253-5696. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/26975238>.
- REYES-RAMOS, A., LEÓN, J.C. de, MARTÍNEZ-PALACIOS, A., LOBIT, P.C.M., AMBRÍZ-PARRA, J.E. y SÁNCHEZ-VARGAS, N.M., 2019. Caracteres ecológicos y dendrométricos que influyen en la producción de resina en *Pinus oocarpa* de Michoacán, México. *Madera y Bosques* [en línea], vol. 25, no. 1. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 2448-7597. DOI 10.21829/myb.2019.2511414. Disponible en: <https://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/article/view/e2511414>.
- RODRÍGUEZ-GARCÍA, A., MARTÍN, J.A., LÓPEZ, R., MUTKE, S., PINILLOS, F. y GIL, L., 2015. Influence of climate variables on resin yield and secretory structures in tapped *Pinus pinaster* Ait. in central Spain. *Agricultural and Forest Meteorology* [en línea], vol. 202, pp. 83-93. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 0168-1923. DOI 10.1016/j.agrformet.2014.11.023. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192314003025>.
- TWARI, S., KUMAR, P., YADAV, D. y CHAUHAN, D., 2013. Comparative morphological, epidermal, and anatomical studies of *Pinus roxburghii* needles at different altitudes in the North-West Indian Himalayas. *Turkish Journal of Botany*, vol. 37, no. 1, pp. 65-73. DOI 10.3906/bot-1110-1.
- WESTBROOK, J.W., WALKER, A.R., NEVES, L.G., MUNOZ, P., RESENDE JR, M.F.R., NEALE, D.B., WEGRZYN, J.L., HUBER, D.A., KIRST, M., DAVIS, J.M. y PETER, G.F., 2015. Discovering candidate genes that regulate resin canal number in *Pinus taeda* stems by integrating genetic analysis across environments, ages, and populations. *New Phytologist* [en línea], vol. 205, no. 2, pp. 627-641. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 1469-8137. DOI 10.1111/nph.13074. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/nph.13074>.



ZHANG, M., MENG, J.-X., ZHANG, Z.-J., ZHU, S.-L. y LI, Y., 2017. Genetic Analysis of Needle Morphological and Anatomical Traits among Nature Populations of *Pinus Tabuliformis*. *Journal of Plant Studies* [en línea], vol. 6, pp. 62. DOI 10.5539/jps.v6n1p62. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312658131_Genetic_Analysis_of_Needle_Morphological_and_Anatomical_Traits_among_Nature_Populations_of_Pinus_Tabuliformis.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

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



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. Copyright (c) 2023 Rogelio Sotolongo Sospedra , Gretel Geada-López , Luitmila Pérez-del Valle , Norberto Miguel Armas Crespo

