

Summary

The assessment of the variation in juvenils needles per fascicle in Pinus caribaea var. hondurensis Barr. and Golf. at 18 months under greenhouse conditions, was not significantly different between populations. Nevertheless the populations Limones and Melinda present the highest values of fascicles with four and five needles with respect to the average, and Guanaja the lowest.

It looks the genes responsible for the expresion of fascicles with four and five needles are present along the natural distribution of this variety, and that its expresion is under control of climatic factors.

Introducción

Variación en la forma del árbol, sistema de ramificación, altura total, rectitud del fuste, color de las agujas y características de los conos, ha sido reportada en los bosques naturales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. y Golf. que crece en forma discontinua en la costa Atlántica de América Central, desde los 18°00' norte en Belize, hasta los 12°13' al norte de Nicaragua y desde el nivel del mar hasta 800 msnm (1, 4, 8, 11).

Burley (2) sugiere que la cantidad de variación genética entre poblaciones depende en parte del rango de distribución natural, la variación del clima a lo largo del área de distribución, y de la facilidad de intercambio de polen y semillas entre poblaciones.

Estudios sobre la variabilidad de las agujas en plantas juveniles en otras especies de coníferas, indican que algunas características varían con la edad (6, 10, 16, 19).

No obstante estudios sobre la variación anatómica y morfológica de las agujas en varias especies de pinos

duros y suaves, han mostrado ser de gran valor taxonómico, principalmente cuando no se dispone de conos o flores (5, 14, 20).

Mergen, Snyder y Burley (15) detectaron una tendencia clinal norte-sur en la variación de características morfológicas de las agujas en *P. elliottii* Engelm. En las áreas más secas encontraron agujas más cortas, más canales resiníferos y mayor número de estomas

Variación genética en algunas especies en híbridos de pinos suaves fue reportada con relación a número de dientes a lo largo de los vértices de las agujas, número de estomas, posición y número de canales resiníferos. Algunas de esas variables pueden ser utilizadas para identificar poblaciones híbridas o híbridos producidos bajo cruces controlados. También algunas variables varían según la edad y la posición de las agujas en el árbol (10, 12, 13).

Recientemente Salazar (17) analizando agujas de *P. caribaea* var. *hondurensis* de los bosques naturales, encontró mayor frecuencia de fascículos con cuatro y cinco agujas en las procedencias Limones y Santa Clara; mientras que Poptun, Melinda y Mountain Pine Ridge presentaron la frecuencia más baja.

El objetivo de esta investigación es cuantificar el grado de variación genética entre procedencias, en cuanto al número de agujas por fascículo, en plantas jóvenes creciendo bajo condiciones de ambiente controlado.

¹ Recibido para publicación el 5 de agosto de 1983.

Esta publicación está basada en la tesis de Ph.D., presentado por el autor al Departamento Forestal de la Universidad de Oxford, Inglaterra, en junio de 1981.

* Silvicultor, Departamento de Recursos Naturales Renovables, CATIE, Costa Rica.

Cuadro 1. Detalles climatológicos y de localización de las procedencias.

No.	Almacenamiento ¹ de la semilla	Origen			Latitud (°N)	Longitud (°W)	Altitud (msnm)	Precipitación (mm)	Meses ² secos	Temperatura media (°C)
		Pais	Localidad							
1	PC-4	Nicaragua	Pinar	12°13'	83°42'	10	4 187	1	26.4	
2	PC-2	Nicaragua	Karawala	12°58'	83°43'	10	3 897	0	26.4	
3	PC-59*	Nicaragua	Pantasma	13°20'	85°57'	475	1 400	5	20.7	
4	PC-3	Nicaragua	Alamcamba	13°34'	84°17'	25	2 610	3	27.3	
5	PC-21*	Nicaragua	Santa Clara	13°48'	86°12'	700	1 818	5	23.4	
6	PC-52*	Honduras	Trojes	14°03'	85°58'	720	1 649	5	23.0	
7	PC-13*	Honduras	Los Limones	14°03'	86°42'	700	663	7	22.2	
8	PC-51*	Honduras	Azacualpa	14°25'	86°07'	240	2 131	3	25.7	
9	PC-5	Nicaragua	Rio Coco	14°45'	83°55'	75	2 863	2	30.4	
10	PC-53*	Honduras	Yojoa	14°58'	87°54'	600	2 995	2	24.0	
11	PC-14*	Honduras	Culmi	15°06'	85°37'	550	1 325	6	24.3	
12	PC-17*	Honduras	Potosí	15°20'	88°25'	650	1 205	7	23.7	
13	PC-12*	Honduras	Los Briones	15°34'	86°44'	600	912	6	24.0	
14	PC-7	Honduras	Brus Lagoon	15°45'	84°40'	10	2 840	2	26.5	
15	PC-6*	Guatemala	Poptun	16°21'	89°25'	500	1 688	4	24.2	
16	PC-8	Honduras	Guanaja Island	16°27'	85°54'	75	2 308	3	27.1	
17	PC-10	Belize	Las Lomitas	16°28'	68°33'	30	2 398	3	27.1	
18	PC-20*	Belize	Mountain Pine Ridge	16°58'	89°00'	487	1 558	3	23.8	
19	PC-23	Belize	Melinda	17°01'	88°20'	12	2 137	2	26.9	
20	PC-19	Belize	Santos Pine Ridge	17°34'	88°33'	30	1 818	2	26.2	

1 El número de almacenamiento es el mismo utilizado por CFI para identificar las procedencias.

2 Meses secos se consideran los que tengan menos de 75 mm de precipitación.

* Procedencias de las tierras altas.

Styles *et al* (18) han reportado la presencia de posibles híbridos entre poblaciones contiguas de *P. caribaea* var. *hondurensis* y *P. oocarpa* Schiede en Honduras, utilizando características de las agujas y conos.

Materiales y métodos

Las 20 procedencias utilizadas para estudiar la variabilidad genética de semillas y plántulas bajo condiciones de invernadero en la estación experimental de Wytham, Universidad de Oxford, UK, se presentan en el Cuadro 1.

La Figura 1 muestra la distribución de las procedencias a lo largo de América Central, y el Cuadro 1 resume la información climatológica de los sitios de origen. Las semillas fueron colectadas entre 1970 y 1978 por el Commonwealth Forestry Institute, y almacenadas a $3 \pm 1^\circ\text{C}$ y 8 por ciento de contenido de

humedad en la Estación Experimental Alice Holt, Forestry Commission, Inglaterra.

Las semillas se sembraron directamente en envases de 10 centímetros (cm) de diámetro, con una mezcla de arena y turba (1:1). El experimento fue evaluado por 12 meses y durante este período sólo temperatura, humedad, y humedad relativa fueron parcialmente controladas. La luz siguió la intensidad natural; las siguientes fueron las horas luz durante el período de observación de abril 1979 a marzo 1980: 126,4, 190,9, 166,6, 192,2, 167,4, 171,0, 117,0, 70,0, 59,2, 84,0, 58,8, 86,7. La temperatura media durante todo el año fue $21 \pm 3^\circ\text{C}$, y la humedad relativa fue aproximadamente 45 por ciento durante el día y 75 por ciento durante la noche. Después de la germinación las plántulas fueron regadas manualmente con agua del tubo cada tres o cuatro días. Cada dos meses se aplicaron 75 centímetros cúbicos (cc) por árbol de un

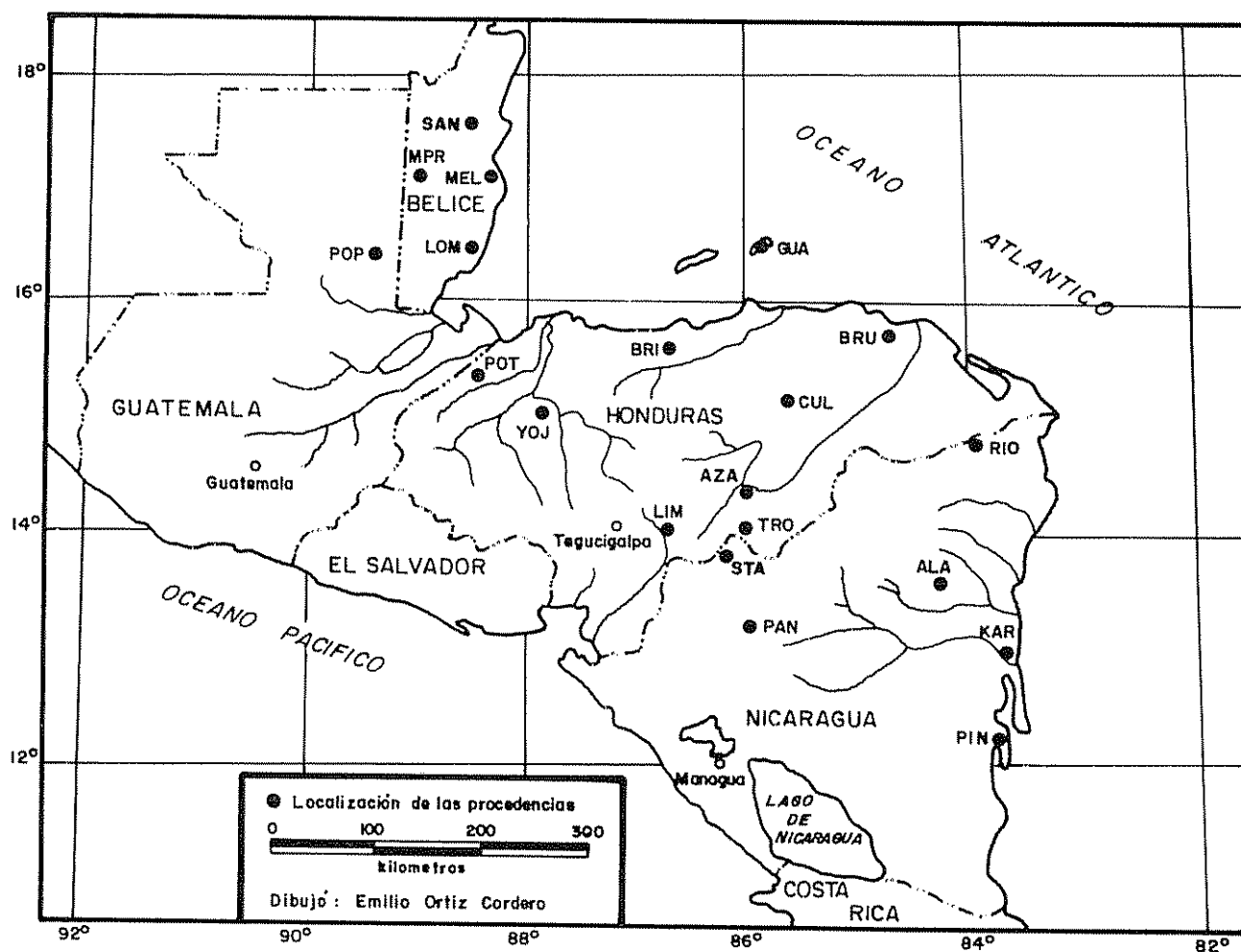


Fig. 1. Mapa de América Central mostrando la localización de las procedencias

fertilizante líquido comercial (Maxicrop)¹ (50 cc/4,5 litros de agua).

Para estudiar la variación de las semillas y las plántulas se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 20 procedencias, tres repeticiones y cinco árboles por repetición. La variabilidad del número de agujas por fascículo se analizó en las mismas plantas a los 18 meses, ya que a esta edad la mayoría de ellas presentaban agujas secundarias. Se practicó un muestreo preliminar utilizando tres árboles (uno por repetición) de las procedencias Melinda, Mountain Pine Ridge, Guanaja, Los Limones y Río Coco, ya que desde el punto de vista climatológico estas representan las condiciones extremas en la distribución de la especie. Para detectar el punto de muestreo a lo largo del árbol, el eje fue sub-dividido en secciones de 5 cm, empezando 5 cm arriba del nivel del suelo, y se contó el número de fascículos con tres, cuatro y cinco agujas.

Con base en los resultados del análisis preliminar, se practicó un análisis más profundo considerando en esta oportunidad la procedencia Poptún. El estudio se concentró en una sección de 5 cm del árbol a 25 cm del suelo. En esta oportunidad se utilizó el diseño descrito anteriormente, considerando las seis procedencias ya mencionadas, tres repeticiones y cuatro árboles por repetición. El siguiente modelo matemático completamente al azar se utilizó para cuantificar el grado de variación genética entre procedencias:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + R_j + (TR)_{ij} + T_{ijk}$$

Donde

Y_{ijk} = promedio de la variable en k^{th} árbol en j^{th} repetición en i^{th} procedencia.

μ = efecto del promedio;

P_i = efecto de i^{th} procedencia; $i = 1, 2, \dots, 6$

R_j = efecto de j^{th} repetición; $j = 1, 2, 3$

$(TR)_{ij}$ = efecto de la interacción de i^{th} procedencia con j^{th} repetición;

T_{ijk} = efecto de k^{th} árbol en j^{th} repetición de i^{th} procedencia; $k = 1, 2, 3$

Resultados y discusión

El Cuadro 2 muestra el resultado del análisis preliminar en el que se observa que en la sección correspondiente a los 25 cm de altura desde la base del árbol, aproximadamente el 50 por ciento de los fascículos presentan tres agujas, el otro 50 por ciento presentan entre cuatro y cinco agujas. Razón por la que se decidió realizar el muestreo más detallado en esa sección.

El Cuadro 3 resume el resultado del análisis de varianza, donde se observa que no existen diferencias significativas entre procedencias en cuanto al número de fascículos con tres agujas y fascículos con cuatro y cinco en la sección de 5 cm muestreada a 25 cm de altura; también se encontró que la variación genética entre procedencias es prácticamente cero; mientras que entre árboles se detectó el 82 y 95 por ciento de variación. Los resultados anteriores son soportados por la prueba de Tukey ($P < 0.05$) (Cuadro 4) que tampoco detectó diferencias significativas entre procedencias.

En la sección de 5 cm muestreada se detectó un promedio general de 15.3 fascículos con tres agujas y de 9.3 cm con cuatro y cinco (Cuadro 4); en el primer caso se encontró un coeficiente de variación de 23.2 por ciento y en el segundo de 35.7 que se consideran bastante altos. Como ya se indicó, la mayor parte de esta variación se debe a variación entre árboles y no entre procedencias; no obstante dado que el ensayo se desarrolló bajo condiciones de ambiente controlado, la variación entre árboles puede considerarse como variación genética; y esto indica que algunas procedencias presentan mayor variación genética que otros con respecto a esta característica. Con base en los porcentajes reportados anteriormente, la mayor variación se detectó en el número de fascículos con cuatro y cinco agujas. En el Cuadro 4 claramente se puede observar que aunque la prueba de Tukey no es significativa, si existe una diferencia bien marcada entre las procedencias que presenten mayor y menor número de fascículos con cuatro y cinco agujas.

Las procedencias Los Limones y Melinda que crecen bajo condiciones de clima diferentes (Cuadro 1), presentan el mayor número de fascículos con cuatro y cinco agujas. En promedio estas dos procedencias presentan hasta 10 fascículos más que Poptún que se caracteriza por tener el menor número (4, 3). Resultados similares fueron reportados por Salazar (17) al analizar muestras de los bosques naturales y material juvenil de una prueba de procedencias establecidas en Costa Rica.

A los ocho meses de edad y bajo condiciones de invernadero Jara (7) encontró también en la proceden-

¹ Maxicrop International Ltd., England.

Cuadro 2. Número de agujas por fascículo en secciones de 5 cm a lo largo de la planta.

Procedencia	5 cm					10 cm					15 cm					20 cm					25 cm					30 cm										
	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5						
LIM	-	-	-	5	-	-	1.33	9.33	1.0	6.33	14.33	1.0	9.0	19.67	-	13.33	13.0	0.66	-	-	-	100.0	-	-	11.41	80.02	8.58	29.22	66.16	4.62	31.39	68.61	-	49.39	48.17	2.44
MEL	-	-	-	5.33	3.33	-	4.00	3.00	-	6.33	12.67	0.67	14.67	14.67	1.00	6.67	1.33	-	-	-	-	61.54	38.45	-	57.14	42.86	-	32.18	64.41	3.41	48.35	48.35	3.30	83.38	16.02	-
RIO	-	-	-	6.67	3.33	-	10.64	2.00	-	14.67	9.33	0.33	7.33	9.00	-	2.67	4.00	0.33	-	-	-	66.70	33.30	-	84.21	15.79	-	60.29	38.55	1.36	48.89	55.11	-	38.14	57.14	4.71
GUA	-	-	-	7.00	1.33	-	17.67	3.00	-	19.67	4.67	-	16.00	8.00	-	11.33	6.33	-	-	-	-	64.03	15.97	-	85.49	14.51	-	80.81	19.19	-	66.67	33.33	-	64.16	35.84	-
MPR	-	-	-	8.67	1.00	-	8.67	6.33	-	13.67	10.00	-	9.33	11.33	0.67	4.00	3.00	-	-	-	-	89.66	10.34	-	57.80	42.20	-	57.75	42.25	-	43.74	53.12	3.14	57.14	42.86	-

Cuadro 3. Análisis de varianza y componentes de varianza.

No.	Fuentes de variación	GI	Cuadrados medios esperados	Prueba	3 agujas			4 y 5 agujas		
					CM**	F***	CO(%)****	CM	F	CO(%)
1	Procedencia (P)	5	$\sigma^2 + a \sigma^2_{PR} + a r \sigma^2_P$	3	127.7	NS	0.00	143.3	NS	0.43
2	Repetición (R)	2	$\sigma^2 + a \sigma^2_{PR} + a p \sigma^2_R$	3	109.2	NS	0.00	201.9	NS	4.09
3	P * R	10	$\sigma^2 + a \sigma^2_{PR}$	4	301.6	NS	17.66	107.9	NS	0.00
4	Arboles (A) en R en P	49*	σ^2	—	162.3	—	82.34	136.3	—	95.57

* La diferencia entre 54.49 se debe a árboles perdidos.

** CM = Cuadrado medio

*** F = Prueba de F

**** CO(%) = Componentes de la varianza

Cuadro 4. Prueba de Tukey, ($P < 0.05$) y promedio de número de agujas por fascículo.

Procedencia	Tres agujas			Cuatro y cinco agujas		
	Promedio	Test		Procedencia	Promedio	Test
POP	18.9	—		LIM	14.7	—
GUA	17.7	—		MEL	13.3	—
LIM	15.9	—		RIO	10.0	—
MEL	15.4	—		GUA	6.7	—
MPR	13.2	—		MPR	6.6	—
RIO	10.7	—		POP	4.3	—
\bar{X}	15.3	—			9.3	—
S	5.0	—			3.3	—
CV(%)	32.8	—			35.7	—

cia Los Limones mayor número de agujas por fascículo, y menor en la procedencia Guanaja. Bin Chen Yeon (3) encontró en Malaya mayor número de agujas por fascículo en las procedencias de Honduras que en las de Guatemala. La Figura 2 presenta la distribución en porcentaje por procedencia de fascículos con tres, cuatro y cinco agujas. Se observa que con excepción de Guanaja las restantes cinco procedencias pre-

sentan distribuciones muy similares. En la procedencia Guanaja también se encontró un árbol con 44 por ciento de los fascículos con cuatro y cinco agujas.

Conclusiones

La variación en el número de agujas por fascículo a lo largo de la planta hace suponer que esta caracterís-

Cuadro 3. Análisis de varianza y componentes de varianza.

No.	Fuentes de variación	Gl	Cuadrados medios esperados	Prueba	3 agujas			4 y 5 agujas		
					CM**	F***	CO(%)****	CM	F	CO(%)
1	Procedencia (P)	5	$\sigma^2 + a \sigma^2_{PR} + a r \sigma^2_P$	3	127.7	NS	0.00	143.3	NS	0.43
2	Repetición (R)	2	$\sigma^2 + a \sigma^2_{PR} + a p \sigma^2_R$	3	109.2	NS	0.00	201.9	NS	4.09
3	P * R	10	$\sigma^2 + a \sigma^2_{PR}$	4	301.6	NS	17.66	107.9	NS	0.00
4	Arboles (A) en R en P	49*	σ^2	—	162.3	—	82.34	136.3	—	95.57

* La diferencia entre 54.49 se debe a árboles perdidos.

** CM = Cuadrado medio

*** F = Prueba de F

**** CO(%) = Componentes de la varianza.

Cuadro 4. Prueba de Tukey, (P < 0.05) y promedio de número de agujas por fascículo.

Procedencia	Tres agujas			Cuatro y cinco agujas		
	Promedio	Test		Procedencia	Promedio	Test
POP	18.9	—		LIM	14.7	—
GUA	17.7	—		MEL	13.3	—
LIM	15.9	—		RIO	10.0	—
MEL	15.4	—		GUA	6.7	—
MPR	13.2	—		MPR	6.6	—
RIO	10.7	—		POP	4.3	—
\bar{X}	15.3	—			9.3	—
S	5.0	—			3.3	—
CV(%)	32.8	—			35.7	—

cia Los Limones mayor número de agujas por fascículo, y menor en la procedencia Guanaja. Bin Chen Yeon (3) encontró en Malaya mayor número de agujas por fascículo en las procedencias de Honduras que en las de Guatemala. La Figura 2 presenta la distribución en porcentaje por procedencia de fascículos con tres, cuatro y cinco agujas. Se observa que con excepción de Guanaja las restantes cinco procedencias pre-

sentan distribuciones muy similares. En la procedencia Guanaja también se encontró un árbol con 44 por ciento de los fascículos con cuatro y cinco agujas.

Conclusiones

La variación en el número de agujas por fascículo a lo largo de la planta hace suponer que esta caracterís-

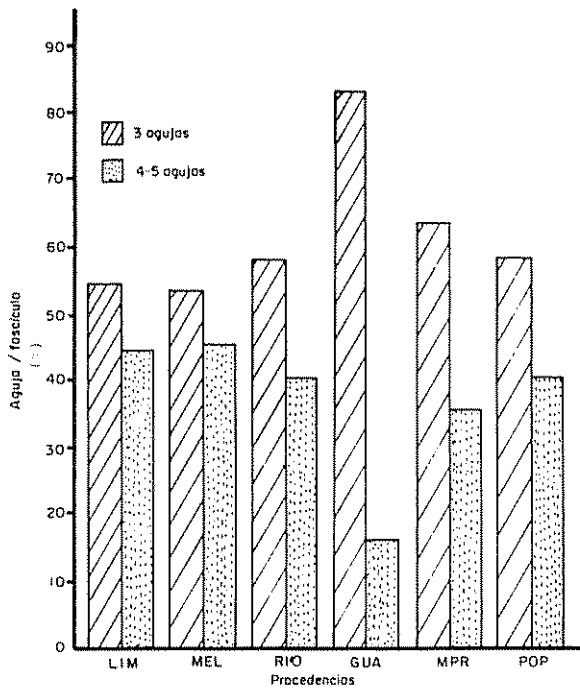


Fig. 2. Variación en el número de agujas por fascículo a 25 cm de altura del árbol

tica es sensible a cambios fisiológicos en el árbol; sería interesante comprobar si la variación se presenta a lo largo de la copa de árboles mayores, y si obedece a cambios climáticos. Si esto fuese cierto esta variable no tendría mucho valor para describir híbridos intra o inter-específicos.

No obstante en el caso de la procedencia Los Limones que crece en contacto con *P. oocarpa*, la presencia a una alta proporción de fascículos con mayor número de agujas, no descarta la posibilidad de una mayor introducción de genes del *P. oocarpa*.

La expresión en proporción variable entre las procedencias estudiadas de fascículos con más de tres agujas, también puede interpretarse como una característica poligénica sensible a cambios climáticos, que se ha mantenido presente y con una variación relativamente poca en el proceso migratorio de las coníferas hacia el sur

Resumen

El análisis de la variación en la proporción de fascículos con tres y más de tres agujas, en plántulas de 18 meses de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr y Golf., creciendo bajo condiciones de ambiente controlado; demostró que no existen diferencias significativas entre procedencias. No obstante las procedencias

Los Limones y Melinda mostraron mayor frecuencia de fascículos con más de tres agujas y la procedencia Poptún la incidencia más baja.

Los resultados indican que es posible que los genes responsables de la presencia de fascículos con cuatro y cinco agujas, están presentes a lo largo de toda la distribución natural de esta variedad, pero su expresión posiblemente está controlada por factores climáticos

Literatura citada

1. BARRET, W. H. y GOLFARI. Descripción de dos nuevas variedades del "Pino del Caribe" (*Pinus caribaea* Morelet). Caribbean Forester 23(2):59-71. 1962
2. BURLEY, J. Review of the variation in Slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) and loblolly pine (*P. taeda* L.) in relation to provenance research. Commonwealth Forestry Review 45(4):322-238. 1966.
3. BIN CHEN YEON, F. Some notes on *Pinus caribaea* Mor growing in Malaya. Forestry Research Institute. Malaya Research Pamph. no. 54. 1966. 24 p.
4. GREAVES, A. Description of seed sources and collections for provenances of *Pinus caribaea*. Tropical Forestry Papers. Department Forestry, Oxford University no. 12. 1978. 98 p.
5. HALLER, J. R. The role of 2 needle fascicles in the adaptation and evolution of ponderosa pine. Brittonia 17(4):354-382. 1965.
6. HELMERS, A. E. The ecological anatomy of ponderosa pine needles. America Midland Naturalist 29(1):55-71. 1943.
7. JARA, L. F. Variation between provenances of two tropical pines from Central America: *Pinus oocarpa* Schiede and *Pinus caribaea* Morelet. Thesis, Department of Forestry and Wood Science, University of Wales, Bangor. 1979. 224 p (Unpublished).
8. KEMP, R. H. Seed sources and seed procurement of low-altitude tropical pines in Central America. In: Selection and breeding to improve some tropical conifers. J. Burley and D. G. Nikles eds. CFI, Oxford. 1972. pp. 9-16.

9. KEMP, R. H. International provenance research on Central American pines. Commonwealth Forestry Review 52(1):55-66. 1973.
10. KRIEBEL, H. B. y FOWLER, D. P. Variability in needle characteristics of soft pine species and hybrids. Silvae Genética 14(3):73-76. 1965.
11. LAMB, A. F. A *Pinus caribaea* Volume I. Fast-growing timber trees of the lowland tropics. Department Forestry, Oxford University no. 6. 1973. 272 p.
12. MERGEN, F. Genetic variation in needle characteristics of slash pine and in some of its hybrids. Silvae Genética 7(1):1-9. 1958 a.
13. MERGEN, F. Natural polyphoidy in slash pine. Forestry Science 4(4):283-295. 1958 b.
14. MERGEN, F. Applicability of the distribution of stomates to verify pine hybrids. Silvae Genética 8(4):107-109. 1959.
15. MERGEN, F., SNYDER, E. B. y BURLEY, J. Variation in coastal and insular slash pine (*Pines ellioti*) of Mississippi and Alabama. America Midland Naturalist 79(2):482-485. 1966.
16. NIGAN, P. N. Needle anatomy as an aid in the identification of pines. Van Vigyan 13(3/4): 52-55. 1975.
17. SALAZAR, R. Genetic variation in *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barrett and Golfari. Thesis Ph.D. Oxford University, Forestry Department, 1981. 271 p. (Unpublished).
18. STYLES, B. T., STEAD, J. W., and ROLPH, K. J. Studies of variation in Central American pines putative hybridization between *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and *P. oocarpa*. Turrialba, 32(3):229-242. 1982.
19. TODA, R. Heritability problems in forest genetic. In Forest tree breeding of genetics subject group; IUFRO; Sabrao, Japón, Government Forest Exp. Station, 1972. Proceeding Joint Symposium A. 3(I). 1-3(I), 9 p.
20. WHITE, J. B. y BEALS, H. O. Variation in number of resin canals per needle in ponderosa pine. Botanical Gazette 124(4):251-253. 1963.