



# Esbeltez y fertilización mineral en plantaciones de *Pinus caribaea* en Cuba

## Slenderness and mineral fertilization of *Pinus caribaea* plantations in Cuba

Maria Amparo León-Sánchez<sup>1</sup>\*, Jorge Luis Reyes Pozo<sup>2</sup>, Víctor Ernesto Pérez León<sup>1</sup>, Marta Bonilla Vichot<sup>1</sup> y Grisel Herrero-Echavarría<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Pinar del Río Hermanos Saiz Montes de Oca. Pinar del Río, Cuba vp\_leon@upr.edu.cu, mbon@upr.edu.cu

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones del Tabaco. Pinar del Río, Cuba. investigación4@eetsj.co.cu

\* Autora de correspondencia. ampyleon18@gmail.com

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. La Habana, Cuba. griselhe@ceniai.inf.cu

### RESUMEN

En el presente trabajo se estudia la respuesta de la esbeltez a la fertilización mineral fraccionada en plantaciones de *Pinus caribaea* var *caribaea* Morelet y Golfari sobre suelos franco-arenosos en el occidente de Cuba. La fórmula de fertilizante utilizada fue NPK (8-10-10). Se establecieron siete tratamientos diferenciados por las dosis de fertilizante y regímenes de aplicación, alterno o continuo, más un tratamiento testigo sin fertilización. Se tomaron medidas de altura total y diámetro normal y se calculó el índice de esbeltez a los 6 años, 15 años y 35 años de edad a un total de 288 árboles a los que se dio seguimiento. A los 6 años de edad, los valores medios de esbeltez fueron significativamente superiores con la aplicación de una dosis única de 300 g árbol<sup>-1</sup> de (NPK); a los 35 años el promedio resultó estadísticamente inferior a 80 en los tratamientos a los que se aplicaron dosis de fertilizantes de 600 g árbol<sup>-1</sup>, 800 g árbol<sup>-1</sup> o 1000 g árbol<sup>-1</sup> en régimen alterno, los que alcanzaron los valores más bajos de esbeltez. Se encontró una relación lineal entre esbeltez y diámetro a 1,30 m en tratamientos con fertilización y relación logarítmica en el tratamiento sin fertilización. Se evidenció una relación directa entre las proporciones de árboles con esbeltez inferior a 80 y la de árboles en pie. Los individuos con esbeltez entre 70 y 90 alcanzaron los mayores volúmenes de madera.

PALABRAS CLAVE: relación altura/diámetro, suelos franco-arenosos, volumen de madera.

### ABSTRACT

The present research studies the slenderness's answer to fractionated mineral fertilizer application in *Pinus caribaea* var *caribaea* Morelet y Golfari plantations on sandy loam soil. The fertilizer formula used was NPK (8-10-10). Seven treatments were established, differenced by fertilizer doses and application regime, alternate and continuous, and an additional witness treatment, without fertilizer. Measures of total height and normal diameter were taken, and the slenderness index was calculated for the 288 analyzed trees at 6 years, 15 years and 35 years of age. At 6 years of age, slenderness mean values were significantly higher with a single doses application of 300 g tree<sup>-1</sup> of (NPK); at 35 years of age, the mean was statistically lower than 80 in those treatments with fertilizer doses of 600 g tree<sup>-1</sup>, 800 g tree<sup>-1</sup> or 1000 g tree<sup>-1</sup> respectively in alternate regime. These reached the lowest slenderness values. A linear relation between slenderness and diameter at 1,30 m was found in treatments with fertilization and a logarithmic one in the treatment without fertilization. A direct relationship between the proportion of trees with slenderness lower to 80 and the standing trees was found. Individuals with slenderness between 70 and 90 achieved higher wood volume.

KEYWORDS: height/diameter relationship, sandy loam soils, wood volume

## INTRODUCCIÓN

Entre los caracteres morfológicos relacionados con la calidad de las plantas se encuentra la esbeltez (E), que se define como la relación entre la altura (m) y el diámetro (cm). El valor de esta relación ha sido utilizado frecuentemente como un indicador de la estabilidad de los árboles contra los daños ocasionados por fuerzas mecánicas (viento y nieve) (Arias, 2004; Aguirre Gaona y Palacios, 2014).

Este índice, o coeficiente de esbeltez, se utiliza para prevenir problemas de rotura de fustes por nevadas o viento, con lo que se considera que existe un riesgo potencial bajo condiciones donde haya una desproporción entre altura y diámetro (Andenmatten y Letourneau, 2005). Se considera además un buen indicador para prescribir la oportunidad de los raleos: a mayor esbeltez los árboles son más susceptibles a sufrir daños por viento, por lo tanto, es una variable que condiciona la intensidad del raleo (Arias, 2005; Díaz, Espinosa, Valenzuela, Cancino y Lasserre, 2012). La esbeltez, en general, refleja el vigor del árbol. Esta varía con la edad: esbeltez de hasta 100% es normal en la fase juvenil de la planta, a partir de los diez años se espera que la esbeltez sea inferior a 80%; lo contrario es síntoma de árboles muy finos que pueden quebrarse fácilmente (Pérez-González, Domínguez-Domínguez, Martínez-Zurimendi y Etchevers-Barra, 2012).

Las plantas que tienen índices de esbeltez intermedios, ni muy bajos, ni demasiado altos, tienen mejor desarrollo en el campo. En el índice de esbeltez, los valores superiores a 100 se consideran críticos, mientras que cercanos a 70 se consideran normales (Cremer, Borough, MCKinell y Carter, 1982; Lewis y Ferguson 1993). Este índice expresa el grado de estabilidad de las masas, pues a mayores coeficientes de esbeltez corresponden mayores daños abióticos. Serrada (2008), Pérez *et al.* (2012) y Jiang *et al.* (2015) utilizan el criterio  $E < 80$  como valor ideal de estabilidad ante daños.

Estudios sobre esbeltez se han realizado mayoritariamente en fase de vivero (Oliet, Planelles, López y Artero, 1997; Navarro, Oliet y Contreras, 2001; Barberá, Martínez, Álvarez, Albaladejo y Castillo, 2005; Reyes,

Aldrete, Cetina y López, 2005; Serrada, Navarro y Permán, 2005; Villar, Pañuelas, Cuadrado y Valencia, 2008); otros en plantaciones adultas con el objetivo de investigar el efecto de diferentes intensidades de manejo sobre este indicador (Andenmatten y Letourneau, 2005; Díaz, Espinosa, Valenzuela, Cancino y Lasserre, 2012; Jiang *et al.*, 2015), para mostrar las variaciones entre especies y sitios en plantaciones forestales de diferentes especies maderables (Arias, 2004) o estudiar el comportamiento del índice de esbeltez en diferentes edades (Aguirre *et al.*, 2014, Oyebade, Eguakun y Egberibin, 2015).

Según Nájera y Hernández (2008), el monto de copa, forma de copa, índice de esbeltez o índice de espacio vital, que son las llamadas relaciones morfométricas, han adquirido relevancia por la oportunidad de utilizar estas relaciones como instrumentos prácticos en intervenciones silvícolas, especialmente cuando no se conoce la edad de los árboles.

El presente trabajo se centró en el estudio de la relación altura/diámetro (h/d) en plantaciones de *Pinus caribaea* sobre suelos franco-arenosos en el occidente de Cuba, sometidas a diferentes dosis y regímenes de fertilización mineral en los primeros cinco años de establecida y su ulterior desarrollo. Los autores no han encontrado experimentos similares en la literatura donde se haya dado seguimiento a una cuantía significativa de árboles individuales durante un período tan prolongado de tiempo. Esto ha permitido extraer conclusiones referentes a la respuesta en esbeltez en tres momentos importantes del desarrollo de una plantación a la que se aplicó fertilización fraccionada en los primeros años de establecida. La presente contribución debe ampliar el conocimiento sobre el atributo de calidad “esbeltez” en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en condiciones similares a la estudiada.

## OBJETIVOS

A partir de mediciones realizadas a los 6 años, 15 años y 35 años de edad, se pretende estudiar la respuesta de la relación h/d de una plantación de *Pinus caribaea* var. *caribaea* sometida a diferentes tratamientos de fertilización mineral durante los primeros cinco años de establecida.



## MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño experimental, características de suelo, ubicación geográfica de la zona de estudio, métodos para tomar las muestras e instrumentos utilizados se explican detalladamente en León-Sánchez, Reyes-Pozo, Herrero-Echevarría y Pérez-León (2016).

La fórmula de fertilizante utilizada fue NPK (8-10-10) y se aplicó en surcos, en forma de media luna, alrededor de las plántulas. Estas se encuentran plantadas según el método de hoyo de plantación. La procedencia de las semillas fue de la masa semillera Marbajitas. El marco de plantación fue de 3 m × 3 m. El tamaño de las parcelas fue de 225 m<sup>2</sup>. La tabla 1 muestra las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) y el régimen de aplicación.

En este experimento se etiquetaron nueve árboles (parcela útil) por cada uno de los cuatro bloques definidos, para un total de 36 árboles por tratamiento y 288 árboles en total. A estos árboles se le hicieron mediciones durante el período de 1979 a 2012.

Con los valores de altura, diámetro y coeficiente mórfico de la especie se calculó el volumen y la esbeltez de cada árbol. Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron las mediciones hechas a los 6 años, 15 años y 35 años de edad. Se seleccionaron estas edades para evaluar tres momentos que se consideraron, corto, mediano y largo

plazo, seleccionando el último por ser la medición más próxima al turno de aprovechamiento de la especie para el objetivo de producción de madera definido prioritario en el experimento.

El índice de esbeltez (E) definido como el cociente entre la altura total de un árbol y su diámetro normal (1), se mide en términos relativos y su valor se expresa en porcentaje (Aguirre *et al.*, 2014). A partir de los valores de altura y diámetro a 1,30 m se determinó el índice de Esbeltez según la expresión:

$$E = \left( \frac{h}{d} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde:

h: altura del árbol

d: diámetro normal (d a 1,30 m)

Para el examen estadístico se utilizó análisis de varianza, un modelo de efectos principales con un factor de ocho niveles y cuatro bloques para evaluar el efecto de la fertilización sobre la esbeltez. Las Pruebas de Shapiro Wilks y Levene se emplearon para verificar los supuestos de normalidad y varianza constante. Se hicieron pruebas de Duncan para las comparaciones múltiples.

TABLA 1. Aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) en una plantación de *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Tratamiento	Dosis total NPK		Aplicaciones según edad (g árbol <sup>-1</sup> )				
	g árbol <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	Edad (años)				
			1	2	3	4	5
T1(testigo)	0	0	0	0	0	0	0
T2	300	333	300	0	0	0	0
T3	600	667	200	400	0	0	0
T4	600	667	200	0	400	0	0
T5	800	889	200	200	400	0	0
T6	800	889	200	0	200	0	400
T7	1000	1111	200	200	400	200	0
T8	1000	1111	200	0	400	0	400

Para probar la dependencia de la cantidad de árboles con esbeltez inferior a 80 y los tratamientos se aplicó una prueba de Chi Cuadrado, mientras que las comparaciones por pares se desarrollaron mediante las pruebas de comparación de dos proporciones. Se realizó además una Prueba de hipótesis para la media, contrastando la esbeltez media con el valor nominal 80 para cada tratamiento a la edad de 35 años.

Se calculó el coeficiente de Pearson para evaluar la fuerza de la relación entre la proporción de árboles con  $E < 80$  y la proporción de árboles en pie; además, se empleó para detectar la variable de crecimiento que más influencia tuvo sobre  $E$ . La regresión fue utilizada para estimar la relación entre estas variables en tratamientos con y sin fertilización y comparar los resultados.

Finalmente, se agrupó la información en seis intervalos, según el índice de esbeltez. Se construyeron intervalos de confianza de 95% para el volumen medio, con el fin de mostrar los valores de esbeltez de mejores resultados en volumen a largo plazo. Se realizó análisis de varianza de una vía para corroborar estos resultados. Todos los análisis fueron realizados con los paquetes SPSS v 13 y Minitab 16. El nivel de significancia empleado fue de 5%.

## RESULTADOS

Las pruebas de Shapiro Wilk evidencian el cumplimiento del supuesto de normalidad para todos los tratamientos con valores de  $p > 0,07$ . Se verificó, además, el supuesto de homogeneidad de varianza mediante la prueba de Levene con un valor de  $p = 0,15$ .

En la tabla 2 se observa que, a la edad de 6 años, el único tratamiento que presenta diferencias con el resto es T2, que presenta el valor más elevado de esbeltez. Este supera al resto en un rango comprendido desde 9,71 a 16,53 puntos porcentuales. Además, es el tratamiento que presenta una mayor variabilidad; su desviación típica supera al resto en un rango desde 7,72 hasta 22 puntos porcentuales. A los 15 años el comportamiento de la esbeltez se puede considerar homogéneo, pues no se

hallaron diferencias significativas entre los valores medios. A los 35 años la esbeltez promedio mostró valores inferiores en los tratamientos 4, 6 y 8, a los que se aplicaron dosis de fertilizantes de 600 g árbol<sup>-1</sup>, 800 g árbol<sup>-1</sup> y 1000 g árbol<sup>-1</sup>, respectivamente, en régimen alterno. No se presentan diferencias significativas entre estos tres tratamientos que tienen una media conjunta de 75,30 y una desviación estándar de 8,08. El tratamiento 1 es el que alcanza los valores mayores de esbeltez a esta edad y resulta estadísticamente diferente de T4, T6 y T8.

El grado de susceptibilidad ante riesgos meteorológicos se comprueba con una prueba de Chi Cuadrado que evidencia dependencia significativa entre la frecuencia de individuos con  $E < 80$  y el tratamiento de fertilización aplicado. A la edad de 6 años, el valor de Chi Cuadrado obtenido fue 26,34 con  $P = 0,003$  y a los 35 años fue 21,24 con  $P = 0,003$ . A los 15 años no se evidenciaron diferencias significativas, Chi Cuadrado = 2,27 con  $P = 0,994$ . Las comparaciones por pares de tratamientos para las proporciones de árboles con  $E < 80$  dio como resultado que a los 6 años la proporción del T2 fue estadísticamente inferior al resto de los tratamientos con  $P \leq 0,04$ . A los 35 años, esta proporción en el T1 fue inferior al resto de los tratamientos con  $P \leq 0,012$ . Entre los tratamientos restantes no hubo diferencias significativas (Fig.1).

Las pruebas  $t$  para una media evidenciaron que en los tratamientos 4, 6 y 8 se cumple que la esbeltez promedio es inferior a 80, coincidente con los tratamientos en que se aplicó fertilización en régimen alterno (Tabla 3).

Existe una relación de dependencia entre el número de árboles que cumplen el requisito de tener un índice de esbeltez inferior a 80 y los tratamientos de fertilización aplicados. A los 15 años, no hubo diferencias estadísticamente significativas y a los 35 años, en el tratamiento 1, la proporción de árboles que cumplieron el criterio  $E < 80$  fue, como mínimo, 25% más baja que el resto.



TABLA 2. Resultados de la comparación de esbeltez media por tratamientos en diferentes edades

Tratamiento	Media $\pm$ Desviación estándar		
	6 años	15 años	35 años
T1(testigo)	68,42 $\pm$ 8,82 (b)	77,50 $\pm$ 11,12(a)	83,89 $\pm$ 9,90 (a)
T2	78,49 $\pm$ 27,12 (a)	76,15 $\pm$ 11,81(a)	79,54 $\pm$ 11,07(ab)
T3	64,70 $\pm$ 5,12 (b)	80,33 $\pm$ 14,92(a)	80,19 $\pm$ 10,39 (ab)
T4	65,13 $\pm$ 6,84 (b)	79,05 $\pm$ 10,81(a)	75,65 $\pm$ 7,32(b)
T5	61,96 $\pm$ 8,08 (b)	77,60 $\pm$ 11,48(a)	81,37 $\pm$ 13,26 (ab)
T6	68,78 $\pm$ 15,99 (b)	76,64 $\pm$ 13,22(a)	74,94 $\pm$ 8,93(b)
T7	66,00 $\pm$ 17,67 (b)	76,45 $\pm$ 11,42(a)	78,36 $\pm$ 12,95(ab)
T8	65,96 $\pm$ 19,40 (b)	77,75 $\pm$ 11,24(a)	75,53 $\pm$ 8,01(b)

Variable dependiente: Esbeltez  
 Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Pruebas de Duncan) ( $p < 0,05$ ). Promedio  $\pm$  desviación estándar.

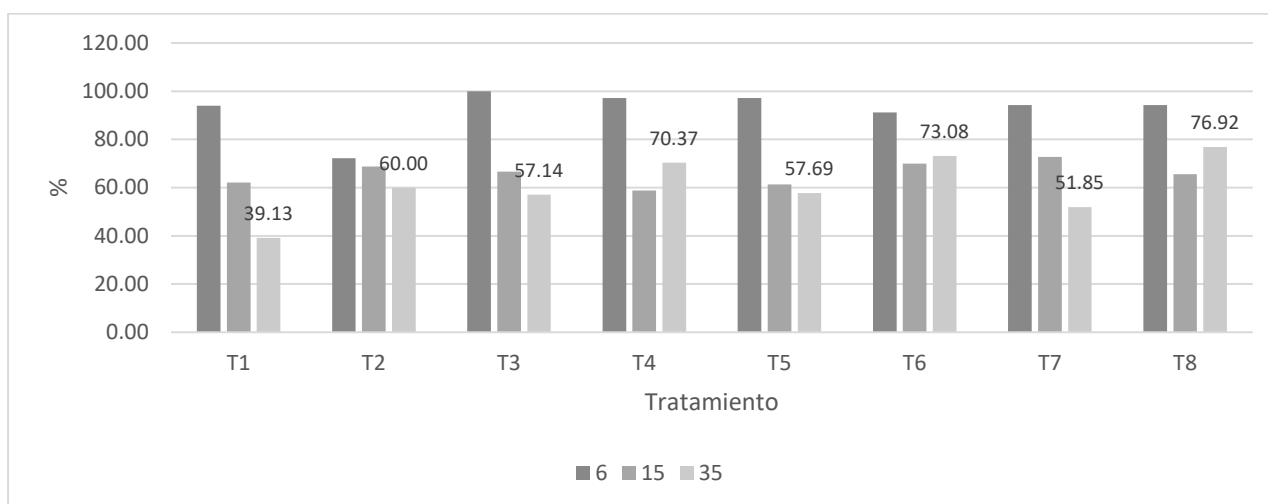


FIGURA 1. Proportión de árboles con  $E < 80$  a las edades de 6, 15 y 35 años

TABLA 3. Resultados de la comparación  $E = 80$  a la edad de 35 años.

Tratamiento	Probabilidad	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
		Inferior	Superior
T1	0,072	-0,3860	8,1755
T2	0,841	-5,0218	4,1210
T3	0,925	-3,8445	4,2180
T4	0,005	-7,2426	-1,4478
T5	0,603	-3,9868	6,7291
T6	0,008	-8,6654	-1,4476
T7	0,517	-6,7649	3,4879
T8	0,009	-7,6980	-1,2289

A los 35 años, los tratamientos 4, 6 y 8, además de contar con la mayor proporción de árboles con valores  $E < 80$ : 70,37%; 73,08% y 76,92%, son los que tienen una mayor proporción de árboles en pie: 75,0%; 72,2% y 72,2% (Reyes, León y Herrero, 2017), solo superado por el tratamiento 3 con 77,78% (Fig. 2). El coeficiente Rho de Spearman entre estas dos variables es 0,683, significativo con  $P < 0,001$ .

La tabla 4 muestra las correlaciones de E con las variables, altura, diámetro y volumen. Como sucede con muchos otros indicadores, el diámetro a 1,30 m es el mejor predictor de la esbeltez.

TABLA 4. Coeficientes de correlación ( $r$ ) de esbeltez con altura, diámetro y volumen para *Pinus caribaea* en el área de estudio.

Edad	$r_{E, \text{Diámetro a 1,30m}}$	$r_{E, \text{Altura total}}$	$r_{E, \text{Volumen}}$
6	-0,753**	-0,347**	-0,503**
15	-0,557**	0,180**	-0,421**
35	-0,784**	-0,096	-0,648**

\*\*significativo a 1%

El signo negativo del coeficiente de correlación indica que en la medida que el diámetro aumenta, la esbeltez disminuye; la relación entre estas dos variables fue altamente significativa. Las ecuaciones de regresión estimadas (2) y (3) para los tratamientos sin fertilización y

con fertilización se representan en la figura 3. En tratamientos sin fertilización (2), la esbeltez se relaciona de forma logarítmica con el diámetro con  $P < 0,001$ . En este ajuste, el coeficiente de determinación  $R^2 = 0,597$ . La velocidad de crecimiento de la esbeltez respecto al diámetro,  $\frac{dE}{dD} = -\frac{55,25}{D}$ , indica que la esbeltez disminuye según aumenta el diámetro, pero lo hace de forma desacelerada; mientras mayores son los diámetros, menores son los decrecimientos

En tratamientos con fertilización (3) esta relación es lineal con  $P < 0,001$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,628$ . En este ajuste  $\frac{dE}{dD} = -2,045$ : por cada cm que aumenta el diámetro, como promedio, hay una disminución constante en la esbeltez de 2,045 puntos porcentuales.

Sin fertilizante:

$$E = 258,15 - 55,25 \ln D \quad (2)$$

$$R^2 = 59,70 \quad P < 0,001$$

Con fertilizante:

$$E = 125,35 - 2,045D \quad (3)$$

$$R^2 = 62,80\% \quad P < 0,001$$

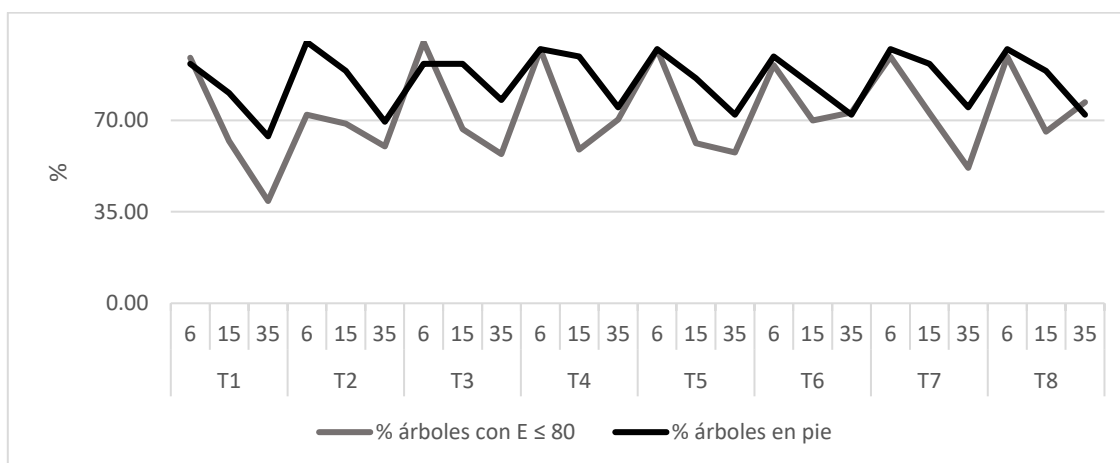


FIGURA 2. Relación porcentaje de árboles con  $E \leq 80$  y porcentaje de árboles en pie.

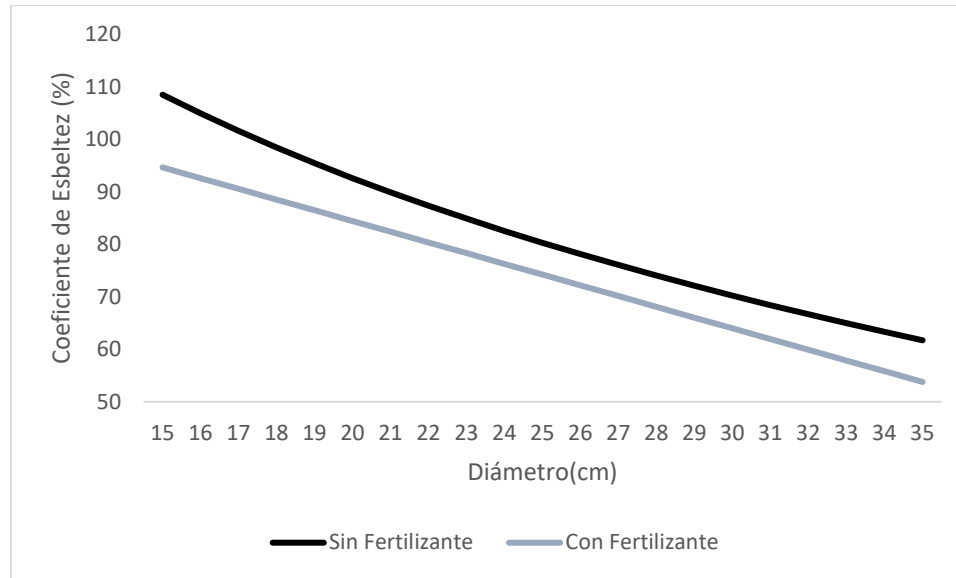


FIGURA 3. Coeficiente de Esbeltez estimado a los 35 años con y sin fertilización.

El incremento de esbeltez ( $\% \text{ cm}^{-1}$ ) se representa en la figura 4. Las dos curvas se interceptan en el punto (27; -2,045), lo que significa que, a partir de 27 cm de diámetro, en el tratamiento sin fertilización, el decrecimiento en esbeltez es inferior, en términos absolutos, al que ocurre en tratamientos con fertilización, lo cual expresa que los valores de esbeltez continúan decreciendo, pero en valores inferiores a 2,045 que es la velocidad de decrecimiento en tratamientos donde se ha aplicado fertilización.

Por último, se construyeron intervalos de confianza (IC) para determinar los intervalos de esbeltez en que se obtienen los mayores volúmenes de madera a la edad de 35 años (Fig. 5).

Los intervalos para E de [70;80], [80;90] son los que tienen los árboles de mayor volumen y son los de menor variabilidad.

El análisis de varianza para comparar el volumen medio considerando como factor los intervalos de esbeltez dio el resultado que se muestra en la tabla 5 con un valor de  $P < 0,001$ . El resultado de las comparaciones múltiples agrupa los dos intervalos del centro (a), los dos más próximos a los centrales (b) y por último los dos más alejados (c).

TABLA 5. Resultados de la comparación de volumen medio de árboles individuales por intervalos de esbeltez.

Número de intervalo	Coefficiente de esbeltez	Volumen medio ( $\text{m}^3 \text{ árbol}^{-1}$ )
1	[0, 60]	0,1121 (c)
2	[60, 70]	0,1999 (b)
3	[70,80]	0,3281 (a)
4	[80,90]	0,3102 (a)
5	[90,100]	0,2107 (b)
6	[100, 150]	0,1303 (c)

Variable dependiente: volumen de árboles individuales en plantaciones de *Pinus caribaea*.

Letras diferentes indican las diferencias significativas entre tratamientos (Pruebas de Duncan) ( $p < 0,05$ ).

## DISCUSIÓN

A los 6 años de edad (Tabla 2), el resultado de esbeltez media obtenido en el tratamiento 1 sin fertilizante, es congruente con los obtenidos por Arias (2005), quien halló valores para la especie con esa edad comprendidos entre 60% y 64%. En las regiones estudiadas, es también el tratamiento que provoca una mayor heterogeneidad en la masa, con los valores mayores de variabilidad. El tratamiento 2 alcanzó el tercer valor promedio más alto en altura y el más bajo de todos en diámetro, razón por la que tiene el valor más elevado en la relación h/d. Este tratamiento consistente en una única dosis de  $333 \text{ kg ha}^{-1}$  tuvo resultados incluso peores que el tratamiento 1 en variables asociadas al crecimiento, a lo largo del período estudiado, (León *et al.*, 2016).

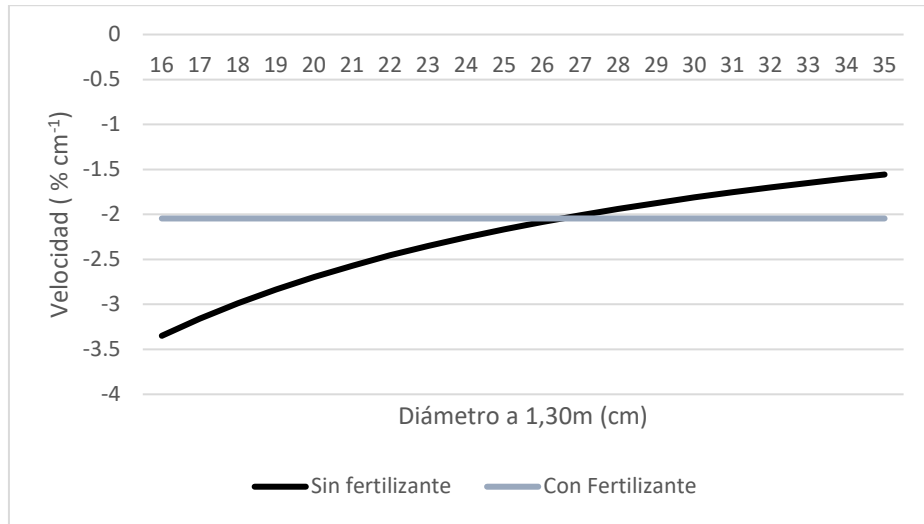


FIGURA 4. Incremento de esbeltez sin fertilizante y con fertilizante a los 35 años

Velocidad (%  $cm^{-1}$ ) =  $\frac{dE}{dD}$  = derivada de la esbeltez respecto al diámetro

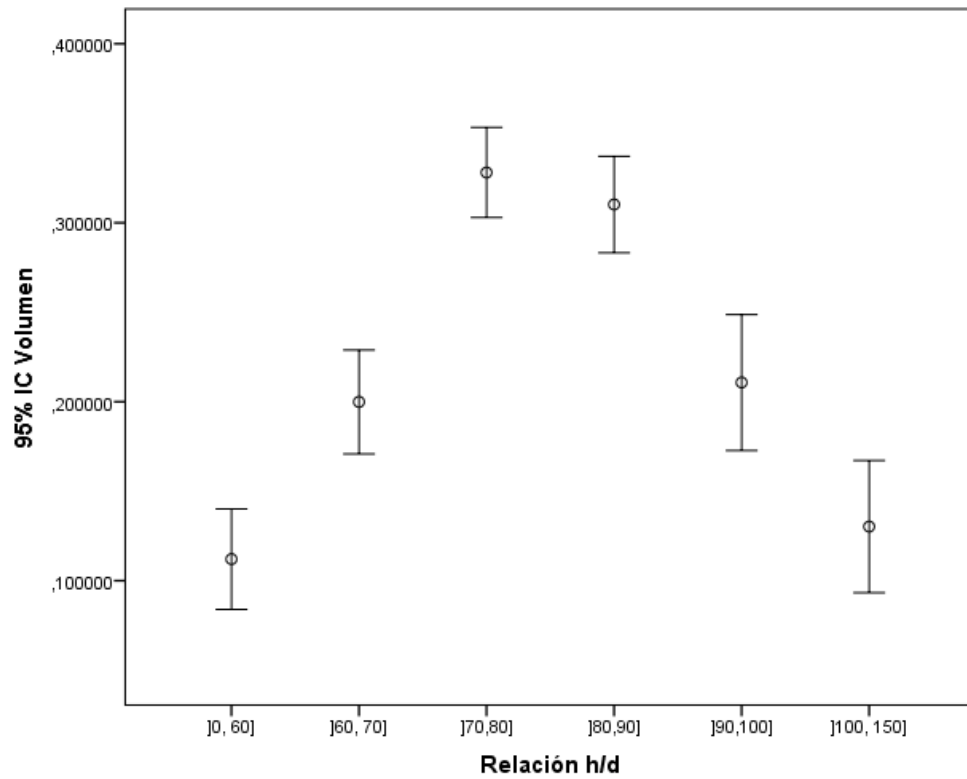


FIGURA 5. Volumen medio por árbol e intervalos de esbeltez a los 35 años.  
95% IC Volumen: Intervalo de Confianza del 95% para el volumen medio.





Aunque no se prueba en este trabajo, los resultados sugieren que la dosis de 333 kg ha<sup>-1</sup>, lejos de ser favorable en las condiciones del experimento, crea desequilibrios nutrimentales para la especie que provocan los menores incrementos en las variables asociadas al crecimiento. En cuanto a la relación altura/diámetro, es el tratamiento de mayor valor a la edad de 6 años, con una diferencia de más de 9 puntos porcentuales respecto al resto de los tratamientos.

Reyes, Herrero, León, Miñoso y Cúvelo (2014) demostraron que, a los 15 años, los incrementos medios anuales en altura y diámetro, en los tratamientos 1 y 2, son menores significativamente que el resto de los tratamientos. Esto provoca que la relación h/d sea similar al resto.

Los valores más bajos de esbeltez se obtienen en los tratamientos 4, 6 y 8. Estos se incluyen en el grupo donde se alcanzaron volúmenes mayores de madera a los 41 años de edad, según mencionan Reyes, León y Herrero (2017). En estos tratamientos, aunque se aplican las mismas dosis que en los tratamientos 3, 5 y 7, al realizarse las aplicaciones de forma alterna, el proceso de fertilización se prolonga por uno o dos años más.

La relación directa y significativa entre las proporciones de árboles en pie y de árboles con  $E < 80$  corrobora que hay una mayor resistencia a los daños cuando se cumple el criterio citado por Jiang *et al.* (2015) y Oyebade *et al.* (2015), de que si  $E < 80$ , hay una menor susceptibilidad a los daños. Ello coincide con los resultados de Reukema (1979), Cremer *et al.* (1982), Becquey y Riou (1987), Wilson y Oliver (2000), Woon y O'Hara (2001), Andenmatten y Letourneau (2005), Jiang *et al.* (2015) y Oyebade *et al.* (2015), que demuestran que el incremento de los daños se asocia con el incremento del coeficiente de esbeltez de los árboles individuales. En este experimento no se aplicó ningún tipo de raleo y la mortalidad solo se asocia con los daños ocasionados por causas naturales.

En las tres edades estudiadas, la correlación con el diámetro es la más elevada en valor absoluto, en coincidencia con lo planteado por Diaz Bravo, Espinosa,

Valenzuela, Cancino, y Lasserre (2012) y Oyebade *et al.* (2015). Analizado solamente en un sentido estrictamente matemático, podría pensarse que lo que se debe garantizar son grandes diámetros para contrarrestar los riesgos, pero deben conciliarse dos objetivos: por un lado, disminuir la susceptibilidad a los daños y, por otro, garantizar el rendimiento en aserrío, pues según Arias (2005), valores bajos de la relación h/d están asociados con árboles más cónicos que pueden ser más resistentes al efecto de fuertes vientos; sin embargo, desde el punto de vista del rendimiento en aserrío, valores menores de la relación h/d presentan mayor desventaja con respecto a árboles de dimensiones similares pero cilíndricos.

Por otro lado, Cown (1999) plantea que los raleos y los tratamientos de fertilización que incrementan la tasa de crecimiento radial tienen muy poco efecto sobre las propiedades de la madera y, por lo tanto, generalmente son de poca importancia para el uso de la misma. Sin embargo, árboles con altura final superior a la media dan una mayor proporción de madera cosechada (Moore, 2012). El criterio de los autores de esta contribución es que se deben conciliar los objetivos contrapuestos en correspondencia con la finalidad de la plantación.

Los incrementos en diámetro, como respuesta a la fertilización, tienen un efecto sustancial en los valores de esbeltez y en su velocidad de crecimiento, provocado por la incidencia que tiene sobre el diámetro.

Los resultados que se muestran en la figura 5 denotan un comportamiento más homogéneo de las masas y un volumen medio mayor en los intervalos centrales. Se coincide con los resultados de Villar (2003), quien esgrime que las plantas que presentan índices de esbeltez intermedios presentan los mayores crecimientos en campo, mientras que tanto las plantas “achaparradas” como las muy “ahiladas” (índices de esbeltez bajos y altos, respectivamente) presentan un menor desarrollo. La distribución de los intervalos se corresponde con la forma de la relación esbeltez-volumen en brinzales de *Pinus pinea*, un año después de ser plantados (Villar *et al.* 2000).

Los volúmenes medios y el error típico para los intervalos estadísticamente iguales son para el grupo *a*,  $0,3223 \pm 0,0097$ , el grupo *b*,  $0,2021 \pm 0,0123$  y para el grupo *c*,  $0,1155 \pm 0,0121$ . El volumen de los grupos de esbeltez intermedio supera a los dos más próximos en 37,3% y a los más distantes en 64,2%, como promedio. En cuanto a variabilidad, este grupo central resultó el más homogéneo.

## CONCLUSIONES

A los 6 años de edad, solo el tratamiento 2, correspondiente a la aplicación de una dosis única de  $300 \text{ g árbol}^{-1}$ , evidenció diferencias significativas con los restantes en cuanto a esbeltez promedio.

En los tratamientos en régimen alterno, T4, T6 y T8, con dosis de  $600 \text{ g árbol}^{-1}$ ,  $800 \text{ g árbol}^{-1}$  y  $1000 \text{ g árbol}^{-1}$ , respectivamente, se alcanzó un valor medio de *E* inferior a 80 a la edad de 35 años.

En el tratamiento sin fertilizante, la esbeltez disminuye cada vez menos con el aumento en diámetro y, si se aplica fertilización, este decrecimiento es constante.

Según los resultados de este trabajo  $E < 80$  es un límite para minimizar daños en las condiciones geográficas que aquí se presentan, pues en este experimento la pérdida de individuos solo puede atribuirse a los daños por causas naturales, ya que no se hicieron otras intervenciones.

El intervalo de esbeltez de [70, 90] es aquel con el que se obtienen mayores volúmenes de madera en *Pinus caribaea* por árbol en las condiciones experimentales que se han trabajado en esta contribución.

## REFERENCIAS

- Aguirre M., Z., Gaona O., T., & Palacios H., B. (2014). Dinámica de crecimiento de especies forestales establecidas en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, 4(1), 62-75.
- Andenmatten, E. & Letourneau, F. (2005). Modelo de rendimiento forestal: Piltriquitron 1.0. *Revista de Información sobre Investigación y Desarrollo Agropecuario*, 5(8), 35-38.
- Arias, D. (2004). Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurí*, 1(2), 33-43.
- Arias, D. (2005). Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. *Revista Forestal Mesoamericana Kurí*, 2(5), 1-14.
- Barberá, G. G., Martínez Fernández, F., Álvarez Rogel, J., Albaladejo, J., & Castillo, V. (2005). Short- and intermediate-term effects of site and plant preparation techniques on reforestation of a Mediterranean semiarid ecosystem with *Pinus halepensis* Mill. *New Forests*, 29(2), 177-198. doi: 10.1007/s11056-005-0248-6
- Becquey, J., & Riou Nivert, P. (1987). L'existence de zones de stabilité des peuplements. Consequences sur la gestion. *Revue Forestière Française*, 39, 323-334.
- Cown, D. J. (1999). *New Zealand pine and Douglas fir: suitability for processing*. Rotorua, New Zealand: FRI Bulletin 216 Forest Research Institute Ltd.
- Cremer, K. W., Borough, C. J., McKinnell, C. J., & Carter, P. J. (1982). Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 12, 244-268.
- Díaz Bravo, S., Espinosa, M., Valenzuela, L., Cancino, J., & Lasserre, J. P. (2012). Efecto del raleo en el crecimiento y algunas propiedades de la madera de *Eucalyptus nitens* en una plantación de 15 años. *Maderas, Ciencia y Tecnología*, 14(3), 373-388. doi: 10.4067/S0718-221X2012005000009
- Jiang, J., Lu, Y., Pang, L., Liu, X., Cai, D., & Xing, H. (2015). Short-term effects of the management intensities on structure dynamic in monoculture forests of southern subtropical China. *Tropical Conservation Science*, 8(1), 187-200 doi: 10.1177/194008291500800115
- León-Sánchez, M. A., Reyes-Pozo, J. L. Herrero-Echevarría, G., & Pérez-León, V. E. (2016). Efecto de la fertilización sobre el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus caribaea* en plantaciones del occidente de Cuba. *Madera y Bosques*, 22(3), 87-101. doi:10.21829/myb.2016.2231115
- Lewis, N. & Ferguson, I. S. (1993). *Management of Radiata pine*. Melbourne, Australia: Inkata Press.
- Moore, J. R. (2012). Growing fit-for-purpose structural timber: what's the target and how do. *New Zealand Journal of Forestry*, 57(3), 17-24.
- Nájera L., J. A. & Hernández H., E. (2008). Relaciones morfométricas de un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. *Ra Ximhai*, 4(1), 69-81.
- Navarro, R. M., Oliet, J. M., & Contreras, O. (2001). El uso de tubos protectores con cuatro especies forestales en Andalucía Occidental: Estudio Microclimático. En Montes para la Sociedad el Nuevo Milenio. *III Congreso Forestal*



- Español. Mesa 3* (pp. 839–845). Sevilla: Consejería de Medio Ambiente.
- Oliet, J., Planelles, R., López, M., & Artero, J. (1997). Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 4, 69-79.
- Oyebade, A. A., Eguakun, F. S., & Egberibin, A. (2015). Tree slenderness coefficient (TSC) and tree growth characteristics (TGCS) for *Pinus caribaea* in Omo Forest Reserve, Nigeria. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 9(3), 56-62. doi: 10.9790/2402-09325662
- Pérez-González, G., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., & Etchevers-Barra, J. D. (2012). Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, Mexico. *Madera y Bosques*, 18(1), 7-24. doi: 10.21829/myb.2012.181511
- Reukema, D. L. (1979). *Fifty-year development of Douglas-fir stands planted at various spacings*. Research Paper PNW-RP-253. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Reyes P., J. L., León S., M. A., & Herrero E., G. (2017). *Fertilización fraccionada en plantaciones de Pinus en suelos alíticos*. Saarbrücken: PUBLICIA.
- Reyes P., J. L., Herrero E., G., León S., M. A., Miñoso B., Y., & Cúrvelo G., S. (2014). Respuesta a la fertilización de plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var *caribaea* Barret y Golfari en su habitat natural en diferentes edades. *Revista Forestal Baracoa*, 33, 587-598.
- Reyes R., J., Aldrete, A., Cetina A., V. M., & López U., J. (2005). Producción de plántulas de *Pinus pseudostrabus* var *Apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11(2), 105-110.
- Serrada H., R., Navarro C., R. M., & Pemán G., J. (2005). La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la silvicultura y la ecofisiología. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 14(3), 462-481.
- Serrada, S. (2008). *Silvicultura de bosques*. Madrid, España: Servicio de Publicaciones Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal.
- Villar S., P. (2003). Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación. En J. Nicolau I., J. Rey-Benayas, & T. Espigares P. (Eds.), *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos* (pp. 65-86). España: Universidad de Alcalá / Asociación Española de Ecología Terrestre.
- Villar S., P., Domínguez L., S., Peñuelas R., J. L., Carrasco, I., Herrero S., N., Nicolás P., J. L., & Ocaña B., L. (2000). Plantas grandes y mejor nutridas de *Pinus pinea* L. tienen mejor desarrollo en campo. *1er Simposio del pino piñonero (Pinus pinea L.)*, Volumen 1 (pp. 219-227). Valladolid: Junta de Castilla y León.
- Villar S., P., Pañuelas R., J. L., Cuadrado C., J., & Valencia G., E. (2008). Efecto de la fertilización nitrogenada durante el cultivo en vivero de sobre desarrollo en campo de *Quercus coccifera* y *Q. faginea*. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 28, 183-187. doi: 10.31167/csef.v0i28.9792
- Wilson, J. S., & Oliver, C. D. (2000). Stability and density management in Douglas-fir plantations. *Canadian Journal of Forest Research*, 30, 910-920. doi: 19.1139/x00-027
- Wonn, H. T., & O'Hara, K. L. (2001). Height-diameter ratios and stability relationships for four Northern Rocky Mountain tree species. *Western Journal of Applied Forestry*, 16(2), 87-94. doi: 10.1093/wjaf/16.2.87

Manuscrito recibido el 17 de mayo de 2018

Aceptado el 17 de enero de 2019

Publicado el 1 de noviembre de 2019

Este documento se debe citar como:

León-Sánchez, M. A., Reyes P., J. L., Pérez L., V. E., Bonilla V., M., & Herrero-Echavarría, G. (2019). Esbeltez y fertilización mineral en plantaciones de *Pinus caribaea* en Cuba. *Madera y Bosques*, 25(2), e2521777. doi: 10.21829/myb.2019.2521777



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.