

# MEJORA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE *Castanea x coudercii* A. Camus TRAS LA APLICACIÓN DE CENIZAS DE CORTEZA DE MADERA

F. Solla-Gullón\*, M. Santalla, C. Pérez-Cruzado; R.J. Rodríguez-Soalleiro; A. Merino  
Unidade de Xestión Forestal Sostible, Escola Politécnica Superior, Universidade de Santiago de Compostela. Campus Universitario s/n, 27002 Lugo, España. Tel.: +34 982252231; Fax: +34 982 241835

\*e-mail: [fersogu@lugo.usc.es](mailto:fersogu@lugo.usc.es)

## RESUMEN

Parte de la biomasa forestal que llega a las industrias de transformación de madera, principalmente la corteza, se combustiona para generar energía calorífica y electricidad. Este tipo de industrias genera un volumen muy importante de ceniza, del orden de 40.000 a 50.000 Mg año<sup>-1</sup> en Galicia, cantidad que puede verse incrementada en años posteriores como consecuencia del fomento de energías renovables. Generalmente, estas cenizas presentan unas características muy interesante para su uso como fertilizante de suelos (alta alcalinidad, elevado contenido en macronutrientes y bajos niveles de metales pesados) por lo que podrían mejorar el pobre estado nutricional de muchas plantaciones forestales del Norte de España con deficiencias nutricionales agudas. En este estudio se evaluaron las respuestas en crecimiento, tanto en diámetro como en altura, tras la aplicación de dos dosis de cenizas (10.000 y 20.000 kg ha<sup>-1</sup>) en una plantación de *Castanea x coudercii* de 5 años de edad desarrollada sobre un antiguo pastizal. Los aportes de cenizas mostraron incrementos en diámetro, sección normal y altura tras la realización de análisis de covarianza a los 8 años de edad. Asimismo, se calculó un coeficiente multiplicador del crecimiento en altura para cada tratamiento, obteniéndose un incremento de la tasa de crecimiento con respecto al control del 9 y 18%.

**PALABRAS CLAVE:** Fertilización forestal, cenizas de biomasa, crecimiento arbóreo, castaño híbrido

## INTRODUCCION

Las principales industrias de transformación de la madera (principalmente pasta de papel, tableros y aserraderos) reutilizan diferentes subproductos de sus procesos productivos (corteza y otros restos de madera) para la obtención de energía calorífica y, secundariamente, electricidad. Estas cenizas están consideradas como un residuo tóxico no peligroso cuyo principal destino es, en la actualidad, los vertederos y recuperación de escombreras de minas. A diferencia de otro tipo de residuos, como lodos o cenizas de carbón, presenta bajas concentraciones de metales pesados, propiedades alcalinas y elevado contenido en nutrientes (VANICE, 1996) por lo que su aplicación a terrenos forestales ácidos aparece como una prometedora vía de revalorización.

Una parte de las plantaciones forestales de *Castanea x coudercii* muestran deficiencias agudas en elementos esenciales para su desarrollo (ALVAREZ *et al.*, 2004) al igual que muchas otras especies en el Norte de España (ZAS Y SERRADA, 2003; MERINO *et al.*, 2003). Por tanto, la aplicación de cenizas en este tipo de sistemas podría corregir estas deficiencias así como restituir una gran parte de los nutrientes extraídos durante la explotación forestal.

El principal objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta en crecimiento de una plantación de *Castanea x coudercii* tras la aplicación de cenizas de corteza de madera.

## MATERIAL Y METODOS

### *Sitio de estudio*

La experiencia de campo fue establecida en una plantación forestal de *Castanea x coudercii* situada a 330 metros de altitud en la parroquia de Ferreiros, O Pino, A Coruña (42° 54' 45,0'' N, 8° 16' 13,0'' W). La precipitación media anual es de 1.836 mm y las temperaturas medias mínimas y máximas (2,1 y 21,4 °C) corresponden a los meses de enero y de julio, respectivamente. El suelo presenta una profundidad media de 60 cm y se desarrolla sobre esquistos de la serie de Ordes correspondiendo a un umbrisol húmico, con un horizonte Ah de 30 cm de espesor y uno AB de 30-60 cm (FAO-UNESCO, 1998). El horizonte superficial del suelo se caracteriza por su bajo valor de pH (5,2), alto contenido en materia orgánica (13,1%) y textura franca. El uso anterior de esta parcela fue como pastizal. Como

vegetación acompañante dominante destaca *Dactylis glomerata*, *Plantago lanceolata* y *Holcus sp.*

La plantación se realizó en 1996 con una mezcla de los clones comúnmente utilizados para producción de madera tras la realización de un fresado y un subsolado lineal poco profundo. Como fertilización de establecimiento se aplicaron 50 gramos de fertilizante de liberación lenta por planta, en forma de gránulos cubiertos de resina con un 9% de N, 13% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 18% de K<sub>2</sub>O y 2% de MgO.

El marco de plantación fue de 5 x 5 m, es decir, 400 pies ha<sup>-1</sup>. Posteriormente, se realizaron varios desbroces mecanizados entre líneas y manuales bajo los pies y poda hasta 1,5 metros. El diámetro normal medio, al comienzo del ensayo (julio de 2001), fue de 3,1 cm y la altura total de 3,1 m.

#### *Diseño experimental*

Para la realización del ensayo se establecieron 12 parcelas permanentes de dimensiones 30 × 30 m. La asignación de tratamientos se realizó en abril de 2001 de modo completamente aleatorizado y con 3 dosis de cenizas: 0, 10.000 y 20.000 kg ha<sup>-1</sup>. Para la asignación de las dosis se consideraron los elementos extraídos en plantaciones forestales en la zona.

Las cenizas empleadas procedían de la planta de celulosa del Grupo ENCE S.A en Lourizán (Pontevedra). En la Tabla 1 se muestran las cantidades de elementos aportados por los dos tipos de cenizas en los ensayos practicados.

La aplicación en todos estos casos fue mecanizada con una abonadora centrífuga de péndulo con tolva graduada de 400 kg.

#### *Análisis químicos de los suelos y material vegetal*

En julio de 2002, un año después de la aplicación de los tratamientos, se tomaron muestras de suelo (horizonte superficial) y hojas (tercio superior). Las muestras de suelo de cada parcela se obtuvieron a partir de la mezcla homogénea de 4 submuestras de los 20 cm superiores del perfil utilizando una sonda de 8 cm de diámetro y 20 cm de profundidad.

Las muestras foliares estuvieron compuestas por submuestras de hojas/acículas tomadas en al menos el 40-50% de los árboles de la parte central de la misma, principalmente de árboles dominantes y codominantes.

Las muestras de suelo se secaron a 40 °C y se tamizaron por 2 mm. Las acículas se secaron a 65 °C y se molieron hasta 0,25 mm. En ambos tipos de muestras se analizaron los macro y micronutrientes (C, S, N, P, Ca, Mg, K, Mn, Fe, Cu, Ni y Zn).

Las concentraciones de C, S y N totales en suelos y acículas se determinaron por combustión en un autoanalizador CNS-2000 (LECO, St Joseph, Michigan, EE.UU).

En los suelos, la determinación del pH en H<sub>2</sub>O y KCl 0,1 N se realizó con electrodo de vidrio y un potenciómetro micropH 2001 (Crison Instrument, Barcelona, España), empleando una relación suelo:disolución de 1:2,5. Los elementos asimilables (P, Ca, Mg, K, Mn, Fe, Cu, Ni y Zn) se extrajeron con reactivo Mehlich 3 (MEHLICH, 1984) y se analizaron en un equipo ICP-OES (Perkin Elmer, Wellesley, MA, EE.UU).

En las muestras foliares los elementos se determinaron después de realizar una digestión de las muestras molidas con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a una temperatura de 390 °C (JONES *et al.*, 1991) y se analizaron mediante el mismo equipo ICP-OES usando hojas de *Robinia pseudoacacia* como material certificado de referencia

#### *Mediciones de crecimiento*

El periodo de estudio comprendió desde Julio de 2001 hasta noviembre de 2003. Todos los pies de las parcelas se midieron en abril de 2001, antes de la aplicación de las cenizas, y tres periodos de crecimiento más tarde (noviembre de 2003). La medición de abril de 2001, previa a la apertura de las yemas y el consiguiente crecimiento en altura, permitió conocer las condiciones iniciales de la plantación.

En esta plantación de *Castanea x coudercii* no ha sido posible calcular su volumen, por no disponer de ecuaciones de cubicación para esta especie en Galicia. Por lo tanto, únicamente se compararon los diámetros basales o normales y las alturas totales entre tratamientos.

En este caso, para conocer la mejora del crecimiento en altura se empleó un modelo de crecimiento en altura dominante para Galicia (ÁLVAREZ *et al.*, 2004), cuya expresión es la siguiente:

$$H_0 = 16,2819 \cdot (1 - e^{-0,0407 \cdot t})^{b_1}$$

donde  $H_0$  = Altura dominante de Hart<sup>1</sup> (m) (Altura media de los 100 árboles más altos por hectárea)  
 $t$  = Edad (años)  
 $b_1$  = Parámetro del modelo

Para el crecimiento en altura de esta plantación, se calculó un coeficiente multiplicador del crecimiento por comparación del tiempo que transcurriría según el modelo para alcanzar la situación  $C_2$  con el tiempo real transcurrido. La ecuación empleada (CARSON *et al.*, 1999) es la siguiente:

$$m = \frac{F^{-1}(C_2) - F^{-1}(C_1)}{t_2 - t_1}$$

donde:  $t_2=8$  y  $t_1=5$  fueron las edades en las que se realizaron las observaciones,  $F^{-1}(C_2)$  devolvió el valor de edad a la que correspondió una observación de altura o área basimétrica  $C_2$ , si se considera que  $H_0=F(t)$  y  $G=F(t)$  son las ecuaciones generales de evolución de la altura dominante o área basimétrica empleadas y  $F^{-1}(C_1)$  devolvió el valor de edad a la que correspondió una observación  $C_1$ , en este caso,  $F^{-1}(C_1)=5$ .

#### Análisis estadísticos

Los análisis de crecimiento en altura, diámetro y sección basal fueron llevados a cabo a través de un análisis de covarianza, utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS System v.8.02 (SAS INSTITUTE, 1999). El modelo matemático utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta x_{it} + \varepsilon_{ij}$$

para  $i=1, \dots, I$  y  $t=1, \dots, n_i$  donde  $Y_{ij}$  es la variable aleatoria que representa la  $j$ -ésima observación del  $i$ -ésimo tratamiento;  $\mu$  es una constante que representa la respuesta media de la variable  $Y$ ;  $T_i$  es el efecto del tratamiento  $i$  ( $i=0, 1, y 2$ ),  $\beta x_{it}$  modeliza la relación lineal entre la respuesta y la covariable ( $x_{it}$  representa el valor de la covariable en la  $t$ -ésima observación del nivel  $i$  del factor tratamiento) y  $\varepsilon_{ij}$  es el error experimental.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Propiedades de los suelos

En las parcela estudiada se registraron incrementos significativos de pH en el suelo, siendo el efecto especialmente importante durante los primeros meses, en los que se disuelve los óxidos presentes en las cenizas.

En relación con este efecto, hubo incrementos de las formas extraíbles de Ca y, especialmente, K (Tabla 2). A diferencia de estos elementos, las variaciones en el P disponible fueron muy inferiores, posiblemente debido a la menor solubilidad de los compuestos de P y a la posterior inmovilización de este elemento en el suelo (formación de precipitados con el Al y Fe, inmovilización microbiana). Estas respuestas son similares a las encontradas en experimentos similares (p. e. KHANNA *et al.*, 1994; SOLLA-GULLÓN *et al.*, 2002; SOLLA-GULLÓN, 2004).

### Concentraciones foliares de nutrientes

La plantación de castaño mostró niveles de N foliar satisfactorios y, como era de esperar dado el bajo contenido de este elemento en las cenizas, no experimentó variaciones atribuibles a los tratamientos. En relación a la baja respuesta en el suelo, las modificaciones en P foliar fueron bajas (Tabla 3). Con respecto a otros elementos, se mostró aumentos significativos en la concentración de Ca.

En la Tabla 4 se muestra el resultado de la medición de abril de 2001, previa a la aplicación de las cenizas. En las Tablas 5 y 6 se muestran los resultados de crecimiento en altura, diámetro basal y sección basal unitaria de la plantación de *Castanea x coudercii*.

### Alturas

Al cabo de tres periodos de crecimiento y tras la remediación de todos los pies en septiembre de 2003 se observó cómo los pies de las parcelas sin tratar presentaron un desarrollo en altura menor, aunque no significativo, que en las fertilizadas con la dosis alta de cenizas. Una vez corregida la influencia de la covariable ( $F(1,533)=2221,75$   $p>0,001$ ), la altura media de las parcelas control y tratadas con  $20.000 \text{ kg ha}^{-1}$  de cenizas fue de 6,51 y 7,33 metros, respectivamente.

Para conocer la importancia de la mejora del crecimiento en altura en relación a la pauta de crecimiento de la especie, se ha empleado un modelo de crecimiento en altura dominante para Galicia (ÁLVAREZ *et al.*, 2004). La altura dominante utilizada fue la propuesta por Hart, como la altura media de los 100 árboles más altos por hectárea (VAN LAAR Y AKÇA, 1997). Como ya se ha comentado, para esta especie es muy interesante utilizar este criterio ya que el castaño tiende a bifurcarse, siendo con frecuencia estos pies defectuosos los de mayor crecimiento en grosor. Utilizando la altura dominante de Assmann se seleccionarían mayoritariamente estos árboles defectuosos y es por ello por lo que se utiliza el criterio de Hart.

Para este caso,  $t_1=5$  y  $t_2=8$ .  $F^{-1}(H_{0,2})$  devolvería el valor de edad a la que correspondería una observación de altura  $H_{0,2}$ , si se considera que  $H_0=F(t)$  es la ecuación general de evolución de la altura dominante empleada y  $F^{-1}(H_{0,1})$  devolvería el valor de edad a la que correspondería una observación de altura  $H_{0,1}$ , lo que en nuestro caso corresponde a 5 años.

En la Tabla 7 se muestran los valores medios  $m$  y sus desviaciones típicas obtenidos para cada tratamiento.

Durante estos tres años de crecimiento, todas las parcelas crecieron en altura por encima de lo predicho por el modelo ( $m>1$ ), aunque el aporte de cenizas incrementó la velocidad de crecimiento en altura con respecto al control un 8,85 y 15,85%, dependiendo de la dosis de ceniza (Figura 1).

### Diámetro y sección normal

Al comienzo del ensayo, el diámetro y sección normal medio oscilaba entre 2,9 - 3,3 cm y  $8,6 - 14,1 \text{ cm}^2$ , respectivamente. La aplicación de la dosis alta de cenizas supuso un incremento en ambos parámetros, tres periodos de crecimiento más tarde, tal y como muestra el análisis de covarianza realizado. Al cabo de ese tiempo y una vez corregido el efecto de la covariable, las parcelas sin tratar presentaron unos valores medios estimados de diámetro normal de 6,6 cm y de sección normal de  $45,4 \text{ cm}^2$ , mientras que las parcelas con la dosis alta de cenizas alrededor de 7,3 cm de diámetro normal y  $55,5 \text{ cm}^2$  de sección normal (Tabla 5 y 6).

Por lo tanto, la aplicación de cenizas derivó en incrementos significativos solo en el caso del crecimiento diametral, resultando además la dosis alta de cenizas con efectos significativamente superiores a las dosis bajas.

Numerosos trabajos han confirmado los efectos beneficiosos de las cenizas para la producción forestal (SILFVERBERG Y HOTANEN, 1989; SILFVERBERG, 1996; FERM *et al.* 1992; MOILANEN Y ISSAKAINEN, 2000; MOILANEN *et al.* 2002, HYTÖNEN, 2003).

Debido a que el castaño es una especie relativamente exigente en cuanto a fertilidad del suelo, la plantación estudiada, asentada sobre un terreno de buena fertilidad tanto por el material parental como por el anterior uso a pastizal en el que se aplicaban frecuentes fertilizaciones y enmiendas, hace que el efecto sobre el crecimiento no sea tan espectacular como en otros estudios con otras especies (SOLLA-GULLÓN, 2004).

La aplicación de modelos demuestra un crecimiento en altura dominante superior a la media en las parcelas testigo, mientras que la aplicación de cenizas mejora particularmente el crecimiento en diámetro, aspecto claramente favorable en esta especie, dada la flexibilidad inicial del tallo y los riesgos de curvatura que se producen cuando el coeficiente de esbeltez es demasiado alto. De todos modos, es una especie que muestra una buena respuesta al incremento de la dosis de cenizas, acelerando la dosis alta un 15,8 % la velocidad de crecimiento de la altura dominante de Hart.

Hipotéticamente las mejoras en crecimientos que se obtendrían en plantaciones realizadas sobre

suelos pobres y terrenos de monte resultarían mucho mas notorias que las que se ponen de manifiesto en el presente estudio, por lo que parece posible el uso de cenizas para fertilización en este caso.

## CONCLUSIONES

La utilización de cenizas de biomasa como fertilizante de suelos forestales ácidos aparece como una posible vía de revalorización de este residuo, promoviendo el crecimiento de especies forestales, principalmente en plantaciones con deficiencias nutricionales y resolviendo, en parte, el problema de su gestión medioambiental.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ÁLVAREZ, P.; TORRES, G.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. & MERINO, A.; 2004. Early growth and nutrition of chestnut plantations destined for wood production in Galicia (Northern Spain). III International Chestnut Congress. Chaves, Portugal.
- CARSON, S.D.; GARCIA, O. & HAYES J.D. (1999). Realized gain and prediction of yield with genetically improved *Pinus radiata* in New Zealand. *For. Sci.* 45, 186--200.
- FAO-UNESCO; 1998. Clasificación de suelos FAO. Base de Referencia de los Suelos del Mundo. World Reference for Soil Resource. FAO, Roma.
- FERM, A.; HOKKANEN, A.; MOILANEN, M. & ISSAKAINEN, J.; 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a Scots pine afforestation in central Finland. *Plant Soil* 147, 305-316.
- HYTÖNEN, J.; 2003. Effects of wood, peat and coal ash fertilization on Scots pine foliar nutrient concentrations and growth on afforested former agricultural peat soils. *Silva Fennica* 37, 219-234.
- JONES, J.B.; WOLF, B. & MILLS, H.A.; 1991. Plant Analysis Handbook. A practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpreting Guide. Micro-Macro Publishing, Georgia, EE UU. 213 pp.
- KHANNA, P.K.; RAISON, R.J. & FALKINER R.A.; 1994. Chemical properties of ash derived from Eucalyptus litter and its effects on forests soils. *For. Ecol. Manage.* 66, 107-125.
- MEHLICH, A.; 1984. Mehlich N. 3. extractant: a modification of Mehlich No. 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15, 1409-1416.
- MERINO, A.; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J.; BRAÑAS, R. & RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2003. Nutrition and growth in newly established plantations of *Eucalyptus globulus* in northwestern Spain. *Ann. For. Sci.* 60, 509-517.
- MOILANEN, M. & ISSAKAINEN, J.; 2000. Tuhkalannoituksen metsävaikutukset. Metsätalon aportti 93, 38 p.
- MOILANEN, M.; SILVERBERG, K. & HOKKANEN, T.J.; 2002. Effects of wood-ash on the tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. *For. Ecol. Manage.* 171, 321-338.
- SAS INSTITUTE; 1999. User's guide, Version 8, 4<sup>th</sup> edition, SAS Institute, Inc. Cary, NC.
- SILFVERBERG, K.; 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad de Helsinki, 27 pp.
- SILFVERBERG, K. & HOTANEN, J.P.; 1989. Long-term effects of wood ash on a drained mesotrophic *Sphagnum papillosum* in Oulu distric. Finland. *Folia For.* 742, 1-23.
- SOLLA-GULLÓN, F.; 2004. Aplicación de cenizas de biomasa arbórea como fertilizante y encalante de plantaciones forestales en Galicia. Tesis Doctoral. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. 234 pp.
- SOLLA-GULLÓN, F.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. y MERINO A.; 2002. Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. *Invest Agr: Prod. Prot. Veg.* 16, 379-393.
- VAN LAAR, A. & AKÇA, A.; 1997. Forest mensuration. Cuivillier Verlag. Göttingen, 418 pp.
- VANCE, E.D.; 1996. Land application of wood fired and combination boiler ashes: An overview. *J. Environ. Qual.* 25, 937-944.
- ZÁS, R. & SERRADA, R.; 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in northwest Spain. *For. Ecol. Manage.* 174, 167-176.

Tabla 1. Cantidad de macroelementos aportados ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) con la aplicación de los distintos tratamientos en la plantación joven de *Castanea x coudercii*.

Tratamiento	Kg elemento aportado $\text{ha}^{-1}$				
	N	P	K	Ca	Mg
<i>Control</i>	-	-	-	-	-
<i>10.000 kg ha<sup>-1</sup> cenizas</i>	19,0	52,0	302,0	997,0	202,0
<i>20.000 kg ha<sup>-1</sup> cenizas</i>	38,0	104,0	604,0	1994,0	404,0

Tabla 2. Respuesta de algunos parámetros edáficos. Los datos corresponden a la toma de muestras del mes de julio de 2002 (un año después de los tratamientos).

Tratamiento	pH (KCl)	N total (%)	P extraíble ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Mg extraíble ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	K extraíble ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Ca extraíble ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
<i>Control</i>	4,4a	0,7a	51,0a	77,0a	67,0a	552,4a
<i>10 Mg ha<sup>-1</sup> cenizas</i>	4,3a	0,6a	45,8a	64,8 <sup>a</sup>	77,3a	605,9a
<i>20 Mg ha<sup>-1</sup> cenizas</i>	4,7b	0,6a	40,6a	82,3a	112,3b	740,4b

Letras diferentes muestran diferencias significativas  $p < 0,05$  entre tratamientos.

Tabla 3. Evolución de las concentraciones foliares de algunos nutrientes en las plantaciones de estudio en  $\text{mg g}^{-1}$ . Los datos que se muestran corresponden a la toma de muestras de julio de 2002. Todos los datos en  $\text{mg g}^{-1}$ .

Tratamiento	N foliar	P foliar	K foliar	Ca foliar	Mg foliar
<i>Control</i>	21,4a	2,0a	7,9a	5,5a	2,8a
<i>10 Mg ha<sup>-1</sup> cenizas</i>	19,3a	2,2a	7,5a	7,0b	2,7a
<i>20 Mg ha<sup>-1</sup> cenizas</i>	20,6a	1,7a	8,6a	7,3c	2,8a

Letras diferentes muestran diferencias significativas  $p < 0,05$  entre tratamientos.

Tabla 4. Valores medios y desviaciones típicas de las variables de masa que definen las parcelas de *Castanea x coudercii* de cinco años en abril de 2001.

Tratamiento	Diámetro normal medio (cm)	Sección normal media ( $\text{cm}^2$ )	Área basimétrica ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ )	Altura media (m)	Altura dominante ( $\text{m}$ ) <sup>1</sup>
<i>Control</i>	3,31 (2,52)	14,15 (18,04)	0,75 (0,99)	2,92 (1,41)	3,92 (1,59)
<i>10000 kg ha<sup>-1</sup> cenizas</i>	3,01 (1,63)	11,30 (9,73)	0,56 (0,48)	2,84 (1,02)	4,01 (1,36)
<i>20000 kg ha<sup>-1</sup> cenizas</i>	2,85 (1,05)	8,58 (6,57)	0,47 (0,32)	3,44 (0,98)	3,97 (0,64)

<sup>1</sup> Altura dominante de Hart: Altura media de los 100 árboles más altos por hectárea.

Tabla 5. Cuadros resúmenes de los análisis de covarianza realizados para los datos de diámetro normal (cm) de todos los pies del ensayo de *Castanea x coudercii* en noviembre de 2003.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	6877,573 <sup>a</sup>	3	2292,524	745,007	0,000
Intercept	769,547	1	769,547	250,082	0,000
Diámetro inicial	6836,724	1	6836,724	2221,747	0,000
Tratamiento	68,831	2	34,415	11,184	0,000
Error	1640,139	533	3,077		
Total	33747,300	537			
Total corregida	8517,712	536			

Tratamiento <sup>b</sup>	a	b
Control	----	
10.000 kg ha <sup>-1</sup> cenizas	----	
20.000 kg ha <sup>-1</sup> cenizas		----

<sup>a</sup>R<sup>2</sup> = 0,807 (R<sup>2</sup> corregida = 0,806); <sup>b</sup>Ajuste para comparaciones múltiples: Bonferroni. Nivel de significación 95%

Tratamiento	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
			Límite inferior	Límite superior
Control	6,507 <sup>a</sup>	0,136	6,241	6,774
10000 kg ha <sup>-1</sup> cenizas	6,675 <sup>a</sup>	0,131	6,417	6,932
20000 kg ha <sup>-1</sup> cenizas	7,335 <sup>a</sup>	0,128	7,083	7,586

<sup>a</sup> Las covariables que aparecen en el modelo se evalúan en los siguiente valores: Diámetro inicial = 3,1436.

Tabla 6. Cuadros resúmenes de los análisis de covarianza realizados para los datos de sección normal de todos los pies del ensayo de *Castanea x coudercii* en noviembre de 2003.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1118647,07 <sup>a</sup>	3	372882,357	674,957	0,000
Intersección	71832,638	1	71832,638	130,025	0,000
Sec. normal inicial	1105320,689	1	1105320,689	2000,747	0,000
Tratamiento	10842,946	2	5421,473	9,813	0,000
Error	294457,926	533	552,454		
Total	2721333,257	537			
Total corregida	1413104,996	536			

Tratamiento <sup>b</sup>	a	b
Control	----	
10.000 kg ha <sup>-1</sup> cenizas	----	
20.000 kg ha <sup>-1</sup> cenizas		----

<sup>a</sup>R<sup>2</sup> = 0,792 (R<sup>2</sup> corregida = 0,790); <sup>b</sup>Ajuste para comparaciones múltiples: Bonferroni. Nivel de significación 95%

Tratamiento	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
			Límite inferior	Límite superior
Control	45,425 <sup>c</sup>	1,825	41,839	49,010
10000 kg ha <sup>-1</sup> cenizas	46,594 <sup>c</sup>	1,757	43,142	50,045
20000 kg ha <sup>-1</sup> cenizas	55,492 <sup>c</sup>	1,721	52,112	58,873

<sup>c</sup> Las covariables que aparecen en el modelo se evalúan en los siguiente valores: Sec. normal inic. = 12,0977.

Tabla 7. Valores medios y desviaciones típicas de los coeficientes multiplicadores del crecimiento en altura en la plantación de *Castanea x coudercii*.

Tratamiento	<i>m</i>	Incremento porcentual de la velocidad de crecimiento respecto al control
<i>Control</i>	1,401 (0,44)	-
10.000 kg ha <sup>-1</sup> cenizas	1,525 (0,29)	8,85 %
20.000 kg ha <sup>-1</sup> cenizas	1,623 (0,24)	15,85 %

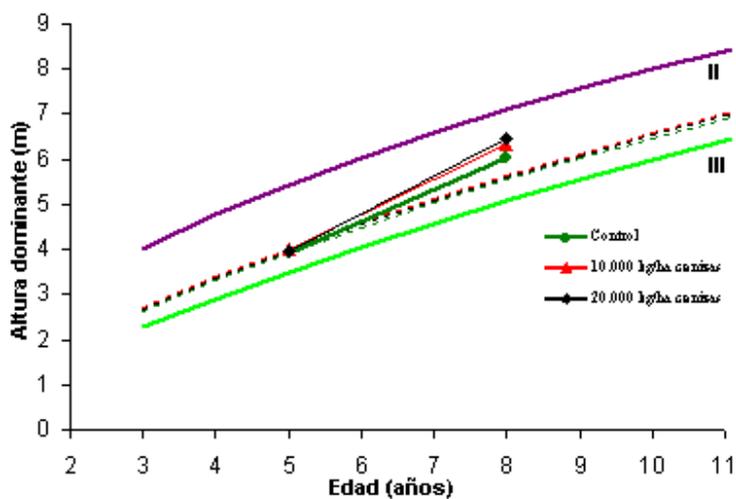


Figura 1. Evolución del crecimiento en altura para cada tratamiento en la plantación de *Castanea x coudercii* en comparación con lo predicho por el modelo de crecimiento en altura dominante para esta especie en Galicia.

[Consultar Tablas y Gráficos](#)