

**EFFECTO DEL EMPLEO DE DIFERENTES DOSIS DE LODO PROCEDENTE DE INDUSTRIA  
PROCESADORA DE ALGAS COMO FERTILIZANTE EN PLANTACIONES  
DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL Y *PINUS PINASTER* AITON**  
Mosquera-Losada, M.R.\*; Rigueiro-Rodríguez, A.

Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago  
de Compostela. Campus de Lugo. 27002-Lugo. España.

\*Autores para la correspondencia: [romos@lugo.usc.es](mailto:romos@lugo.usc.es)

Boletín del CIDEU 3: 181-187 (2007)  
ISSN 1885-5237

---

**Resumen**

El empleo de residuos en terrenos forestales puede contribuir a incrementar la producción forestal y a eliminar estos productos de manera sostenible. En este estudio se plantea realizar la caracterización como fertilizante de un residuo de industria agroalimentaria y estudiar la posibilidad de su empleo como fertilizante en plantaciones forestales de eucalipto y pino. Tras dos años de estudio se encontró que la fertilización con estos lodos origina un aumento significativo del crecimiento del arbolado, lo que justificaría su aplicación en cultivos forestales de crecimiento rápido.

**Summary**

**Effect of the use of variable rates of industrial algal sludge as a fertilizer on *Eucalyptus globulus* Labill and *Pinus pinaster* Aiton plantations**

The use of residues in forestland could contribute both to increase forestry production and to eliminate the residues in a sustainable way. This study aims to characterize as a fertilizer an agrifood derived residue and to evaluate the possibility of using it as fertiliser in afforestation with eucalyptus and pinus species. It was found that agrifood residue use as fertiliser caused a significant increment of tree growth after two years, which could justify the application in fast growing species plantations.

## INTRODUCCIÓN

La producción de residuos en las industrias agroalimentarias genera importantes problemas medioambientales que deben solucionarse a través de una adecuada gestión de los mismos. Uno de los usos más valorados de estos residuos es su empleo en agricultura. CEAMSA es una compañía que se dedica a la obtención de carragenatos a partir de algas marinas (CEAMSA, 2006). El carragenato es un aditivo alimentario gelificante empleado de forma extensa en la industria alimentaria. En el proceso químico de obtención de este aditivo se genera un importante volumen de residuo, que, a diferencia de otros, presenta poder fertilizante y neutralizante y reducidos niveles de metales pesados. Por ello, el uso en agricultura de este residuo favorece el reciclaje y la valorización del mismo, reduciendo el llenado de vertederos.

Una de las opciones más interesantes de valorización de este residuo en Galicia es el empleo en explotaciones forestales, ya que más del 60% de la superficie de la comunidad autónoma gallega se considera terreno forestal en un sentido amplio, siendo la especie arbórea más abundante el pino marítimo, seguido del eucalipto azul (Xunta de Galicia, 2001). El eucalipto es una especie de crecimiento rápido, muy frugal pero con muy buena respuesta a la fertilización (González-Río *et al.*, 1997). Las plantaciones de eucaliptos en Galicia se realizan con frecuencia en terrenos muy ácidos y con un bajo contenido de nutrientes. El empleo de estos residuos en estas zonas estaría justificado por la reducción de la acidez y elevación de la fertilidad del suelo que originan, además de contribuir a resolver el problema medioambiental de su eliminación. El objetivo del estudio que se presenta fue, por una parte, evaluar el pH y el contenido en

MS, nutrientes y metales pesados del lodo procedente de industria de procesamiento de algas, y por otra evaluar el efecto de diversas dosis de lodo sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus*, comparándolo con el producido en otras especies de crecimiento rápido, como el *Pinus pinaster*.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La selección de material y métodos se describirá en dos apartados, en el primero se explicará la metodología para la caracterización del residuo y en el segundo la de su valoración como fertilizante en plantaciones de eucalipto y pino. En la primera fase de este estudio se procedió a recoger, mensualmente y durante un año, muestras del residuo producido por la empresa CEAMSA. Posteriormente, las muestras se procesaban en el laboratorio, donde se secaban (60°C x 48 h), para cuantificar el contenido en materia seca, y se molían. Se determinó el pH (1:2,5) en agua (Guitián y Carballas, 1976) y los contenidos en fósforo y nitrógeno totales, tras una digestión microkjeldhal (Castro *et al.*, 1990). Los cationes principales (K, Mg y Na), así como los micronutrientes y metales pesados (Cd, Ni, Cr, Zn, Pb, Cu y Hg), se analizaron después de una digestión con ácido nítrico en microondas MDS 2000 (CEM, 1994), analizándose su concentración por espectrofotometría.

Para evaluar el efecto de la aplicación de este residuo sobre el crecimiento del eucalipto, se planteó un estudio con un diseño de bloques al azar con tres réplicas. Se desarrolló en una plantación de la Empresa Nacional de Celulosas (ENCE) ubicada en la provincia de Pontevedra. En el invierno del 2004 se realizó una plantación de *Eucalyptus globulus* en una zona en la que previamente había un eucaliptal, que fue talado, desbrozado y destoconado. Se utilizaron plantas

cultivadas en envase de unos 20 cm de altura, que se plantaron en líneas realizadas por un subsolador. El marco de plantación fue el utilizado habitualmente en Galicia, es decir 2x3 m. Después de la plantación se procedió al replanteo de las quince parcelas, constituidas cada una por 25 árboles dispuestos formando un rectángulo delimitado por 5x5 pies. A cada parcela se le asignó un tratamiento aleatoriamente. Se evaluó la respuesta a 6 dosis de lodo (0, 4, 8, 12, 16 y 20 t MS/ha) en un terreno a monte con pH muy ácido. El aporte del residuo se efectuó en un área circular de un metro de diámetro con centro en la base del árbol, y se realizó inmediatamente después de la plantación, a finales de invierno. Las unidades experimentales, como ya hemos señalado, las definieron conjuntos de 5x5 árboles, realizándose mediciones de altura (regla y pértiga) y diámetro basal (calibre) de los 9 pies interiores, para evitar el efecto borde.

De manera similar se realizó una experiencia con la especie *Pinus pinaster* establecida en el ayuntamiento de Pazos de Borbén en el año 2004, con una densidad de 1333 pies por hectárea. Para la valoración como fertilizante del residuo se procedió a realizar análisis estadísticos descriptivos, realizándose un ANOVA para evaluar el efecto de los tratamientos en las plantaciones de pino y eucalipto.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del pH y contenido en

materia seca, N y P del residuo de CEAMSA, en comparación con los de otros residuos como los procedentes de las estaciones de depuradora urbana y de industrias lácteas, pueden verse en la tabla 1. Los resultados confirman que es un residuo con un elevado potencial encalante (pH medio en agua de  $9,45 \pm 0,49$ ) y con un contenido en materia seca del  $25,13\% \pm 3,33$ . Los niveles de nitrógeno son reducidos ( $1,01\% \pm 0,44$ ), al igual que los de K ( $0,33\% \pm 0,24$ ) y P ( $0,03\% \pm 0,01$ ), en comparación con los datos medios de lodos de depuradoras municipales urbanas (EDAR) (Mosquera y Rigueiro, 2002). Es importante señalar el reducido coeficiente de variación del contenido en materia seca y del pH, en comparación con el de la proporción de nitrógeno (34%), potasio (70%) y fósforo (57%). Por otro lado, la descompensación entre los tres nutrientes principales (N, P, K) es menor que en los lodos de depuradora, lo que es importante de cara a su uso agrícola. Por el contrario, los niveles de Na (0.25%) son muy superiores a los encontrados en los lodos de EDAR, probablemente debido a la procedencia marina de las algas de la que deriva el residuo. El contenido en sodio del residuo resultó muy variable, con un coeficiente de variación cercano al 100%. Los niveles de magnesio ( $0,53\% \pm 0,18$ ) resultaron ser menos variables y similares a los encontrados en lodos de depuradora urbana de digestión anaerobia.

**Tabla 1.** Media y desviación estándar del pH y porcentaje en material seca, nitrógeno (N) y fósforo (P) en lodos de depuradora urbana digeridos anaeróbicamente (Urbana), en lodos de industria láctea (Láctea) y en el residuo de CEAMSA.

Procedencia de residuo	%DM	pH	N	P
Urbana	20.62±7.3	6.64±0.72	3.49±1.8	1.80±1.68
Lactea	23.00±10.8	6.89±0.30	2.21±3.1	0.31±0.36
CEAMSA	25.00±3,3	9,25±0,49	0,15±0,05	0,03±0,01

Datos de Urbana y Láctea (Mosquera y Rigueiro, 2002)

**Tabla 2.** Media y desviación estándar del contenido expresado en mg/kg de Cu, Zn, Cr, Ni, Pb y Cd en lodos de depuradora urbana digeridos anaeróbicamente (Urbana), en lodos de industria láctea (Láctea) y en el residuo de CEAMSA. Se indican también los valores máximos permitidos para el uso de lodos en agricultura (RD 1310/90) y los establecidos por la Dirección General de Medio Ambiente Europea como valores límite futuros para el 2025 (Valor F).

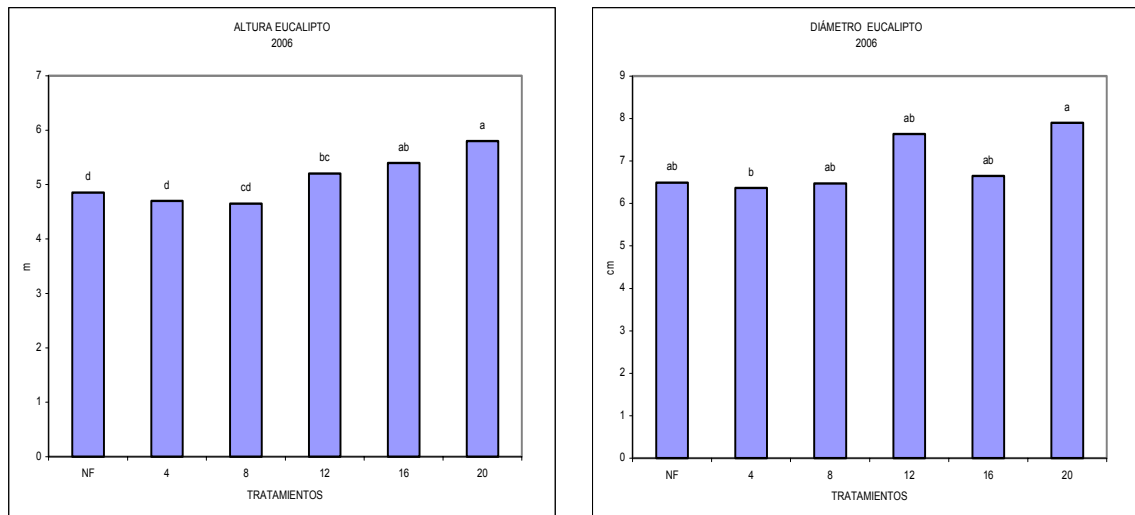
	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Urban	319.1±268.6	506.4±317.9	42.6±38.7	26.7±23.1	90.2±78.9	0.56±0.4
Dairy	16.46±16.74	62.47±65.76	33.1±37.9	4.26±7.11	7.66±7.39	0.34±0.5
CEAMSA	1.18±2.3	6.31±10,88	4,2±7.7	11.35±10.71	3.13±8.73	0.59±2.2
RD	1000	2500	1000	300	750	20
Valor F	600	1500	600	100	200	2

Datos de Urbana y Láctea (Mosquera y Rigueiro, 2002)

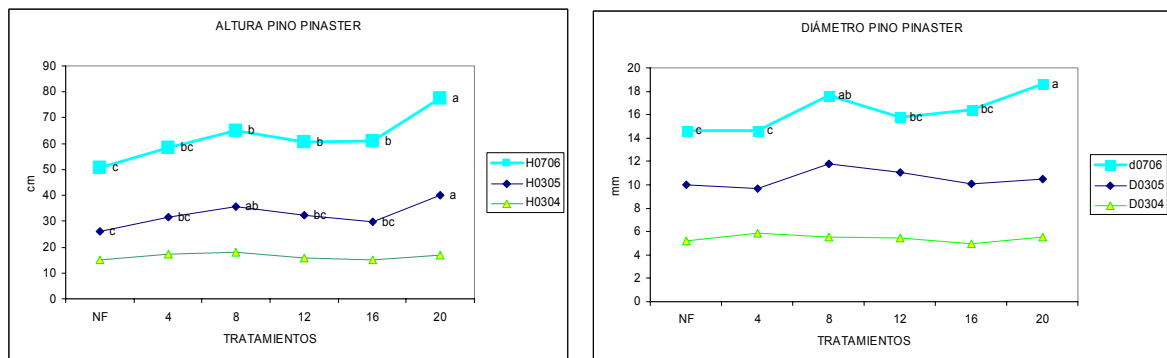
La tabla 2 muestra que los niveles de metales pesados se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por la normativa vigente (RD 1310/90) para poder emplear los lodos en agricultura, y también son muy inferiores a los recogidos en el borrador de futura normativa (borrador propuesto por la UE), resultando los contenidos en Cobre y Zinc muy inferiores a los descritos para los lodos de depuradora. Esta tendencia es general, para todos los metales evaluados, en los dos lodos de origen agroalimentario (láctea y CEAMSA), e indica la importancia del origen del residuo en relación con su calidad como mejorante del suelo. Los niveles expresados en mg/kg de Cr, Cu, Mn, Ni, Zn, Cd y Pb, en % de Fe, y en ppb de Hg resultaron ser de 5,91, 0,97, 18,62, 11,35, 8,14, 0,75, 3,13 0,06 y 6,16, respectivamente.

En las Figura 1 puede observarse el efecto de las diferentes dosis de lodo empleadas

sobre el crecimiento del eucalipto en términos de altura y diámetro. Es importante señalar que algunos pies de eucalipto fueron atacados de forma importante por el coleóptero defoliador *Gonipterus scutellatus*, lo que limitó notablemente su capacidad fotosintética y por tanto la capacidad de respuesta a los tratamientos empleados. Estos pies fueron excluidos del análisis estadístico, ya que el ataque no afectó de forma diferenciada a los árboles pertenecientes a los distintos tratamientos. También debemos subrayar la gran capacidad de crecimiento de esta especie, cuya altura se situó en dos años en torno a los 5 metros. Aunque no fueron tan espectaculares como en el caso del pino, se obtuvieron buenas respuestas positivas a la aplicación de dosis crecientes de lodo, de tal manera que se produjo una mejora próxima al 20% cuando se aportaron las dosis altas del residuo, en comparación con el tratamiento testigo de no fertilización.



**Figura 1.** Efecto de la fertilización con lodo (NF: No fertilización; los números en el eje de abcisas indican toneladas de lodo seco por hectárea, es decir 4, 8, 12, 16 y 20 t lodo/ha) sobre la altura y el diámetro de *Eucalyptus globulus* en el año 2006. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ).



**Figura 2.** Efecto de la fertilización con lodo (NF: No fertilización; los números en el eje de abcisas indican toneladas de lodo seco por hectárea, es decir 4, 8, 12, 16 y 20 t lodo/ha) sobre la altura y el diámetro de *Pinus pinaster* entre el año de establecimiento (2004) y el actual (2006). H0304: altura marzo 2004; H0305: altura marzo 2005; H0706: altura julio 2006; D0304: diámetro marzo 2004; D0305: diámetro marzo 2005; D0706: diámetro julio 2006. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ).

En relación a los crecimientos encontrados en el pino (Figura 2), cabe destacar que revelan la misma tendencia encontrada en eucalipto, es decir, el aporte de residuo de alga mejoró de una forma espectacular el crecimiento en altura de esta especie forestal. En el tratamiento que recibió un mayor aporte de lodo el crecimiento en altura de los pinos fue un 53% superior, en comparación con el testigo de no fertilización. En este último año de estudio es importante destacar que, a diferencia de años anteriores, empieza a notarse también este efecto positivo sobre el incremento de diámetro, como cabría esperar. En este caso la mejora resultó en torno al 27%.

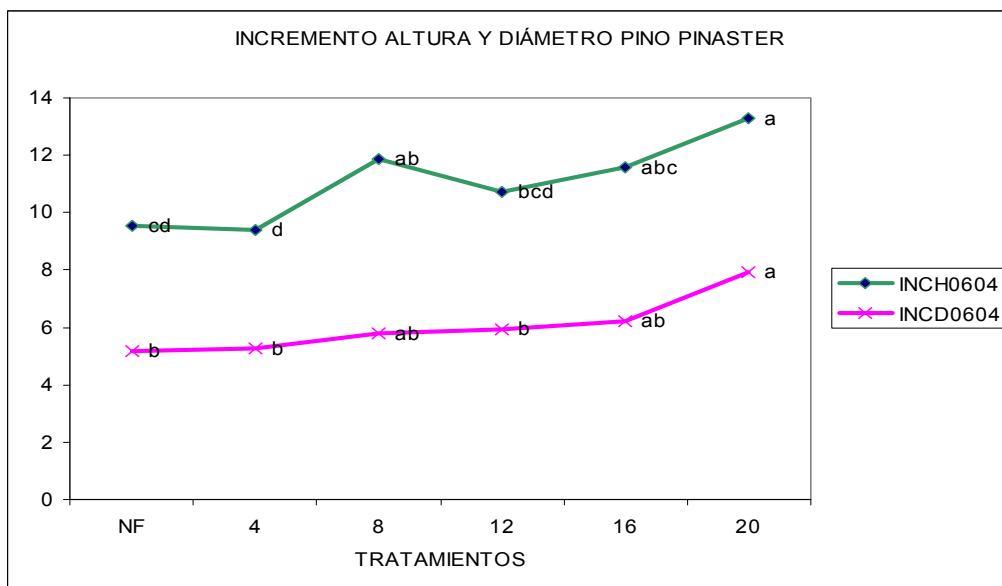
Este efecto también puede observarse en la Figura 3, que refleja los incrementos encontrados en las variables de altura y diámetro en el pino.

El efecto positivo del residuo puede

explicarse por la mejora que provoca el incremento de pH en el suelo, en relación a la disponibilidad de nutrientes. En general, muchas de las plantaciones de nuestra comunidad autónoma se efectúan en terrenos “a monte” de baja fertilidad (Mosquera *et al.*, 2001). La mejora de parámetros como el pH o la capacidad de intercambio catiónico como consecuencia del aporte de los residuos mejora el crecimiento forestal, produciendo un beneficio económico a la par que se reducen los problemas de vertido de este residuo, valorizándose por lo tanto el lodo.

### AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Divina Vázquez Varela, Teresa Piñeiro López y José Javier Santiago Freijanes, técnicos de laboratorio de silvopascicultura de la Escuela Politécnica Superior, la ayuda prestada en los muestreos.



**Figura 3.** Efecto de la fertilización con lodo (NF: No fertilización; los números en el eje de abcisas indican toneladas de lodo seco por hectárea, es decir 4, 8, 12, 16 y 20 t lodo/ha) sobre los incrementos en altura (INCH0604, cm) y el diámetro (INCD0604, mm) de *Pino pinaster* entre el año de establecimiento (2004) y el actual (2006). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ).

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Castro, P, González, A., Prada, D. (1990). Determinación simultánea de nitrógeno y fósforo en muestras de pradera. XXX Reunión Científica de la Sociedad Española para el estudio de los pastos:200-207.
- CEAMSA, 2006. <http://www.ceamsa.com/paginaceamsa.asp>
- González-Río, F., Castellanos A Fernández, O., Gómez, C., 1997. Manual de selvicultura del eucalipto. <http://agrobyte.lugo.usc.es/agrobyte/publicaciones/eucalipto/indice.html>.
- Gutián, F.; Carballas, T., 1976. Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela.
- Mosquera, M.R., Rigueiro, A., 2002. Variability of sewage sludge parameters. Implications on fertilisation uses. 7º Congreso European Society for Agronomy. Córdoba, España, 393-394.
- Mosquera, M.R., López, L., Rigueiro, A., 2001. Sewage sludge fertilisation of a silvopastoral system with pines northwestern Spain. *Agroforestry systems*, 53:1-10.
- Xunta de Galicia, 2001. O Monte Galego en Cifras. Dirección Xeral de Montes e Medio Ambiente Natural Consellería de Medio Ambiente.