

RESPUESTA EN CRECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE *PINUS RADIATA* D. DON, A LA APLICACIÓN DE LODOS DE LECHERÍA ESTABILIZADOS CON CAL

Beatriz Omil, Fernando Solla-Gullón y Agustín Merino García

Unidade de Xestión Forestal Sostible. Escola Politécnica Superior. Universidade de Santiago de Compostela. 27002-LUGO (España). Correo electrónico: bomilig@lugo.usc.es.

Resumen

En este trabajo se evalúan las posibilidades de reutilización de los lodos de depuradora estabilizados con cal procedentes de una industria láctea como fertilizante de suelos forestales ácidos. Este producto se caracteriza por una fuerte alcalinidad, alto contenido en nutrientes (N, P y Ca, principalmente) y bajas concentraciones de metales pesados. El ensayo se estableció en una plantación de *Pinus radiata* de 10 años, en la provincia de A Coruña. Las dosis empleadas fueron 11 Mg.ha⁻¹ y 22 Mg.ha⁻¹ de lodos, en un diseño experimental aleatorizado con 6 réplicas. Durante 5 años (1998-2004) se realizó el seguimiento de las producciones arbóreas. Los análisis de medidas repetidas aplicados a los datos de alturas, diámetros y volúmenes individuales mostraron diferencias significativas desde la primera medición, que se atribuyen a la mejora del estado nutricional de la plantación.

Palabras clave: *Gestión de residuos, Pino insigne, Crecimiento arbóreo, Mejorante de suelos*

INTRODUCCIÓN

Algunas de las vías de eliminación o reutilización de lodos obtenidos en el proceso de depuración de aguas residuales (aprox. 70-100 g de materia seca persona⁻¹ día⁻¹. POMARES Y CANET, 2001) son el transporte a vertedero, el uso agrícola, la incineración y el compostaje. Su empleo como fertilizante en terrenos agrícolas, forestales o espacios degradados es una práctica habitual en diferentes países, entre ellos España (p.e., COSTA et al., 1998).

Los lodos de depuradora se caracterizan por la elevada proporción de materia orgánica, microcontaminantes orgánicos e inorgánicos, como metales pesados, microorganismos y cantidades variables de macronutrientes, principal-

mente N, P y Mg (BONTOUX et al., 1998; POMARES Y CANET, 2001). Además, si en el proceso de estabilización se emplea cal u otros elementos alcalinos, puede ser utilizado como encalantes de suelos ácidos. Dentro de este tipo de lodos se encuentran los producidos por las industrias transformadoras y envasadoras de leche que, a diferencia de otro tipo de lodos, presentan bajas concentraciones de metales pesados (DE LAUZANE & MERILLOT, 1986).

Galicia es una de las mayores potencias forestales de Europa (más del 48% de la superficie forestal es terreno arbolado, D.G.C.N., 2000). Sin embargo, las frecuentes deficiencias de P, Mg y Ca reducen notablemente las producciones de Eucalipto y Pino (ROMANYA Y VALLEJO, 1996; BRAÑAS et al., 2000; ZAS Y

SERRADA, 2003). Estas carencias son debidas a la baja fertilidad intrínseca de los suelos y a la explotación intensiva basada en la corta a hecho en rotaciones cortas. La aplicación de productos ricos en estos nutrientes no sólo puede mejorar el estado nutricional de estas plantaciones, sino también contribuir a gestionar adecuadamente uno de los residuos generados en uno de los sectores de mayor relevancia, como es el lácteo.

El objetivo de este estudio es evaluar los efectos del empleo de lodos de lechería estabilizados con cal sobre la producción de una plantación de *Pinus radiata* D. Don con problemas de crecimiento atribuibles al pobre estado nutricional.

MATERIAL Y MÉTODOS

La zona de estudio, localizada en el Término Municipal de Ames (A Coruña), se encuentra dentro de subregión Atlántica Europea, con influencia oceánica acusada y con régimen térmico suave. La plantación seleccionada fue de *Pinus radiata* D. Don de 10 años edad. Los análisis foliares mostraron valores deficientes de P, K y Ca (0,89; 2,49; 0,83 mg.g⁻¹, respectivamente) y marginales de N y Mg (14,60 y 0,81 mg.g⁻¹, respectivamente), en función de los niveles considerados para esta especie (WILL, 1985; ZAS Y SERRADA, 2003). El suelo es un umbrisol húmico de 45 cm de profundidad, presenta textura franco-arenosa, fuerte acidez (pH = 4,1), alto contenido en materia orgánica (9,4%) y N total (0,41%) y bajos niveles de P y Mg asimilables (7,5 y 30,0 mg.kg⁻¹ respectivamente).

El experimento consistió en el aporte de dos dosis de lodo, 11 Mg.ha⁻¹ ó 200 kg.ha⁻¹ de N y 22 Mg de lodo ha⁻¹ ó 400 kg ha⁻¹ de N, siguiendo un diseño completamente aleatorizado, con 6 réplicas, comparándolas con las unidades experimentales control. El tamaño de cada una de las unidades de experimentación fue de 100 m² e

incluían un total de 26 plantas. Los tratamientos se realizaron en octubre de 1998.

Los lodos empleados (Tabla 1) fueron estabilizados con cal para destruir los microorganismos patógenos, facilitar la deshidratación y reducir el mal olor. Con pH alcalino (pH= 10,04), y elevadas concentraciones de N, P y Ca (64,0; 13,0 y 23,4 g.kg⁻¹, respectivamente)

La muestra de suelo de cada unidad experimental se obtuvo a partir de la mezcla homogénea de 4 submuestras de los 20 cm superiores del perfil utilizando una sonda de 8 cm de diámetro

Las muestras foliares estuvieron compuestas por submuestras de acículas tomadas en al menos el 40-50% de los árboles de la parte central de la misma, del crecimiento del año y de la parte soleada.

Las mediciones dasométricas se realizaron durante los tres primeros años cada seis meses (en primavera y en otoño) y posteriormente cada año (verano), sobre los árboles centrales de cada unidad experimental, con el fin de evitar el efecto borde. Las alturas totales se midieron por medio de hipsómetro Vertex III y pértiga telescópica con precisión de centímetros, mientras que los diámetros basales y normales se midieron por medio de forcípula con precisión de milímetros. Para el cálculo del volumen se utilizó el modelo de árbol individual ya que se apoya en fenómenos que condicionan el crecimiento a un nivel más detallado que los modelos de la masa. En concreto, la tarifa de cubicación empleada fue una tarifa de cubicación simple de dos entradas y responde de la siguiente expresión (CASTEDO, 2004):

$$v=0,000048*d^{2,0062}*h^{0,86691}$$

donde v es el volumen del árbol individual, en m³; d, el diámetro normal, en cm y h, la altura total, en m. Esta tarifa de cubicación responde al modelo de Schumacher-Hall (función alométrica o exponencial).

El análisis de la respuesta en altura, diámetro y volumen se llevó a cabo a través de un análisis de medidas repetidas, utilizando el procedimien-

	pH	mg kg ⁻¹ de materia seca						
		Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn
Lodo empleado	10,04	8	16	32	8	47	35	271
Concentración máxima según R.D. 1310/1990		20	1000	1000	16	750	300	2500

Tabla 1. Análisis de los metales pesados lodo empleado

to GLM del paquete estadístico SAS System v.8.02 (SAS Institute, 1999). Previamente se contrastaron los supuestos de igualdad de la varianza (test de Levene), normalidad (test Kolmogorov-Smirnov) e independencia. El modelo matemático utilizado fue el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \beta x_{it} + T_i + D_j + T_i * D_j + \epsilon_{ij}$$

donde y_{ij} es la variable aleatoria que representa el valor en la j -ésima observación del i -ésimo tratamiento; μ es la constante que representa la respuesta media de la variable; βx_{it} modeliza la relación lineal existente entre la respuesta y la covariable (altura o diámetro inicial medido previamente a la aplicación de los lodos); T_i y D_j son los efectos del tratamiento i (Control, D1 y D2) y del tiempo j (0,1,2...8 mediciones), respectivamente; $T_i * D_j$ es el efecto de la interacción del tratamiento i por el tiempo j y ϵ_{ij} es el error experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La respuesta del suelo al aporte de lodos se tradujo en una mejora de las condiciones químicas

del suelo como puede apreciarse en la Figura 1, en la que se recoge el valor de pH y del calcio extraíble del suelo.

En la figura 2 se recoge la evolución a lo largo del tiempo del diámetro normal y de la altura total para los distintos tratamientos. El análisis estadístico previo, en el que se analizó la idoneidad o no de la aplicación del análisis de la varianza, mostró el cumplimiento de los supuestos de igualdad de la varianza y normalidad ($p > 0.05$). Este mismo análisis reveló problemas de correlación entre las distintas mediciones, y por lo tanto la necesidad de tratar la información de una manera global a través de un análisis de medidas repetidas (Tabla 2 y 3).

Al comienzo del ensayo, el diámetro normal osciló entre 7,1 y 8,1 cm y la altura total entre 3,7 y 3,9 m; la aplicación de lodos supuso un incremento significativo en ambos parámetros (Tabla 3 y 4) desde la primera medición. El análisis estadístico reveló la influencia de la variable covariante y la bondad de haber utilizado el análisis de covarianza para controlarlo. Al cabo del periodo de estudio, las diferencias entre las parcelas fertilizadas y las control fue de aproxi-

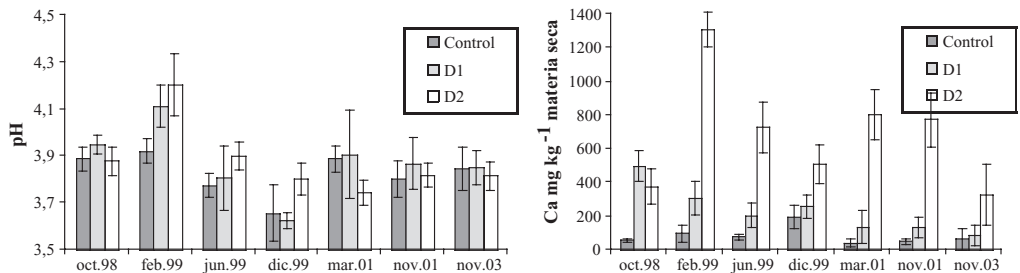


Figura 1. Evolución del pH y del Calcio extraíble para los distintos tratamientos a lo largo del ensayo. Control: parcelas sin fertilizar, D1: dosis baja 11Mg lodo ha^{-1} , D2: dosis alta 22 Mg lodo ha^{-1}

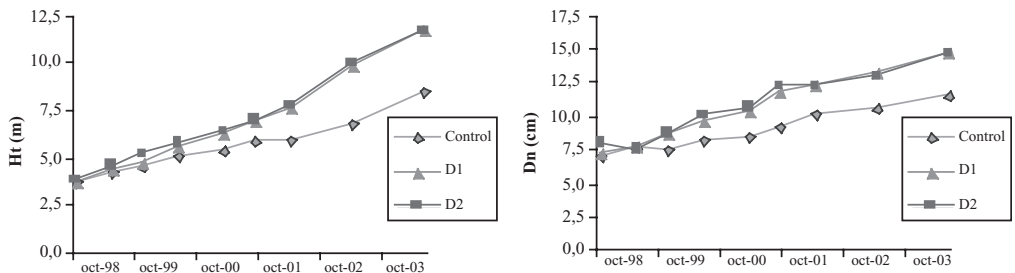


Figura 2. Evolución de la altura total y el diámetro normal a lo largo del tiempo para los distintos tratamientos. (Control: parcelas sin fertilizar, D1: dosis baja 11 Mg lodo ha^{-1} , D2: dosis alta 22 Mg lodo ha^{-1})

A: Comparaciones múltiples entre los niveles del factor "Tratamiento" para cada nivel del factor tiempo										B: Análisis de medidas repetidas			
Trat	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	Covarianza	Entre	Intrasuj	
												T	T* Trat
Control		a	a	a	a	a	a	a	a				
D1		b	a	ab	b	b	ab	ab	ab	***	*	***	*
D2		ab	b	b	b	b	b	b	b				

Tabla 2. Resultados de los análisis estadísticos realizados para el diámetro normal del arbolado. Control: parcelas sin fertilizar, D1: dosis baja 11 Mg lodo ha⁻¹, D2: dosis alta 22 Mg lodo ha⁻¹

A: Comparaciones múltiples entre los niveles del factor "Tratamiento" para cada nivel del factor tiempo										B: Análisis de medidas repetidas			
Trat	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	Covarianza	Entre	Intrasuj	
												T	T* Trat
Control		a	a	a	a	a	a	a	a				
D1		b	b	b	b	b	a	b	b	***	**	***	*
D2		ab	ab	ab	b	b	a	b	b				

Tabla 3. Resultados de los análisis estadísticos realizados para la altura total del arbolado. Control: parcelas sin fertilizar, D1: dosis baja 11 Mg lodo ha⁻¹, D2: dosis alta 22 Mg lodo ha⁻¹

madamente 3 cm en diámetro y 3 m en altura. Estos resultados fueron superiores a los obtenidos por DUTCH Y WOLSTENHOLME (1994), tras el aporte de mayor cantidad de lodos (893 kg de N ha⁻¹) en una plantación de 6-8 años de *Picea sitchensis* con fuertes deficiencias en N.

Estos mayores crecimientos en altura y diámetro se tradujeron en incrementos significativos del volumen (Tabla 4), de tal manera que, la producción media en 2004 fue de 120 m³.ha⁻¹ en las parcelas fertilizadas con 22 Mg lodo ha⁻¹ y de 104 m³ ha⁻¹ en las parcelas en las que se aplicaron 11 Mg lodo ha⁻¹ mientras que las parcelas testigo registraron 55 m³.ha⁻¹ (Figura 3). Con lo que el aporte de lodos supuso un incremento de un 140% y un 100% para la dosis alta y baja respectivamente. Estas diferencias significativas entre tratamientos fueron mayores que las obtenidas por MAGESAN y WANG, (2003). Estos autores observaron al cabo de cinco años, incrementos de un 52% y 34% para dosis superiores (300 y 600 Kg de N ha⁻¹) en un ensayo con *Pinus radiata* D. Don de 6 años sobre un suelo de baja fertilidad en Nueva Zelanda.

Si comparamos estos valores con los crecimientos de las tablas de producción para *Pinus radiata* D. Don en Galicia de SÁNCHEZ RODRÍGUEZ (2001), se observa que el volumen total de las parcelas en las que se aportó lodo coincide con el índice de sitio 17, calidad III densidad baja (114 m³.ha⁻¹), mientras que las parcelas control coinciden con la calidad IV.

Esta respuesta positiva del arbolado a la fertilización coincidió con otros estudios realizados sobre fertilización en suelos forestales ácidos, en donde el efecto del fertilizante no es inmediata-

mente superior a la fertilización control.

A: Comparaciones múltiples entre los niveles del factor "Tratamiento" para cada nivel del factor tiempo										B: Análisis de medidas repetidas			
Trat	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	Covarianza	Entre	Intrasuj	
												T	T* Trat
Control		a	a	a	a	a	a	a	a				
D1		a	b	b	b	b	ab	b	ab	***	*	**	*
D2		a	b	b	b	b	b	b	b				

Tabla 4. Resultados de los análisis estadísticos realizados para el volumen del arbolado, Control: parcelas sin fertilizar, D1: dosis baja 11 Mg lodo ha⁻¹, D2: dosis alta 22 Mg lodo ha⁻¹

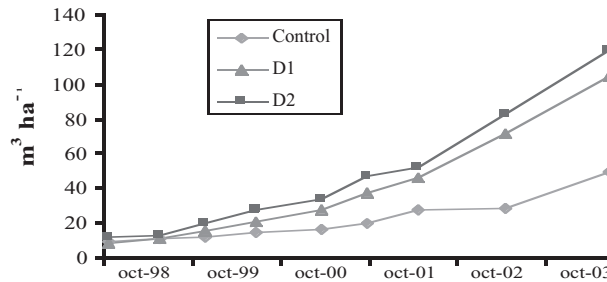


Figura 3. Volumen de los distintos tratamientos calculado a partir de la tarifa de cubicación de Castedo (2004). Control: parcelas sin fertilizar, D1: dosis baja 11Mg lodo ha⁻¹, D2: dosis alta 22 Mg lodo ha⁻¹

to sino que la disponibilidad de elementos aumentó a partir del segundo año de la aplicación y se mantiene durante largos periodos de tiempo (BIRK, 1984, BONNEAU, 1995, GUJJA et al., 2003; DUTCH Y WOLSTENHOLME, 1994; MAGESAN Y WANG, 2003).

CONCLUSIONES

Con el aporte de los lodos de lechería estabilizados con cal se produce una mejora de la calidad de estación de esta especie lo que se tradujo en un incremento de la altura y el diámetro de la masa, esto puede ser atribuido a la mejora de las condiciones químicas del suelo, incremento de pH, disponibilidad de nutrientes. Por otra parte se contribuye a la gestión de la gran cantidad de lodos producidos por las empresas lácteas en Galicia.

BIBLIOGRAFÍA

- BIRK, E.M.; 1984. Fertiliser use in the management of Pine and Eucalypt plantations in Australia: A review of past and current practices. State Forest of New South Wales. N.Z.J. For. Sci. 24: 289-320.
- BONNEAU, M.; 1995. *Fertilisation des Forêts dans les Pays Tempérés*. Ed. Engref. Nancy.
- BONTOUX, L.; VEGA, M. & PAPAMELETEIOU, D.; 1998. Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: El problema de los lodos. *The IPTS Report*. Ed. Instituto de Prospectiva Tecnológica 83: 1-15.
- BRAÑAS, J.; RODRÍGUEZ, R. & MERINO, A.; 2000. Nutrient stores in above-ground biomass, understory vegetation and soil of Pinus radiata plantations in NW Spain. In: *International Symposium on Managing Forest Soils for Sustainable Productivity*: Vila Real. Portugal. 135-136.
- BUNNING, W.G.W.; 1992. New techniques of sludge management in Netherlands. *Water Poll. Control*. 2: 39-45.
- CASTEDO, F.; 2004. *Modelo dinámico de crecimiento para las masas de Pinus radiata D. Don en Galicia. Simulación de alternativas con inclusión del riesgo de incendio*. Tesis doctoral. Departamento de Enxeñería Agroforestal. Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- COSTA, F.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T. & POLO, A.; 1998. *Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización*. CSIC. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- DE LAUZANNE, R. & MERILLOT, J.M.; 1986. *La valorisation agricole des boues de laiterie*. Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets (ANRED), France.
- D.G.C.N.; 2000. *Tercer Inventario Forestal Nacional, 1997-2006: Galicia*. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- DUTCH, J. & WOLSTENHOLME, R.; 1994. The effects of sewage sludge application to a heathland site prior to planting with Sitka spruce. *Forest Ecol. Manag.* 66: 151-163.
- GUICHET, J.; 1987. Evolution d'une rendzine consecutive a 25 années d'épandage de résiduaux de laiteries. *Sci. Sol.* 25: 95-106.
- MAGESAN, G.N. & WANG, H.; 2003. Application of municipal and industrial residuals in New

- Zealand forest: an overview. *Aust. J. Soil Res.* 41: 557-569.
- POMARES, F. Y CANET, R.; 2001. *Los residuos orgánicos utilizables en agricultura: origen, composición y características. Aplicación agrícola de residuos orgánicos.* Universidad de Lleida. Lleida.
- ROMANYÀ, J. & VALLEJO, V.R.; 2000. Productivity Factors of *Pinus radiata* D. Don plantations in Spain. In: *International Symposium on Managing Forest Soils for Sustainable Productivity*, Vila Real, Portugal: 155-156.
- SANCHEZ-RODRÍGUEZ, F.; 2001. *Estudio de la calidad de estación, producción y selvicultura del Pinus radiata D. Don en Galicia.* Tesis doctoral. Departamento de Enxeñería Agroforestal. Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- SANCHEZ-RODRÍGUEZ, F.; RODRÍGUEZ, R.; ROJO, A.; ÁLVAREZ, J.G.; LÓPEZ, C.; GORGOSO, J. Y CASTEDO, F.; 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12: 65-83.
- SAS INSTITUTE; 1999. *User's guide, Version 8.* 4th edition. SAS Institute. Inc. Cary, NC.
- WILL, G.M.; 1985. Nutrient deficiencies and fertiliser user in New Zealand exotic forests. *FRI bulletin* 97. Rotorua. New Zealand.
- ZAS, R. & SERRADA, R.; 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don in northwest Spain. *Forest. Ecol. Manag.* 174: 167-176.
- ZAS, R.; 2003. Interpretación de las concentraciones foliares en nutrientes en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* D. Don en tierras Agrarias en Galicia. *Invest. Agrar.: Sist. Rec. For.* 12: 3-11.