

# ESTABLECIMIENTO DE SISTEMAS SILVOPASTORALES CON *PINUS RADIATA* D. DON EN ZONAS AGRÍCOLAS ABANDONADAS: IMPACTO SOBRE LA CIC Y EL PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE ALUMINIO

Esther Fernández-Núñez, Antonio Rigueiro-Rodríguez y M<sup>a</sup> Rosa Mosquera-Losada

Departamento de Producción Vexetal. Escola Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. 27002-LUGO (España). Correo electrónico: romos@lugo.usc.es

## Resumen

Las repoblaciones forestales con *Pinus radiata* D. Don han tenido una gran relevancia en la provincia de Lugo, en la que en los últimos años fue la especie forestal más empleada. El estudio aquí presentado tiene una duración de 8 años y se llevó a cabo en Castro de Riberas de Lea (Lugo) en un sistema silvopastoral creado repoblando con *Pinus radiata* a dos densidades de plantación (2500 pies.ha<sup>-1</sup> y 833 pies.ha<sup>-1</sup>) sobre dos tipos de pradera artificial de (a) dactilo, trébol blanco y trébol violeta y (b) raigrás, trébol blanco y trébol violeta, a la cual se aplicaron tres tratamientos: fertilización con lodos de industria láctea, fertilización mineral y no fertilización. El objetivo de este estudio fue ver el efecto producido de estos tratamientos sobre los niveles de saturación de aluminio y principales macronutrientes y la capacidad de intercambio catiónico en suelo. Los resultados obtenidos mostraron un efecto significativo del tratamiento de fertilización aplicado sobre las variables evaluadas, de tal manera que la fertilización mineral mostraba los mejores valores, debido a la menor extracción de los recursos edáficos por las plantas en este tratamiento. En suelos agrícolas el aporte de lodo mejora el desarrollo del cultivo forestal y agrícola en comparación con el tratamiento mineral, produce más extracciones, reduce el pH, la capacidad de intercambio catiónica e incrementa el porcentaje de saturación de aluminio, sodio y potasio, reduciéndose el de magnesio. Esto indica que a la larga será necesario realizar aportes de cal en las parcelas que se fertilizan con lodo, esto es las más extractivas.

Palabras clave: *Silvopastoral, Pinus radiata, Pastos, Nutrientes, Galicia*

## INTRODUCCIÓN

La fertilidad de un suelo se fundamenta en la capacidad que éste tiene para suministrar los nutrientes esenciales para el crecimiento del cultivo que se desarrolla sobre él. En general, esta capacidad no depende exclusivamente de la concentración de este elemento en el suelo, siendo de gran importancia la disponibilidad del

mismo. Esta disponibilidad a medio, corto y largo plazo depende de la concentración en el suelo, de la solubilidad del elemento en cuestión y del número de posiciones de cambio que existan en ese suelo (capacidad de intercambio catiónico). La solubilidad de los nutrientes depende a su vez de una serie de reacciones químicas en las que el pH juega un papel preponderante. Las variaciones de pH van a depender de

una serie de factores relacionados fundamentalmente con la pérdida de calcio del sistema y que derivará del balance establecido entre las pérdidas (lavado y extracción radicular) y de los insumos (encalado, incorporación de residuos (material senescente)) a ese suelo.

*Pinus radiata* es la especie forestal más empleada en repoblaciones de tierras agrícolas en la provincia de Lugo. Las tierras agrícolas suelen tener una historia de encalado y fertilización reciente que hace que, en muchos casos el pH del suelo se aproxime a la neutralidad. El establecimiento de sistemas silvopastorales con esta especie en Lugo puede tener una gran importancia desde un punto de vista económico en comparación con los sistemas exclusivamente forestales, ya que, permitiría obtener cierta rentabilidad con una periodicidad anual (FERNÁNDEZ-NÚÑEZ et al., 2007), y por otra reduciría el riesgo de incendios (RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al., 2005). Tanto el encalado como la fertilización de las praderas con objeto de mejorar su productividad son aspectos claros en el manejo de las mismas que ha sido estudiado (MOSQUERA-LOSADA et al., 1999). Sin embargo, este aspecto no se ha evaluado convenientemente en sistemas silvopastorales de la zona atlántica. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de distintos tipos de manejo de fertilización sobre la capacidad de intercambio catiónico efectiva, el porcentaje de saturación de los principales nutrientes del suelo y el contenido en aluminio del mismo en sistemas silvopastorales desarrollados bajo pino radiata establecido a dos densidades de plantación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio que se presenta se corresponde con el octavo año de un ensayo establecido en el año 1995 en Castro Riberas de Lea (Lugo) sobre un terreno agrícola abandonado con un pH en agua inicial de 6,8. El sistema está constituido por una masa de *Pinus radiata* D. Don, procedente de planta en contenedor establecida a dos densidades de plantación (2500 pies.ha<sup>-1</sup> y 833 pies.ha<sup>-1</sup>). El ensayo tenía un diseño de bloques al azar con tres réplicas y 12 tratamientos (6 en cada densidad). Dentro de la cubierta arbolada

se distribuyeron aleatoriamente dos mezclas de siembra: (1) *Dactylis glomerata* L. var Saborto (25 kg.ha<sup>-1</sup>) + *Trifolium repens* L. var Ladino (4 kg.ha<sup>-1</sup>) + *Trifolium pratense* L. var. Marino (1 kg.ha<sup>-1</sup>) (mezcla Dg) y (2) *Lolium perenne* L. var. Tove (25 kg.ha<sup>-1</sup>) + *Trifolium repens* L. var Ladino (4 kg.ha<sup>-1</sup>) + *Trifolium pratense* L. var. Marino (1 kg.ha<sup>-1</sup>) (mezcla Lp) y se aplicaron tres tratamientos de fertilización diferentes: 1) fertilización con lodos de industria láctea (L) a una dosis de 154 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> durante el primer año aplicándose a partir del tercer año una fertilización mineral de 8:24:16 a una dosis de 500 kg.ha<sup>-1</sup> a finales del invierno y 40 kg. de N por hectárea en forma de nitramón en mayo hasta el último año de estudio, 2) fertilización mineral (M) 8:24:16 a una dosis de 500 kg. ha<sup>-1</sup> a finales del invierno y 40 kg. de N.ha<sup>-1</sup> en forma de nitramón en mayo realizada hasta el último año de estudio y 3) no fertilización (NF) (MOSQUERA-LOSADA et al., 2006). Durante el año 2003, se procedió a la recogida de muestras de suelo en las diferentes praderas. Esta recogida se realizó al azar dentro de cada parcela utilizando una sonda, a una profundidad de 25 cm (establecida por legislación: RD 1310/90). Posteriormente, las muestras son llevadas al laboratorio, secadas al aire y tamizadas empleando un tamiz con luz de 2 mm, secándose a continuación al aire. Para determinar los elementos cambiables se realizó una extracción con cloruro bórico (GUTIÁN-OJEA y CARBALLAS-FERNÁNDEZ, 1976) determinándose los contenidos de Ca, Mg y Na mediante espectrofotometría de absorción atómica, y K mediante espectrofotometría de emisión. El Al se determinó mediante un método calorimétrico que emplea hidróxido sódico 0,01 N utilizando fenoltaleína al 1% en solución alcohólica.

Los resultados obtenidos fueron tratados mediante el empleo de ANOVA y las medias se separaron usando el test LSD, para todo ello se empleó el paquete estadístico SAS (2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se reflejan los resultados de los ANOVAs para la capacidad de intercambio catiónico efectiva, porcentaje de saturación de las distintas bases y la concentración de aluminio

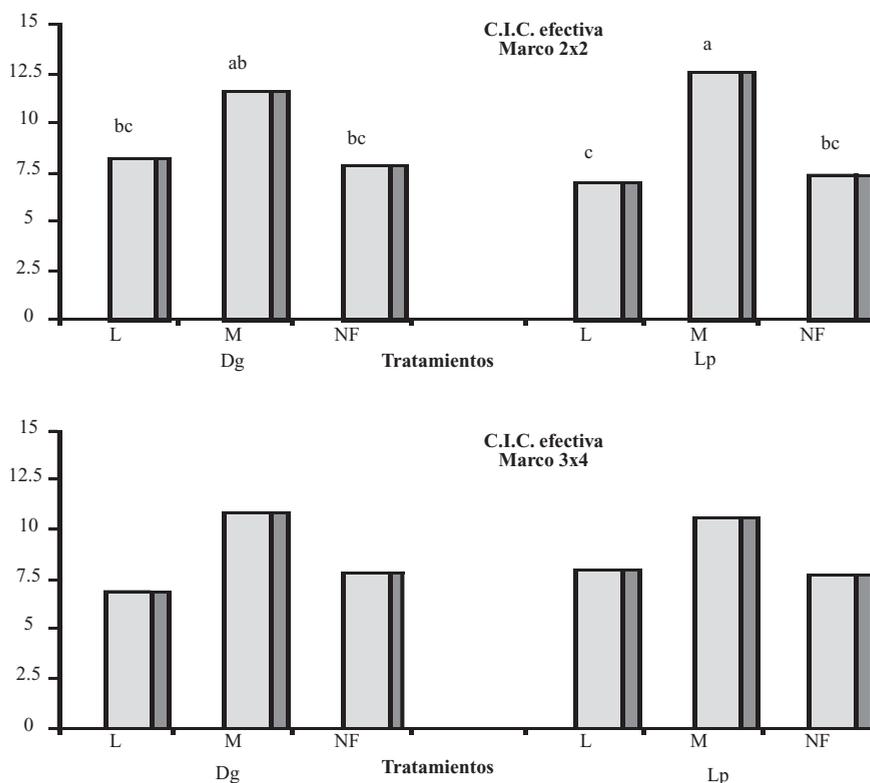
TRAT	Marco 2x2	Marco 3x4
CIC efectiva	**	ns
% Na	*	ns
% K	**	ns
% Mg	**	ns
% Al	*	ns

**Tabla 1.** Resultado del análisis de varianza de la CIC efectiva (cmol(+)/kg suelo) y del porcentaje de saturación del Na, K, Mg y Al obtenidos en BaCl, donde ns: no significativo, \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ . TRAT: tratamiento

disponible (BaCl). En ella se observa un efecto significativo de los tratamientos sobre todas las variables estudiadas cuando las densidades son elevadas pero no cuando son reducidas.

En la figura 1 se muestra la CIC efectiva, expresada en cmol (+).kg<sup>-1</sup> suelo, para los dos marcos de plantación establecidos y para cada uno de los tratamientos aplicados. Los interva-

los mostrados se situaron entre 6 y 12 cmol (+).kg<sup>-1</sup> suelo, valores similares a los descritos por MOMBIELA Y MATEO (1984) y por LÓPEZ DÍAZ (2004) en suelos de monte de Galicia. Algunos de ellos se encuentran en el límite de 8-10 cmol (+).kg<sup>-1</sup> suelo descrito por PORTA et al. (1994) para considerar a un suelo fértil, lo que puede asociarse a que es un suelo arenoso.



**Figura 1.** C.I.C., expresada en cmol(+).kg<sup>-1</sup> suelo, obtenida en suelo en cada tratamiento sembrado con dactilo (Dg) y raigrás inglés (Lp), fertilizados con lodo (L), mineral (M) y no fertilizados (NF), repoblados con *Pinus radiata*. A marco de plantación 2x2 y 3x4. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ )

A elevadas densidades se produjo una disminución de la CIC efectiva en los tratamientos de no fertilización y en los de fertilización con lodo. El mismo efecto puede observarse a elevadas densidades, si bien en este caso las diferencias no resultaron significativas. La mejora de la CIC efectiva en el tratamiento mineral puede explicarse por el mayor pH que presentó este tratamiento (MOSQUERA-LOSADA et al., 2006) que es consecuencia de la menor extracción de nutrientes que se da en este tratamiento debido al menor desarrollo del arbolado. Por el contra-

rio, en terrenos de monte, con pHs más ácidos (4,5-5) se encontró que el aporte de lodo incrementaba el pH y por tanto la capacidad de intercambio catiónico efectiva. Sin embargo la CIC efectiva se veía fuertemente disminuida en el tratamiento mineral que originó una reducción significativa del pH (LÓPEZ-DÍAZ et al., 2004).

En la figura 2 se representa el porcentaje de cada uno de los elementos presentes en la CIC efectiva. Estos porcentajes variaron entre el 52-75% para el calcio, entre el 10-20% para el Mg y entre el 4 y el 26% para el aluminio. Tienen

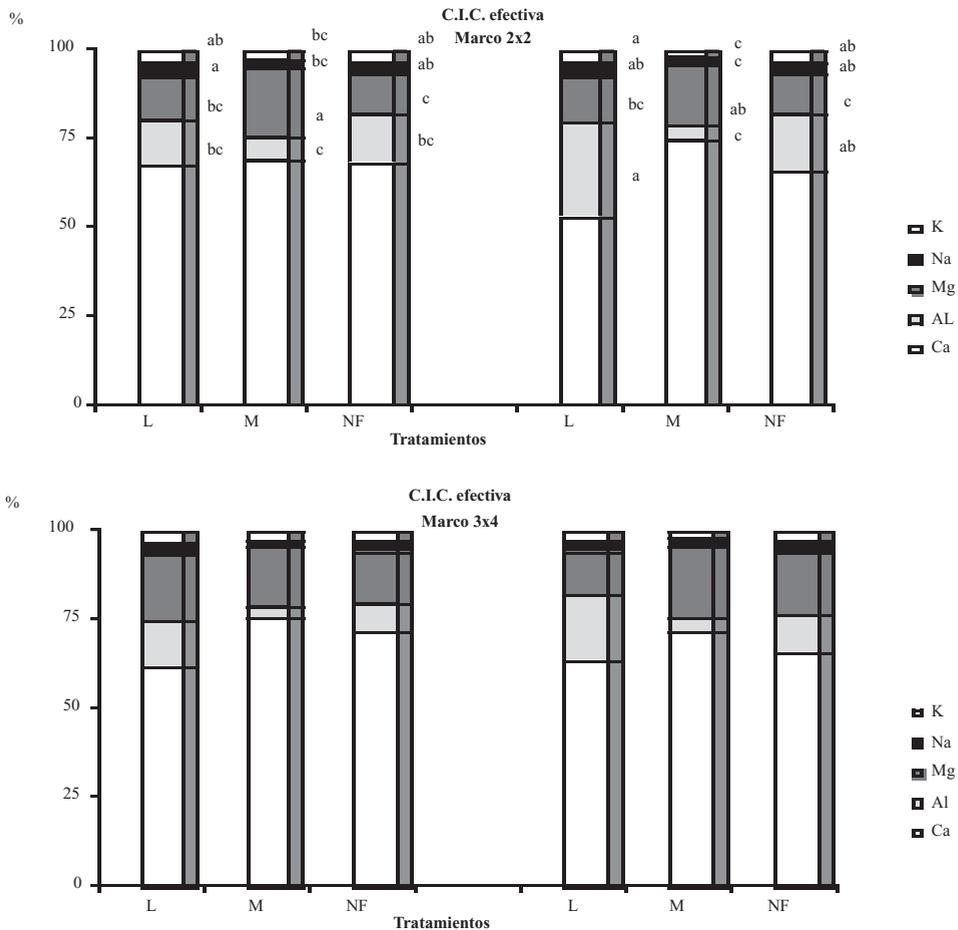


Figura 2. C.I.C efectiva, expresada en tanto por ciento, obtenida en suelo en cada tratamiento sembrado con dactilo (Dg) y raigrás inglés (Lp), fertilizados con lodo (L), mineral (M) y no fertilizados (NF), repoblados con Pinus radiata (Pino). A marco de plantación 2x2 y 3x4. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada marco de plantación

una menor presencia el Na (2-3.7%) y el K (2-4%). La abundancia relativa de los diferentes cationes coincide con la especificada por PORTA et al. (1994) para suelos de carácter ácido pero no en los extremadamente ácidos, en los que el aluminio es el que destaca.

En relación al efecto de los tratamientos se observó que no hay un efecto significativo de los mismos a densidades reducidas, si bien, es importante señalar que a densidades elevadas se detectó un efecto significativo de los mismos sobre los niveles de Ca, K, Na y Mg.

En relación al porcentaje de saturación de aluminio vemos que su rango de variación se encuentra dentro de lo que se considera adecuado para el cultivo de pastos (LÓPEZ-MOSQUERA, 1995). Se observa que se produce un incremento de la proporción de este elemento en la capacidad de intercambio catiónico efectiva en aquellos tratamientos en los que no se aplicó fertilización mineral ya que, como ya mencionamos era el que presentaba un cambio de pH más reducido, lo que hace que posea un menor porcentaje de saturación de aluminio.

De forma contraria a lo que sucedía con el aluminio, el porcentaje de magnesio se ve beneficiado en el tratamiento mineral. El magnesio es un elemento que se encuentra más disponible en suelos con pH intermedios (PORTA et al., 1994) que a pH ácidos, en donde es reemplazado por el aluminio, lo que sucede en nuestro caso. En suelos de monte la proporción de este elemento resulta por lo general muy reducida, incrementándose notablemente a medida que aumentamos la dosis de lodo debido a su mayor aporte, a su elevado contenido en magnesio, y al efecto colateral de incremento del pH originado por el aporte de lodo en terrenos más ácidos (LÓPEZ-DÍAZ et al., 2007).

Por otra parte se observa un aumento del nivel de la proporción de sodio en aquellos tratamientos con mayor desarrollo del arbolado (MOSQUERA-LOSADA et al., 2006). Estos niveles pueden justificarse por el hecho de que estamos en una zona relativamente próxima a la costa y porque la copa del pino radiata tiende a interceptar el sodio, que se incorpora al suelo bajo su copa (GIDDENS et al., 1997). De hecho, se observa que el contenido de sodio en el complejo de cambio es mayor en aquellos tratamientos en los que el

arbolado se desarrolló mejor (los tratamientos de NF y Lodo) (MOSQUERA-LOSADA et al., 2006).

Finalmente, los niveles del porcentaje de potasio resultaron ser significativamente más altos en los tratamientos L y NF, lo que puede explicarse por las mayores extracciones de K que realiza el pasto en comparación con el arbolado en el tratamiento mineral, en el que el arbolado se desarrolla peor.

Podemos concluir que en suelos agrícolas el aporte de lodo mejora el desarrollo del cultivo forestal y agrícola lo que en comparación con el tratamiento mineral, produce más extracciones, reduce el pH, la capacidad de intercambio catiónica e incrementa el porcentaje de saturación de aluminio, sodio y potasio, reduciéndose el de Magnesio. Esto indica que a la larga será necesario realizar aportes de cal en las parcelas que se fertilizan con lodo, esto es las más extractivas.

## BIBLIOGRAFIA

- FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E.; MOSQUERA-LOSADA, M.R. & RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; 2007. Economic evaluation of different land use alternatives: forest, grassland and silvopastoral systems. *Grassland Science in Europe* 12(in press).
- GIDDENS, K.M.; PARFITT, R.L. & PERCIVAL, H.J.; 1997. Comparison of some soil properties under Pinus radiata and improved pasture. *J. Agric. Res.* 40: 409-416.
- GUITIÁN-OJEA, F. Y CARBALLAS-FERNÁNDEZ, T.; 1976. *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- LÓPEZ-DÍAZ M.L.; 2004. *Fertilización con lodo de depuradora urbana en sistemas silvopastorales*. Tesis doctoral. USC. Santiago de Compostela.
- LÓPEZ-DÍAZ, M.L.; MOSQUERA-LOSADA, M.R. & RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; 2007. Lime, sewage sludge and mineral fertilization in a silvopastoral system developed in very acid soils. *Agroforestry Systems* 70(1): 91-101.
- LÓPEZ-MOSQUERA, M.E.; 1995. *Enmiendas. Corrección de la acidez: encalado. Gestión de la materia orgánica en explotaciones agrícolas*. Unicopia. Lugo.
- MOMBIELA, F.A. Y MATEO, M.E.; 1984. Necesidades de cal para praderas en terrenos

- de monte. 1. Su relación con el Al cambiante en suelos sobre granitos y pizarras de Galicia. *An. INIA. Secc. Agrícola* 25: 129-143.
- MOSQUERA-LOSADA, M.R.; FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E. & RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; 2006. Pasture, tree and soil evolution in silvopastoral systems of Atlantic Europe. *Forest Ecol. Manage.* 232(1-3): 135-145.
- MOSQUERA-LOSADA, M.R.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A. y RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; 1999. *Establecimiento y manejo de praderas*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Tórculo edicions. Santiago de Compostela.
- PORTA, J.; LÓPEZ, M. Y ROQUERO, C.; 1994. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- R.D. 1310/90 DE 29 DE OCTUBRE DE 1990. BOE 01.11.90
- RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA-LOSADA, M.R.; ROMERO-FRANCO, R.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M.P. & VILLARINO-URTIAGA, J.J.; 2005. Silvopastoral systems as a forest fire prevention technique. In: M.R. Mosquera-Losada, J. McAdam & A. Rigueiro-Rodríguez (eds.), *Silvopastoralism and Sustainable Land Management*: CABI. Wallingford.