

EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN UN SISTEMA SILVOPASTORAL ESTABLECIDO CON *QUERCUS RUBRA* L.

Nuria Ferreiro Domínguez, María Rosa Mosquera Losada y Antonio Rigueiro Rodríguez

Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. 27002-LUGO (España). Correo electrónico: nuria.ferreiro@usc.es, mrosa.mosquera.losada@usc.es, antonio.rigueiro@usc.es

Resumen

La acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera está directamente relacionada con el cambio climático global. Los sistemas agroforestales son una forma de manejo del territorio que se emplea con objeto de aumentar el almacén de carbono en suelo y en las especies que lo componen, en comparación con sistemas agrícolas. El objetivo de este estudio fue el de evaluar, cinco años después del establecimiento de un ensayo en suelos arenosos de Galicia, la evolución del contenido de carbono del suelo en un sistema silvopastoral establecido bajo *Quercus rubra* L. en el que se sembró pasto y se fertilizó con diferentes dosis de lodo de depuradora (100, 200 y 400 kg N total·ha⁻¹). Los resultados obtenidos mostraron un mayor porcentaje de carbono edáfico al final del experimento debido al establecimiento del pasto y del arbolado y a sus consiguientes aportes de materia orgánica al suelo, siendo el incremento de la materia orgánica mayor cuando se fertilizó con dosis medias de lodo de depuradora (200 kg N total·ha⁻¹) lo que favoreció el secuestro de carbono en el suelo.

Palabras clave: *Sistemas agroforestales, Roble Americano, Repoblación, Medio Ambiente, Secuestro de carbono*

INTRODUCCIÓN

Una de las principales amenazas ambientales de la actualidad, consecuencia directa de lo que es genéricamente conocido como efecto invernadero, es el cambio climático global, siendo el dióxido de carbono el gas de efecto invernadero de mayor importancia debido al gran volumen generado todos los años y al tiempo de residencia de este gas en la atmósfera (JOBÁGY & JACKSON, 2000). Ante esta situación de peligro ambiental, es necesario encontrar estrategias productivas, ecológicas y económicamente sustentables de mitigación de

los gases de efecto invernadero. Una alternativa sería el establecimiento de sistemas silvopastorales que son un tipo de sistema agroforestal en los que el arbolado y el pasto se manejan buscando una integración entre la producción maderera y animal (RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al., 2008). Los sistemas agroforestales son promovidos por la UE como formas sostenibles de manejo de la tierra (UE, 2005) y por el Protocolo de Kioto por su potencial de reducir las consecuencias negativas del efecto invernadero a través del secuestro de carbono, principalmente en el suelo, ya que la materia orgánica acumulada en el suelo es considerada el mayor

reservorio de carbono de los sistemas agroforestales (DIXON, 1995).

Como especie arbórea del sistema silvopastoral se podría utilizar *Quercus rubra* L. ya que es una frondosa frecuentemente usada en el establecimiento de sistemas silvopastorales (ROZADOS-LORENZO et al., 2007) debido a su crecimiento rápido, a su copa clara que permite el paso de la luz y parte del agua de lluvia al pasto y que durante el verano proporciona sombra a los animales. Además, al tratarse de una frondosa la cantidad de materia orgánica acumulada en el suelo va a ser mayor que en el caso de las coníferas debido a la rápida incorporación de las hojas al suelo en comparación con las acículas lo que va a favorecer el secuestro de carbono en el suelo (FERNÁNDEZ-NÚÑEZ et al., 2010).

Por otro lado, en los sistemas silvopastorales gallegos la productividad de los componentes herbáceo y arbóreo se ve limitada por la baja fertilidad del suelo (ZAS & ALONSO, 2002). Una opción que mejoraría la fertilidad del suelo y que ha sido adoptada en muchos países alrededor del mundo sería el empleo de los lodos de depuradora urbana como fertilizante, ya que son ricos en materia orgánica, N y P (MOSQUERA-LOSADA et al., 2010) y su producción está asegurada a partir de la Directiva 91/271/CEE (UE, 1991), que obliga en la actualidad a depurar las aguas residuales en todas las poblaciones con más de 2.000 habitantes. Sin embargo, el uso agrícola de los lodos de depuradora presenta una problemática asociada a su elevado contenido en metales pesados en comparación con los niveles del suelo (SMITH, 1996). Por este motivo, en España la legislación vigente (Real Decreto 1310/1990) (MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN, 1990) regula la utilización agrícola de los lodos de depuradora, estableciendo unos valores límite máximo de concentración de metales pesados en el suelo y en el lodo, para que éste pueda ser empleado como fertilizante en agricultura. Por lo tanto, las dosis de lodo de depuradora que se pueden aplicar al suelo van a depender de la cantidad de metales pesados y también del contenido de N en el lodo y de la proporción de N que es fácilmente mineralizable durante el primer año tras la aplicación del residuo (EPA, 1994; SMITH, 1996) ya que si las dosis de lodo de depuradora son muy superiores a las

necesidades del cultivo existe riesgo de que se produzca un lavado de nitratos a través del perfil del suelo provocando una contaminación de las aguas (EPA, 1994).

El objetivo de este estudio fue el de evaluar la evolución de la materia orgánica del suelo cinco años después del establecimiento de un sistema silvopastoral bajo *Quercus rubra* L. en suelos arenosos de Galicia fertilizados con diferentes dosis de lodo de depuradora (100, 200 y 400 kg N total·ha⁻¹).

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en una finca agrícola abandonada situada en la localidad de Baltar, perteneciente al Ayuntamiento de A Pastoriza (Lugo), a una altitud de 550 m sobre el nivel del mar. El estudio se inició en el año 2001 con las labores de preparación de la finca consistentes en un desbroce y un pase cruzado de grada de discos. A estas actividades le siguió el establecimiento de una pradera mediante siembra a voleo de *Dactylis glomerata* L. var. Artabro (12,5 kg·ha⁻¹), *Lolium perenne* L. var. Brigantia (12,5 kg·ha⁻¹) y *Trifolium repens* L. var. Huia (4 kg·ha⁻¹) tras la cual se plantó *Quercus rubra* L. a raíz desnuda, procedente de un vivero de la zona, a una densidad de 1.112 pies·ha⁻¹ (marco de plantación de 3 x 3 m). La distribución de los distintos tratamientos se realizó mediante un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. El área de estudio se dividió en 12 parcelas o unidades experimentales de 144 m² y en cada una de ellas se plantaron 25 árboles, quedando definidas las unidades experimentales por cuadrados que contienen 5 x 5 árboles. Los tratamientos establecidos fueron: (a) no fertilización (0N); (b) fertilización con lodo de depuradora urbana digerido anaeróbicamente con un aporte de 100 kg·N·total·ha⁻¹ (100N); (c) fertilización con lodo de depuradora urbana digerido anaeróbicamente con un aporte de 200 kg N total·ha⁻¹ (200N) y (d) fertilización con lodo de depuradora urbana digerido anaeróbicamente con un aporte de 400 kg N total·ha⁻¹ (400N).

La fertilización con lodo procedente de la depuradora urbana de la ciudad de Lugo se realizó en marzo de los años 2002 y 2003. Las

dosis de lodo que se aplicaron se calcularon teniendo en cuenta el porcentaje de N total y el contenido de materia seca de los lodos de depuradora y siguiendo las recomendaciones de la EPA (1994) que señala que alrededor del 25% del N total aplicado va a ser mineralizado el primer año tras la aplicación del lodo al suelo. Además, también se consideraron la Directiva Europea 86/278/CEE (UE, 1986) y el Real Decreto 1310/1990 (MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN, 1990) en los que se establece, entre otros aspectos, los niveles máximos de metales en suelo y en el lodo que no deben sobrepasarse para el empleo de los lodos en agricultura.

Para determinar el contenido de materia orgánica del suelo se recogieron en cada parcela de forma aleatoria muestras de suelo con una sonda a una profundidad de 25 cm tal y como se describe en Real Decreto 1310/90 (MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN, 1990) en marzo del año 2003 y en enero de los años 2004, 2005, 2006 y 2007. En el laboratorio, las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas empleando un tamiz con luz de 2 mm. Para la obtención del contenido de materia orgánica del suelo primero se determinó el contenido de carbono total por oxidación con dicromato potásico en medio ácido y se valoró con una sal de sulfato ferroso (sal de Mohr) siguiendo el método Saverlandt (GUITIÁN Y CARBALLÁS, 1976). El porcentaje de materia orgánica se calculó multiplicando el contenido de carbono total del suelo por el factor de VAN BEMMELEN (1,724).

Los datos obtenidos se analizaron mediante el empleo de ANOVA de medidas repetidas (proc glm) aplicando el criterio de Mauchly para probar la esfericidad y siguiendo el modelo $Y_{ijk} = \mu + A_i + T_j + TA_{ji} + \varepsilon_{ijk}$, donde Y_{ijk} es la variable estudiada, \bar{I} es la media de la variable, A_i es el año i , T_j indica el tratamiento j , TA_{ji} es la interacción tratamiento año y ε_{ijk} es el error. Las diferencias entre medias fueron mostradas por el test LSD, utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de materia orgánica del suelo fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en los dos últimos años de estudio (2006 y 2007) que en el año 2005 (Figura 1). Este incremento de la materia orgánica del suelo puede explicarse por el establecimiento del pasto y del arbolado del sistema silvopastoral y sus consiguientes aportes de materia orgánica al suelo procedentes de los restos del pasto y de las raíces y de las hojas de *Quercus rubra* L. (NIEDER et al., 2003). Otros autores, en sistemas silvopastorales establecidos en la misma zona con *Pinus radiata* D. Don y *Betula alba* L. (FERNÁNDEZ-NÚÑEZ et al., 2010) y con *Populus canadensis* Moench. (MOSQUERA-LOSADA et al., 2011) también han observado un incremento de la materia orgánica del suelo al establecerse el pasto y el arbolado, lo cual es indicativo de la gran importancia ecológica de los sistemas silvopastorales que se caracterizan por su capacidad de secuestrar carbono en el

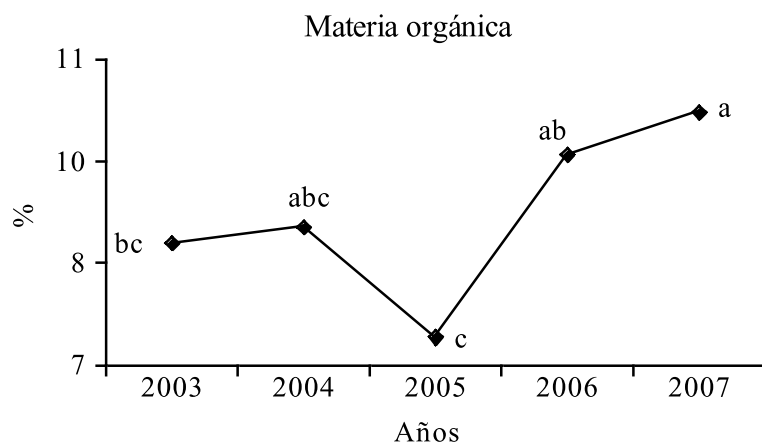


Figura 1. Contenido de materia orgánica del suelo (%) en los años estudio 2003, 2004, 2005, 2006 y 2007. Letras diferentes indican diferencias significativas entre años

suelo y así regular las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera (HOWLETT et al., 2011). En estudios previos, ya se ha demostrado que el establecimiento de sistemas silvopastorales favorece la fijación de carbono en el suelo a través de la repoblación con diferentes especies arbóreas que se traduce en una mayor capacidad de almacenar carbono de forma más duradera en comparación con los sistemas exclusivamente agrícolas (MONTAGNINI & NAIR, 2007; FERNÁNDEZ-NÚÑEZ et al., 2010). Sin embargo la cantidad de carbono acumulada en el suelo va a depender entre otros factores de la especie arbórea introducida, siendo mayor en el caso de frondosas como *Quercus rubra* L. que de coníferas debido a la mayor incorporación al suelo de los restos vegetales.

En cuanto al efecto de los tratamientos de fertilización aplicados, en la Figura 2 se observa un incremento significativo del porcentaje de materia orgánica del suelo al fertilizar con dosis medias de lodo de depuradora (200N) en comparación con las dosis bajas (100N) y altas (400N). Las diferencias en el porcentaje de materia orgánica del suelo encontradas entre las dosis bajas (100N) y medias (200N) de lodo pueden explicarse por una parte por el mayor aporte de materia orgánica al suelo que supone la fertilización con dosis medias (200N) que con dosis bajas (100N) y por otro lado por la mayor producción de pasto y crecimiento del arbolado encontrado en las parcelas fertilizadas con dosis medias (200N) (FERREIRO-DOMÍNGUEZ et al.,

2011), en las cuales probablemente la entrada de restos vegetales al suelo va a ser mayor que el caso de las parcelas fertilizadas con dosis bajas (100N) y por lo tanto el contenido de materia orgánica también va a ser mayor siempre y cuando las condiciones edafo-climáticas sean adecuadas (MOSQUERA-LOSADA et al., 2011). Por otro lado, el menor contenido de materia orgánica del suelo observado en las parcelas fertilizadas con dosis altas de lodo (400N) en comparación con las dosis medias (200N) probablemente sea debido al mayor aporte de Ca al suelo que se está haciendo al fertilizar con dosis altas (400N) (229,95 kg CO₃Ca·ha⁻¹) que con dosis medias de lodo (200N) (115 kg CO₃Ca·ha⁻¹) lo que implica una mayor tasa de mineralización y por lo tanto una reducción del porcentaje de materia orgánica del suelo en el tratamiento con dosis altas (400N) (WILD, 1992). Este resultado fue previamente descrito por RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al. (2011) en un sistema silvopastoral establecido en Galicia con *Pinus radiata* D. Don y con dosis de lodo superiores a las de nuestro estudio (160, 320 y 480 kg N total·ha⁻¹).

CONCLUSIONES

El establecimiento del pasto y del arbolado supuso un incremento de la materia orgánica del suelo con el paso del tiempo lo que favoreció el secuestro de carbono, siendo el contenido de

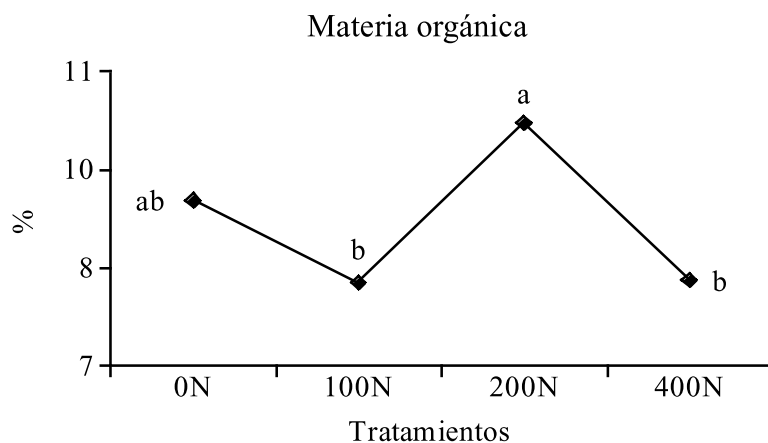


Figura 2: Contenido medio de la materia orgánica del suelo (%) de los años de estudio (2003, 2004, 2005, 2006 y 2007) para los distintos tratamientos aplicados. Donde: 0N: no fertilización; 100N: 100 kg N total·ha⁻¹; 200N: 200 kg N total·ha⁻¹ y 400N: 400 kg N total·ha⁻¹. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos

materia orgánica del suelo mayor al fertilizar con dosis medias (200N) que con dosis bajas (100N) y altas (400N) de lodo de depuradora. Por lo tanto, es aconsejable el establecimiento de sistemas silvopastorales y su fertilización con lodos de depuradora ya que, a la vez que se reducen las emisiones de carbono a la atmósfera, la fertilización con lodo puede incrementar la producción de los componentes herbáceo y arbóreo del sistema silvopastoral.

Agradecimientos

Los trabajos de investigación conducentes a la elaboración de este trabajo se realizaron con recursos económicos cofinanciados por el FEDER, a través de la ayuda concedida al grupo de investigación de Sistemas Silvopastorales de la Universidad de Santiago de Compostela en el marco de la convocatoria de la Xunta de Galicia de ayudas para la consolidación y estructuración de unidades de investigación competitivas del Sistema Universitario de Galicia.

BIBLIOGRAFÍA

- DIXON, R.K.; 1995. Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforest. Syst.* 31: 99–116.
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY); 1994. *Land application of sewage sludge. A guide for land appliers on the requirements of the federal standards for the use of disposal of sewage sludge.* 40 CFR Part 503.
- FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A. & MOSQUERA-LOSADA, M.R.; 2010. Carbon allocation dynamics one decade after afforestation with *Pinus radiata* D. Don and *Betula alba* L. under two stand densities in NW Spain. *Ecol. Eng.* 36: 876–890.
- FERREIRO-DOMÍNGUEZ, N.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A. & MOSQUERA-LOSADA, M.R.; 2011. Response to sewage sludge fertilisation in a *Quercus rubra* L. silvopastoral system: soil, plant biodiversity and tree and pasture production. *Agric. Ecosyst. Environ.* 141: 49-57.
- JOBBÁGY, E.G. & JACKSON, R.B.; 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl.* 10: 423-36.
- GUITIÁN, F. Y CARBALLÁS, T.; 1976. *Técnica de análisis de suelos.* Editorial Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- HOWLETT, D.S.; MORENO, G.; MOSQUERA LOSADA, M.R.; NAIR, P.K.R. & NAIR, V.D.; 2011. Soil carbon storage as influenced by tree cover in the Dehesa cork oak silvopasture of central-western Spain. *J. Environ. Monit.* 13: 1897–1904
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN; 1990. Real Decreto 1310/1990 del 29 de Octubre de 1990, que regula la utilización de los lodos de depuración Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación. *BOE* 01/11/1990.
- MONTAGNINI, F. & NAIR, P.K.R.; 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforest. Syst.* 61: 281–295.
- MOSQUERA-LOSADA, M.R.; MUÑOZ-FERREIRO, N. & RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; 2010. Agronomic characterization of different types of sewage sludge: policy implications. *Waste Manage.* 30: 492–503.
- MOSQUERA-LOSADA, M.R.; MORÁN-ZULOAGA, D. & RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; 2011. Effects of lime and sewage sludge on soil, pasture production and tree growth in a six year old *Populus canadensis* Moench silvopastoral system. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174 (1): 145–153.
- NIEDER, R.; BENBI, D.K. & ISERMANN, K.; 2003. Soil organic matter dynamics. In: D.K. Benbi & R. Nieder (eds.), *Handbook of Processes and Modelling in the Soil-Plant System*: 346-408. Haworth Press. London.
- RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, P.; MCADAM, J.H. & MOSQUERA-LOSADA, M.R.; 2008. Agroforestry systems in Europe: Productive, ecological and social perspectives. In: A. Rigueiro-Rodríguez, J.H. McAdam & M.R. Mosquera-Losada (eds.), *Advances in Agroforestry Series, Vol. 6, Agroforestry in Europe*: 43-66. Springer. Dordrecht.
- RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; LÓPEZ-DÍAZ, M.L. & MOSQUERA-LOSADA M.R.; 2011. Organic matter and chromium evolution in herbage

- and soil in a *Pinus radiata* silvopastoral system in northwest Spain after sewage sludge and lime application. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 42: 1551-1564.
- ROZADOS-LORENZO, M.J.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M.P. & SILVA-PANDO, F.J.; 2007. Pasture production under different tree species and densities in an Atlantic silvopastoral system. *Agroforest. Syst.* 70: 53-62.
- SAS; 2001. *User's Guide: Statistics*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- SMITH, S.R.; 1996. *Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment*. CAB International. Wallingford, UK.
- UE; 1986. Directiva 86/278/CEE del Consejo de 12 de junio de 1986 relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura. *DOCE* 181 del 4/07/1986.
- UE; 1991. Directiva 91/271/CEE del Consejo de 12 de junio de 1986 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. *DOCE* 135 del 30/05/1991.
- UE; 2005. Reglamento 1698/2005 del Consejo de 21 de mayo de 1991, relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER). *DOCE* 277 del 20/09/2005.
- WILD, A.; 1992. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Mundi-Prensa. Madrid.
- ZAS, R. & ALONSO, M.; 2002. Understory vegetation as indicators of soil characteristics in northwest Spain. *Forest Ecol. Manage.* 171: 101-111.