

2

TRABAJOS CIENTÍFICOS

EFFECTO DE LA ÉPOCA DE FERTILIZACIÓN CON DISTINTAS DOSIS DE LODOS DE DEPURADORA URBANA Y COMPLEMENTACIÓN CON POTASIO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE PRADERAS

A. RIGUEIRO-RODRÍGUEZ¹, M.L. LÓPEZ-DÍAZ² Y M.R. MOSQUERA-LOSADA¹

¹Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. 27002 Lugo (España). ²Departamento de Biología y Producción de los Vegetales. Centro Universitario de Plasencia. Universidad de Extremadura. Avenida Virgen del puerto, 2. 10600 Plasencia. Cáceres (España).

RESUMEN

El objetivo de este experimento fue estudiar el efecto de la fertilización con distintas dosis de lodo, en diferentes épocas de aplicación, así como la complementación de las mismas con potasio, sobre la evolución de la producción, composición botánica, calidad del pasto y características edáficas, en el establecimiento de praderas. El experimento se desarrolló en dos ensayos: 1) Siembra de dactilo y trébol blanco; 2) Siembra de dactilo, raigrás inglés y trébol blanco.

Los tratamientos de fertilización aplicados en ambos ensayos fueron: a) tres dosis de nitrógeno fácilmente mineralizable (25% del total): 40 kg N/ha (L40), 80 kg N/ha (L80) y 120 kg N/ha (L120) en forma de lodo de depuradora urbana; b) las mismas dosis de lodo pero complementadas con 200 kg/ha de K₂O (L40K, L80K y L120K); c) y un blanco (L0). Se fertilizó en otoño el ensayo 1 y en primavera el ensayo 2.

El aumento de la dosis de lodo incrementó la producción de pasto pero originó una menor eficiencia en el uso del nitrógeno, lo que puede derivar en un mayor lavado y contaminación. La aplicación de lodo durante la primavera aumentó la producción de pasto, la proporción de trébol y el contenido proteico, mejorando además la eficiencia en el uso de este fertilizante.

La época y la dosis de aplicación de lodo repercute de forma notable en la eficiencia del abono orgánico, así como en su posible poder contaminante, de ahí que sea importante optimizar estos dos factores a la hora de aportar este residuo.

Palabras clave: Eficiencia, nitrógeno, trébol.

INTRODUCCIÓN

El uso de fertilizantes es el principal factor simple que el ganadero tiene a su alcance para incrementar y predecir la producción de sus prados. La utilización racional de los abonos, especialmente los nitrogenados, se está convirtiendo en una necesidad apremiante en los países desarrollados, ya que el abuso de estos fertilizantes puede provocar enfermedades en el ganado (timpanismo) y se relaciona directamente con la problemática de la contaminación de las aguas (eutrofización) (Greenwood, 1990; Jarvis y Barraclough, 1991).

La utilización de abonos orgánicos procedentes de residuos está en concordancia con los criterios de sostenibilidad y reciclado que la Unión Europea está potenciando de forma importante a través de varias directivas (91/676/EC, 2078/92, 2080/92, 96/61/EC y 182/1999/EC). Más aún, la abundancia de estos materiales en los países europeos, sobre todo de lodos de depuradora urbana, de los que se espera un incremento medio de entre el 40 y el 300% hasta el año 2005, hace aconsejable considerar su utilización en agricultura (Bontoux *et al.*, 1998). A la previsión de un importante aumento de producción de lodos hay que añadir las limitaciones ya existentes (vertido de estos materiales al mar) o que se van a producir (transporte a vertederos) para su eliminación, sin olvidar la importante contaminación y el elevado coste de otras vías como su procesado mediante incineración (Mateu *et al.*, 1999; Oms-Mollá, 1999). Todo ello explica la conveniencia de realizar estudios acerca del manejo que se puede dar a estos productos para su uso agrícola.

Las recomendaciones de manejo en el empleo de lodos como fertilizante, una vez tenida en cuenta la concentración de metales pesados, debe realizarse tomando como base su contenido en nitrógeno (EPA, 1994), ya que en primer lugar este elemento no se almacena en el suelo cuando está en forma de nitrato, lo que implica que si la planta no lo consume se puede perder por lixiviación, y en segundo lugar su proporción en estos residuos suele ser muy superior a la de los otros dos macronutrientes esenciales: el fósforo y el potasio (Smith, 1996; Mosquera-Losada y Rigueiro-Rodríguez, 2002). El bajo contenido de fósforo y potasio en comparación con el nitrógeno, puede ocasionar deficiencias en el suelo si no se realizan aportes paralelos y continuados de los mismos. No obstante, el fósforo es un elemento que, debido a las aportaciones importantes -excesivas e indiscriminadas a veces- que se realizaron en determinadas zonas de cultivo, puede estar presente en cantidades apreciables en los suelos cultivados (Daniel *et al.*, 1998). Por otra parte, el potasio es un macronutriente que puede ser consumido en proporciones elevadas por determinadas especies pratenses, como los tréboles, y que

influye notablemente en la evolución de la composición botánica de las praderas (Mosquera-Losada y González-Rodríguez, 2002), al aumentar precisamente la proporción de estas leguminosas que, a su vez, son una fuente gratuita de nitrógeno, a través de la fijación simbiótica. Las notables y diversas ventajas de la presencia de los tréboles en las praderas han sido citadas por numerosos autores (Frame y Newbould, 1986; Harris *et al.*, 1998).

El clima es uno de los factores que, en mayor medida, va a afectar tanto a la disponibilidad de nitrógeno de los abonos orgánicos para las plantas, como a su capacidad contaminante, ya que el aumento de la temperatura y la humedad favorecerán la tasa de mineralización y la lixiviación. En buena parte de Galicia, los inviernos son suaves y la experiencia indica que la mejor estación para realizar la siembra es el otoño, lo que permitirá realizar un mejor y mayor aprovechamiento del pasto en la primavera siguiente, que suele emplearse para ensilar. En general, la aplicación de abonos orgánicos depende del tipo de fertilizante empleado y de la proporción de nitrógeno mineral y orgánico presente en el mismo. Así, el estiércol se recomienda aportarlo en el momento de la siembra, para favorecer su incorporación al suelo y su utilización por el cultivo durante la estación siguiente, pero el purín se utiliza en fechas más próximas a la cosecha. Si se realiza la fertilización con residuos orgánicos que presentan fracciones nitrogenadas con mayor facilidad para mineralizar (purín) en el momento de la siembra, esto podría conducir a importantes lavados de nitrógeno debido a las abundantes precipitaciones que suelen producirse en la zona templada atlántica durante el periodo en el que la producción de pasto está limitada por las bajas temperaturas, pérdidas que reducirían la respuesta productiva en la estación siguiente. En la zona que nos ocupa (Lugo) la fertilización con lodo, al igual que con estiércol, se efectúa casi siempre en el establecimiento de la pradera, porque el fresado y el gradeo facilita su incorporación al suelo, y este material no es fácil de distribuir uniformemente. El aporte de lodo se realiza en una única dosis, no sólo por la dificultad de su distribución, sino porque a diferencia de lo que ocurre con otros residuos (purín) el lodo contiene una mayor proporción de nitrógeno orgánico en relación al inorgánico (nitratos y amonio), lo que implica una liberación más lenta. El objetivo de este trabajo fue el estudio del efecto sobre la productividad de praderas de mezclas de raigrás inglés, dactilo y trébol blanco y sobre distintos parámetros edáficos de la aplicación, en dos épocas diferentes, de distintas dosis de lodo de depuradora urbana, que se complementaron, o no, con potasio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los ensayos, que estaban separados tres metros entre sí, se realizaron sobre un terreno agrícola abandonado situado en Lugo (Galicia), en el noroeste de España, a una altitud de 450 m.s.n.m. La zona de ensayo estuvo sometida a idénticos tratamientos previos, ya que había sido utilizada para el cultivo de la patata (los dos años anteriores al establecimiento de los ensayos) y para pastos (largo período de tiempo antes del cultivo de la solanácea). La precipitación media anual de la zona es de 1350 mm y la temperatura media anual de 12°C. Los análisis de suelo que se realizaron a partir de muestras recogidas inmediatamente antes de la instalación del ensayo indican que se trata de un suelo bastante fértil, ya que es ligeramente ácido al presentar un pH en agua de 6,5 según el método descrito por Guitián y Carballas (1976) y con unos niveles altos de fósforo total que alcanzan las 28 ppm (digestión microkjeldahl (Castro *et al.*, 1990)). Después de realizar una extracción del suelo con acetato amónico (Guitián y Carballas, 1976) se obtienen unos valores medios de potasio que rondan las 86 ppm y una capacidad de intercambio catiónico efectiva débil de 6,7 meq/100g.

El establecimiento de los ensayos se inició en el otoño del año 1997. Para ello, previamente a la siembra, se realizó un desbroce con desbrozadora de cadenas y un pase de grada. A continuación, se procedió a la instalación de dos ensayos. En el ensayo 1 se sembraron 25 kg/ha de *Dactylis glomerata* cv 'Artabro' y 4 kg/ha de *Trifolium repens* cv 'Huia', mientras que en el ensayo 2 se sembraron 25 kg/ha de *Lolium perenne* cv 'Brigantia', 10 kg/ha de *Dactylis glomerata* cv 'Artabro' y 4 kg/ha de *Trifolium repens* cv 'Huia'. Después de la siembra, ambos ensayos fueron fertilizados con 120 kg/ha de P₂O₅ y 200 kg/ha de K₂O, en forma de abono mineral. La fertilización de fondo en el momento de la siembra se efectuó en todas las parcelas, con el objeto de simular el manejo típico de la zona, lo que probablemente minimice la respuesta en los primeros años de estudio.

Los tratamientos de fertilización aplicados en ambos ensayos fueron: a) tres dosis de nitrógeno orgánico fácilmente mineralizable: 40 kg N/ha (L40), 80 kg N/ha (L80) y 120 kg N/ha (L120), en forma de lodo de depuradora urbana; b) las mismas dosis de lodo pero complementadas con 200 kg/ha de K₂O (L40K, L80K y L120K); c) un testigo (L0). Se entiende que la fracción de nitrógeno del lodo fácilmente mineralizable está alrededor del 25% del nitrógeno total, tal y como señala la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (EPA, 1994) para el primer año de aplicación en suelo de lodos digeridos anaeróbicamente, lo que significa un aporte total de nitrógeno de 160, 320 y 480 kg N/ha para las dosis baja, media y alta de lodo, respectivamente.

El lodo se aplicó justo antes de la siembra en el ensayo 1 (15 de octubre de 1997), incorporándose mediante pases de grada y fresa, aplicándose el potasio en cobertera a los tratamientos correspondientes antes de sembrar. En el ensayo 2, el lodo y el potasio se aplicaron en cobertera a principios de primavera (25 de marzo de 1998), después de realizar un “corte de limpieza” de escasa productividad.

En cada uno de los ensayos, siguiendo un diseño de bloques al azar en el ensayo 1 y completamente aleatorizado en el ensayo 2, se procedió a la instalación de tres pequeñas parcelas (2 x 4 m²) por cada uno de los siete tratamientos de fertilización (L0, L40, L80, L120, L40K, L80K, L120K).

El lodo empleado procedía de una planta de depuración de aguas urbanas situada en Lugo, gestionada por la empresa Gestagua S.A., que procesa los residuos municipales mediante digestión anaerobia. El contenido en materia seca del lodo era del 25%, el pH de 7, y los contenidos totales en carbono, nitrógeno, fósforo y fósforo Olsen de 19,27%, 3,21%, 2,11% y 839 ppm, respectivamente. Se trata de un lodo de buena calidad, con valores de fósforo más altos de los habituales que por término medio rondan el 1,5% para esta planta depuradora (Mosquera-Losada y Rigueiro-Rodríguez, 2002) aunque el contenido de K que es muy bajo (0,21%) con respecto a los otros nutrientes principales, como es habitual. El contenido en metales pesados no superó en ningún caso los niveles establecidos por la legislación española actual para el uso agrícola de estos residuos (RD 1310/1990).

El aprovechamiento se realizó mediante siega. Durante el año 1998 se efectuaron cuatro cortes de pasto en cada uno de los ensayos. En el ensayo 1, los cortes se realizaron el 2 de abril, 8 de mayo, 1 de julio y 16 de noviembre, mientras que en el ensayo 2 tuvieron lugar el 5 de mayo, 9 de junio, 20 de julio y 23 de noviembre. Previamente a cada corte se tomaron al azar cuatro muestras de pasto de 0,09 m², en cada una de las 42 parcelas, de 2 x 4 m. En el laboratorio, dos de las cuatro muestras procedentes de cada parcela fueron pesadas en verde y secadas en una estufa a 70°C para estimar la producción, al igual que las otras dos, una vez realizada la separación botánica manual. Posteriormente, se analizaron en las dos muestras que no fueron separadas botánicamente la concentración de nitrógeno (para estimar la proteína bruta) y fósforo, empleando un autoanalizador de flujo continuo TRAACS-800+ (Castro *et al.*, 1990).

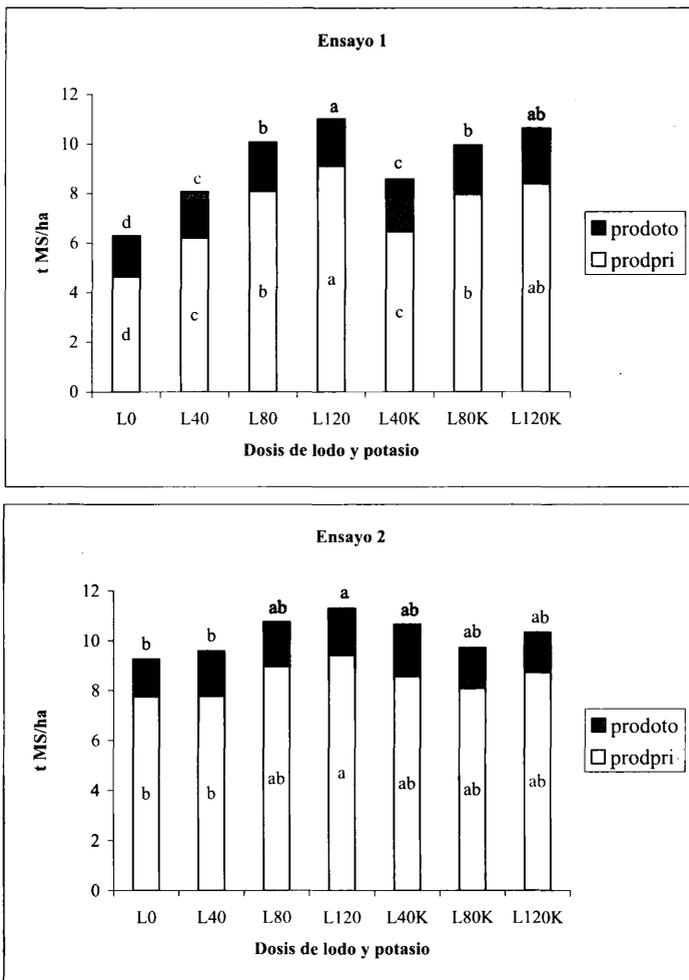
Además, en cada corte se tomó una muestra de suelo a una profundidad de 25 cm por parcela, tal y como señala la normativa vigente (RD 1310/1990), en las que se determinó el pH en agua (1:2,5) (Guitián y Carballas, 1976), materia orgánica (Guitián y Carballas, 1976), contenido en nitrógeno (Castro *et al.*, 1990) y fósforo Olsen (Olsen y Dean, 1965), estos dos últimos empleando el autoanalizador TRAACS-800+.

Los datos se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) y las medias han sido separadas mediante el test LSD. Como los dos ensayos son independientes y los diferentes tratamientos no fueron aleatorizados globalmente, se procedió al análisis estadístico por separado. Las variables analizadas en el suelo fueron pH, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo Olsen, mientras que en pasto fueron: producción (primavera, otoño y anual), composición botánica, concentración de proteína y fósforo y extracciones totales de nitrógeno y fósforo. Los factores estudiados fueron los tratamientos y, en el caso de la concentración de proteína y fósforo, el corte. La eficiencia en el aporte de nitrógeno se estimó a través del cociente entre el nitrógeno extraído en relación al aportado, ya que en nuestro caso, no sería correcto calcularlo como "recuperación aparente" mediante el cálculo de la diferencia entre el nitrógeno del pasto fertilizado menos el nitrógeno presente en un pasto similar sin fertilizar, dividido todo ello por la cantidad de nitrógeno aportado, ya que según señala Whitehead (1995) se entiende que el aporte de nitrógeno realizado por el pasto sin fertilizar se refiere al que suministrarían todas las fuentes de nitrógeno no procedentes de la fertilización propiamente dicha, como la mineralización del suelo o la fijación nitrogenada (leguminosas). En nuestro caso, existen grandes diferencias en la proporción de trébol presente en las parcelas abonadas y el testigo, lo que hace que éste último no pueda ser considerado "un pasto similar" y nos llevaría a infravalorar la eficiencia del nitrógeno aportado en las parcelas fertilizadas.

RESULTADOS

La producción de pasto en primavera, otoño y total anual en los ensayos 1 y 2, se presenta en la Figura 1. En el ensayo 1 el aporte de los lodos aumentó la producción, tanto primaveral como anual. Sin embargo, en el ensayo 2, sólo con la dosis alta hubo una respuesta positiva al aporte de lodos, en términos de producción. Además, en este último ensayo, cuando se complementaron las distintas dosis de lodo con potasio, las producciones de pasto fueron equivalentes al testigo, independientemente de la dosis de lodo aplicada. En ningún caso se encontró un efecto residual significativo en otoño.

El aumento de producción debido a la aplicación de dosis crecientes de lodo fue mucho mayor en el ensayo 1, pasando de una producción anual de 8,0 t MS/ha cuando se fertilizó con la dosis baja de lodo (L40), a 11,01 t MS/ha cuando se aplicó la dosis alta de lodo (L120), mientras que en el ensayo 2 los valores correspondientes fueron 9,3 t MS/ha y 11,3 t MS/ha. La mayor producción del ensayo 2 queda patente sobre todo con la dosis baja de lodo (L40).



Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias de la producción primaveral y total

FIGURA 1

Producción de pasto (t MS/ha) en primavera (prodpri), otoño (prodoto) y anual (prodoto+prodpri) en los distintos tratamientos en los ensayos 1 y 2. Tratamientos: L0: no-fertilización; L40: dosis baja de lodo; L80: dosis media de lodo; L120: dosis alta de lodo; L40K: dosis baja de lodo complementada con potasio; L80K dosis media de lodo complementada con potasio; L120K: dosis alta de lodo complementada con potasio.

Annual, spring (prodpri) and autumn (prodoto) yield (t DM/ha) in the different treatments of trials 1 and 2. Treatments: L0: no-fertilization; L40: Low sludge dose; L80: medium sludge dose; L120: high sludge dose; L40K: low sludge dose complemented with potassium; L80K medium sludge dose complemented with potassium; L120K: high sludge dose complemented with potassium.

En la Figura 2, se muestra el efecto de los distintos tratamientos sobre la proporción de cada una de las especies pratenses sembradas y de las especies adventicias. En el ensayo 1, *Lolium perenne* es adventicia, pero para hacer más comparables los resultados, y dado que el raigrás inglés es una especie de muy buena calidad y muy deseable en el pasto, se separó de las adventicias. En este estudio es importante valorar que las mezclas de siembra fueran diferentes inicialmente, pero curiosamente se obtuvo una mayor proporción de raigrás donde esta especie no fue sembrada (ensayo 1), lo que hace pensar que es la época de fertilización y su eficiencia, y no la mezcla de siembra, lo que afecta al buen desarrollo de esta especie, bien adaptada a zonas fértiles, siempre que se siembre o exista un importante número de semillas de raigrás en el banco de semillas del suelo. Por este motivo, si bien es cierto que se podría afirmar que la producción fue mayor cuando se fertilizó en primavera porque el máximo crecimiento del raigrás ocurre en el período de principios/mediados de primavera, mientras que el dactilo crece más a finales de primavera/principios de verano/otoño, en nuestro ensayo, la menor proporción de dactilo en las parcelas sembradas en otoño permite atribuir la mayor producción primaveral a la fertilización.

Las parcelas del ensayo 2 presentaron una elevada proporción de trébol en la primavera, desde un 20% (L80K) hasta un 46% (L0), mientras que en el ensayo 1 se pasó de un 5%, en el tratamiento L120, a un 37%, en el tratamiento L0. En general, la presencia de esta especie se redujo al aumentar la dosis de lodo aplicada, principalmente en el ensayo 1. En el ensayo 2, se observó un considerable incremento de la proporción de trébol cuando la dosis baja de lodo se complementó con potasio, igualando casi el resultado obtenido con el tratamiento L0.

En otoño, el contenido de trébol tan solo varió significativamente según el tratamiento aplicado en el ensayo 2. En general, la presencia de trébol disminuyó en otoño, respecto a la primavera, aunque de forma más evidente en las parcelas del ensayo 1, con proporciones comprendidas en el intervalo 0-6%, mientras que en el ensayo 2, la proporción de trébol varió desde el 7%, en el tratamiento L120K, al 28%, en el tratamiento L0, lo que probablemente se explica por la agresividad del dactilo frente a esta especie, más representada en otoño en el ensayo 1.

Las proporciones de dactilo+raigrás inglés siguieron un patrón de comportamiento, respecto a la aplicación de lodo, inverso al observado en el trébol. El efecto de la fertilización con lodo fue positivo y significativo en el contenido de dactilo+raigrás primaveral, para cada nivel de potasio, en los dos ensayos, excepto para el tratamiento L80, en el ensayo 2.

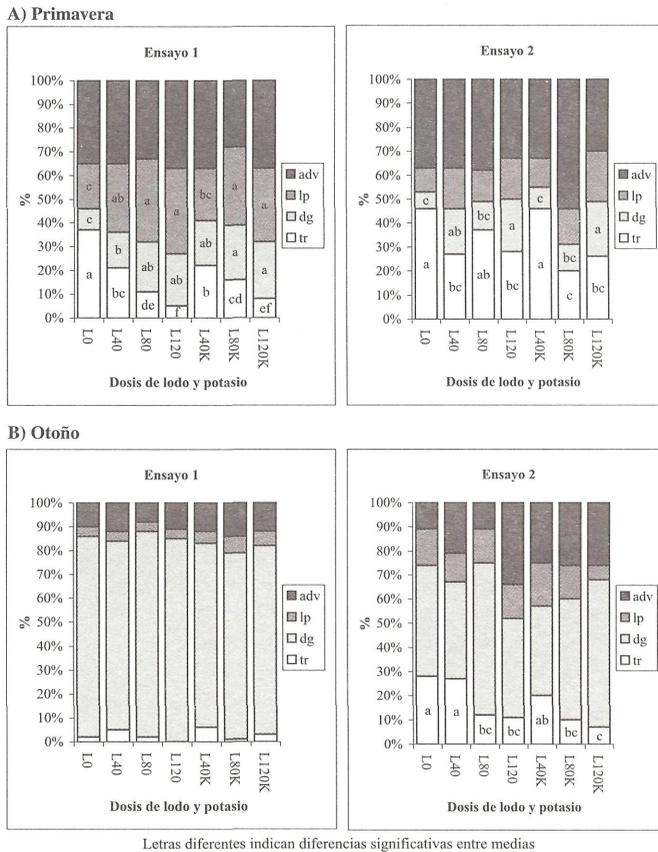


FIGURA 2

Proporción de la producción total de raigrás inglés (lp), dactilo (dg), trébol blanco (tr) y especies adventicias no deseadas (adv) en primavera (A) y otoño (B) en los distintos tratamientos de los ensayos 1 y 2. Tratamientos: L0: no-fertilización; L40: dosis baja de lodo; L80: dosis media de lodo; L120: dosis alta de lodo; L40K: dosis baja de lodo complementada con potasio; L80K dosis media de lodo complementada con potasio; L120K: dosis alta de lodo complementada con potasio.

Dry weight percentage of Lolium perenne (lp), Dactylis glomerata (dg), Trifolium repens (tr) and other species (adv) in each treatment in the trials 1 and 2. Treatments: L0: no-fertilization; L40: Low sludge dose; L80: medium sludge dose; L120: high sludge dose; L40K: low sludge dose complemented with potassium; L80K medium sludge dose complemented with potassium; L120K: high sludge dose complemented with potassium.

En las Figuras 3 y 4 se presentan los contenidos en proteína bruta y fósforo en el pasto en los dos ensayos. En el ensayo 1, se obtuvieron valores de proteína bruta significativamente menores a los del testigo (12,35%) en los tratamientos L120 (11,43%)

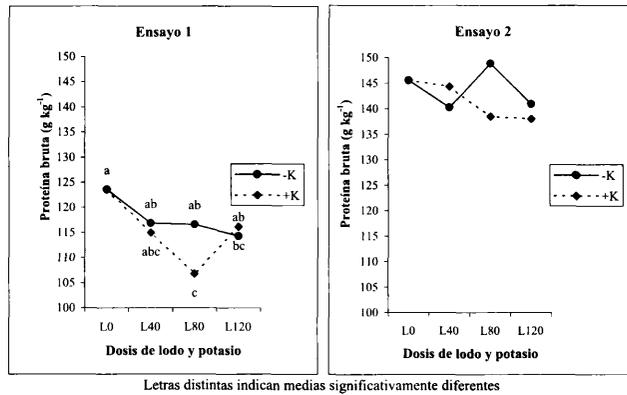


FIGURA 3

Concentración media anual de proteína bruta en el pasto (g kg^{-1}) en los distintos tratamientos en los ensayos 1 y 2. Tratamientos: L0: no-fertilización; L40: dosis baja de lodo; L80: dosis media de lodo; L120: dosis alta de lodo; L40K: dosis baja de lodo complementada con potasio; L80K dosis media de lodo complementada con potasio; L120K: dosis alta de lodo complementada con potasio.

Pasture protein content (g kg^{-1}) in each treatment in the trials 1 and 2. Treatments: L0: no-fertilization; L40: Low sludge dose; L80: medium sludge dose; L120: high sludge dose; L40K: low sludge dose complemented with potassium; L80K medium sludge dose complemented with potassium; L120K: high sludge dose complemented with potassium.

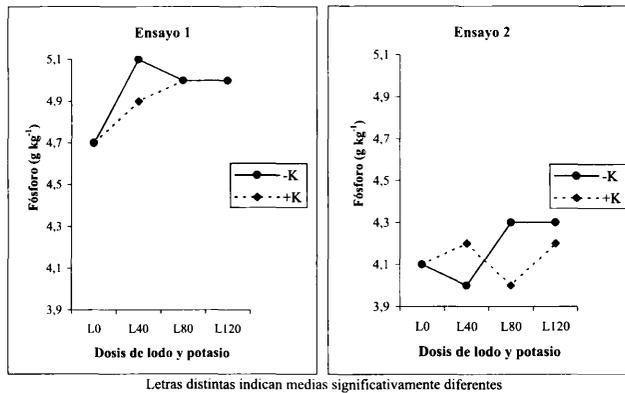


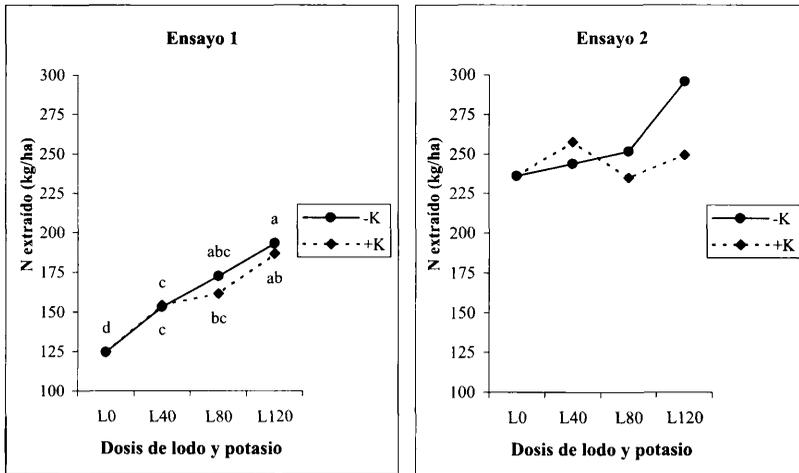
FIGURA 4

Concentración media anual de fósforo en el pasto (g kg^{-1}) en los distintos tratamientos en los ensayos 1 y 2. Tratamientos: L0: no-fertilización; L40: dosis baja de lodo; L80: dosis media de lodo; L120: dosis alta de lodo; L40K: dosis baja de lodo complementada con potasio; L80K dosis media de lodo complementada con potasio; L120K: dosis alta de lodo complementada con potasio.

Pasture phosphorus content (g kg^{-1}) in each treatment in the trials 1 and 2. Treatments: L0: no-fertilization; L40: Low sludge dose; L80: medium sludge dose; L120: high sludge dose; L40K: low sludge dose complemented with potassium; L80K medium sludge dose complemented with potassium; L120K: high sludge dose complemented with potassium.

y L80K (10,68%), mientras que los valores obtenidos en el resto de los tratamientos no se diferenciaron estadísticamente de los del tratamiento L0. En cambio, en el ensayo 2, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos ni en la concentración de proteína bruta ni en la de fósforo en el pasto. En el ensayo 1, tampoco hubo respuesta significativa del contenido de fósforo en el pasto.

En las Figuras 5 y 6 se representan las cantidades de nitrógeno y fósforo extraídas por el pasto en ambos ensayos. En el ensayo 1, en general, el nitrógeno y fósforo extraídos por el pasto aumentan significativamente con la dosis de lodo aplicada. En este ensayo, el nitrógeno extraído al aplicar el lodo varió desde 152,84 kg/ha, para la dosis baja de lodo, hasta 193,08 kg/ha con la dosis alta, cantidades superiores a las extraídas en el testigo (124,24 kg/ha). Mucho menores fueron las cantidades de fósforo extraídas,



Letras distintas indican medias significativamente diferentes

FIGURA 5

Extracción anual de nitrógeno por el pasto (kg/ha) en los distintos tratamientos en los ensayos 1 y 2. Tratamientos: L0: no-fertilización; L40: dosis baja de lodo; L80: dosis media de lodo; L120: dosis alta de lodo; L40K: dosis baja de lodo complementada con potasio; L80K dosis media de lodo complementada con potasio; L120K: dosis alta de lodo complementada con potasio.

Nitrogen annual extraction (kg/ha) in each treatment in trials 1 and 2. Treatments: L0: no-fertilization; L40: Low sludge dose; L80: medium sludge dose; L120: high sludge dose; L40K: low sludge dose complemented with potassium; L80K medium sludge dose complemented with potassium; L120K: high sludge dose complemented with potassium.

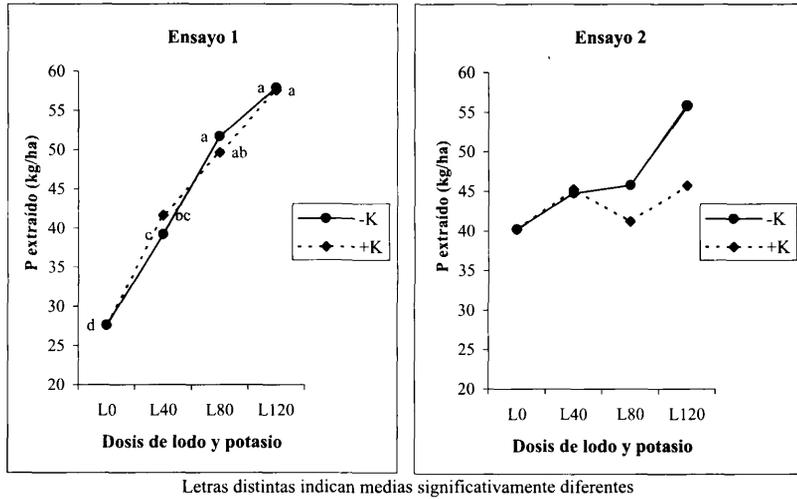


FIGURA 6

Extracción anual de fósforo por el pasto (kg/ha) en los distintos tratamientos en los ensayos 1 y 2. Tratamientos: L0: no-fertilización; L40: dosis baja de lodo; L80: dosis media de lodo; L120: dosis alta de lodo; L40K: dosis baja de lodo complementada con potasio; L80K: dosis media de lodo complementada con potasio; L120K: dosis alta de lodo complementada con potasio.

Phosphorus annual extraction (kg/ha) in each treatment in trials 1 and 2. Treatments: L0: no-fertilization; L40: Low sludge dose; L80: medium sludge dose; L120: high sludge dose; L40K: low sludge dose complemented with potassium; L80K: medium sludge dose complemented with potassium; L120K: high sludge dose complemented with potassium.

con relación a las de nitrógeno y para las mismas dosis de lodo, ya que variaron de 39,16 kg/ha, con el tratamiento L40, a 57,89 kg/ha, con el tratamiento L120, superando siempre los 27,65 kg/ha extraídos en el tratamiento L0. No hubo respuesta significativa a la complementación de potasio en ningún caso.

En el ensayo 2 no hubo respuesta a los tratamientos aplicados, ni en el nitrógeno ni en el fósforo extraído por el pasto.

El pH en agua y el contenido de materia orgánica, fósforo asimilable y nitrógeno en el suelo de los ensayos 1 y 2 pueden verse en las Tablas 1 y 2, respectivamente.

TABLA 1

Valores medios anuales de pH y contenido de materia orgánica (% MO), nitrógeno (% N) y fósforo Olsen (ppm P, Pols) en el suelo en los distintos tratamientos en el ensayo 1.

Annual values of pH, organic matter (% MO), nitrogen (% N) and Olsen phosphorus (ppm P, Pols) in soil in each treatment in the experiment 1.

Tratamientos	L0	L40	L80	L120	L40K	L80K	L120K	Sign
pH	5,90	6,00	5,85	5,79	5,95	6,00	5,9	ns
MO	1,81ab	1,32c	1,71abc	1,58bc	1,56bc	2,09a	1,53bc	*
N	0,08	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09	0,10	ns
Pols	96,53	99,87	94,26	99,94	97,88	89,54	95,48	ns

Tratamientos: L0: no-fertilización; L40: dosis baja de lodo; L80: dosis media de lodo; L120: dosis alta de lodo; L40K: dosis baja de lodo complementada con potasio; L80K dosis media de lodo complementada con potasio; L120K: dosis alta de lodo complementada con potasio. Sign: significación; *: $p < 0,05$; ns: no significativo.

TABLA 2

Valores medios anuales de pH y contenido de materia orgánica (% MO), nitrógeno (% N) y fósforo Olsen (ppm P, Pols) en el suelo en los distintos tratamientos en el experimento 2.

Annual values of pH, organic matter (% MO), nitrogen (% N) and Olsen phosphorus (ppm P, Pols) in soil in each treatment in the experiment 2.

Tratamientos	L0	L40	L80	L120	L40K	L80K	L120K	Sign
pH	5,55	5,65	5,59	5,65	5,51	5,54	5,50	ns
MO	2,94	3,74	3,22	3,61	4,33	3,29	3,83	ns
N	0,10c	0,16ab	0,17a	0,16ab	0,18a	0,12bc	0,14abc	*
Pols	137,7	169,1	168,6	169,7	146,7	151,7	142,6	ns

Tratamientos: L0: no-fertilización; L40: dosis baja de lodo; L80: dosis media de lodo; L120: dosis alta de lodo; L40K: dosis baja de lodo complementada con potasio; L80K dosis media de lodo complementada con potasio; L120K: dosis alta de lodo complementada con potasio. Sign: significación; *: $p < 0,05$; ns: no significativo.

En los dos ensayos, la aplicación de distintas dosis de lodo y el aporte de potasio no afectó ni al pH, ni al fósforo disponible en el suelo. Si observamos los valores de fósforo en el suelo vemos que son tan altos, que no es esperable una respuesta debida al aporte extra de fósforo con el lodo.

Tampoco se encontraron efectos significativos de las distintas dosis de lodo o de potasio en los contenidos de nitrógeno en el suelo en el ensayo 1. Por el contrario, en el ensayo 2, la aplicación de lodo aumentó el contenido de nitrógeno en el suelo respecto al testigo (excepto para los tratamientos L80K y L120K), aunque no hubo diferencias significativas entre las distintas dosis de lodo.

Sólo se observaron diferencias significativas en el contenido de MO en el ensayo 1, en el que los niveles resultaron significativamente menores en el tratamiento L40 que en el L0.

DISCUSIÓN

El efecto beneficioso de la aplicación como fertilizante de los residuos evaluados fue patente en el ensayo 1, ya que aumentó notablemente la producción de pasto primaveral y anual, en comparación con el testigo (O'Riordan *et al.*, 1987; Rigueiro-Rodríguez y Mosquera-Losada, 2002), si bien esta respuesta no es proporcional, ya que se va reduciendo a medida que se incrementa la dosis de lodo, tal y como encontraron Rigueiro-Rodríguez *et al.* (1999). Por el contrario, en el ensayo 2 sólo se aumentó la producción de pasto en el tratamiento L120, seguramente debido a la mayor proporción de trébol presente en los tratamientos fertilizados con lodo en primavera, que favorece la incorporación de nitrógeno atmosférico al suelo, y sobre todo en los tratamientos a los que se aportó menos lodo, que presentan mayor proporción de esta leguminosa. Este hecho corrobora la importancia del trébol como fuente de nitrógeno, ya indicada por Frame y Newbould (1986).

En general, la producción, tanto primaveral como anual, fue mayor cuando se fertilizó en primavera, sobre todo en la dosis baja de lodo. El aporte de lodo en las parcelas tratadas en primavera produjo, en general, un aumento del contenido en nitrógeno en el suelo en relación con el testigo (aunque no hubo diferencias significativas entre las distintas dosis de lodo), mientras que cuando se aplica en otoño, no se ve este efecto. La diferencia en la respuesta del contenido de nitrógeno en el suelo a las distintas fechas de aplicación puede explicarse por el mayor grado de mineralización e incorporación al suelo del lodo aplicado en otoño, derivada del mayor período de estancia en la pradera, lo que originó una menor producción de pasto en la primavera siguiente debido al mayor lavado del nitrógeno. La ausencia de diferencias del contenido de nitrógeno en el suelo entre las distintas dosis de lodo aplicadas en primavera se podría explicar por la respuesta positiva de la producción a la fertilización con dosis crecientes de lodo, ya que no se encontraron diferencias significativas en el lavado de nitratos entre los distintos tratamientos de fertilización con lodos (López-Díaz *et al.*, 2001).

Aunque la mezcla de siembra no fue la misma cuando se establecieron las praderas, cabe señalar que el contenido de raigrás inglés en primavera fue superior en las parcelas sembradas sin raigrás, lo que puede explicarse en base al importante banco de semillas de raigrás inglés, a las buenas condiciones de fertilidad iniciales que benefician a esta gramínea y al lento establecimiento del dactilo, en comparación con el raigrás.

En el ensayo 1, la concentración de proteína bruta del pasto en el tratamiento testigo (L0) fue mayor a la de los otros tratamientos, probablemente debido a que posee una mayor proporción de leguminosas pratenses (*Trifolium repens*), que, en general, son especies con una mayor concentración en proteína bruta que las gramíneas, y no reducen su contenido proteico en el momento de la floración (Mosquera-Losada y González-Rodríguez, 2002), lo que contrarresta el efecto positivo del aporte de nitrógeno sobre la concentración de proteína del pasto constituido mayoritariamente por gramíneas (Willman *et al.*, 1994).

Por el contrario, en el ensayo 2 la ausencia de respuesta del contenido de proteína a los tratamientos aplicados puede deberse, en primer lugar, a que hubo más nitrógeno que podía ser utilizado por las plantas en las parcelas con baja proporción de trébol (la liberación del nitrógeno rápidamente disponible durante la primavera en aquellas parcelas abonadas con lodo a principios de año produjo un mayor aprovechamiento por parte de la pradera, ya que en ese momento las condiciones meteorológicas aumentan el crecimiento del pasto en comparación con el otoño), lo que permitió un mayor consumo de este elemento por parte de las gramíneas que en consecuencia aumentaron su concentración de proteína (González, 1987; Wilman *et al.*, 1994; Mosquera-Losada y González-Rodríguez, 2002), no diferenciándose de aquellos pastos en los que hay más trébol (Whitehead, 1995), y en segundo lugar a las menores diferencias entre tratamientos con respecto al contenido de trébol.

En general, la fertilización con lodos en el período de otoño, en comparación con la de primavera, parece afectar positivamente a la producción y contenido proteico del pasto, debido a su menor efecto sobre la proporción de trébol en la pradera.

La eficiencia en el uso del nitrógeno disminuyó al aumentar la dosis de lodo aplicado y, para las mismas dosis, se obtuvieron mejores resultados cuando se aplicó el lodo en primavera. Así, la proporción de nitrógeno extraído, en relación con el aportado, fue del 92, 52 y 39%, en el ensayo 1, y del 156, 75 y 57%, en el ensayo 2, para las dosis baja, media y alta, respectivamente. La existencia de valores superiores al 100% puede justificarse por la presencia de otras fuentes de nitrógeno no cuantificadas en esta experiencia (como la fijación nitrogenada realizada por el trébol).

Estas tasas de eficiencia deben ser consideradas con cautela, ya que no se ha tenido en cuenta el aporte nitrogenado introducido en el sistema por la leguminosa, con proporciones mayores en los testigos, en las parcelas abonadas con las dosis bajas de lodo y en primavera. De todos modos, este resultado es interesante desde un punto de vista ambiental ya que, si bien con las dosis altas de lodo se produce más biomasa, la eficiencia en el uso del nitrógeno está más restringida, pudiéndose producir mayores pérdidas por lavado que con dosis bajas. Por otra parte, parece que las pérdidas de nitrógeno por lixiviación son mayores cuando se aporta el lodo en otoño. En consecuencia, con el objeto de obtener una determinada producción de pasto, un incremento de la superficie de la explotación con aportes más reducidos de lodo supondría una racionalización en el uso de estos residuos como fertilizantes. Este aumento de superficie o extensificación implicaría una adaptación de la carga ganadera al pasto producido por unidad de superficie, rehuyendo de sistemas de pastoreo que dejen importantes cantidades de pasto tras la salida del ganado de la parcela o en los que se proporcione una gran oferta de pasto al animal, ya que esto afectaría negativamente tanto al uso eficiente de la pradera y a su calidad como a la optimización de la producción ganadera (Mosquera-Losada y González-Rodríguez, 1998).

No se observaron variaciones importantes en los niveles de pH ni de materia orgánica debidas al aporte de los lodos en ninguna de las dos épocas de aplicación, debido a la baja cantidad de OCa, de materia orgánica y de fósforo que se añadieron con el lodo, en relación a los niveles existentes en el suelo. Así, en el caso del calcio, si efectuamos el cálculo de CO_3Ca aportado con la dosis más alta de lodo (60 t de lodo/ha con una concentración media de calcio de 0,71%) éste valor resulta ser de 1 t de CO_3Ca , valor que no modifica el pH, sobre todo en suelos ligeramente ácidos. Tampoco se observó respuesta en el contenido de fósforo en el pasto, lo que puede explicarse por el aporte de fondo de fósforo, ya que los niveles son altos incluso en los testigos, en comparación con el valor inicial. Según Whitehead (1995), las gramíneas pratenses cultivadas tienen un contenido en fósforo similar al de las leguminosas. En todos los casos, los niveles de fósforo en pasto estuvieron próximos al 0,4% necesario para la alimentación de vacas de leche (NRC, 2001).

La complementación con potasio favoreció la presencia de trébol en el pasto cuando se aportaron dosis bajas de lodo en primavera, llegando a alcanzar la proporción de esta especie en el tratamiento testigo y en el tratamiento L40K un valor del 46% (Mosquera-Losada y González-Rodríguez, 1998). Cuando las dosis de lodo aplicadas fueron altas, el aporte de potasio no modificó el contenido de la leguminosa en la pradera, probablemente debido a los mayores niveles de nitrógeno en el suelo, que limitaron su desarrollo (Mosquera-Losada y González-Rodríguez, 1998), si bien en las dosis medias la respuesta no fue tan clara.

CONCLUSIONES

El aumento de la dosis de lodo aportado en otoño originó un incremento en la producción de pasto, pero con menor eficiencia en el uso del nitrógeno, lo que puede derivar en un mayor lavado y contaminación. Si el lodo se aporta en primavera, la respuesta al aporte de lodo difiere de la obtenida en otoño, ya que se incrementa en general la proporción de trébol en el pasto, el cual aporta nitrógeno en las parcelas fertilizadas con dosis bajas y limita la respuesta a la aplicación del fango.

La aplicación de lodo en cobertera durante la primavera aumentó la producción de pasto en comparación con la de otoño, sobre todo en la dosis baja del abono, mejoró significativamente la eficiencia en el uso del nitrógeno aportado con el lodo, el contenido proteico y la extracción de nitrógeno en el pasto, si bien hay que tener en cuenta que el lodo se aporta sobre el cultivo y no se incorpora mediante laboreo al suelo, lo que favorece la presencia de este residuo en superficie, que puede ser ingerido por el animal.

En consecuencia, debe darse una mayor importancia a la fecha de aplicación del lodo, ya que puede tener tanta importancia como el cálculo de la dosis óptima, al repercutir de forma notable en la eficiencia del abono y en su posible efecto contaminante.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido desarrollado gracias a la financiación de la Xunta de Galicia y la CICYT y la colaboración de la empresa GESTAGUA, y en especial del técnico de esa empresa Dña. Mercedes del Pino Fernández-Couto. Los autores desean agradecer también a José Javier Santiago Freijanes, María López, Teresa Piñeiro López, Aurora López Veiga, M^a Luisa Fernández Méndez, Divina Vázquez Varela y Alberto Lamas Díaz por la ayuda prestada en los trabajos de campo y análisis de laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BONTOUX, L.; VEGA, M.; PAPAMELETIOU D., 1998. Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos. *Instituto de prospectiva tecnológica*, **23**, 8-27.
- CASTRO, P.; GONZÁLEZ, A.; PRADA, D., 1990. Determinación simultánea de nitrógeno y fósforo en muestras de pradera. *Actas de la XXX Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, **30**, 200-207.
- DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A.N.; LEMUNYON, J.L., 1998. Agricultural phosphorus and eutrophication: A Symposium Overview. *Journal of Environmental Quality*, **27**, 251-257.
- EPA, 1994. *Land application of sewage sludge. A guide for land appliers on the requirements of te federal standards for the use or disposal of sewage sludge*. Ed. Environmental Protection Agency 40CFR part 503, 105 pp. Washington D.C. (Estados Unidos).

- FRAME, J.; NEWBOULD, P., 1986. Agronomy of white clover. *Advances in agronomy*, **40**, 1-88.
- GUITIÁN, F.; CARBALLAS, T., 1976. *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela (España).
- GONZÁLEZ, A., 1987. Contenido de proteína bruta de una pradera de gramínea y trébol blanco sometida a dosis crecientes de nitrógeno. *Pastos*, **17(1-2)**, 79-88.
- GREENWOOD, D.J., 1990. Production or productivity the nitrate problem? *Annals of applied biology*, **117**, 209-231.
- HARRIS, L.; AULDIST, J.; CLARK, A.; JANSEN, B.L., 1998. Effects of white clover content in the diet on herbage intake, milk production and milk composition of New Zealand dairy cows housed indoors. *Journal of dairy Research*, **65**, 280-400.
- JARVIS, S.C.; BARRACLOUGH, D., 1991. Variation in mineral nitrogen under grazed grassland swards. *Plant and soil*, **138**, 177-188.
- LÓPEZ-DÍAZ, M.L.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA-LOSADA, M.R., 2001. Nitrate leaching in fertilised silvopastoral systems. *Grassland Science in Europe*, **6**, 301-303.
- MATEU, J.; MAS, J.; CERDÁ, V., 1999. Monitoring the environmental impact of an incinerator plant of solid urban wastes. En: *Analytical methodology in the environmental field*, 65-73. Ed. D. Prada, V. Cerdá. Diputación Provincial de A Coruña. A Coruña (España).
- MOSQUERA-LOSADA, M.R.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A., 1998. Effect of annual stocking rates in grass and maize+rye systems on production by dairy cows. *Grass and Forage Science*, **53**, 95-108.
- MOSQUERA-LOSADA, M.R.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A., 2002. Fertilización nitrogenada y potásica en pradera mixta: I. Efecto sobre la composición botánica, el contenido en proteína y el nivel de macroelementos. *Pastos*, **XXX(2)**, 241-260.
- MOSQUERA-LOSADA, M.R.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A., 2002. Variability of sewage sludge parameters. Implications on fertilisation uses. *Proceedings of VII Congress of the European Society for Agronomy*, **7**, 393-394.
- NRC, 2001. *The Nutrient Requirements of dairy cattle: Seventh revised edition*. Ed. National Academic Press., 381 pp. Washington (USA).
- O'RIORDAN, E.G.; DODD, V.A.; TUNNEY, H.; FLEMING, G.A., 1987. The fertiliser nutrient value of an anaerobically digested sewage sludge under grassland field conditions. *Irish Journal of Agricultural Research*, **26**, 199-211.
- OLSEN, S.R., DEAN, S.A., 1965. Phosphorus. En: *Methods of soil science*, 1035-1049. Ed. C.A. Black. American Society of Agronomy. Madison Wisconsin (Estados Unidos).
- OMS-MOLLÁ, M.T., 1999. Municipal solid waste incineration residues. En: *Analytical methodology in the environmental field*, 75-85. Eds. D. Prada, V. Cerdá. Diputación Provincial de la Coruña. A Coruña.
- RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA-LOSADA, M.R., 2002. Empleo de lodos de depuradora urbana en la fertilización de praderas. *Lucensia*, **24(12)**, 91-98.
- SMITH, S.R., 1996. *Agricultural recycling of sewage sludge and the environment*. CAB International. 225 pp. WRC Marlow Buckinghamshire (Gran Bretaña).
- WHITEHEAD, D.C., 1995. *Grassland Nitrogen*. CAB International. Wallingford (Gran Bretaña).
- WILLMAN, D.; ACUÑA, G.H.; JOY MICHAUD, P., 1994. Concentrations of N, P, K, Ca, Mg and Na in perennial ryegrass and white clover leaves of different ages. *Grass and Forage Science*, **49**, 422-428.

EFFECT OF SEWAGE SLUDGE AND POTASSIUM FERTILIZATION ON GRASS- CLOVER LEYS

SUMMARY

The objective of the present experiment was to study the effect of the use of different sewage sludge doses, dates of application and complement with potassium on the evolution of pasture production, botanical composition, pasture quality and soil characteristics in the establishment of a mixed sward.

Treatments of fertilization applied in a sward fertilized in the spring or in the autumn were: a) three doses of sludge, 40 kg N/ha (L40), 80 kg N/ha (L80) and 120 kg N/ha (L120); b) the same sludge doses complemented with potassium (L40K, L80K y L120K); c) and no fertilized treatment (L0).

The increment of sewage sludge dose originated an increase on pasture production, but the high dose originated lower nitrogen efficiency, which can lead to higher leaching and contamination.

When sewage sludge was applied during the spring, the pasture production, the efficiency of sewage sludge, clover percentage and protein content was higher than when it was applied in the autumn.

Key words: Efficiency, nitrogen, clover.