

R. Miralles de Imperial, J.V. Martín, R. Calvo y M.M. Delgado

**ESTUDIO DE NUTRIENTES LIXIVIADOS BAJO CULTIVO DE ALSTROEMERIA
POR APORTE DE ESTIÉRCOLES DE PORCINO EN UN SUELO ARENOSO**

Separata ITEA

INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA, VOL. **106** N.º 1 (53-65), 2010

Estudio de nutrientes lixiviados bajo cultivo de alstroemeria por aporte de estiércoles de porcino en un suelo arenoso

R. Miralles de Imperial*, J.V. Martín*, R. Calvo**, M.M. Delgado*

* INIA. Dpto. de Medio Ambiente (miralles@inia.es)

** INIA. Servicio de Biometría. Ctra. de La Coruña km. 7,5. 28040 Madrid

Resumen

Se condujo un ensayo en invernadero y macetas con alstroemeria (*Alstroemeria aurantiaca* D. Don) cultivar 'Napoli'. Se aplicaron como fertilizantes dos tipos de purín: purín fresco y purín secado térmico. El objetivo fue estudiar el posible efecto contaminante, por la lixiviación de nutrientes de los dos purines. Las dosis de purín estudiadas fueron 0 (sin fertilización), 1 (que cubría las necesidades en nitrógeno del cultivo) y 2 (el doble de 1). Se realizaron cuatro lixiviados por maceta, en primavera, verano, otoño e invierno. La concentración de nutrientes por maceta en el lixiviado dependió del volumen de agua lixiviada. Las variables que se evaluaron en los lixiviados fueron: N-NH_4^+ , N-NO_3^- , fósforo y potasio. La metodología seguida para ajustar estima y comparar los modelos fue la del modelo mixto no lineal. Los tratamientos purín fresco y purín secado térmico y las dosis (1 y 2) fueron significativamente diferentes. El tratamiento purín secado térmico y la dosis 2 resultaron los más contaminantes para las cuatro variables estudiadas.

Palabras clave: fósforo, N-NH_4^+ , N-NO_3^- , potasio, purín fresco, purín secado térmico.

Summary

Leaching of nutrients from Alstroemeria cultures on sandy soils fertilized with pig manure

An experiment was conducted in Alstroemeria (*Alstroemeria aurantiaca* D. Don, cultivar 'Napoli') cultured in pots under greenhouse conditions. Two different types of pig slurry, pig slurry and thermal dried pig slurry, were applied as fertilizer. The aim was to evaluate the possible effect on pollution of leaching nutrients of the two pig slurries. Rates studied were 0 (without fertilization), 1 (the rate 1 that covered the nitrogen culture requirement) and 2 (the double of rate 1). The nutrients concentration of the leaching depended of the volume of leached water. Four leachings by pot were made at spring, summer, autumn and winter. The $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, phosphorus and potassium, variables were studied. The methodology to adjust estimation and to compare the models was the nonlinear mixed model. Treatments (pig slurry and thermal dried pig slurry, and the two rates, 1 and 2) were significantly different. The thermal dried pig slurry treatment and the rate 2 treatment were the most polluting in the four studied variables.

Key words: $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, phosphorus, pig slurry, potassium, thermal dried pig slurry.

Introducción

Los purines de ganado contienen cantidades de nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio fácilmente disponibles para las plantas; pero su utilización en agricultura debe hacerse de manera controlada para evitar efectos negativos en el aire, el suelo y el agua (Scotford et al., 1998).

El suelo constituye uno de los medios receptores de la contaminación más sensibles y vulnerables (BOE, 2005a). La aparición de nuevos productos que contienen nutrientes para las plantas y capacidad fertilizante no debe ser óbice para que se olviden sus posibles repercusiones en la salud y seguridad de las personas y del medio ambiente (BOE, 2005b).

La ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, que traspuso la Directiva 96/61/CEE (IPPC), incluye en su ámbito de actuación la cría intensiva de ganado porcino. Se considera el medio ambiente como un todo y se debe evitar la transferencia de contaminación de un medio (agua, suelo y atmósfera) a otro (BOE, 2002).

Las explotaciones intensivas de ganado porcino generan gran cantidad de estiércol líquido o purín fresco (PF) cuyo manejo es complicado. Actualmente en España se evapora y seca parte de este estiércol líquido, aplicando tecnologías para el secado térmico del purín basadas en la cogeneración energética para eliminar el agua que contienen. El producto final se conoce como purín secado térmico (PS), un producto concentrado, que puede ser usado como fertilizante.

Desde el punto de vista de su utilización agronómica, es necesario conocer su composición y establecer las necesidades del suelo y del cultivo, de modo que se pueda optimizar su uso respetando a la vez el medioambiente.

El cultivo en invernadero de alstroemeria para flor cortada se adapta a la climatología

de la zona centro de España. Para conseguir una buena producción y calidad en el cultivo de alstroemeria es fundamental aplicar una fertilización órgano-mineral óptima que cubra sus necesidades de elementos nutritivos: N-P-K, (Miralles de Imperial et al., 2005). La utilización como fertilizante de estiércoles de ganado porcino en este cultivo ornamental puede resultar una vía óptima para el reciclado y reutilización de estos residuos ganaderos.

La protección de las aguas frente a la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias viene recogida en la legislación española por el Real Decreto 261/1996 (BOE, 1996). Varios autores han realizado estudios referentes al control de nitrógeno (Bellido et al., 1997; Vasconcelos et al., 1997; Daudén y Quilez, 2004; Daudén et al., 2004; Bergström et al., 2006), de fósforo (Bergström et al., 2006) y de potasio (Yavinder et al., 2005), en lixiviados por aplicación de purines de cerdo.

El objetivo del presente ensayo fue evaluar el posible riesgo contaminante por nutrientes en las aguas de drenaje por la aplicación como fertilizante de estiércoles de ganado porcino: purín fresco (PF) y purín secado térmico (PS) a un cultivo de alstroemeria (*Alstroemeria aurantiaca* D. Don) cultivar (cv.) 'Nápoli', para flor cortada, y comparar el efecto de estos estiércoles en los nutrientes lixiviados, mediante el control de cuatro parámetros: N-NH_4^+ (NH_4^+), N-NO_3^- (NO_3^-), fósforo (P) y potasio (K).

Materiales y métodos

El ensayo en invernadero se llevó a cabo en Madrid, durante 13 meses, de febrero de 2003 a marzo de 2004. Se utilizó un cultivar nuevo, 'Nápoli' (NA), de flores color fucsia oscuro, tolerantes a las condiciones climáticas de calor y frío de la zona. Se utilizaron

macetas de arcilla con drenaje, de 12 L de capacidad que se rellenaron con un suelo de pH 6,87 idóneo para este cultivo y que por su textura franco arenosa le proporcionará un buen drenaje; sus propiedades se presentan en la tabla 1.

Las macetas se rellenaron con el suelo, que previamente se mezcló con la dosis anual de fertilizante PS o PF. En este experimento se emplearon dos purines, PF y PS, provenientes de la misma planta de tratamiento de estiércoles líquidos ganaderos porcinos. El

Tabla 1. Características del suelo
Table 1. Soil characteristics

Parámetro	
pH 1:2,5 H ₂ O	6,87
Conductividad eléctrica 1:5 H ₂ O, dSm ⁻¹	0,09
Nitrógeno Kjeldahl, %	0,045
Carbono orgánico oxidable, %	0,33
N-NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹	1,86
N-NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹	14,55
Fósforo (Olsen), mg kg ⁻¹	12,0
Potasio (acetato amónico), mg kg ⁻¹	2,61
Textura del suelo	
Arena gruesa, %	12,23
Arena fina, %	51,29
Suma arenas (gruesa + fina), %	63,52
Arcilla, %	0,2
Limo, %	36,28
Textura MAPA*	Franco-arenoso

* MAPA= Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, (1994).

PF era purín sin tratar y PS fue ya tratado térmicamente.

Las características de los purines utilizados en el experimento se presentan en la tabla 2. El nitrógeno se determinó por el método de Kjeldahl. El nitrógeno inorgánico se determinó por destilación de arrastre de vapor (Bremmer, 1965).

El carbono orgánico oxidable se determinó por el método de Walkey y Black (APHA, AWWA, WPCF, 1992). El P, K, Ca, Mg, y Na

totales se midieron por los procedimientos descritos por la AOAC (1997). Se determinaron pH suelo/agua= 1:2,5 y conductividad eléctrica en una relación suelo/agua= 1:5. El pH y la C.E. de PF se determinaron directamente sobre la muestra y para PS en una relación PS/agua= 1:5.

Se determinó del PF la demanda química de oxígeno (APHA, AWWA, WPCF, 1992) para conocer su contenido en materia orgánica y del PS se determinó el contenido de C orgá-

Tabla 2. Características de los purines de cerdo
 Table 2. Pig slurry characteristics

Parámetro	Purín fresco	Purín secado térmico
pH	7,27	9,14
C.E.*, dSm ⁻¹	19,72	33,97
DQO**, mg L ⁻¹	83263	–
Sólidos totales, %	7,30	81,50
Sólidos fijos, %	2,22	28,06
Sólidos volátiles, %	5,08	53,44
N Kjeldahl, mg L ⁻¹ , mg kg ⁻¹	2022	21583
N-NH ₄ ⁺ , mg L ⁻¹ , mg kg ⁻¹	1451	242
N-NO ₃ ⁻ , mg L ⁻¹ , mg kg ⁻¹	82	759
C orgánico oxidable, %	–	36,22
P mg L ⁻¹ , mg kg ⁻¹	1816	16802
K mg L ⁻¹ , mg kg ⁻¹	972	8995
Ca mg L ⁻¹ , mg kg ⁻¹	2147	31229,5
Mg mg L ⁻¹ , mg kg ⁻¹	926	11348,5
Na mg L ⁻¹ , mg kg ⁻¹	1010	22783,5

*C.E. = conductividad eléctrica; **DQO = demanda química de oxígeno.

nico oxidable. Se determinaron los sólidos totales, los sólidos fijos y los sólidos volátiles en PF y PS (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

Para el cálculo de la dosis de PF y PS a aplicar al cultivo, se tuvieron en cuenta las necesidades de nitrógeno (N) anual de este cultivo, se aconsejan dosis anuales de nitrógeno de 350 Kg ha⁻¹ (Miralles de Imperial et al., 2005). Para el cálculo de la dosis anual de cada tipo de purín, PF y PS, a aplicar para cubrir las necesidades de N de la alstroemeria se tuvo en cuenta: el N Kjeldahl que engloba el N orgánico más el N amoniacal al que se sumó el contenido en N nítrico, esta suma nos indicó el N total que se aporta con PF o con PS. En el caso de PF la dosis que cubría dichas necesidades, fue de 100 m³ ha⁻¹ y en el caso de PS fue de 15.708 kg ha⁻¹ (para su calculo en kg ha⁻¹ se consideró la densidad aparente

del suelo de 1,1 y una profundidad de 30 cm), esta dosis se llamó 1 (d1).

El material adicionado a los 12 kg de suelo de cada maceta fue para PF de 0 mL con la dosis 0, 364 mL con la dosis 1 y 728 mL con la dosis 2; para PS fue de 0 g para d0, 57,12 g para d1 y 114,68 g para d2.

Las cantidades de elementos nutritivos: N-P-K, que se aportaron por maceta, según el contenido en N-P-K de estos residuos que se presentan en la tabla 2, figuran en la tabla 3.

La plantación de alstroemeria se realizó en febrero y se puso un rizoma por maceta. El diseño del ensayo fue totalmente al azar, factorial de doble entrada (tipo de purín, dosis) con tres repeticiones por tipo de purín y dosis. Las tres dosis aplicadas fueron: d0 (sin fertilización), d1 (que cubría las necesidades en N del cultivo) y d2 (el doble

Tabla 3. Cantidad de elementos nutritivos, N-P-K, aportados por maceta con los tratamientos: purín fresco (PF) y purín secado térmico (PS) y las dosis (0, 1 y 2)

Table 3. N-P-K, nutrients applied by pot with the treatments: pig slurry (PF) and dried thermal pig slurry (PS) and the rates (0, 1 and 2)

Tratamiento	Dosis	Nitrógeno* mg N maceta ⁻¹	Fósforo mg P maceta ⁻¹	Potasio mg K maceta ⁻¹
PF	0	0	0	0
PF	1	1290	660	354
PF	2	2580	1350	708
PS	0	0	0	0
PS	1	1290	960	514
PS	2	2580	1927	1030

*Nitrógeno= suma de N orgánico, N amoniacal y N nítrico.

Tabla 4. Número de tallos florales (TF) de alstroemeria cv. 'Napoli' producidos en función del tratamiento: purín fresco (PF) y purín secado térmico (PS) y las dosis (0, 1 y 2) en los periodos de primavera-verano y de otoño-invierno, y producción anual de TF

Table 4. *Alstroemeria* cv. 'Napoli' floral stems number (TF) production regarding to the treatment: pig slurry (PF) and dried thermal pig slurry (PS) and the rates (0, 1 and 2) in the spring-summer and autumn-winter periods, and TF total production

Tratamiento	Dosis	Primavera-verano TF	Otoño-invierno TF	Producción anual TF
PF	0	5	0	5
PF	1	6	0	6
PF	2	6	1	7
PS	0	4	1	5
PS	1	4	4	8
PS	2	6	7	13

de d1). El número total de macetas utilizados para el ensayo fue dieciocho, nueve por cada tratamiento: PF y PS.

Los macetas de arcilla tenían un único agujero de drenaje que se tapó con un filtro para evitar pérdidas de suelo y agua. Las macetas iban colocadas sobre soportes metálicos, que las elevaban 17 cm sobre la superficie de las mesas del invernadero. Los

días que se procedió a recoger los lixiviados se colocaron justo por debajo del agujero de drenaje de las macetas un frasco graduado de 500 mL de capacidad y encima un embudo que se ajustó al agujero de drenaje de la maceta.

Se realizaron cuatro lixiviados a lo largo de este primer año de cultivo, uno en cada estación del año: en primavera, verano,

otoño e invierno. Se optó por estas fechas porque la producción de tallos florales en cultivo de alstroemeria está muy influenciada por la estación del año debido a factores de luz, humedad, temperatura del aire y del suelo (Miralles de Imperial et al., 2009). El primer lixiviado (1º) se realizó el 24 de marzo de 2003 (al mes de la plantación), se consideró día 0. El segundo a los 129 días (el 30 de julio), el tercero a los 193 días (el 2 de octubre) y el cuarto y último el 3 de marzo de 2004 a los 346 días.

Se calculó la capacidad de campo (CC) del suelo y se obtuvo que para los 12 kg eran 800 mL (100% CC). Mientras duró el ensayo se regó cada maceta al 60% de su CC, según las necesidades del cultivo. Para provocar cada uno de los lixiviados se regó la maceta con un volumen de agua superior al 150% de la CC de nuestro suelo y se recogieron de 250 a 500 mL de lixiviado. Para el cálculo posterior de la concentración de los nutrientes lixiviados: NH_4^+ , NO_3^- , P y K, se tuvo en cuenta los mL de lixiviado recogidos por maceta en cada uno de los cuatro lixiviados realizados de las cuatro estaciones del año.

En los lixiviados se determinaron: NH_4^+ , NO_3^- , P y K. El NH_4^+ y NO_3^- se analizaron por el método de Bremner (1965). El fósforo de los lixiviados se determinó por fotometría de emisión y el potasio de los mismos por fotometría de llama (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 1994).

El estudio estadístico se realizó mediante ajuste con modelo logístico, se tomaron como variables dependientes: las cantidades acumuladas de N- NH_4^+ , N- NO_3^- , P y K lixiviados, y como variable independiente los días.

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos en este ensayo se tuvo en cuenta que los cuatro lixiviados se realizaron en la misma maceta por lo que tuvimos un diseño de medidas repetidas y como nuestros datos se ajustaban a un modelo logístico se eligió

la metodología del modelo mixto no lineal para estimar los modelos y la comparación entre ellos. Para el estudio de los efectos fijos (tratamiento, dosis) se comenzó con el modelo saturado que incluye los efectos principales (tratamiento y dosis e interacción entre ellos) en cada uno de los tres parámetros de la logística: b_1 , b_2 y b_3 . También se añadieron al principio dos efectos aleatorios (u, v) que se sumaron a los parámetros b_1 y b_2 en todos los casos. El segundo efecto aleatorio (v) sumado a b_2 no dio nunca significativo por lo que no se refleja en el modelo general que fue:

$$y_{ijk} = [b_{1ijk} / (1 + \exp(-(\text{días} - b_{2ij}) / b_{3ij}))] + e_{ijk}$$

Donde: b_{1ijk} ($b_{1ijk} = b_{1ij} + u_k$) es la asíntota, b_{2ij} esta relacionado con la velocidad de lixiviación, b_{3ij} es el parámetro relacionado con la forma de la curva, la i son los tratamientos PF y PS, la j son las dosis 1 y 2, la k es cada una de las 18 macetas, u_k = factor aleatorio que va unido a cada una de las macetas, $u_k \sim N(0, \sigma_u)$, e_{ijk} = error aleatorio, $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e)$. Al parámetro b_{1ij} le llamaremos b_1 del tratamiento i y la dosis j, al b_{2ij} (b_2) y al b_{3ij} (b_3).

El análisis estadístico se realizó con el PROCEDURE NL MIXED del SAS V 9.3.

Resultados y discusión

En las figuras 1, 2, 3 y 4 se presentan las gráficas de los modelos para las cuatro variables estudiadas (NH_4^+ , NO_3^- , P y K).

El N presente en el purín procede de la parte de N contenida en los alimentos, que no es fijada por los animales, eliminándose por heces y orina. Dos terceras partes del N ingerido en el pienso son eliminadas por las deyecciones, del N eliminado el 78% es N urinario y el 22% de origen fecal (Abaigar et al., 1999). El N está presente en la fracción líquida y sólida de los purines, una

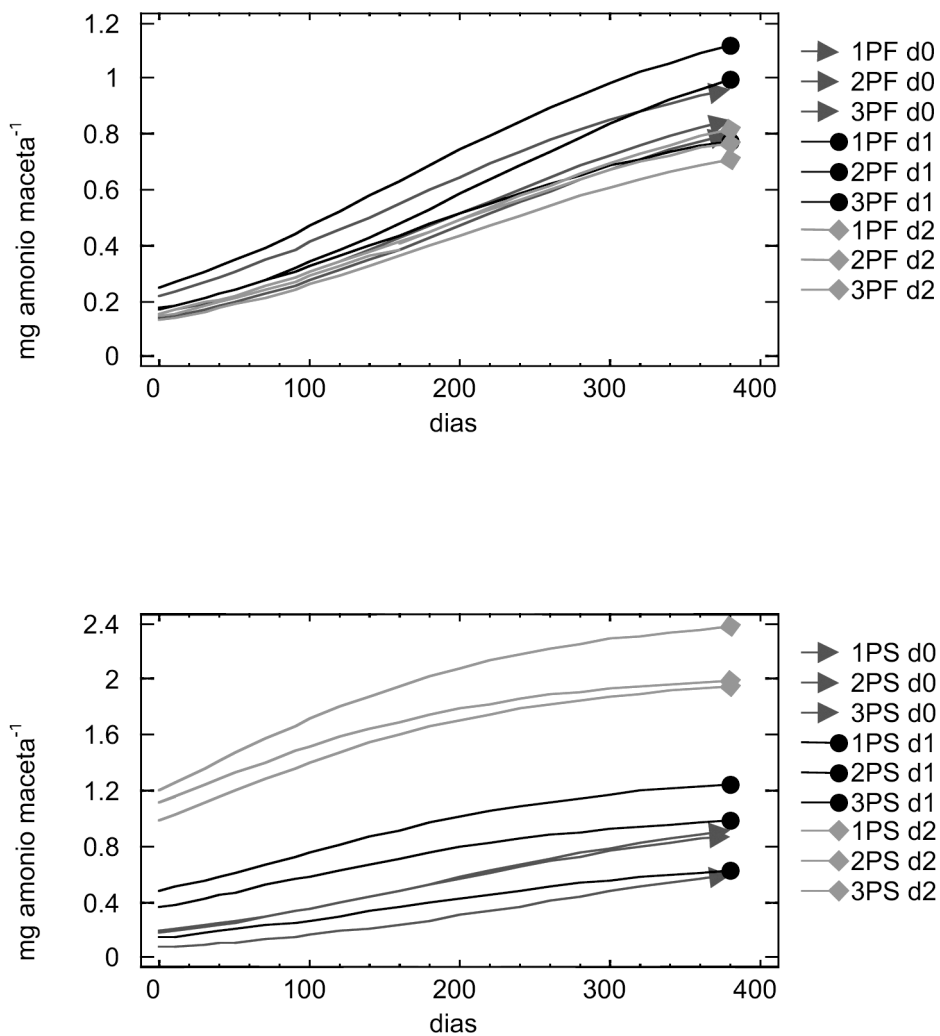


Figura 1. Gráficas de los modelos estimados obtenidas para N-NH_4^+ lixiviado acumulado. Según tratamiento: purín fresco (PF) y purín secado térmico (PS) para las dosis (d): 0, 1 y 2
 Figure 1. Estimated models graphs obtained for accumulated leached $\text{NH}_4^+\text{-N}$. According to the treatment: pig slurry (PF) and thermal dried pig slurry (PS) for the rates (d): 0, 1 and 2

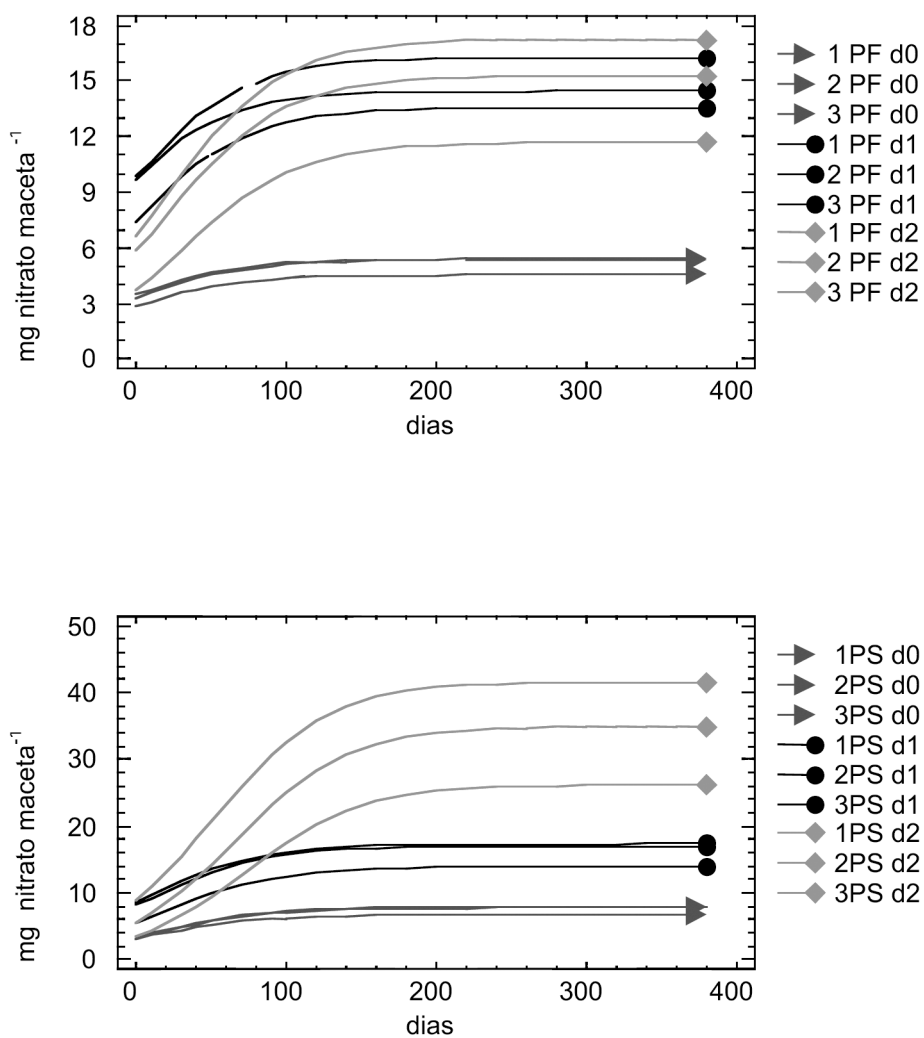


Figura 2. Gráficas de los modelos estimados obtenidas para N-NO_3^- lixiviado acumulado. Según tratamiento: purín fresco (PF) y purín secado térmico (PS) para las dosis (d): 0, 1 y 2
 Figure 2. Estimated models graphs obtained for accumulated leached NO_3^- -N. According to the treatment: pig slurry (PF) and thermal dried pig slurry (PS) for the rates (d): 0, 1 and 2

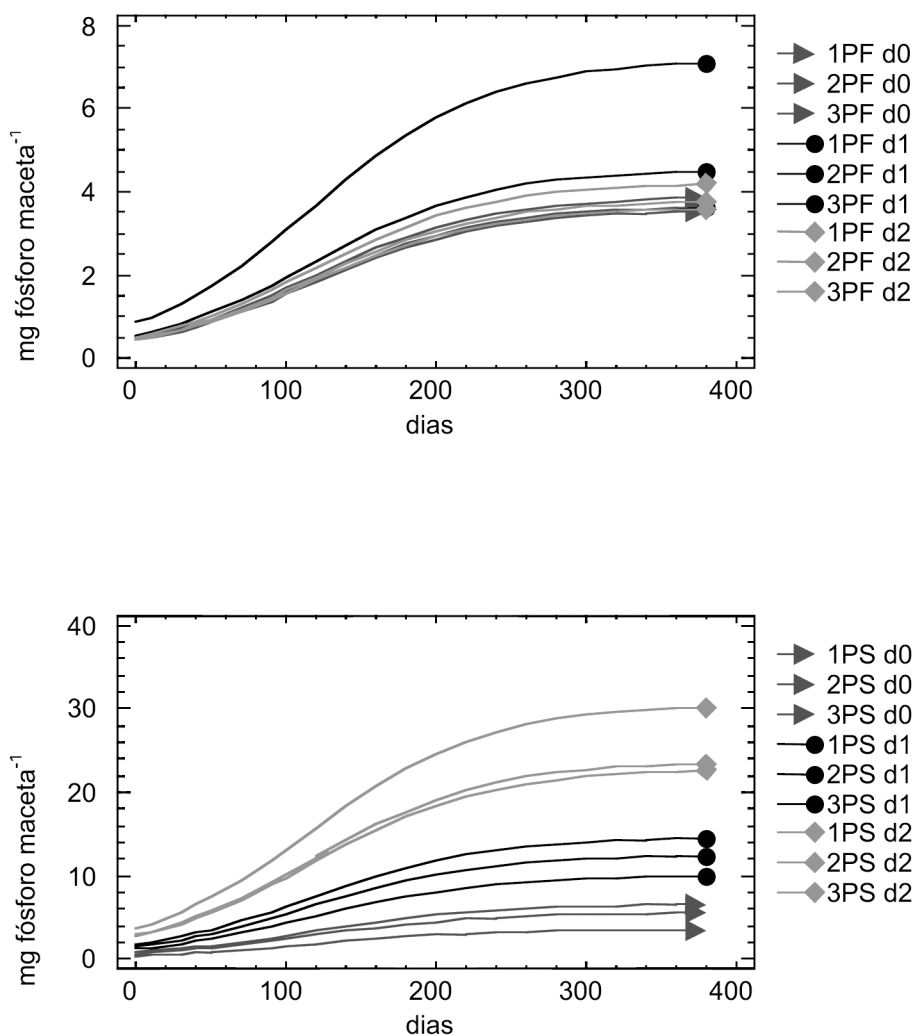


Figura 3. Gráficas de los modelos estimados obtenidas para fósforo lixiviado acumulado. Según tratamiento: purín fresco (PF) y purín secado térmico (PS) para las dosis (d): 0, 1 y 2
 Figure 3. Estimated models graphs obtained for accumulated leached phosphorus. According to the treatment: pig slurry (PF) and thermal dried pig slurry (PS) for the rates (d): 0, 1 and 2

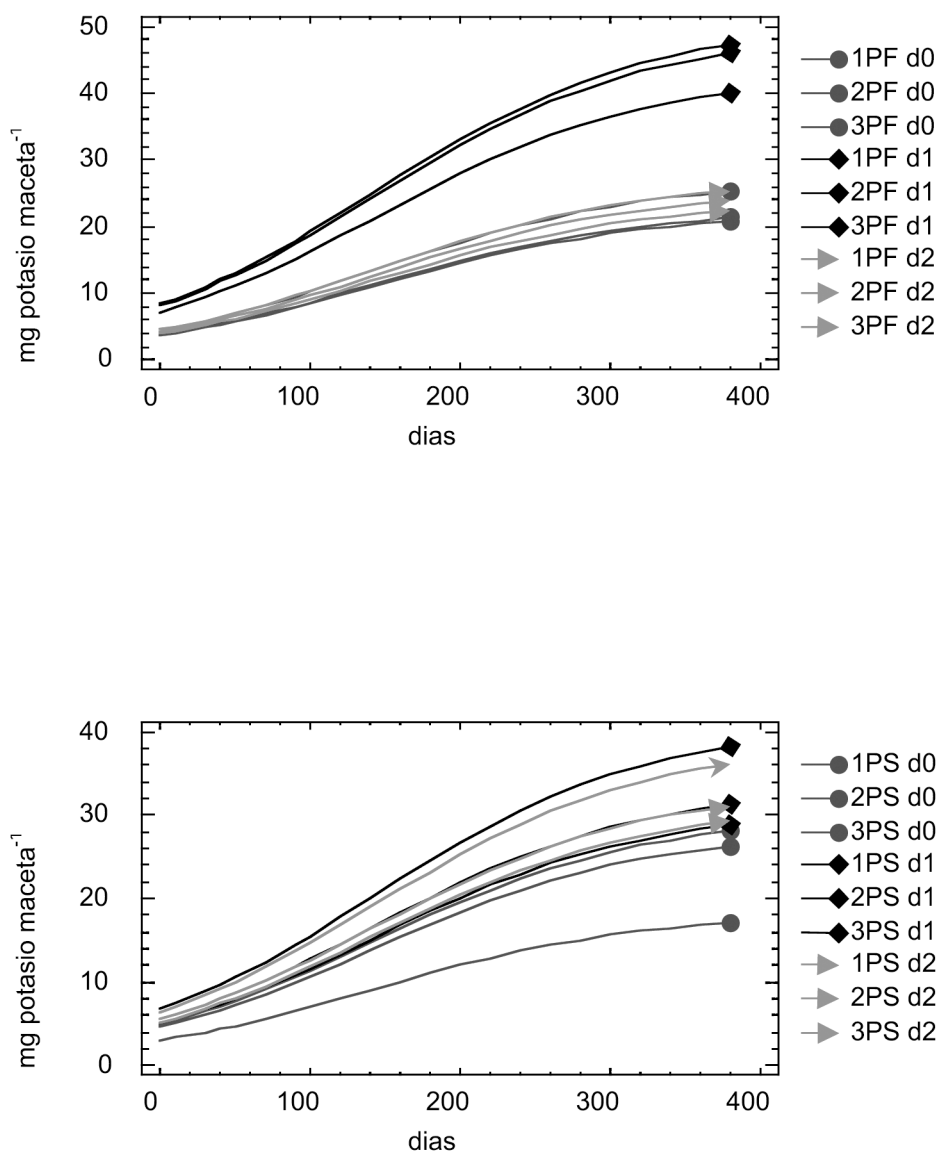


Figura 4. Gráficas de los modelos estimados para potasio lixiviado acumulado.
 Según tratamiento: purín fresco (PF) y purín secado térmico (PS) para las dosis (d): 0, 1 y 2
 Figure 4. Estimated models graphs obtained for accumulated leached potassium. According to
 the treatment: pig slurry (PF) and thermal dried pig slurry (PS) for the rates (d): 0, 1 and 2

parte en forma mineral constituida casi completamente por NH_4^+ y otra parte en forma orgánica que debe ser mineralizada para ser utilizada por los vegetales.

En los modelos estimados para NH_4^+ acumulado (figura 1) de los lixiviados, para las dosis 1 y 2 con PF no hubo diferencias significativas en los parámetros b_1 ($p=0,455$) y b_2 ($p=0,612$) pero si fue significativo para b_3 ($p=0,046$). Para PS los modelos para d1 y d2 fueron diferentes significativamente en el contenido final de NH_4^+ acumulado b_1 ($p<0,001$), que es la asíntota, pero para b_2 y b_3 no hubo diferencias significativas. Los bajos contenidos obtenidos de NH_4^+ acumulado frente a los de NO_3^- acumulado como podemos observar en las figuras 1 y 2 se pueden explicar por la rápida transformación del amonio del purín a nitrato (Daudén et al., 2004).

Los modelos estimados para NO_3^- acumulado (figura 2) de los lixiviados, para d1 y d2 con PF fueron diferentes significativamente para b_2 ($p<0,0001$) y b_3 ($p=0,02$) y no para b_1 ($p=0,9652$), lo que nos indica que en el contenido final de NO_3^- acumulado no existen diferencias aunque aumentáramos las dosis, pero si en la velocidad de lixiviación del nitrato. El hecho de que inicialmente sea más alta la velocidad de lixiviación para PF d1 que para PF d2 a pesar de que la cantidad de N aplicada con d2 sea mayor, pudo ser debido a que la tasa de mineralización del N depende del N orgánico y del tiempo transcurrido. La máxima tasa de mineralización se produce en las primeras semanas de aplicación al suelo y al ser alta la cantidad de N aportada con d2, la actividad microbiana y enzimática del suelo se pudo ralentizar (Martín et al., 2009).

Los modelos estimados para NO_3^- acumulado (figura 2) con el tratamiento PS para d1 y d2 fueron diferentes significativamente en los tres parámetros de la logística con probabilidades para b_1 ($p<0,0001$), b_2 ($p<0,001$) y b_3 ($p=0,0261$). Esto significa que con PS

hubo diferencias entre d1 y d2 tanto en el NO_3^- acumulado (b_1), como en la velocidad en que se produjo el lixiviado (b_3 y b_2). En nuestro ensayo como podemos observar en la figura 2, la dosis 2 al tener mayor cantidad de NO_3^- que la dosis 1 lixivia más NO_3^- .

El fósforo de las deyecciones animales está contenido esencialmente en las partes sólidas de las heces y se presenta bajo dos formas: el 80% en forma mineral, fácilmente utilizable por las plantas y el 20% restante en forma orgánica, que será mineralizado lentamente en el suelo (Abaigar et al., 1999).

En los modelos estimados para P acumulado (figura 3) no existieron diferencias significativas entre las dosis con PF para ningún parámetro: b_1 ($p=0,50$), b_2 ($p=0,49$) y b_3 ($p=0,34$) y para PS fueron muy diferentes los modelos para d1 y d2 en el contenido final de P acumulado reflejado por b_1 ($p<0,0001$) aunque no hubo diferencias significativas para los otros dos parámetros: b_2 ($p=0,496$) y b_3 ($p=0,3455$). En el presente ensayo si se lixivia más fósforo en PS que en PF es porque el fósforo está en la parte sólida del purín y además con PF se aplica menos fósforo que con PS ya que las concentraciones en este último son mucho más elevadas, como se puede ver en la tabla 2.

El potasio contenido en las deyecciones animales es casi exclusivamente urinario y está presente en forma de sales minerales solubles (Abaigar et al., 1999).

En los modelos estimados para K acumulado (figura 4) no existieron diferencias significativas para PS entre dosis y si hubo para PF en el contenido final de K acumulado b_1 ($p<0,0001$), que es la asíntota. El potasio de PF es casi exclusivamente urinario, lo que explicaría que en nuestro ensayo inicialmente se lave más K con PF.

A la vista de los resultados obtenidos se deben ajustar las dosis de fertilización a las necesidades de nutrientes del cultivo no

sólo del nitrógeno sino también de fósforo y potasio (Daudén et al., 2004; Abaigar et al., 1999). Al ajustar la dosis a los tres nutrientes N-P-K se evitará un posible exceso de éstos que podría contaminar las aguas subterráneas (BOE, 1996).

En nuestro ensayo al ser el primer año de cultivo, de entrada en producción, la planta de alstroemeria produjo pocos tallos florales (TF), con una producción total anual de 18 tallos para el tratamiento PF y de 26 tallos para el tratamiento PS. En la tabla 3 se presenta la producción de TF (suma de las tres repeticiones, que corresponden a los tres macetas de cada tratamiento y dosis) en los periodos de primavera verano y otoño invierno y la producción anual de TF este primer año de cultivo en el que se realizaron los lixiviados. El presente ensayo refleja que aunque la d2 aumenta el número de TF (principalmente con PS), la d1 es también buena y además produce en general menores pérdidas por lixiviación de nutrientes.

Conclusiones

Se calculó el porcentaje (%) de pérdida de nutrientes por lixiviación, N-P-K, respecto a las cantidades de N-P-K adicionadas inicialmente con PF y PS en las dosis d1 y d2 (descontada d0).

En el caso del nitrógeno (suma de las pérdidas de N-NH_4^+ y N-NO_3^-) el % de pérdida de N fue con PF d1 de 0,75% y con PS d1 de 0,66%; con PF d2 de 0,37% y con PS d2 de 1,09%. Para el fósforo, el % de pérdida de P fue con PF d1 de 0,2%, y con PS d1 de 0%, con PF d2 de 0% y con PS d2 de 1,18%. Para el potasio, el % de pérdida de K fue con PF d1 de 2,1% y con PS d1 de 1,75%, con PF d2 de 0% y con PS d2 de 0,81%. Los mayores porcentajes de pérdida de nutrientes respecto a las cantidades de N-P-K aportadas

por maceta con PF y PS, se produjeron para N y P con d2 y PS. Para K fue con PF.

Este ensayo constató la importancia que tiene el establecer para cada cultivo un correcto plan de fertilización en N-P-K con estos purines de porcino, con el fin de evitar o reducir los riesgos de contaminación por nutrientes lixiviados.

Bibliografía

- Abaigar A, Iñigo JA, Irañeta I, Pérez de Ciriza JJ, Santos A, Amézqueta J., Carro P, Zuazu P, 1999. Purines de porcino (II) Producción, composición y medioambiental. *Navarra Agraria*, 116: 38-48.
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemist), 1997. Official Methods of Analysis (Cunniff, Ed.) 16 th edition. Vol II, Garthersburg, Maryland.
- APHA, AWWA, WPCF, 1992. Standard methods for the examination of water and waste. American Public Health Association. New York. 874 p.
- Bellido N, Porcel MA, Delgado MM, Miralles de Imperial R, Bigeriego M, 1997. Avances en la utilización agrícola de purines de cerdo. Estudio sobre la reutilización en agricultura de residuos de ganado porcino. Cultivo de maíz y análisis de lixiviados. *Porci*, 41: 59-65.
- Bergström L, Kirchmann H, 2006. Leaching and crop uptake of nitrogen and phosphorus from pig slurry as affected by different application rates. *Journal of Environmental Quality*, 35: 1803-1811.
- BOE, 1996. Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. *Boletín Oficial del Estado*, 61: 9734-9737.
- BOE, 2002. Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. *Boletín Oficial del Estado*, 157: 23910- 23927.

- BOE, 2005a. Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. *Boletín Oficial del Estado*, 15: 1833-1843.
- BOE, 2005b. Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. *Boletín Oficial del Estado*, 171: 25592-25669.
- Bremner JM, Edwards AP, 1965. Determination and isotope- ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: I. Apparatus and procedure for distillation and determination of ammonium. *Soil Science Society of America Proceedings*, 504-507.
- Daudén A, Quílez D, 2004. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. *European Journal of Agronomy*, 21: 7-19.
- Daudén A, Quílez D, Vera MV, 2004. Pig slurry application and irrigation effects on nitrate leaching in Mediterranean soil lysimeters. *Journal of Environmental Quality*, 33(6): 2290-2295.
- Martín JV, Miralles de Imperial R, Delgado MM, 2009. Mineralización del nitrógeno en diferentes estiércoles de granjas avícolas. *Vida Rural*, 294: 54-58.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1994. Métodos Oficiales de Análisis. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. Tomo III. 662 p.
- Miralles de Imperial R, Beltrán EM, Porcel MA, Beringola ML, Martín JV, Delgado MM, 2005. Aplicación de estiércol de ganado porcino. Efectos sobre la calidad y producción en alstroemeria cv. 'Napoli'. *Plantflor Cultivo & Comercio*, 112: 118-121.
- Miralles de Imperial R, Martín JV, Delgado MM, 2009. Influencia de la fertilización con residuos ganaderos en la producción estacional de alstroemeria. *Plantflor Cultivo & Comercio*, 135: 74-76.
- Scotford IM, Cumby TR, White RP, Carton OT, Lorenz F, Hatterman U, Provolo G, 1998. Estimation of the nutrient value of agricultural slurries by measurement of physical and chemical properties. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71: 291-305.
- Vasconcelos E, Cabral F, Cordovil CMdS, 1997. Effects of solid phase from pig slurry on soil chemical characteristics, nitrate leaching, and yield of wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 20 (7&8): 939-952.
- Yavinder-Singh, Pannu RPS, Bijay-Singh, Khind CS, 2005. Leaching of potassium from organic manures, crop residues and inorganic fertilizer in two soils under flooded and upland moisture regimes. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 53 (2): 207-213.
- (Aceptado para publicación el 19 de enero de 2010)