

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

**EVALUACIÓN DE NUTRIENTES LIXIVIADOS BAJO CULTIVO DE MAÍZ
POR APORTE DE ESTIÉRCOLES DE GRANJAS AVÍCOLAS**

Separata ITEA

INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA, VOL. **108** N.º 3 (376-392), 2012

Evaluación de nutrientes lixiviados bajo cultivo de maíz por aporte de estiércoles de granjas avícolas

R. Miralles de Imperial^{*1}, J.V. Martín^{*}, R. Calvo^{**} y M.M. Delgado^{*}

* INIA. Dpto. de Medio Ambiente

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

Resumen

El uso de estiércoles avícolas como fertilizante en los cultivos constituye una práctica medioambiental correcta si se aplica en las dosis adecuadas para el cultivo y que a su vez no contaminen ni el suelo ni el agua. Con el fin de evaluar el uso de gallinazas como fertilizante se condujo un ensayo en invernadero y macetas con dos tratamientos: gallinaza de gallina ponedora y gallinaza de pollo de engorde, en cultivo de maíz (*Zea mays* L.). El objetivo fue estudiar y comparar el posible efecto contaminante por lixiviación de nutrientes de las dos gallinazas y la respuesta del maíz a esta fertilización. Las dosis de gallinazas aplicadas fueron d0 (sin fertilización), d1 (la que cubre las necesidades en nitrógeno del cultivo), d1,5 y d2 (1,5 y doble de la dosis d1). Se forzaron cinco lixiviados a lo largo del ciclo del cultivo. Las variables que se evaluaron en los lixiviados fueron el volumen de drenaje y las concentraciones de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , fósforo y potasio. La metodología seguida para ajustar estimar y comparar los tratamientos fue la del modelo mixto no lineal. Los tratamientos: gallinaza de gallina ponedora y gallinaza de pollo de engorde y las dosis d1, d1,5 y d2 fueron significativamente diferentes. Para ambas gallinazas fue la dosis d2 la más contaminante para las cuatro variables estudiadas en los lixiviados. La mayor producción de biomasa se obtuvo con la dosis d1 de gallinaza de pollo de engorde.

Palabras clave: Fósforo, gallinaza de gallina ponedora, gallinaza de pollo engorde, N-NH_4^+ , N-NO_3^- , potasio, *Zea mays*.

Summary

Leaching of nutrients from corn culture in amended soil with poultry manure

The use of poultry manure as fertilizer in agriculture could be a correct agricultural practise if application is made at the optimum rate that maximize culture production and minimize pollution of soil and water. In order to evaluate the application of poultry manure as fertilizer a trial was carried out in a greenhouse with corn (*Zea mays* L.) cultivated in pots. Two types of poultry manures were applied: laying hen and straw broiler litter. The aim of this work was to study and compare the possible effect on leaching of nutrients of the two poultry manure and the corn response to poultry manure fertilization. The rates of poultry manure applied were: d0 (without fertilizer), d1 (the rate that covered the corn nitrogen requirements), d1.5 (1.5 times d1) and d2 (2 times d1). Leaching was forced 5 times during crop development. The variables studied on leaching were: the leached volume and the $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, phosphorus and potassium concentrations. The methodology to adjust estimation and to compare the models was the nonlinear mixed models. Treatments: laying hen and straw broiler litter and the rates d1, d1.5 and d2 were significantly different. In both poultry manures the rate d2 was the most polluting for the four leaching studied variables. The highest biomass production was obtained with rate d1 of straw broiler litter.

Key words: Broiler litter, laying hen, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, phosphorus, potassium, *Zea mays*.

1. Autor para correspondencia: miralles@inia.es

Introducción

La avicultura intensiva genera unos estiércoles o gallinazas que hay que manejar y gestionar adecuadamente para no generar problemas ambientales. La valoración agrícola de estas gallinazas y su aplicación como fertilizante a los cultivos constituye un valor de gestión medioambiental en las explotaciones avícolas.

En avicultura intensiva las aves destinadas a producción de carne se crían durante un ciclo de aproximadamente 45 días sobre un lecho o cama, así las gallinazas de pollos de engorde están constituidas por una mezcla de heces, plumas y las camas utilizadas, como la paja de cereales. Por otro lado, las aves destinadas a la producción de huevos se mantienen en jaulas, sus deyecciones pasan a una cinta transportadora o a un foso que están situados bajo las jaulas, y están constituidas solamente por las heces y plumas.

Para el sector ganadero la adecuada gestión de los estiércoles producidos minimizando los impactos negativos sobre el medio ambiente debe ser una prioridad. La Ley 10/1998 de Residuos (BOE, 1998) contempla que no serán considerados como residuos, a los efectos de esta Ley, los estiércoles ganaderos cuando se utilizan en el marco de las explotaciones agrarias. En las explotaciones de aves, solamente se deberán notificar los contaminantes vertidos al agua (nitrógeno y fósforo total), cuando las explotaciones ganaderas dispongan de depuradoras con vertido directo a cauce. Por otro lado la utilización agrícola de las deyecciones ganaderas debe ser acorde con distintas directivas, como la relativa a la protección de las aguas frente a la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias que se regula por el Real Decreto 261/1996 (BOE, 1996) y las normativas específicas dictadas por cada Comunidad Autónoma, o la relativa a la prevención y el control integrado de la

contaminación (IPPC) transpuesta por la Ley 16/2002 (BOE, 2002), que regula los índices de emisión a la atmósfera, al agua y al suelo, incluidas las medidas relativas a los residuos con el fin de alcanzar unos niveles elevados de protección del medio ambiente usando la Mejor Tecnología Disponible.

El aporte nitrogenado es un aspecto básico de la nutrición de la gallina ponedora, el calcio y el fósforo (P) son necesarios para el mantenimiento del esqueleto y para la formación de la cáscara del huevo. Las necesidades de P aumentan en animales con altas producciones y la disponibilidad del P en los vegetales es baja por lo que resulta esencial suplementar las dietas de ponedoras con P inorgánico. El contenido en potasio (K) de la mayoría de los vegetales es elevado aunque puede ser interesante suplementarlo en raciones de elevado nivel proteico con K inorgánico (Blas y González, 1991). La composición de la gallinaza depende fundamentalmente del balance nutricional de la dieta aportada, del metabolismo del animal, edad, clima, etc. Cuanto mejor y más eficientemente utilicen las aves los nutrientes presentes en el alimento menor será la carga de elementos, principalmente, compuestos nitrogenados y P, eliminados con las deyecciones.

La lluvia o el riego pueden arrastrar los nutrientes aportados con las gallinazas, u otras deyecciones ganaderas, a los campos agrícolas y estos pueden llegar a corrientes de agua superficiales o subterráneas cercanas (García *et al.*, 2009). La contaminación por lixiviado de nutrientes después de aplicar gallinazas ha sido estudiada por varios autores que controlaron las pérdidas de nitrógeno, fósforo y potasio.

Las pérdidas de nitrógeno por aplicación de gallinazas fueron estudiadas por: Wood *et al.* (1996), que obtuvieron un incremento significativo del lavado de N-NO_3^- con gallinaza de pollo de engorde (GPE) a dosis de 18 t ha^{-1} con

respecto a una dosis de 9 t ha^{-1} ; Agele *et al.* (2004), aplicaron GPE en dosis de 10 t ha^{-1} a un cultivo de *Amaranthus cruentus* y obtuvieron unas pérdidas por lixiviación de N-NO_3^- del $5,6 \text{ kg ha}^{-1}$ con GPE mayores que las de un testigo (sin fertilización) que fueron de 3 kg ha^{-1} .

Las pérdidas de fósforo por aplicación de gallinazas fueron estudiadas por: Hodgkinson *et al.* (2002), que aplicaron GPE en un suelo arcilloso y en los lixiviados encontraron un ligero incremento de la concentración de P respecto al testigo sin fertilización; Smith *et al.*, 2004, comprobaron que las pérdidas por lixiviado de P en pastos fertilizados con GPE eran mayores si estos provenían de aves alimentadas con una dieta clásica (normal) que los GPE de aves en cuya dieta se incluían fitasas; Vadas *et al.* (2004) estudiaron el efecto de la adición de fitasas y reducción del suplemento de P inorgánico en las dietas de las aves y el efecto de estas GPE sobre el P lixiviado en suelos enmendados con gallinazas frescas o compostadas, y comprobaron que al añadir fitasas y reducir la cantidad de P en las dietas las pérdidas de P fueron menores.

Las pérdidas de potasio (K) por aplicación de gallinazas fueron estudiadas por: Yavinder *et al.* (2005) que aplicaron estiércoles avícolas a dos tipos de suelo (arenoso y arcilloso), las pérdidas de K en los suelos tratados con GPE fueron superiores a las del control de referencia, y mayores para el suelo arenoso que el arcilloso.

Pirani *et al.* (2007), estudiaron durante dos años el lixiviado de nitrógeno, fósforo y potasio, en un cultivo de *Festuca arundinacea* fertilizado con GPE a dosis de: 0 (sin fertilización), $5,6 \text{ t ha}^{-1}$ y $11,2 \text{ t ha}^{-1}$. Estos autores obtuvieron los valores de lixiviado de nutrientes más altos para el K, seguido del P que fueron mucho menores y las de N-NH_4^+ y N-NO_3^- que fueron algo menores que las de P; en todos los casos aumentaron el segundo año respecto al primero.

El maíz es un cultivo muy sensible a la acción de los fertilizantes, que se refleja rápidamente en un aumento de producción. El efecto de la fertilización del maíz con gallinazas sobre la producción ha sido estudiado por autores como Carr *et al.*, (1998) que aplicaron gallinaza (GPE) compostada a cultivo de maíz como fertilizante en dosis equivalente a 133 kg N ha^{-1} y obtuvieron una buena respuesta en la producción de este cultivo frente al testigo; estos autores consideraron que dicho incremento fue debido a que la GPE contiene un alto porcentaje de nitrógeno inorgánico. Wood *et al.* (1996) encontraron que con la aplicación de GPE a cultivo de maíz en dosis de 8 t ha^{-1} se obtenían producciones óptimas mientras que a dosis más altas de 18 t ha^{-1} las producciones disminuían y Wang *et al.* (2002) aplicaron en campo pellets de gallinaza compostada a cultivo de maíz dulce y obtuvieron el mayor rendimiento en biomasa seca en este cultivo con la gallinaza frente a pellets de otros subproductos ganaderos (de vacuno y porcino).

La aplicación de gallinazas procedentes de la avicultura intensiva a los cultivos como fertilizante constituye una buena práctica de reciclado y reutilización de estos subproductos con un aprovechamiento de su contenido en nutrientes y materia orgánica pero debe hacerse en dosis adecuadas para el cultivo y evitando la contaminación del medio ambiente.

El objetivo del presente ensayo fue evaluar la aplicación como fertilizante al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) de dos tipos de gallinaza: gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) y determinar la dosis de gallinaza óptima para este cultivo que aúne una producción de biomasa sostenible y minimice el posible riesgo contaminante por lixiviación de nutrientes: N-P-K en las aguas de drenaje. Los parámetros que se controlaron fueron: el peso de biomasa de maíz al final del cultivo y las concentraciones de amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), fósforo (P), y potasio (K) en los lixiviados a lo largo del ciclo de cultivo.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en un invernadero localizado en Madrid capital. Se utilizaron macetas de arcilla de 12 L de capacidad y 0,3 m de profundidad y un único drenaje. Se rellenaron con 12 kg de suelo, que previamente se mezcló con las dosis de gallinazas. La maceta llena de suelo y gallinaza alcanzó una altura media de 0,265 m. Las características del suelo utilizado se presentan en la tabla 1. Los tratamientos fertilizantes aplicados al cultivo de maíz fueron: gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE). Las gallinazas utilizadas en el ensayo provenían de granjas situadas en la Comunidad de Castilla y León. Las características de estas gallinazas se presentan en la tabla 2. La gallinaza de GGP se tomó de la cinta y en la de GPE la cama utilizada fue de paja de cebada.

Tabla 1. Características del suelo
Table 1. Soil characteristics

| Parámetro | |
|--|------------------|
| pH 1:2,5 H ₂ O | 8,42 |
| Conductividad eléctrica 1:5 H ₂ O dSm ⁻¹ | 0,17 |
| Nitrógeno Kjeldahl, % | 0,04 |
| Carbono orgánico oxidable, % | 0,4 |
| N-NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹ | 2,71 |
| N-NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹ | 2,27 |
| Textura del suelo | |
| Arena, % | 28 |
| Arcilla, % | 35 |
| Limo, % | 37 |
| Textura MAPA* | Franco-arcilloso |

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

Debido a la variabilidad de estos subproductos de la producción avícola resulta necesario cuando se va a plantear su empleo como fertilizante en campo realizar el análisis de estos materiales para conocer su contenido en nutrientes, humedad, etc., conocidos estos valores se calculará las dosis de gallinazas (GGP y GPE) a aplicar según las necesidades del cultivo.

El ensayo fue un doble factorial con un total de ocho tratamientos, que consistían en la combinación de los dos tipos de gallinaza (GGP y GPE) y cuatro dosis (d0, d1, d1,5 y d2) con cuatro repeticiones en un total de treinta y dos macetas con un diseño completamente aleatorizado. El tratamiento d0, o dosis nula, indica el tratamiento sin aplicación de gallinaza. La dosis d1 se estableció para que cubriera las necesidades de N del maíz. Se consideraron unas extracciones de N por el cultivo de 300 kg N ha⁻¹ (Quemada, 2006) para una producción media de maíz de 10.000 kg ha⁻¹, que considerando una densidad de siembra de 70.000 plantas ha⁻¹ (Guerrero, 1990), supone una cantidad de 4,29 g de nitrógeno por planta de maíz. Para calcular la cantidad de gallinaza que contiene los 4,29 g de N total a aplicar se sumó al N Kjeldahl (que engloba el N orgánico más el N amoniacal) el contenido en N nítrico. Las dosis d1,5 y d2 eran 1,5 veces y 2 veces las aplicadas en d1.

Los pesos de las gallinazas (GGP y GPE) aportados a los 12 kg de suelo fueron en peso seco los que se reflejan en la tabla 3. El factor de humedad para GGP fue 2,87 y para GPE fue 1,7. Las gallinazas se aplicaron al suelo en su estado natural en fresco y los pesos frescos fueron para GGP de: 0 g con la dosis d0, 300 g con la dosis d1, 450 g para la dosis d1,5 y 600 g para la dosis d2. Para GPE fueron: 0 g para d0, 210 g para d1, 315 g para d1,5 y 420 g para d2. Las cantidades de N-P-K, que se aplicaron por maceta (calculadas sobre peso seco de GGP y GPE), según el contenido en N-P-K de estas gallinazas se

Tabla 2. Características de las gallinazas (G). Las concentraciones (% & mg kg⁻¹) se expresan sobre materia seca

Table 2. Poultry manure characteristics. Concentrations (% & mg kg⁻¹) are expressed over dry matter weight

| Parámetro | G gallina ponedora | G pollo engorde |
|--|--------------------|-----------------|
| pH | 7,37 | 7,87 |
| C.E.*, dSm ⁻¹ | 7,24 | 6,12 |
| Humedad, % | 65,16 | 41,18 |
| Sólidos totales, % | 24,37 | 89,4 |
| Sólidos fijos, % | 8,21 | 15,69 |
| Sólidos volátiles, % | 16,16 | 73,7 |
| N Kjeldahl, mg kg ⁻¹ | 40300 | 34600 |
| N-NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹ | 15255 | 5867 |
| N-NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹ | 551 | 325 |
| C orgánico oxidable, % | 30,43 | 35,50 |
| P, mg kg ⁻¹ | 9535 | 9367 |
| K, mg kg ⁻¹ | 21743 | 19630 |
| Ca, mg kg ⁻¹ | 66150 | 14595 |
| Mg, mg kg ⁻¹ | 6959 | 3666 |
| Na, mg kg ⁻¹ | 3630 | 2866 |

* C.E. = conductividad eléctrica.

Tabla 3. Cantidad de elementos nutritivos: N-P-K, aportados por maceta con los tratamientos: gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) a las dosis:

d1, d1,5 y d2, y porcentaje (%) de nutrientes perdidos por lixiviado

Table 3. N-P-K nutrients applied by pot with the treatments: poultry manure laying hen (GGP) and poultry manure broiler litter (GPE) at the rates: d1, d1.5 and d2, and nutrients leaching losses percentage (%)

| Tratamiento- Dosis | Gallinaza aportada peso seco g maceta ⁻¹ | Nitrógeno* mg N maceta ⁻¹ | % pérdida nitrógeno | Fósforo mg P maceta ⁻¹ | % pérdida fósforo | Potasio mg K maceta ⁻¹ | % pérdida potasio |
|--------------------|---|--------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|
| GGP-d1 | 105 | 4290 | 9,35 | 1001 | 0,11 | 2283 | 0,4 |
| GGP-d1,5 | 157,5 | 6435 | 12,42 | 1502 | 0,42 | 3424 | 0,64 |
| GGP-d2 | 210 | 8580 | 12,76 | 2002 | 0,7 | 4566 | 0,76 |
| GPE-d1 | 123 | 4290 | 10,06 | 1152 | 0,73 | 2414 | 0,98 |
| GPE-d1,5 | 184,5 | 6435 | 10,89 | 1728 | 1,17 | 3622 | 0,89 |
| GPE-d2 | 246 | 8580 | 10,64 | 2304 | 1,09 | 4829 | 0,96 |

* Nitrógeno = suma de: N orgánico + N amoniacal + N nítrico.

presentan en la tabla 3. El equivalente aplicado en peso seco de gallinazas por hectárea para la dosis d1 de referencia fue de 34 t ha⁻¹ para GGP y 40 t ha⁻¹ para GPE.

El maíz (*Zea mays* L. cv Furio) se sembró el mes de abril y se cultivó una planta por maceta. Las macetas tenían un único agujero de drenaje que se tapó con un filtro para evitar pérdidas de suelo y agua. Las macetas se colocaron sobre soportes metálicos. La disposición en el invernadero de las macetas sobre las mesas fue al azar y con una distancia suficiente para que no se interceptaran entre ellas. Las cinco veces a lo largo del cultivo que se procedió a provocar los lixiviados se recogieron estos sobre un frasco graduado de 500 mL de capacidad.

Se provocaron cinco lixiviados a lo largo del cultivo del maíz y en diferentes estados de desarrollo de la planta. El primero (1º) cuando la planta tenía entre dos y tres hojas, al mes de la siembra que se consideró día 0; el segundo (2º) se practicó cuando la planta tenía entre tres y seis hojas: a los 18 días; el tercero (3º) se obtuvo entre la antesis y la plena floración a los 35 días; el cuarto (4º) se practicó cuando el grano estuvo en estado acuoso-lechoso a los 53 días; el quinto (5º) y último lixiviado se realizó en el estado de madurez fisiológica a los 81 días.

Se calculó la capacidad de campo (CC) del suelo y se obtuvo que para los 12 kg eran 3000 mL. Mientras duró el ensayo se mantuvo 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 a 2L y se recogieron de 200 a 500 mL de lixiviado. Para el cálculo posterior de la masa de los nutrientes lixiviados: NH₄⁺, NO₃⁻, P y K, se tuvo en cuenta el volumen de drenaje recogido por maceta, en cada uno de los cinco lixiviados (Miralles de Imperial *et al.*, 2010). En los lixiviados se determinaron las concentraciones de NH₄⁺,

NO₃⁻, P y K. El NH₄⁺ y NO₃⁻ se analizaron por el método de Bremner y Edwards (1965), el fósforo se determinó por fotometría de emisión y el potasio por fotometría de llama (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 1994).

La recolección del maíz se efectuó a primeros de agosto, a los 125 días de la siembra, cuando la planta alcanzó su estado de madurez, con un porcentaje medio de humedad en grano del 18%.

Sobre el material vegetal de cada planta de maíz se separaron la caña (C), las hojas (H), las espigas (E), el zuro (Z) y el grano (G). Después se procedió al secado en estufa a 70° C de todos estos materiales. El peso seco de la biomasa aérea por planta y maceta se obtuvo por la suma de: C+ H+ E+ Z+ G.

En el estudio estadístico de los resultados de los nutrientes lixiviados se tomaron como variables dependientes: las cantidades acumuladas de NH₄⁺, NO₃⁻, P y K lixiviados, y como variable independiente los días. El objetivo del análisis estadístico fue modelizar los nutrientes lixiviados y estudiar el cambio de los modelos para los dos tratamientos: GGP y GPE y las cuatro dosis (d0, d1, d1,5 y d2) a lo largo de los cuatro meses de cultivo y comprobar si estos cambios eran significativamente diferentes.

Para el análisis estadístico de los resultados de este ensayo se tuvo en cuenta que los cinco 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. La estrategia de esta modelización fue comenzar con el modelo saturado que incluye los efectos principales (tratamiento, dosis) y la interacción, en cada uno de los tres parámetros de la logística: b₁, b₂ y b₃, también se comenzó con dos factores aleatorios

(u , v) que se sumaron a los parámetros b_1 y b_2 , en todos los casos v no dio significativo por lo que no se reflejó en el modelo.

El modelo general fue:

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

$$b_{1ijk} = b_{1ij} + u_k$$

$$u_k \sim N(0, \sigma_u^2)$$

$$e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$$

Los efectos fijos fueron: b_{1ijk} , b_{2ij} , b_{3ij} . Donde: b_{1ijk} es la asíntota y representa la cantidad de lixiviado acumulado, b_{2ij} está relacionado con la velocidad de lixiviación, b_{3ij} es el parámetro relacionado con la forma de la curva, la i son los tratamientos: GGP y GPE, la j son las dosis d1, d1,5 y d2, la k es cada una de las treinta y dos macetas. 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 nlmixed del SAS V 9.3.

Para el análisis estadístico de los resultados de la producción de biomasa de maíz se utilizó el programa Statgraphics XVI (Centurión). Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) factorial: tipo de tratamiento (gallinaza de gallina ponedora y gallinaza de pollo engorde) y dosis.

Resultados y discusión

En las figuras 1, 2, 3 y 4 se presentan las gráficas de los modelos estimados para las cuatro variables estudiadas (NH_4^+ , NO_3^- , P y K) y las dosis d1, d1,5 y d2.

Los promedios de volúmenes de drenaje obtenidos fueron: 343 mL para el primer (1°) lixiviado, 415 mL para el 2°, 282 mL para el 3°, 364 mL para el 4° y 394 mL para el 5°. Podemos observar que los volúmenes fueron au-

mentando en los primeros estadios de crecimiento cuando la planta de maíz tenía entre dos a seis hojas (entre el 1° y 2° lixiviado) y fue en el 2° cuando se alcanzó el máximo volumen de drenaje. El momento de máxima retención hídrica con un menor volumen de drenaje sucedió en el 3° lixiviado (entre la antesis y la plena floración) que coincidió con el de máximas necesidades nutritivas por parte de la planta. Betrán (2010) considera que en el cultivo de maíz la extracción de nutrientes comienza tras la nascencia y la extracción más fuerte de estos se produce en el estado de ocho hojas en la que se inicia el crecimiento vegetativo más intenso, en torno al 47% de todo el N que extrae la planta lo hace entre los quince días anteriores y los quince posteriores a la floración.

En los modelos estimados para masa de N-NH_4^+ acumulado (figura 1) de los lixiviados hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los modelos de los dos tratamientos GGP y GPE en las tres dosis (d1, d1,5 y d2) además de en la forma del modelo reflejado en los parámetros b_2 y b_3 también en la cantidad final de lixiviado acumulado reflejado en el parámetro b_1 . Con el tratamiento GGP el lixiviado de N-NH_4^+ acumulado obtenido fue mayor (figura 1).

Para N-NO_3^- acumulado (figura 2) de los lixiviados, hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los modelos de los dos tratamientos GGP y GPE en la forma del modelo en el parámetro b_2 en las dosis d1 y d2 y en b_3 en la d1,5. También hubo diferencias significativas en la cantidad final de N-NO_3^- acumulado, reflejado en el parámetro b_1 , entre los tratamientos GGP y GPE para las tres dosis. Con el tratamiento GGP el lixiviado de N-NO_3^- acumulado obtenido fue mayor que con GPE como se puede apreciar en la figura 2.

El porcentaje de N inorgánico (suma de N-NH_4^+ y N-NO_3^-) de las gallinazas (GGP y GPE) utilizadas en el ensayo respecto al N Kjeld-

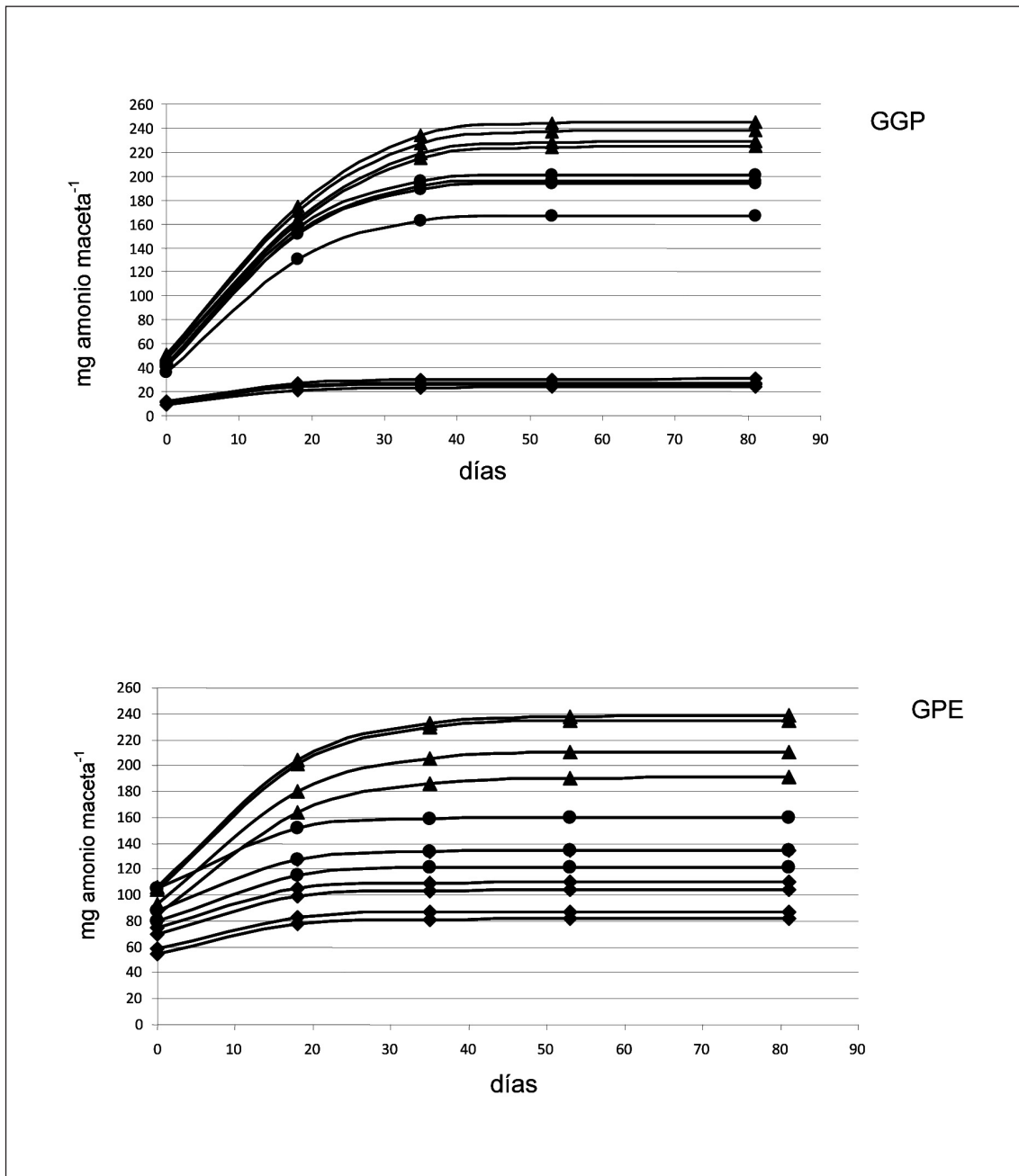


Figura 1. Masa de amonio ($N-NH_4^+$) lixivado acumulado para la gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) para las dosis: d1 (◆), d1,5 (●) y d2 (▲) con los modelos logísticos ajustados.
 Figure 1. Mass of ammonium (NH_4^+-N) accumulated leaching according to: laying hen (GGP) and broiler litter (GPE), for the rates: d1 (◆), d1.5 (●) and d2 (▲), with the adjusted logistic models.

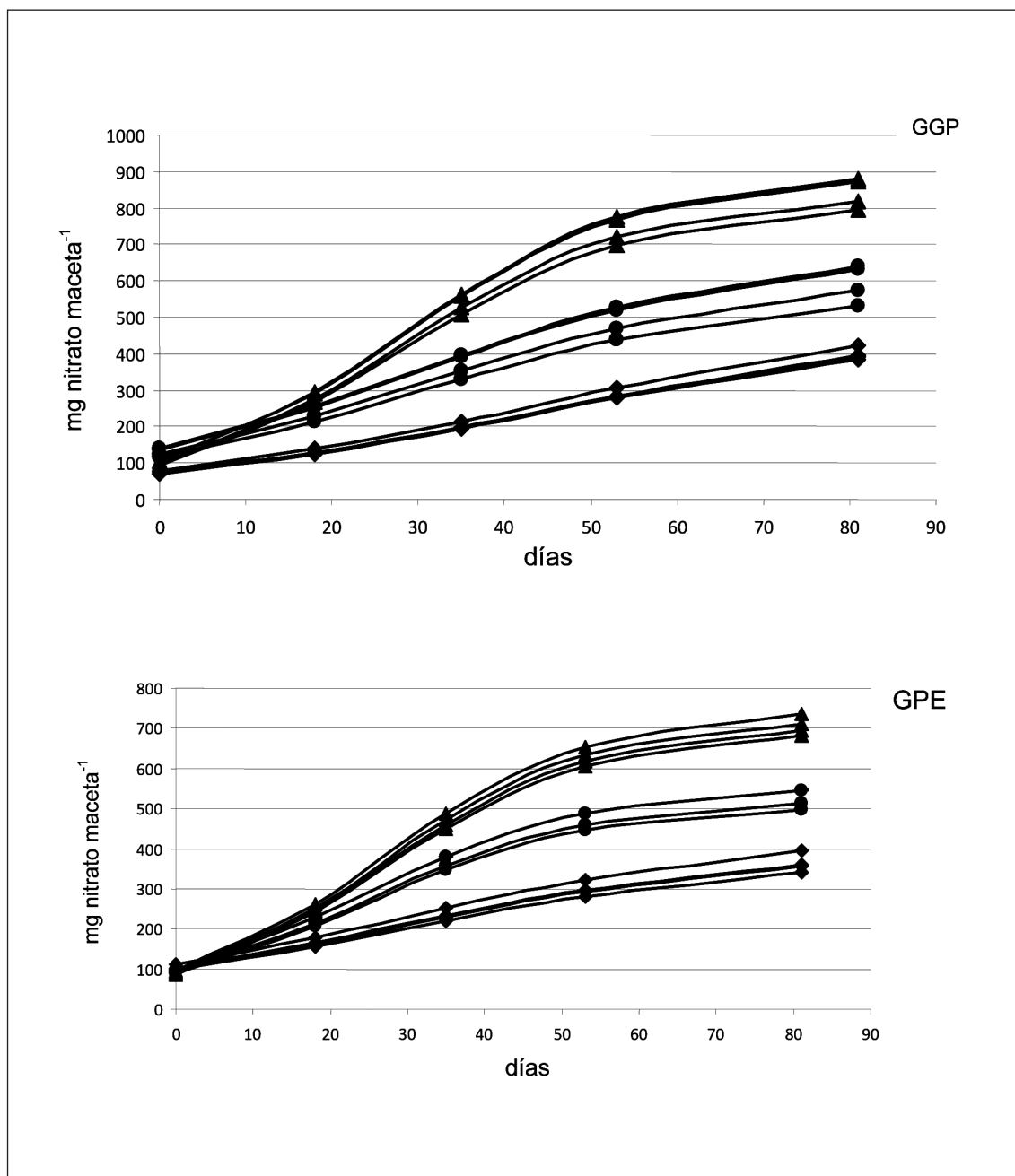


Figura 2. Masa de nitrato ($N-NO_3^-$) lixiviada acumulada para gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) para las dosis: d1 (◆), d1.5 (●) y d2 (▲) con los modelos logísticos ajustados.

Figure 2. Mass of nitrate ($N-NO_3^-$) accumulated leaching according to: laying hen (GGP) and broiler litter (GPE), for the rates: d1 (◆), d1.5 (●) and d2 (▲), with the adjusted logistic models.

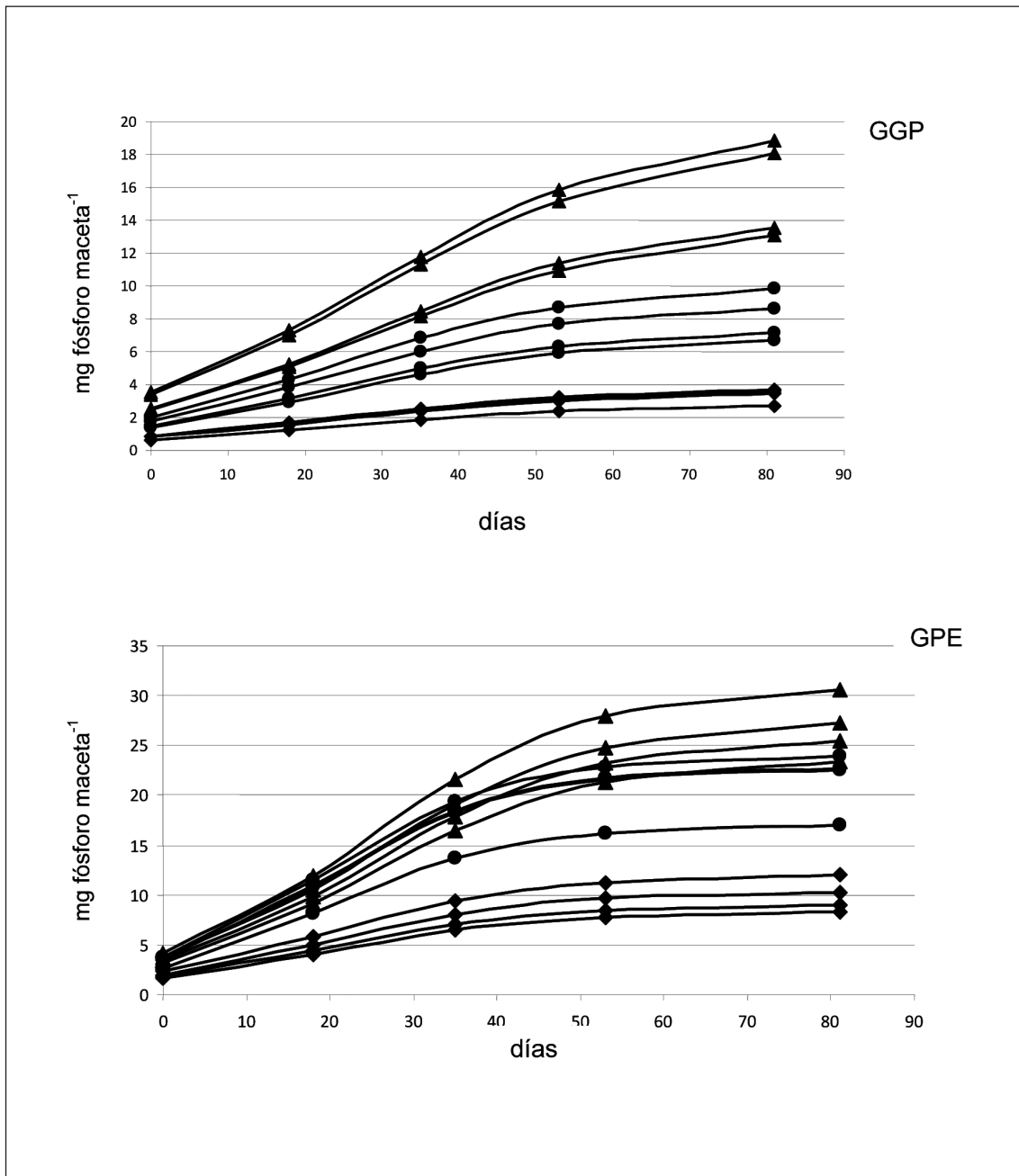


Figura 3. Masa de fósforo lixiviada acumulada para gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) para las dosis: d1 (◆), d1,5 (●) y d2 (▲) con los modelos logísticos ajustados.
 Figure 3. Mass of phosphorus accumulated leaching according to: laying hen (GGP) and broiler litter (GPE), for the rates: d1 (◆), d1.5 (●) and d2 (▲), with the adjusted logistic models.

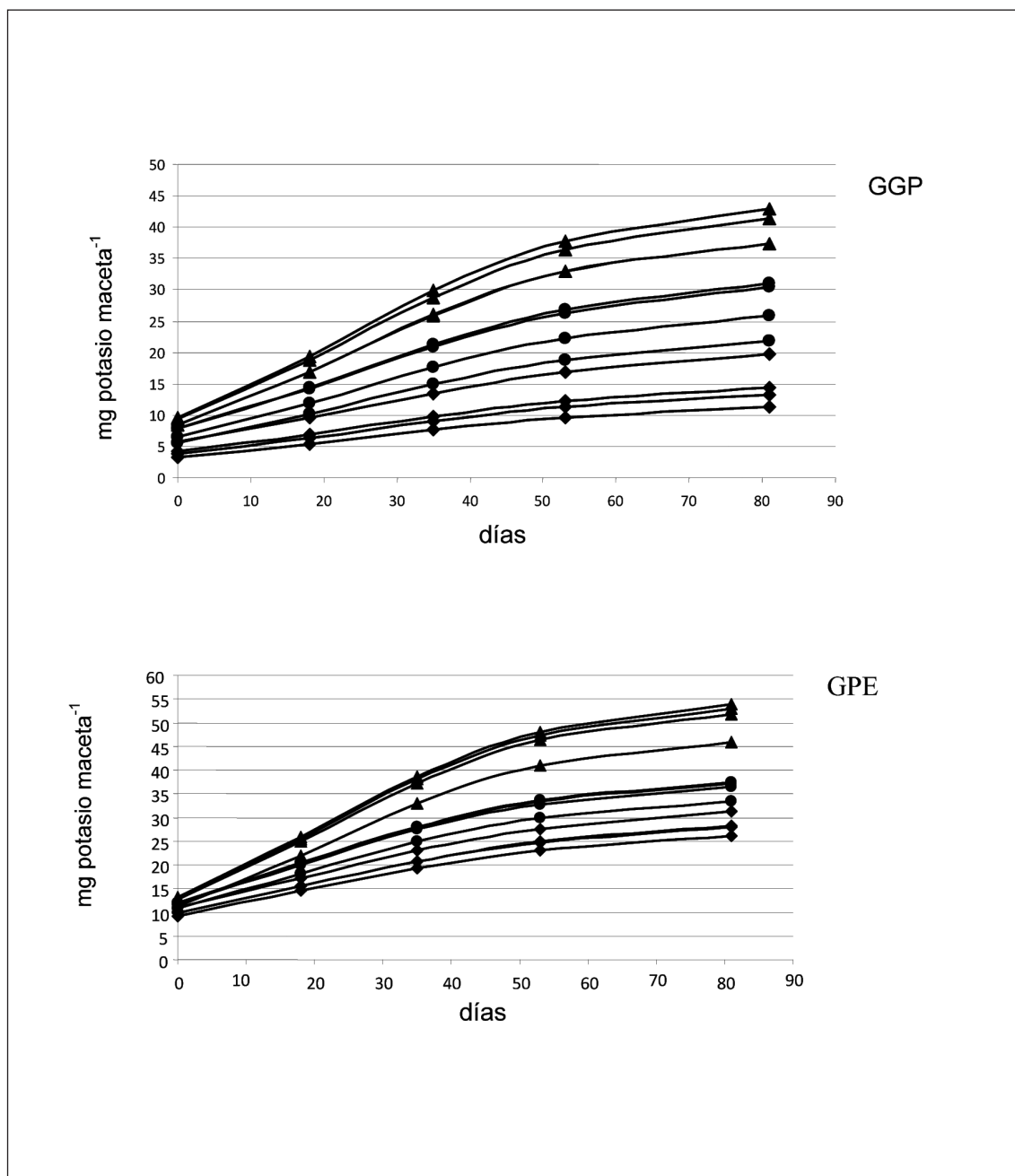


Figura 4. Masa de potasio lixiviado acumulado para gallinaza de gallina ponedora (GGP) y gallinaza de pollo de engorde (GPE) para las dosis: d1 (◆), d1,5 (●) y d2 (▲) con los modelos logísticos ajustados.
 Figure 4. Mass of potassium accumulated leaching according to: laying hen (GGP) and broiler litter (GPE), for the rates: d1 (◆), d1.5 (●) and d2 (▲), with the adjusted logistic models.

dahl (tabla 2) fueron de 39% para GGP y 18% para GPE, el porcentaje de N restante (61% para GGP y 82% para GPE) de estas gallinazas se irá mineralizando al aplicarlas al suelo a lo largo del desarrollo del cultivo. En estas gallinazas el N en forma inorgánica estará disponible para la planta y por efecto del riego o lluvia podría ser lavado y lixiviado a capas más profundas. El N mineral disponible se podría perder fácilmente si la época de aplicación de las gallinazas al cultivo no coincidiera con el periodo de absorción de N por la planta (Abaigar *et al.* 2010).

En este ensayo se produjo un mayor lixiviado de N como NH_4^+ en los primeros estadios de desarrollo del cultivo, del 1º (día 0) al 3º (día 35) lixiviado, que se realizaron cuando la planta tenía entre dos a tres hojas para el 1º y entre la antesis y la plena floración para el 3º; el lixiviado acumulado se estabilizó entre los estadios de grano en estado acuoso-lechoso y la madurez fisiológica. El NO_3^- lixiviado fue aumentando del 1º al 5º lixiviado y el mayor aumento se produjo del 3º al 5º lixiviado, periodo que coincidió con una estabilización del NH_4^+ lixiviado, debido posiblemente a la mineralización del N amoniacal a nitrato.

Martín *et al.*, (2009) en ensayos de mineralización de N con gallinazas de gallina ponedora (GGP) y de pollo de engorde (GPE) en un suelo básico (B), como el utilizado en este ensayo, obtuvieron mayores cantidades de N mineralizado total (suma del N amoniacal y del N nítrico) con GGP que con GPE. Si observamos las figuras 1 y 2 los lixiviados acumulados de N-NH_4^+ y de N-NO_3^- en este ensayo para la dosis d1,5 y d2 fueron mayores para GGP. Martín *et al.*, (2009) realizaron una incubación en cámara a 25° C, para fijar el porcentaje (%) del N mineralizado al aplicar a un suelo básico gallinazas de GGP y GPE en dosis de 8 y 20 t ha⁻¹. El contenido de N inorgánico (N-NH_4^+ y N-NO_3^-) en el suelo lo valoraron al inicio y durante la incubación con controles a los 0, 7, 14, 21 y 28 días tras la

aplicación de GGP y GPE. Estos autores observaron que en los primeros días tras la aplicación al suelo de GGP se liberaba una gran cantidad de nitrógeno inorgánico. Los % de N mineralizado que obtuvieron durante esta incubación fueron para GGP del 62% y 73% y para GPE del 24% y 22 % para las dosis 8 y 20 t ha⁻¹ respectivamente. La GPE se mineralizó mas lentamente debido a la carga orgánica de la paja que llevaba en su composición que ralentizó la mineralización de N. Según estos autores el riesgo de posible contaminación por lavado de nitratos fue mayor con GGP que con GPE y en los primeros días tras su aplicación. Estos resultados están de acuerdo con los datos del presente ensayo, donde se ha observado una mayor masa de N-NH_4^+ y de N-NO_3^- con GGP que con GPE y un mayor riesgo de contaminación por lixiviado de amonio en los primeros días tras la aplicación de las gallinazas, en particular, en los 35 primeros días. Mientras que el riesgo de contaminación por nitrato se mantuvo hasta el final del cultivo lo que nos indica que habría que seguir evaluando los efectos en años posteriores a su aplicación, dado que el N orgánico seguirá mineralizándose en el segundo y tercer año y puede seguir habiendo riesgo de contaminación por lixiviado de nitratos.

Agele *et al.* (2004) aplicaron GPE en dosis de 10 t ha⁻¹ a cultivo de *Amaranthus cruentus* y Pirani *et al.* (2007) aplicaron durante dos años a cultivo de *Festuca arundinacea* GPE en dosis de: 0, 5,6 y 11,2 t ha⁻¹ en ambos estudios no se encontraron riesgos importantes de contaminación por nitratos cuando se aplicaron las dosis referidas de GPE. Wood *et al.* (1996) en estudios de aplicación de gallinaza de pollo de engorde (GPE) como fertilizante bajo cultivo de maíz en dosis de 9 y 18 t ha⁻¹ constataron los mayores incrementos en el contenido de nitratos de los lixiviados con la dosis de 18 t ha⁻¹. Wang *et al.* (2002) aplicaron gallinazas en pellets a cultivo de maíz dulce en dosis 0 (testigo, sin fertilización) y dosis 1 equivalente a 200 kg de N ha⁻¹ (en el

presente ensayo la dosis 1 equivalente aplicada fue de 300 kg de N ha⁻¹) y lo compararon con otros subproductos ganaderos (de vacuno y porcino) aplicados también en pellets en las mismas dosis y encontraron que el pellet de gallinaza liberó mayor cantidad de nitrógeno que el vacuno y porcino; la liberación del nitrógeno de estos pellets se produjo en los primeros días tras su aplicación; lo que concuerda con los resultados del presente ensayo donde también observamos una mayor lixiviado de N en los primeros días tras la aplicación de la gallinaza.

Las gallinazas también son ricas en otros nutrientes como fósforo y potasio (Abaigar *et al.*, 2010). En este estudio se observaron diferencias significativas en los modelos estimados para P acumulado (figura 3) de los lixiviados, entre los tratamientos GGP y GPE en las tres dosis (d1, d1,5 y d2), tanto en la forma del modelo, reflejado en los parámetros b_2 y b_3 , como también en la cantidad final de P lixiviado acumulado reflejado en el valor del parámetro b_1 . La cantidad de P lixiviado fue mayor para el tratamiento con GPE que para el tratamiento con GGP como se puede observar en la figura 3. Hodgkinson *et al.* (2002) no encontraron cantidades significativas de P en el drenaje cuando se aplicó gallinaza de pollo de engorde, pero Pirani *et al.* (2007) si los encontraron con la aplicación de GPE en ensayos de larga duración, este P lixiviado advertían estos autores podría afectar a la calidad de las aguas superficiales y contribuir a que se produjeran fenómenos de eutrofización de las mismas. Schroeder *et al.* (2004) también observaron mayores pérdidas de P con la aplicación de gallinazas que se incrementaban tras un episodio de lluvias cercano a la aplicación de estas. En este ensayo los valores obtenidos del lixiviado acumulado de P fueron mas altos con GPE que con GGP y en ambas gallinazas fueron mas altos con las dosis mayores, resultados que coinciden con los reflejados anteriormente por Pirani *et al.* (2007) y Schroeder *et al.* (2004).

Además se encontraron diferencias significativas en los modelos estimados para K acumulado (figura 4) de los lixiviados, entre los tratamientos GGP y GPE. Se encontraron diferencias en el parámetro b_2 (forma de la curva) para las dosis d1 y d1,5 y en el parámetro b_1 (la cantidad final de K lixiviado) para las tres dosis. Con el tratamiento GPE el lixiviado de K acumulado obtenido fue mayor que con GGP como se puede observar en la figura 4. Yavinder *et al.* (2005) en estudios sobre lixiviado de potasio por aplicación de gallinazas observaron contenidos considerables de K en los lixiviados obtenidos de los suelos tratados con gallinazas aunque este contenido en K fue menor para el suelo arcilloso frente al arenoso, en este ensayo con un suelo arcilloso el K lixiviado acumulado fue mayor para GPE frente a GGP.

El ajuste de nutrientes en las dietas de las aves es una de las estrategias que se están promoviendo estos últimos años para reducir el contenido de nutrientes (no aprovechados) en las deyecciones animales y con ello minimizar la posible contaminación por N-P-K en la aplicación de gallinazas como fertilizante en cultivos. Para lograr este objetivo se está reduciendo en la medida de lo posible el contenido en proteína bruta del pienso de estas aves y se utilizan fuentes de fósforo más digestibles y fitasas para aumentar la asimilación del fósforo contenido en los nutrientes vegetales (Smith *et al.*, 2004, Vadas *et al.*, 2004, Piñeiro *et al.*, 2008).

Con el fin de completar los resultados de este ensayo de lixiviado de nutrientes (N-P-K) por aplicación de gallinazas (GGP y GPE) bajo cultivo de maíz se calculó el porcentaje (%) de pérdida de estos nutrientes por lixiviación (Tabla 3). Este cálculo se hizo sobre las cantidades de N-P-K adicionadas inicialmente con GGP y GPE en las dosis d1, d1,5 y d2 (descontada la d0). Las mayores pérdidas por lixiviación se produjeron para el nitrógeno (N): entre el 9,35% y 12,76% con GGP y en-

tre 10,06% y 10,89% para GPE. Martín *et al.* (2009) en ensayos de mineralización de N con GGP y GPE obtuvieron mayor N mineralizado con GGP que con GPE, esta mayor mineralización con GGP explicaría los mayores % de N lixiviado para GGP frente a GPE. El porcentaje de pérdidas de fósforo (calculado para este ensayo) varió entre el 0,11 y 0,7% para GGP y 0,73 a 1,17% para GPE. Para el potasio fue entre el 0,4 y 0,76% para GGP y entre 0,89 a 0,98% para GPE. Las cantidades de P y K aportadas para las distintas dosis con GPE fueron un poco más altas que las aportadas con GGP y sin embargo las pérdidas de P y K fueron mayores con GPE este resultado pudo ser debido a una mayor solubilidad del P y K presentes en la GPE.

En la figura 5 se presenta la gráfica del efecto del tipo de gallinaza (GGP y GPE) y dosis (d0, d1, d1,5 y d2) sobre la producción de biomasa de maíz (suma de: caña, hojas, grano, zuros y espatas). Se obtuvieron diferencias significativas entre las dosis ($p= 0,003$) pero no entre tipos de gallinaza y tampoco hubo una inter-

acción significativa gallinaza*dosis. Este ensayo reflejó un aumento de la producción de biomasa por efecto de la fertilización del maíz con las gallinazas GGP y GPE, en comparación con la dosis d0 (sin fertilización). Para GPE la mayor producción de biomasa en g maceta⁻¹ se obtuvo con la dosis d1, y con GGP con las dosis d1 y d 1,5 la producción obtenida fue similar, como podemos observar en la figura 5.

Estos incrementos de producción en maíz por aplicación de gallinazas también fueron observados por autores como Wood *et al.* (1996) que aplicaron GPE en dosis de 9 y 18 t ha⁻¹ a cultivo de maíz y obtuvieron los mejores resultados con la dosis 9 t ha⁻¹ con producciones de maíz mas altas y un menor lixiviado de nutrientes; estos autores consideraron esta dosis como óptima al aunar buena producción y menor contaminación por nutrientes lixiviados. Carr *et al.* (1998) aplicaron GPE compostada a cultivo de maíz en dosis equivalente a 133 kg N ha⁻¹ y obtuvieron un aumento significativo del rendimiento en grano frente al testigo sin fertilización. En el ensayo

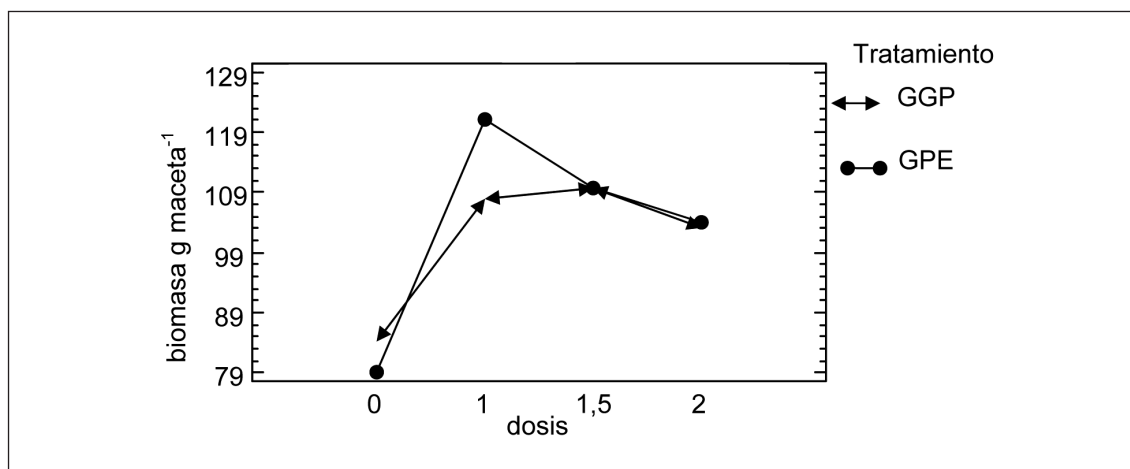


Figura 5. Producción de biomasa (g maceta⁻¹) de maíz para los dos tipos de gallinaza [gallinaza de gallina ponedora (GGP) ▼ y gallinaza de pollo de engorde (GPE) ●] y las distintas dosis (d0, d1, d1,5 y d2).

Figure 5. Biomass production corn (g pot⁻¹) according to the two types of poultry manure [laying hen (GGP) ▼ and broiler litter (GPE) ●], and the rates (d0, d1, d1.5 and d2).

que presentamos se aplicó GPE en dosis equivalente 300 kg N ha^{-1} (d1) y se obtuvo con esta dosis la mayor producción de biomasa frente a las menores producciones en d0, d1,5 y d2. Cooperband *et al.* (2002) aplicaron a un cultivo de maíz GPE fresca en dosis de $8,9 \text{ t ha}^{-1}$ y GPE compostada durante varios meses [quince meses (15), cuatro meses (4) y un (1) mes] en dosis de $68,7 \text{ t ha}^{-1}$ (15) de 59 t ha^{-1} (4) y de 64 t ha^{-1} (1), con el fin de determinar su efecto en el rendimiento del cultivo. Estos autores obtuvieron en las parcelas tratadas con GPE fresca un aumento del 30% en peso de biomasa de maíz. El rendimiento en grano fue 7183 kg ha^{-1} para GPE fresca, 5367 kg ha^{-1} , 5053 kg ha^{-1} , y 5578 kg ha^{-1} para las GPE compostadas de 15, de 4 y de 1 mes respectivamente superiores al testigo sin abonar donde se obtuvieron 4063 kg ha^{-1} . En este ensayo la mayor producción de biomasa se obtuvo con GPE en dosis d1 y la menor en el testigo d0.

Conclusiones

Para los dos tipos de gallinaza analizadas en este estudio (GGP y GPE) la dosis menos contaminante respecto al lixiviado de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , fósforo y potasio fue la dosis d1 (equivalente a 300 kg N ha^{-1}), mientras que la dosis d2 (doble de la d1) fue la más contaminante. En el caso del nitrógeno el tratamiento GGP fue más contaminante ya que el N en GGP se encuentra en formas más fácilmente mineralizables que en GPE, pero sucedió al contrario para fósforo y potasio, en el que el GPE tuvo una mayor masa lavada que el GGP.

Este estudio reflejó un mayor lixiviado de nitrógeno como N-NH_4^+ en los primeros estadios de desarrollo del cultivo, entre el primer y tercer lixiviado, y la posibilidad de que el fósforo en ciertas condiciones pueda encon-

trarse en formas solubles susceptibles de moverse en el suelo en profundidad y aparecer en los lixiviados.

La mejor respuesta del maíz en este ensayo con gallinazas de gallina ponedora y pollo de engorde en cuanto a la producción de biomasa se obtuvo para la dosis d1 de pollo de engorde y para gallina ponedora fueron similares con dosis d1 y dosis d1,5.

Los valores obtenidos sobre lixiviado de nutrientes en este ensayo son para estas condiciones de cultivo, en este volumen de suelo, esta profundidad de maceta y con la aplicación de cinco riegos intensos para provocar lixiviados, pero manteniendo durante el resto del tiempo el nivel de riego necesario para el adecuado crecimiento del cultivo. El estudio de los lixiviados se realizó durante el tiempo de duración del cultivo.

En general, después de analizar los resultados de este ensayo podemos considerar como dosis óptima para ambas gallinazas, la dosis d1, equivalente a una cantidad de N de 300 kg ha^{-1} , que aúna una producción sostenible de biomasa de maíz y el mínimo de contaminación por lixiviado de nutrientes. Para evitar problemas por lixiviación de nutrientes habrá que moderar en los primeros estadios de desarrollo de la planta el riego para minimizar el riesgo de lixiviación de nutrientes.

Agradecimientos

Este estudio se realizó gracias a los proyectos RTA 2005-00120-CO2-01 y RTA 2009-00074-00-00 financiados por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Los autores agradecen a Jesús García, María Isabel González y Ángela García su colaboración en las tareas de invernadero y laboratorio.

Bibliografía

- Abaigar A, Cordovil L, Aguilar M, 2010. Gestión de estiércol de gallinas ponedoras. Jornadas Profesionales de Avicultura 2010. www.itgganadero.com
- Agele SO, Adeosun S, Oluwadere D, 2004. A lysimeter study of nutrient release, leaching losses and growth response of amaranthus resulting from application of inorganic and organic nitrogen sources. *Food Agriculture & Environment*, 2 (2): 301-306.
- Beatrán J, 2010. Abonado de los cereales de primavera: maíz. En: Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid. 259 p.
- Borja E, 2010. Alimentación de broilers. Aspectos prácticos (I). *Selecciones Avícolas*, septiembre: 7-15.
- 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, 1998. Ley 10/1998, de 22 de abril, de Residuos. *Boletín Oficial del Estado*, 96: 13372-13384.
- BOE, 2002. Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. *Boletín Oficial del Estado*, 157: 23910-23927.
- 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.
- Carr LE, Brodie JC, Bouwkamp JC, Ku CSM, 1998. Poultry residual composts. Materials balance and crop response. *Compost Science & Utilization*, 6(2): 36-43.
- Cooperband L, Bollero G, Coale F, 2002. Effect of poultry litter and compost on soil nitrogen and phosphorus availability and corn production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62 (2): 185-194.
- De Blas C, González G, 1991. Nutrición y alimentación de gallinas ponedoras. Edita: MAPA, Aedos y Mundi-Prensa. 263 p.
- García MC, Pérez MP, León C, Miralles de Imperial R, Martín JV, Delgado MM, 2009. Tratamientos de lixiviados de gallinaza. *Tecnoambiente*, 199: 13-16.
- Guerrero A, 1990. Cultivos herbáceos extensivos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 751 p.
- Hodgkinson RA, Chambers BJ, Withers PJA, Cross R, 2002. Phosphorus losses to surface waters following organic manure applications to a drained clay soil. *Agricultural Water Management*, 57: 155-173.
- 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, Martín JV, Calvo R, Delgado MM, 2010. Estudio de nutrientes lixiviados bajo cultivo de alstroemeria por aporte de estiércoles de porcino en un suelo arenoso. *ITEA*, 106 (1): 53-65.
- Piñeiro C, Herrero M, Giraldez R, 2008. Decálogo de buenas prácticas medioambientales de la ganadería intensiva. Edita: Diputación de Segovia. Consorcio Agropecuario Provincial de Segovia. 17 p.
- Pirani AL, Brye KR, Haggard BE, Daniel TC, Mattice JD, 2007. Broiler litter rate effects on nutrient leaching from soil under pasture vegetation in the ozark highlands. *Soil Science*, 172 (12): 1001-1018.
- Quemada M, 2006. Balance de nitrógeno en sistemas de cultivo de cereal de invierno y de maíz en varias regiones españolas. Monografías INIA: Serie Agrícola. N° 22. Edita Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 143 p.
- Smith DR, Moore PA, Miles DM, Haggard BE, Daniel TC, 2004. Decreasing phosphorus runoff lo-

- ses from land applied poultry litter with dietary modification and alum addition. *Journal Environmental Quality* 33: 2210-2216.
- Schroeder PD, Radcliffe DE, Cabrera ML, 2004. Rain-fall timing and poultry litter application rate effects on phosphorus loss in surface runoff. *Journal Environmental Quality*, 33: 2201-2209.
- Vadas PA, Meisinger LJ, Sikora JP, Mc Murtry JP, Sefton AE, 2004. Effect of poultry diet on phosphorus in runoff from soils amended with poultry manure and compost. *Journal Environmental Quality*, 33 (5):1845-1854.
- Wang Y, Yamamoto K, Yakushido K, 2002. Changes in nitrate N content in different soil layers after the application of livestock waste compost pellets in a sweet corn field. *Soil Science and Plant Nutrition*. 48 (2): 165-170.
- Wood BE, Wood CW, Yoo KS, Yoon KS, Delaney DP, 1996. Nutrient accumulation and nitrate leaching under broiler litter amended corn fields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 27 (15-17): 2875-2894.
- 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): 201-213.

(Aceptado para publicación el 22 de marzo de 2012)