

RENDIMIENTO DE MAÍZ Y CAMBIOS EN PROPIEDADES EDÁFICAS LUEGO DE LA APLICACIÓN DE EFLUENTES LÍQUIDOS PORCINOS

MICHELOUD, H.¹; CARRIZO, M. E.¹; ALESSO, C. A.²;

GIRELLO, G.³; CAPELETTI, M.⁴ & IMHOFF, S.⁵

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de efluentes líquidos porcinos sobre la productividad del cultivo de maíz y diversas propiedades químicas y físicas de un Argiudol del centro de Santa Fe. Para ello se realizó un experimento a campo donde se aplicaron tres dosis de efluente en un diseño en bloques completamente aleatorizado con tres repeticiones. No se registraron variaciones en el número de plantas entre el inicio y el fin del ensayo. La productividad del cultivo se incrementó marcadamente por la adición del efluente lográndose la mayor respuesta en grano con la dosis intermedia. Las propiedades químicas del suelo mostraron cambios debido a la adición de efluentes porcinos mientras que las físicas, a excepción de la resistencia mecánica, no sufrieron cambios significativos. Se considera necesario realizar nuevos ensayos para monitorear fundamentalmente las propiedades químicas para minimizar riesgos de contaminación del suelo y toxicidad sobre las plantas. *Palabras claves: estiércol de cerdo, propiedades químicas, propiedades físicas, fertilizante orgánico.*

SUMMARY

Corn yield and change in soil properties after the application of liquid swine wastewater.

The aim of this paper was to assess the effect of the swine effluent application on the corn production and some chemical and physical properties of an Argiudoll of the center of Santa Fe. A field experiment was carried out applying three rates of swine liquid effluent in a randomized complete block design with three replications. No changes were observed on crop density from the

1.- Facultad de Ciencias Agrarias, UNL. Kreder 2805. (3080) Esperanza, provincia de Santa Fe. Email: maecarrizo@hotmail.com

2.- Facultad de Ciencias Agrarias, UNL. Becario Doctoral CONICET.

3.- Ex Alumna de la Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA (UNL).

4.- Ex Alumna de la Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA (UNL).

5.- Facultad de Ciencias Agrarias. Investigadora CONICET.

Manuscrito recibido el 24 de febrero de 2013 y aceptado para su publicación el 31 de julio de 2014.

H. Micheloud *et al.*

beginning to the end of the experiment. The crop productivity increased notably due to the swine effluent application and the highest yield was obtained with the intermediate rate. Soil chemical properties showed some changes related to swine effluent application while the physical properties did not show significant changes, with the exception of soil mechanical resistance. More research and continuous monitoring of the soil chemical properties are needed in order to minimize potential risks of environmental contamination and toxicity over plants. and continuous monitoring of the soil chemical properties are needed in order to minimize potential risks of environmental contamination and toxicity over plants.

Key words: swine effluent, chemical properties, physical properties, organic fertilizer

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la producción de cerdos en la región central de la provincia de Santa Fe (Argentina) se ha modernizado mediante la incorporación de nuevas tecnologías de insumos y procesos. La cría a campo prácticamente ha sido reemplazada por la cría en confinamiento con reducción de gastos de mano de obra, alimentación e instalaciones (Brunori, 2013).

Un problema asociado con el aumento de la producción intensiva de cerdos es la creciente producción concentración de efluentes, constituidos principalmente por agua de lavado de las instalaciones, deyecciones, orina y restos de comida de los animales, que pueden resultar potencialmente contaminantes para el ambiente a través de la reducción de la calidad del suelo y de los recursos hídricos superficiales y subterráneos (Edwards & Daniel, 1992; Ceretta *et al.*, 2003).

Por otra parte, los efluentes proveen una fuente importante de materia orgánica, de macronutrientes (especialmente nitrógeno y fósforo) y de diversos micronutrientes esenciales para la producción de los cultivos, pero que en dosis elevadas pueden ser potencialmente contaminantes del suelo

(Burns *et al.*, 1985; Duffera *et al.*, 1999).

Es por ello que el aprovechamiento de este tipo de efluente para la nutrición de las plantas requiere la adopción de prácticas de manejo agronómicas que permitan al mismo tiempo la reducción de su impacto sobre el ambiente (Duffera *et al.*, 1999; Ceretta *et al.*, 2005).

Los riesgos ambientales pueden mitigarse con el manejo racional de los efluentes a través de su tratamiento en lagunas para disminuir la demanda biológica de oxígeno, su uso como fertilizante orgánico, o la producción de gas metano de uso domiciliario (Campabadal, 1994).

La correcta utilización del efluente de cerdos como un fertilizante alternativo en los sistemas agrícolas puede producir efectos positivos sobre la fertilidad potencial del suelo y sobre las propiedades físico-químicas (Ceretta *et al.*, 2003; Queiroz *et al.*, 2004), reduciendo los costos de fertilización lo cual contribuye a la salud del ambiente y a la sustentabilidad del sistema productivo (Souza & Moreira, 2010).

A pesar de la relevancia del tema en la actualidad es escasa la información sobre estos aspectos en los suelos de la región

central de Santa Fe. En este contexto, el objetivo de este estudio fue determinar los efectos de la aplicación de efluentes líquidos de porcinos sobre las propiedades químicas y físicas de un suelo franco limoso y sobre la productividad y producción del cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue llevado a cabo en un lote cultivado bajo siembra directa continua con una rotación basada en trigo (*Triticum aestivum* L.), soja [*Glycine max* (L.) Merrill] y maíz (*Zea mays* L.); localizado en El Trébol, Santa Fe (Argentina) (32°11' S; 61°43' W). El clima es mesotérmico subhúmedo-húmedo con precipitaciones anuales medias de 700 a 900 mm y una temperatura media anual de 18°C (Mosconi et al., 1981). El suelo identificado en el sitio experimental corresponde a un Argiudol típico serie Los Cardos, profundo, bien drenado y de textura franco limosa, con 26 % de arcilla, 70 % de limo y 4 % de arena (INTA, 1991). Previo a la realización del experimento se extrajo una muestra compuesta de suelo para analizar las propiedades químicas.

Los resultados indicaron un contenido de materia orgánica total: 26 g kg⁻¹; fósforo extractable: 30 ppm; nitrógeno total: 0,15 %; pH: 5,8; conductividad eléctrica: 0,5 dS m⁻¹; capacidad de intercambio: 18,5 cmol_c kg⁻¹; calcio, magnesio, sodio y potasio intercambiable: 8,2, 1,6, 0,2 y 1,8 cmol_c kg⁻¹, respectivamente.

En un sector del lote se delimitaron parcelas de 5 m de largo x 2 m de ancho, con 3 m de separación entre ellas. Los tratamientos se asignaron siguiendo un diseño en bloques completamente al azar con tres repeticiones. Los mismos consistieron en un testigo sin aplicación de efluente (T= 0 l efluente ha⁻¹); aplicación de una dosis equivalente al 50 % de la dosis óptima (E50= 24000 l efluente ha⁻¹) y aplicación de una dosis de efluente para un rendimiento esperado de 12000 kg ha⁻¹ (dosis óptima) (E100= 48000 l efluente ha⁻¹). La aplicación del efluente se realizó en forma de lámina superficial, cubriendo toda la superficie de la parcela. Para estimar la dosis óptima (E100) se consideró el aporte de nutrientes del suelo y los requerimientos del cultivo de maíz para lograr un rendimiento de 12000 kg de grano ha⁻¹, cubriendo la demanda de N, P y S. La composición química del efluente aplicado se detalla en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Caracterización química del efluente líquido porcino aplicado al suelo estudiado.

Determinación	Valor	Método de ensayo
pH	6,1	ASTM D 1293-99
Conductividad eléctrica (uS cm ⁻¹)	10000	ASTM D 1125-95 R99
Sales disueltas (mg l ⁻¹)	6400	ASTM D 1125-95 R99
Sulfatos (mg l ⁻¹)	5000	ASTM D 516-02
Nitratos (mg l ⁻¹)	5400	SM 4500 NO3 B
Nitrógeno total (mg l ⁻¹)	2545	ASTM D 3590-02-A

Al día siguiente a la aplicación se sembró un híbrido de maíz de ciclo largo con excelente potencial de rendimiento y comportamiento sanitario (NIDERA AX 887 MG). La implantación se realizó con una sembradora de siembra directa sin aplicación de fertilizantes inorgánicos. El control malezas se realizó inmediatamente después de la siembra con herbicidas residuales. Además se aplicó insecticida para protección ante larvas de gusanos cortadores (*Agrotis* spp.). Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo totalizaron 463 mm, con un marcado déficit hídrico en los meses de noviembre, diciembre y enero respecto del promedio histórico (total aproximado de 155 mm). La cosecha se realizó el día 16 de marzo de 2012 en forma manual cortando 1 m lineal de surco en tres sectores de cada unidad experimental.

Determinaciones

Recuento de plantas y productividad del cultivo de maíz

El recuento de plantas se realizó luego de la emergencia del cultivo y a cosecha, para estimar el número inicial y final de plantas. El recuento se realizó en 3 surcos centrales a lo largo de los 5 m de la parcela.

El rendimiento en grano (RG) de cada unidad experimental (10 m²) se determinó mediante la cosecha manual corrigiendo los datos por el 15,5 % de humedad. A su vez, para estimar la materia seca no cosechable (MS no cosechable), en cada parcela se cortó por triplicado la parte aérea de las plantas de maíz (1 m²) en el estadio de madurez fisiológica. Las muestras fueron secadas en estufa a 60 °C hasta peso constante.

Finalmente, la materia seca total (MST) se estimó combinando el rendimiento medio de grano y materia seca no cosechable de cada parcela.

Análisis químicos y físicos de suelo

Luego de la cosecha del cultivo se extrajeron muestras de suelo disturbada de los 0-20 cm para realizar las siguientes determinaciones químicas: materia orgánica total (MOT, g kg⁻¹) por el método Walkley-Black, pH (1:2,5 suelo:agua), fósforo extractable (P, ppm) por el método de Bray & Kurtz I, conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) en el extracto de saturación, nitrógeno total (Nt, %) por el método Kjeldahl, capacidad de intercambio catiónica (CIC, cmol_c kg⁻¹) por extracción con acetato de amonio 1N pH 7 y, post-determinación del amonio por destilación Kjeldahl, bases intercambiables reemplazadas con acetato de amonio 1 N pH 7 y determinación por complexometría con EDTA de calcio y magnesio intercambiable (Ca y Mg) y, mediante fotometría de llama el contenido de sodio y potasio intercambiable (Na y K). Los métodos analíticos siguieron la metodología estandarizada argentina (SAMPLA, 2004). La densidad del suelo (Ds) fue determinada sobre muestras no perturbadas (cilindros de 5 x 5 cm) por triplicado en cada parcela en los 0-10 cm de profundidad. Las muestras se secaron en estufa a 105 °C y posteriormente fueron pesadas para determinar el contenido gravimétrico de agua y la densidad del suelo (Blake & Hartge, 1986). La resistencia a la penetración (RP, MPa) se midió (n= 10) usando un penetrómetro electrónico de cono (ángulo de cono= 60 °, 4 mm de diámetro basal), cuya velocidad de penetración fue de 1,0 cm min⁻¹ y la frecuencia de muestreo correspondió al

registro de 1 valor de resistencia cada 0,6767 segundos, obteniéndose 266 lecturas en total. Las lecturas obtenidas entre 1 y 4 cm de profundidad de cada muestra se promediaron para obtener un único valor de resistencia a la penetración (RP).

Análisis estadístico

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento y las propiedades de suelo se realizó un ANOVA ajustando un modelo en bloques completamente aleatorizados. Cuando se detectaron diferencias significativas al 5 % se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan con el mismo nivel de significación para evaluar las diferencias entre los tratamientos (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Recuento de plantas

En el Cuadro 2 se observan los promedios y desviación típica de los recuentos de plantas iniciales y finales para los

tratamientos ensayados. Los tratamientos no tuvieron efectos significativos sobre el número de plantas iniciales ni en el número de plantas a cosecha. Por otra parte, tampoco hubo diferencias entre el número de plantas en el momento de inicial y a cosecha. Es decir que el efluente no mostró efectos negativos sobre el crecimiento inicial del cultivo, ni tampoco ocasionó pérdidas de plantas durante el desarrollo del cultivo.

Rendimiento en granos, materia seca no cosechable y total

En ninguno de los tratamientos fue posible alcanzar el rendimiento objetivo, ya que la deficiencia de las precipitaciones fue coincidente con el período crítico de definición de los componentes del rendimiento del cultivo (Fig. 1A). En la Figura 1 se observa que ambas dosis de efluentes (E50 y E100) resultaron en niveles de producción de granos, materia seca no cosechable y materia seca total significativamente superiores al T. Además, se observó que la producción de granos fue superior en el tratamiento E50 respecto del tratamiento E100, mientras que la MS

Cuadro 2: Recuento de plantas de maíz (plantas m⁻²) en diferentes momentos del ciclo del cultivo en cada tratamiento en un Argiudol típico serie Los Cardos.

	Tratamientos		
	T	E50	E100
Plantas iniciales	6,8 aA	6,5 aA	7,2 aA
Plantas en cosecha	6,6 aA	6,3 aA	6,5 aA

T: testigo (sin fertilizar); E50: tratamiento fertilizado con la mitad de la dosis óptima; E100: tratamiento fertilizado con dosis óptima para un rendimiento esperado de 12000 kg ha⁻¹. Letras minúsculas distintas indican diferencias entre tratamientos en cada momento de muestreo (plantas iniciales y a cosecha). Letras mayúsculas indican diferencias entre cada momento de muestreo para un mismo tratamiento. Test Duncan ($p < 0,05$).

no cosechable mostró un comportamiento del período crítico (diciembre, déficit de opuesto. Este menor índice de cosecha 110 mm) asociada a la mayor superficie del tratamiento E100 podría explicarse foliar transpirante generada en el período considerando la falta de precipitaciones vegetativo, que debe haber ocasionado

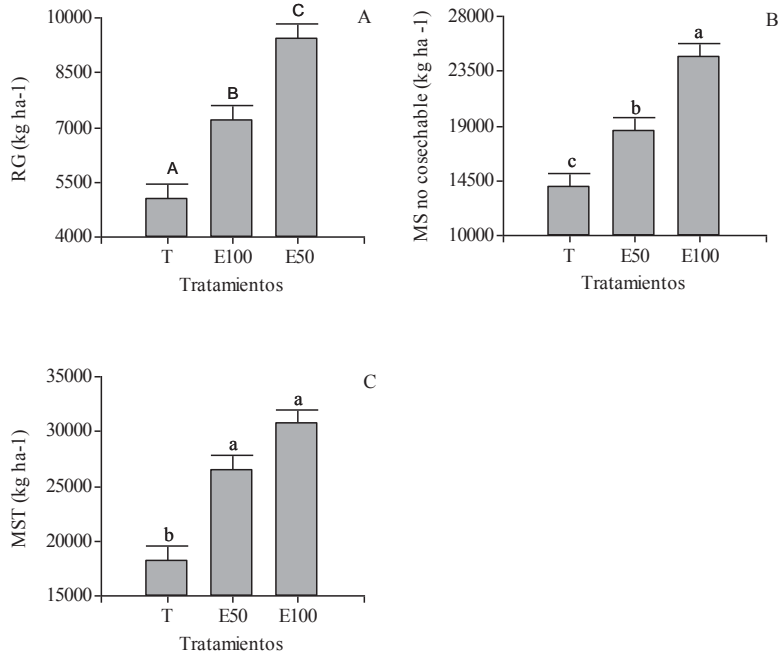


Fig. 1: Valores promedio de rendimiento en grano (RG) (A), materia seca no cosechable (MS no cosechable) (B) y materia seca total (MST) (C) luego de la aplicación de diferentes dosis de efluente líquido porcino en un Argiudol típico serie Los Cardos. T: testigo (sin fertilizar); E50: tratamiento fertilizado con la mitad de la dosis óptima; E100: tratamiento fertilizado con dosis óptima para un rendimiento esperado de 12000 kg ha⁻¹. Letras diferentes indican diferencias significativas (Test Duncan $p < 0,05$).

Cuadro 3: Caracterización química del suelo en cada tratamiento posterior a la aplicación de efluentes líquidos porcinos en un Argiudol típico serie Los Cardos.

Determinaciones	Tratamientos		
	T	E50	E100
MOT (g kg ⁻¹)	28,0	31,4	32,0
Nt (%)	0,140	0,164	0,177
P (ppm)	20	41	59
pH	5,6	5,6	5,6
CE (dS m ⁻¹)	0,4	0,4	0,5
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	8,9	9,6	10,6
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	1,6	1,5	2,0
Na (cmol _c kg ⁻¹)	0,2	0,2	0,2
K (cmol _c kg ⁻¹)	1,9	2	2
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	18,0	18,3	18,5

condiciones de estrés. Esta situación puede haber afectado la polinización y el llenado de los granos y, consecuentemente, el rendimiento en E100. En el tratamiento E50 el cultivo, por tener menor biomasa, debe haber soportado condiciones de estrés menos severas, lo que facilitó el movimiento de fotoasimilados desde las hojas a los granos. No obstante, desde el punto de vista del incremento del contenido de carbono del suelo, el tratamiento E100 generó cerca de un 33 % más de residuos orgánicos, los cuales, en el largo plazo, podrían incrementar los contenidos de materia orgánica en el suelo. En cuanto a la MST, los tratamientos fertilizados no mostraron diferencias entre sí debido a que la menor producción de granos de E100 fue compensada con la mayor producción de materia seca no cosechable.

Estos resultados demuestran un efecto positivo del uso de efluente como fertilizante sobre la producción y productividad del cultivo del maíz respecto del tratamiento T, ya que constituye una fuente rica de nutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos. Diversos estudios que evaluaron la aplicación de efluentes porcinos verificaron efectos positivos sobre la productividad del cultivo de maíz con respecto a los tratamientos testigos (Ceretta *et al.*, 2005; Freitas *et al.*, 2005; Giacomini & Aita, 2008; Léis *et al.*, 2009; Seidel *et al.*, 2010). Durigon *et al.* (2002), utilizando diferentes dosis de efluente porcino líquido sobre pasturas naturales, observaron incrementos de entre un 40 y 70 % en la producción de materia seca a los ocho meses de la aplicación de 20 y 40 m³ ha⁻¹ de efluente, respectivamente. Asimismo, estos autores encontraron un efecto residual sobre la producción de materia seca que alcanzó un incremento

de 109 y 155 %, respectivamente. Adeli & Varco (2001) también encontraron incrementos en la producción de materia seca en gramíneas forrajeras luego de la aplicación de efluentes porcinos líquidos. Por su parte, Maggi *et al.* (2013) en un experimento conducido sobre un Latosolo Vermelho distroférico no encontraron un efecto significativo en la productividad del cultivo de soja por la aplicación de diferentes dosis de efluentes porcinos.

Efecto sobre propiedades químicas

Las propiedades químicas del suelo bajo cada tratamiento se muestran en el Cuadro 3. El contenido de materia orgánica mostró un incremento debido a la aplicación de efluentes. Estos resultados coinciden con los reportados por Silva (2001) quien encontró que el uso de efluentes porcinos mediante fertirrigación incrementó significativamente los tenores de materia orgánica del suelo.

El contenido de Nt también muestra un incremento como resultado la aplicación de los efluentes líquidos. Adeli & Varco (2001) observaron similares resultados en un estudio sobre un suelo arcillo limoso, donde la concentración de nitrógeno total se incrementó con las dosis de efluentes aplicadas al suelo. Giacomini & Aita (2008) indican que los suelos con adición de efluentes presentaron mayores concentraciones de nitrógeno inorgánico que los tratamientos sin aplicación, lo cual se debe al alto potencial de suministro de nitrógeno de estos materiales luego de ser aplicados en el suelo.

En relación al fósforo disponible, la concentración manifestó un incremento debido a los diferentes tratamientos. Similares efectos fueron obtenidos en otros estudios luego de la aplicación de aguas

residuales porcinas (Duffera *et al.*, 1999; Ceretta *et al.*, 2003; Queiroz *et al.*, 2004; Oliveira, 2006). Coincidentemente con lo encontrado en este trabajo, en estos estudios también se encontraron valores más altos de fósforo disponible cuando se aplican dosis más altas de efluentes. Estudios a largo plazo realizados por Koopmans *et al.* (2007) muestran que cuando la cantidad de P excede los requerimientos del cultivo, aumentan los riesgos de movimiento de P en profundidad, especialmente cuando la capacidad de adsorción del suelo se aproxima a la saturación (Schoumans & Groenendijk, 2000). En el presente estudio, el aporte de P a través de los efluentes porcinos es superior a la demanda del cultivo y se produce una acumulación en el suelo debido a su capacidad de adsorción en la fracción mineral, propiciando un efecto residual (Pratt, 1979; Durigon *et al.*, 2002). Glaesner *et al.* (2011) y Liu *et al.* (2012) destacaron que la textura del suelo y la capacidad de adsorción de P de un suelo son condicionantes del proceso de lixiviación de P. Nelson *et al.* (2005) reportaron, en suelos arenosos, concentraciones elevadas de P en el suelo y en la solución de suelo debajo de la zona radicular cuando se aplicaban enmiendas porcinas a tasas superiores a 35 kg de P ha⁻¹. En el suelo estudiado, las características texturales y

de relieve determinan que las pérdidas por lixiviación y por escorrentía superficial resulten muy bajas y por ello, el potencial de contaminación del P sobre los recursos naturales sea reducido.

Los valores de conductividad eléctrica no mostraron un incremento con el aumento de la dosis de efluente aplicado, lo cual sugiere que los riesgos de salinización de los suelos a estas dosis no son de importancia. Sin embargo, diversos estudios demostraron que la aplicación de efluentes porcinos puede producir incrementos considerables de la conductividad eléctrica del suelo (Freitas *et al.*, 2005). Debido a esto resulta conveniente monitorear periódicamente las características químicas del suelo y del agua subterránea en el perfil cuando se realizan aplicaciones periódicas de efluentes, para la evaluación de los riesgos de contaminación ambiental.

La concentración de Ca y Mg intercambiable se incrementó con la aplicación de efluentes líquidos porcinos, mientras que los niveles de Na y K permanecieron constantes entre los diferentes tratamientos (Cuadro 3). Numerosos estudios que evaluaron la respuesta de los cationes intercambiables tuvieron variada respuesta (Ceretta *et al.*, 2003; Queiroz *et al.*, 2004; Maggi *et al.*, 2013).

Los valores de pH y la CIC no

Cuadro 4: Valores promedios de densidad de suelo (Ds), humedad y resistencia a la penetración (RP) en cada tratamiento luego de la aplicación de efluentes líquidos porcinos en un Argiudol típico serie Los Cardos.

Tratamientos	Ds (g cm ⁻³)	Humedad (cm ³ cm ⁻³)	RP (MPa)
T	1,20 a	0,34 a	0,85 a
E50	1,18 a	0,34 a	0,83 a
E100	1,25 a	0,33a	1,28 b

T: testigo (sin fertilizar); E50: tratamiento fertilizado con la mitad de la dosis óptima; E100: tratamiento fertilizado para un rendimiento esperado de 12000 kg ha⁻¹ (dosis óptima). Letras distintas indican diferencias entre tratamientos según el test Duncan ($p < 0,05$).

mostraron cambios por la aplicación de efluentes durante el ciclo del cultivo de maíz. Scherer *et al.* (1984) indican que los suelos que presentan capacidad tampón la posibilidad de alteración del pH del suelo por la aplicación de efluentes líquidos porcinos es mínima. Similares resultados fueron reportados por Ceretta *et al.* (2003) y Maggi *et al.* (2013), quienes observaron que los valores de pH no fueron alterados por la adición de efluentes porcinos.

Efecto sobre propiedades físicas

Las propiedades físicas del suelo bajo los diferentes tratamientos se muestran en el Cuadro 4. En contraste con las propiedades químicas del suelo, las físicas no manifestaron cambios considerables debido a la aplicación de efluentes. La densidad del suelo y la capacidad de retención hídrica del suelo en capacidad de campo no sufrieron alteraciones por la aplicación de efluentes ($p < 0,0957$ y $p < 0,1661$, respectivamente). Los valores de RP mostraron diferencias entre tratamientos ($p < 0,003$), siendo la RP más elevada en E100.

Dado que los valores de humedad se encuentran próximos al contenido hídrico correspondiente a capacidad de campo ($0,37 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) para estos suelos (Imhoff *et al.*, 2012), los valores de RP no constituyen una propiedad limitante para el desarrollo de los cultivos (valor crítico= 2 MPa). Además, dado que no hubo diferencias en los valores de densidad y humedad, se puede inferir que otro factor fue el responsable del incremento de la RP del suelo en E100. El leve aumento en la RP podría deberse al aporte de materia orgánica por parte del efluente. La materia orgánica es un importante agente agregante del suelo que contribuye a aumentar la resistencia a la desagregación frente a agentes

dispersantes (Bronick & Lal, 2005). Por lo tanto, este leve incremento en la RP puede considerarse beneficioso. Sin embargo, en caso que se realicen aplicaciones frecuentes de efluente líquido porcino se debería monitorear periódicamente la RP y la estabilidad estructural del suelo para constatar su evolución, ya que se carece de esta información para suelos de la zona estudiada. Estudios de larga duración realizados en Brasil, pero en Oxisoles, indicaron que la aplicación de efluentes líquidos porcinos contribuyen a mejorar propiedades físicas del suelo, tales como humedad, resistencia a la penetración y densidad (da Veiga *et al.*, 2010; Rauber *et al.*, 2012). Estos antecedentes sugieren que cambios significativos en las propiedades físicas de los suelos sólo se pueden detectar luego de aplicar repetidamente y durante varios años los efluentes líquidos.

CONCLUSIONES

La aplicación de efluentes porcinos tuvo efectos positivos en la producción y productividad del cultivo de maíz. Las propiedades químicas del suelo sufrieron cambios, especialmente en la concentración de P y N, aunque sin generar efectos adversos sobre la producción ni en el suelo. Las propiedades físicas no mostraron cambios significativos, sólo se produjo un aumento en la resistencia a la penetración, sin superar el valor crítico. Los resultados señalan la necesidad de verificar el efecto que ocasionará sobre la estructura del suelo a largo plazo y también en el contenido de P, debido al notable aumento verificado con la aplicación de la dosis óptima. Por lo tanto, se considera

necesario realizar un control periódico de la evolución de las propiedades físicas y químicas del suelo, en caso de efectuarse repetidas aplicaciones de efluentes, a fin de garantizar la sostenibilidad agrícola y ambiental de los sistemas de producción. Debido a lo expuesto anteriormente y, considerando el auge de la producción porcina en confinamiento, es necesario continuar con estudios de larga duración para arribar a conclusiones definitivas.

BIBLIOGRAFÍA

- ADELI, A. & J.J. VARCO. 2001. Swine lagoon effluent as a source of nitrogen and phosphorus for summer forage grasses. *Agron. J.* 93:1174-1181.
- BLAKE, G.R. & K.H. HARTGE. 1986. Bulk density (pp. 363-376). In: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods.* Ed. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- BRONICK, C.J. & R. LAL. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma.* 124: 3-22.
- BRUNORI, J.C. 2013. Producción de cerdos en Argentina: situación, oportunidades, desafíos. <http://inta.gob.ar/proyectos/pncar-011121>. Acceso 16 diciembre 2013.
- BURNS, J.C.; P.W. WESTERMAN; L.D. KING; G.A. CUMMINGS; M.R. OVERCASH & L. GOODE. 1985. Swine lagoon effluent applied to 'Coastal' bermudagrass: I. Forage yield, quality, and elemental removal. *J. Environ. Qual.* 14: 9-14.
- CAMPABADAL, C. 1994. Utilización de la cerdaza en la alimentación de ganado de carne. Una alternativa para evitar la contaminación ambiental. *Nutrición Animal Tropical.* 1: 73-96.
- CERETTA, C.A.; R. DURIGON; C.J. BASSO; L.A. BARCELLOS & F. COSTA BEBER VIEIRA. 2003. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. *Pesq. Agropec. Bras.* 38: 729-735.
- CERETTA, C.A.; C.J. BASSO; P.S. PAVINATO; E.E.TRENTIN & E. GIROTTO. 2005. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. a e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio. *Ciência Rural.* 35: 1287-1295.
- DA VEIGA, M.; D.J. REINERT & J.M. REICHERT. 2010. Tillage systems and nutrient sources affecting soil cover, temperature and moisture in a clayey oxisol under corn. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 34:2011-2020.
- DI RIENZO, J.A.; F. CASANOVES; M.G. BALZARINI; L. GONZALEZ; M. TABLADA & C.W. ROBLEDO 2008. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- DUFFERA, M.; W.P. ROBARGE & R.L. MIKKELSEN. 1999. Estimating the availability of nutrients from processed swine lagoon solids through incubation studies. *Bioresour. Technol.* 70: 261-268.
- DURIGON, R.; C.A. CERETTA; C.J. BASSO; L.A.R. BARCELLOS & P.S. PAVINATO. 2002. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. *R. Bras. Ci. Solo.* 26:983-992.
- EDWARDS, D.R. & T.C. DANIEL. 1992. Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal - a review. *Bioresour. Technol.* 41: 9-33.

- FREITAS, W.S.; R.A. OLIVEIRA; F.A. PINTO; P.R. CECON & J.C.C. GALVAO.** 2005. Efeito da aplicação de águas residuais da suinocultura na produção do milho para silagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 8:120-125.
- GIACOMINI, S.J. & C. AITA.** 2008. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:195-205.
- GLAESNER, N.; C. KJAERGAARD; G.H. RUBAEK & J. MAGID.** 2011. Interactions between soil texture and placement of dairy slurry application: II Leaching of phosphorus forms. *J. Environ. Qual.* 40: 344-351.
- IMHOFF, S.; A. PIRES DA SILVA; P. GHI-BERTO; C.A. TORMENA; M.A. PILATTI & L. LIBARDI.** 2012. Funciones de edafotransferencia para determinar el intervalo hídrico óptimo de suelos de la provincia de Santa Fe. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. *Actas de Congreso*. pp 98.
- INTA.** 1991. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-6. Cañada Rosquín. EEA Rafaela. pp 112.
- KOOPMANS, G.F.; W.J. CHARDONB & R.W. MC DOWELL.** 2007. Phosphorus movement and speciation in a sandy soil profile after long-term animal manure applications. *J. Environ. Qual.* 36: 305-315.
- LÉIS, M.C.; R. COUTO; D. DORTZBACH; J.J. COMIN & L. SARTOR.** 2009. Rendimiento de milho adubado com dejetos de suínos em sistema de plantio direto sem o uso de agrotóxicos. *Rev. Bras. de Agroecologia*. 4: 3814-3817.
- LIU, J.; H. ARONSSON; L. BERGSTRÖM & A. SHARPLEY.** 2012. Phosphorus leaching from loamy sand and clay loam topsoils after application of pig slurry. *SpringerPlus*. 1: 1-10.
- MAGGI, C.F.; P.S.L. FREITAS; S.C. SAMPAIO & J. DIETER.** 2013. Impacts of the application of swine wastewater in percolate and in soil cultivated with soybean. *Eng. Agric.* 33: 279-290.
- MOSCONI, F.; J. PRIANO; N. HEIN; G. MOSCATELLI; J. SALAZAR; T. GUTIÉRREZ & L. CÁCERES.** 1981. Mapa de suelos de la provincia de Santa Fe. Tomo I. Ed. INTA-MAG. Santa Fe. Argentina. 248 pp.
- OLIVEIRA, W.** 2006. Uso de água residuária da suinocultura em pastagens da *Brachiária Decumbens* e *Gramma Estrela Cynodome Plestostachyum*. Mestrado em Agronomia. Tese. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba.
- PRATT, P.F.** 1979. Management restrictions in soil application of manure. *J. Anim. Sci.* 48: 134-143.
- QUEIROZ, F.M.; A.T. MATOS; O.G. PEREIRA & R.A. OLIVEIRA.** 2004. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. *Ciência Rural*. 34: 1487-1492.
- RAUBER, L.P.; C. PICCOLLA; A.P. ANDRADE; A. FRIEDERICH; Á.L. MAFRA; J. CORULLI CORRÊA & J.A. ALBUQUERQUE.** 2012. Physical properties and organic carbon content of a Rhodic Kandiodox fertilized with pig slurry and poultry litter. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 36: 1323-1332.
- SAMLA (Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos).** 2004. SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina). Dirección de Producción Agrícola. CD-room. ISBN 987-9184-40-8.

H. Micheloud *et al.*

- SCHERER, E.E.; E.G. CASTILHOS; I. JUCKSCH & R. NADAL.** 1984. Efeito da adubação com esterco de suínos, nitrogênio e fósforo em milho. Boletim Técnico 24. EMPASC. 26 pp.
- SCHOUMANS, O.P. & P. GROENENDIJK.** 2000. Modeling soil phosphorus levels and phosphorus leaching from agricultural land in the Netherlands. J. Environ. Qual. 29: 111-116.
- SEIDEL, E.; A.C. GONÇALVES; J.P. VANNIN; L. STREY; D. SCHWANTES & H. NACKE.** 2010. Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. Maringá. 32: 113-117.
- SILVA, J.** 2001. Atributos físicos e químicos de um Latossolo fertirrigado com efluente de suínos. Mestre em Agricultura Tropical. Tese. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá. Mato Grosso.
- SOUZA, J.A.R. & D.A. MOREIRA.** 2010. Efeitos do uso da água residuária da suinocultura na condutividade elétrica e hidráulica do solo. Engenharia Ambiental. 7: 134-143.