

# Aplicación de compost de cama profunda porcina: calidad de suelo y producción de soja (*Glycine max L.*)

PEGORARO, V.R.<sup>1</sup>; BOCCOLINI, M.F.<sup>1</sup>; BAIGORRIA, T.<sup>1</sup>; RIZZO, P.<sup>2</sup>; LORENZON, C.<sup>1</sup>; CAZORLA, C.R.<sup>1</sup>.

## RESUMEN

La aplicación de compost mejora la fertilidad del suelo y el crecimiento de los cultivos, sin embargo, es aún escasa la información sobre la aplicación de compost de cama profunda porcina (CPP) en soja. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de la aplicación de CPP sobre propiedades de un suelo Argiudol Típico y producción de un cultivo de soja. Se utilizó un diseño completo aleatorizado con dos tratamientos y tres repeticiones: aplicación de compost de CPP (14 t ha<sup>-1</sup>-154 kg N ha<sup>-1</sup>) comparado con un testigo sin aplicación. La aplicación de compost provocó incrementos en la materia orgánica particulada (MOP), carbono de la biomasa microbiana (CBM) ( $p < 0,10$ ), nitrógeno anaeróbico (Nan) y conductividad eléctrica ( $p < 0,05$ ). El contenido de nitrógeno de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se incrementó levemente a la siembra solo en la profundidad de 60-100 cm ( $p < 0,10$ ), mientras que al momento de la cosecha fue a la profundidad de 100-150 cm ( $p < 0,05$ ). Sin embargo, la cantidad total de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el perfil del suelo no mostró diferencias significativas en ambos momentos. El rendimiento de soja se incrementó un 17% ( $p < 0,10$ ) con la aplicación de compost, mientras que el contenido de proteína y aceite no fueron modificados. El mayor rendimiento de soja pudo estar relacionado con los cambios provocados sobre la MOP e indicadores microbiológicos, como CBM y Nan, indicando mayor calidad del suelo durante la estación de crecimiento del cultivo.

**Palabras clave:** enmienda orgánica, materia orgánica particulada, nitrógeno anaeróbico, carbono de la biomasa microbiana.

## ABSTRACT

*Compost application enhances soil fertility and crop growth, however, little information is available of composted pig bedding litter application on soybean. The aim of this study was to assess the impact of composted pig bedding litter application on the soil properties of a Typic Argiudoll and soybean crop production. The trial consisted on a randomized complete design with two treatments and three replications: application of composted pig bedding litter (14 tn ha<sup>-1</sup>-154 kg N ha<sup>-1</sup>) and control without application. Compost application increases particulate organic matter (POM) ( $p < 0.10$ ), microbial biomass carbon (MBC), anaerobic nitrogen (AN) and electrical conductivity ( $p < 0.05$ ). The N-nitrate (NO<sub>3</sub>-N) contents were higher with compost application in 60-100 cm ( $p < 0.10$ ) depth at sowing, and in 100-150 cm ( $p < 0.05$ ) at harvesting. However, the total amount*

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Marcos Juárez, Área Suelos, Producción y Protección Vegetal, Grupo Gestión Ambiental. Ruta 12 km 3 (2580), Marcos Juárez, Córdoba, Argentina. Correo electrónico: pegoraro.vanesa@inta.gov.ar

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas (CICVyA), Instituto de Microbiología Agrícola y Zoología (IMyZA), Nicolás Repetto y De los Reseros, s/n (1686), Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.

of soil  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the profile (0-150 cm) not showed significant differences. Grain yield with compost application was 17% higher than control ( $p < 0.10$ ), while grain protein and oil was not modified. The increases in POM and microbiological parameters, as MBC and AN, could indicate greater soil quality during the growing season and could be one of the reasons for the higher soybean yield.

**Keywords:** organic amendment, particulate organic matter, anaerobic nitrogen, microbial biomass carbon.

## INTRODUCCIÓN

El sistema de cama profunda (CP) es una alternativa para la producción porcina (*Sus scrofa domesticus*) a pequeña escala. Contribuye al incremento de la producción de carne de cerdo en países en desarrollo con un mínimo impacto ambiental (Wastell *et al.*, 2001; Cruz *et al.*, 2012). Este sería el caso de Argentina, donde el 96% de los establecimientos porcinos están conformados por pequeños productores (hasta 50 cerdas) (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, 2016), que en general presentan bajo grado de tecnificación y realizan su producción al aire libre. Este sistema consiste en que la producción de cerdos se desarrolle en instalaciones donde el piso de concreto sólido es sustituido por piso de tierra con una cama de 50-60 cm de profundidad de material vegetal seco. Las camas pueden ser de rastrojo de trigo (*Triticum aestivum*), rastrojo de maíz (*Zea mays*), cáscara de arroz (*Oryza sativa*), cáscara de maní (*Arachis hypogaea*), virutas de madera, o una mezcla de varios de estos materiales bien deshidratados, entre otros (ACPA, 2007; Giacomini y Aita, 2008; Cruz *et al.*, 2012).

Con la utilización de esta tecnología las deyecciones animales sufren un proceso de degradación aeróbica *in situ*, similar a las primeras etapas del compostaje, y reducen los riesgos de contaminación (Campiño-Espinosa y Ocampo Durán, 2007). El compostaje es un proceso biooxidativo que involucra un sustrato orgánico heterogéneo, una etapa termofílica de reducción de patógenos y semillas de malezas, y una etapa de maduración de degradación de sustancias fitotóxicas, que finaliza en un producto estable, inocuo e "inodoro" (Haug, 1993; Mazzarino *et al.*, 2012).

En comparación con los sistemas de confinamiento tradicionales, el sistema de CP tiene la ventaja de reducir el 50% el volumen del estiércol de los animales, aumentar la materia seca (MS) y concentrar los nutrientes (Neto y De Paula Mello, 2010). Sin embargo, durante la degradación *in situ* es difícil lograr la estabilización del material orgánico debido a la adición diaria de estiércol fresco y cama de sustitución (Tumelero, 1998). Por tal motivo, se recomienda continuar el proceso degradativo mediante el proceso de compostaje fuera de las instalaciones, previo a las aplicaciones sobre la superficie agrícola (Tiquia *et al.*, 2000). De esta forma, se obtiene un compost o abono orgánico de excelente calidad para su uso en agricultura, pudiendo reducir los costos de fertilizantes y mejorar la calidad del suelo (Imbeah, 1998).

La disminución en la calidad del suelo y el ambiente han contribuido al interés en el reciclaje de materiales orgánicos en zonas agrícolas (Comin *et al.*, 2013). Estos compost son fuentes concentradas de carbono orgánico (CO) y nutrientes (Tiquia *et al.*, 2000; McAndrews *et al.*, 2006), por lo que puede incrementar la fertilidad del suelo. Diversos autores han reportado incrementos en el CO del suelo (COS) en el horizonte superficial (Armstrong *et al.*, 2007a; Brunetto *et al.*, 2012; Comin *et al.*, 2013; Morales *et al.*, 2016). También, pueden modificar la actividad biológica (Morales *et al.*, 2016), mejorar los contenidos de nutrientes, las propiedades físicas (Armstrong *et al.*, 2007a) y la producción de diferentes cultivos (Loecke *et al.*, 2004; Armstrong *et al.*, 2007b; Giacomini y Aita, 2008). Sin embargo, estos cambios están relacionados con la composición del compost, la frecuencia y la cantidad de aplicación.

Generalmente las aplicaciones de estiércoles y compost se realizan sobre gramíneas, principalmente maíz. Sin embargo, esto puede implicar un riesgo de sobreaplicación y contaminación de los recursos naturales. Una solución podría ser seleccionar cultivos alternativos, como por ejemplo el cultivo de soja (*Glycine max L.*), el cual ocupa la mayor área de siembra a nivel nacional. Aunque el estiércol porcino no se ha aplicado tradicionalmente sobre este cultivo, existe la posibilidad de una respuesta agronómica favorable (Schmidt *et al.*, 2000). Sin embargo, es escasa la información sobre esta práctica. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de la aplicación de compost de CP porcina sobre propiedades de un suelo Argiudol típico y producción de un cultivo de soja.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio experimental y manejo del ensayo

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental INTA Marcos Juárez ( $32^{\circ}42'44.65''\text{S}$ ,  $62^{\circ}05'46.07''\text{O}$ ). Corresponde a un suelo Argiudol típico perteneciente a la serie Marcos Juárez con capacidad de uso Clase I. Esta serie presenta un horizonte A (0-19 cm de profundidad) con características propias de un suelo franco-limoso (25% arcilla, 69% limo y 5,4% arena fina). El contenido de materia orgánica (MO) en este horizonte es de 3,26%, el contenido de N total es de 0,18% y el pH es de 6,4. El suelo donde se realizó el experimento presentó historial agrícola, sin historial de aplicaciones de estiércoles pecuarios. La temperatura

ra media anual es de 16,9 °C y las precipitaciones medias anuales son de 894 mm (INTA, 1978).

Se utilizó un diseño completo aleatorizado con tres repeticiones. Cada unidad experimental presentó un tamaño de 600 m<sup>2</sup> (15 x 40 m). Los tratamientos evaluados fueron: aplicación de compost de CP porcina comparado con un testigo sin aplicación. Se aplicaron 14 t ha<sup>-1</sup> de compost utilizando un carro esparcidor de sólidos, un mes previo a la siembra del cultivo de soja. El compost utilizado provino de la Unidad Demostrativa Porcina de la EEA INTA Marcos Juárez. Este fue retirado de las instalaciones de crianza entre 10 a 12 meses previos a las aplicaciones, y apilado para continuar con el proceso de compostaje. El material resultante estaba descompuesto y homogéneo en tamaño de partícula.

En noviembre de 2013 fue sembrado el cultivo de soja a una densidad de siembra de 20 plantas m<sup>2</sup> y a una distancia entre surcos de 42 cm. Se cosechó en el mes de abril de 2014 mediante una cosechadora experimental de 3 surcos. El rendimiento del grano (kg ha<sup>-1</sup>) se determinó por la cosecha de 25 m<sup>2</sup>, y la humedad del grano afectó un 13,5%. Proteína (%) y aceites (%) se determinaron por espectrometría de infrarrojo cercano (NIR).

#### Muestreo y determinaciones del compost

Se recolectaron muestras compuestas de compost (constituidas por 5 submuestras) previo a la aplicación. Posteriormente se homogenizaron para obtener una alícuota representativa de 1 kg. Las muestras fueron almacenadas en bolsas de polietileno y transportadas inmediatamente al laboratorio. Parámetros sugeridos por el test "Methods for the Examination of Composting and Compost" (USDA/USCC, 2001) fueron analizados como: contenido de humedad y materia seca (MS%) (105 °C por 24 h), pH y conductividad eléctrica (CE) (1:5 muestra: agua) por método potenciométrico y conductimetría, CO y MO total por calcinación (550 °C por 5 h), N total (NT) por digestión con ácido sulfúrico seguido por destilación semi-micro Kjeldahl, relación C/N en función de la concentración de CO y NT, y P total (PT) por espectrofotometría visible previa digestión ácida. La actividad biológica se midió mediante el índice respirométrico estático (IRE) (Iannotti *et al.*, 1993; USDA/USCC, 2001). Esta técnica es un método de evaluación de la estabilidad de la respiración estática que se realiza en temperaturas mesófilas (37 °C) con matraces sellados de 500 ml. Se coloca un electrodo electroquímico para la medición de oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) en el espacio aéreo del matraz y se registran las concentraciones de O<sub>2</sub> en el matraz. La tasa de consumo de oxígeno (OUR) se expresa finalmente en mg de O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> MO h<sup>-1</sup> y se calcula mediante la pendiente de la caída de concentración de O<sub>2</sub>. El IRE es la tasa de consumo de O<sub>2</sub> máximo promedio, calculada durante un período de 24 horas (luego del inicio de la incubación de la muestra de compost).

#### Muestreo y determinaciones de suelo

Para evaluar el impacto sobre indicadores de calidad de suelo se determinaron parámetros químicos y microbiológicos.

A la siembra y a la cosecha del cultivo de soja se sacaron muestras compuestas de suelo con un barreno de 2,5 cm de diámetro a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-100 y 100-150 cm para determinar N de nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) según la metodología de fenol-disulfónico (Bremner, 1965). A la siembra, además, se determinaron variables químicas y microbiológicas de suelo en la profundidad 0-20 cm. Las muestras de la profundidad 0-20 cm estuvieron compuestas por 10 submuestras, mientras que en la profundidad de 20 a 150 cm estuvieron compuestas por 5 submuestras. Todas las muestras fueron transportadas al laboratorio, secadas a temperatura ambiente, procesadas a mano y luego tamizadas hasta un tamaño menor a 2 mm. Luego una fracción de las muestras secas (2 mm) se tamizó nuevamente hasta alcanzar un tamaño menor a 0,5 mm para las determinaciones de carbono orgánico del suelo (COS) y N orgánico del suelo (NOS).

COS se determinó a partir del CO oxidable por mezcla oxidante fuerte a escala semimicro (IRAM 29571-2, 2011), NOS por el método semimicro Kjeldahl modificado (IRAM 29572-2, 2011), Pe según la metodología de Bray y Krutz N.º 1 modificado (IRAM-SAGyP 29570-1, 2010), pH por método potenciométrico en una suspensión suelo-agua de 1:2,5 (IRAM 29410, 1999) y CE por método conductimétrico en una suspensión suelo-agua de 1:2,5 (Rhoades, 1996). La MO particulada (MOP) mediante fraccionamiento por tamaño de partícula (106 µm) (Cambardella y Elliott, 1993), N anaeróbico (Nan) según la metodología de incubación anaeróbica (Echeverría *et al.*, 2000) y carbono de la biomasa microbiana (CBM) por la metodología de fumigación-extracción (Vance *et al.*, 1987).

#### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el Software Infostat Professional (Di Rienzo *et al.*, 2017). Se aplicó un modelo lineal mixto homocedástico, tomando como efecto fijo los tratamientos y como efecto aleatorio las repeticiones de campo. Cuando las varianzas no cumplieron el supuesto de homogeneidad se aplicaron modelos heterocedásticos. Debido a que los atributos del suelo difieren con la profundidad, esta no fue incluida en el modelo estadístico para el análisis de los datos de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; analizándose cada profundidad de manera individual. Cuando existieron diferencias significativas en las variables medidas se realizó la prueba de comparación de medias mediante LSD Fisher con significancias del 10%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Características del compost de cama profunda porcina

La composición fisicoquímica y microbiológica del compost de CP se presenta en la tabla 1. Este compost presentó contenidos nutricionales similares a los reportados por otros autores para compost de origen porcino (McAndrews *et al.*, 2006; Campos *et al.*, 2012; Morales *et al.*, 2016). Los contenidos de humedad, MS, MO y NT fueron adecuados a los valores recomendados (BOE, 2013; Se-

nasa, 2011). Mientras que, el PT fue inferior, y la CE fue superior al límite admisible según la normativa argentina (Senasa, 2011). En cuanto a parámetros de estabilidad/madurez, como la relación C:N e IRE, presentaron valores levemente superiores a los recomendados (Barrena *et al.*, 2005; BOE, 2013) (tabla 1). Estos resultados podrían indicar que el compost utilizado no se encontraba totalmente estabilizado. Diversos autores consideran que la relación C:N de 20 refleja un indicador de estabilidad. Sin embargo, este indicador es afectado por el material original, como en el caso de los estiércoles, con valores muy inferiores a 20 en el material crudo y que aumenta durante el proceso de compostaje (Mazzarino *et al.*, 2012). Por lo tanto, no se recomienda evaluar este parámetro por sí solo. El IRE, en cambio, determina la actividad microbiana mediante el consumo de O<sub>2</sub>, lo que lo hace un indicador más confiable para la predecir la actividad microbiana de un compost.

A través de la caracterización del compost se pudo determinar la cantidad de nutrientes aportados con la dosis empleada. Con 14 t ha<sup>-1</sup> se realizó un aporte de 9800 kg ha<sup>-1</sup> MS, 5880 kg ha<sup>-1</sup> MO, 3220 kg ha<sup>-1</sup> CO, 154 kg ha<sup>-1</sup> N y 70 kg ha<sup>-1</sup> P (tabla 1). La cantidad aplicada en este ensayo podría ser considerada como una dosis media en relación con lo reportado por otros autores. Similares cantidades fueron utilizadas por Morales *et al.* (2016) quienes realizaron aplicaciones de compost con aportes de N entre 104 y 209 kg N ha<sup>-1</sup>. A su vez, otros autores han aplicado CP cruda y/o compostada sobre otros cultivos, principalmente gramíneas, en dosis que variaron desde las 5 a 40 t ha<sup>-1</sup>. Con estas dosis, dichos experimentos presentaron altas variaciones en el N (70 a 560 kg N ha<sup>-1</sup>) y C (935 a 8000 kg C ha<sup>-1</sup>) aportado (Liebman *et al.*, 2004; Armstrong *et al.*, 2007a; Uicab Brito *et al.*, 2009; Guardini *et al.*, 2012). Esto puede deberse principalmente a que la mayoría de los trabajos dosifican en función del contenido de N del compost, mientras que otros lo realizan en función de la cantidad de C adicionado.

### Efectos sobre el suelo y cultivo de soja

El contenido de COS es un atributo clave de la calidad del suelo, debido a que tiene efectos sobre las propiedades

Variable	Unidades	Testigo	Compost
		Promedio ± EE	Promedio ± EE
Rendimiento de grano	kg ha <sup>-1</sup>	3759 ± 210 a	4417 ± 210 b
Proteína de grano (%)	%	35,1 ± 0,35	35 ± 0,35
Aceite (%)	%	23,4 ± 0,31	23,37 ± 0,31

**Tabla 1.** Composición fisicoquímica del compost de cama profunda porcina.

C/N: relación carbono: nitrógeno; N: nitrógeno; pH: potencial hidrogeno; CE: conductividad eléctrica; IRE: índice respirométrico estático.

físicas, químicas y biológicas (Haynes, 2005). La aplicación de compost mantuvo las reservas de COS y NOS, y se observó una leve tendencia a incrementarse, pero sin diferencias estadísticas (p>0,10) (tabla 2). Armstrong *et al.* (2007a) reportaron un aumento significativo en el COS y NOS con dosis de aplicaciones superiores (20, 30 y 40 t ha<sup>-1</sup>) durante tres años sucesivos; este incremento fue proporcional a la dosis de aplicación. De igual manera, Morales *et al.* (2016) observaron mayor COS y NOS luego de nueve aplicaciones de CP. Por lo tanto, la falta de cambios en este estudio podría deberse a que el COS es muy estable a corto plazo y su variación puede observarse luego de varios años de aplicación.

Los cambios en los stocks de COS y NOS ocurren lentamente y no proporcionan información a corto plazo sobre la calidad de la MO del suelo (MOS). Por lo tanto, las reservas de MOP se pueden considerar como buenos indicadores de la calidad del suelo, ya que son mucho más sensibles a los cambios en la práctica de manejo (Haynes, 2005). La MOP consiste en restos vegetales, animales y hongos en diferente grado de descomposición, y constituye una importante fuente de nutrientes para las plantas y los microorganismos (Cambardella y Elliot, 1993; Galantini y Suñer, 2008). Esta fracción de la MOS respondió positivamente a la aplicación de compost, logrando un incremento del 32% (p<0,10), probablemente debido al aporte de CO por medio del compost.

El Nan y CBM también se incrementaron significativamente con la aplicación de compost al momento de la siembra (tabla 2). El Nan aumentó un 16% (p<0,05), mientras que el CBM un 25% (p<0,10). Por un lado, estas respuestas pueden deberse a los incrementos en la MOP, debido a que el Nan representa una estimación del N potencialmente mineralizable proveniente principalmente de esta fracción (Echeverría *et al.*, 2000; Fabrizzi *et al.*, 2003). Por otro lado, la MOP también tiene importancia en los procesos biológicos, ya que se comporta como sustrato y centro de actividad microbiana del suelo. Actúa como precursor de otras formas de materia orgánica, como el CBM (Haynes, 2005), el cual representa alrededor del 1 al 5% del COS. Por lo tanto, el agregado de CO y NT por medio del compost modificó estos indicadores sensibles, y no las reservas totales en el primer año de aplicación. De esta forma, las mediciones a corto plazo pueden reflejar variaciones a largo plazo en la MOS, ya que dichas variables se relacionan con procesos de descomposición de la MO, síntesis de sustancias húmicas y varias etapas de los ciclos de los nutrientes (Powlson *et al.*, 1987).

La aplicación de compost no tuvo efecto sobre el Pe y pH, pero aumentó significativamente la CE del suelo (p<0,05), por lo que fue una de las principales limitantes para su uso agronómico. El aumento de la CE del suelo puede ser explicado por la CE del compost, la cual es elevada debido al aporte de sales solubles que proceden de la dieta de los cerdos (Sommer y Husted, 1995; Saviozzi *et al.*, 1997). Sin embargo, los valores de la CE del suelo estaban por debajo del nivel de umbral crítico para el crecimiento de los cultivos, según Maas y Hoffman (1977).

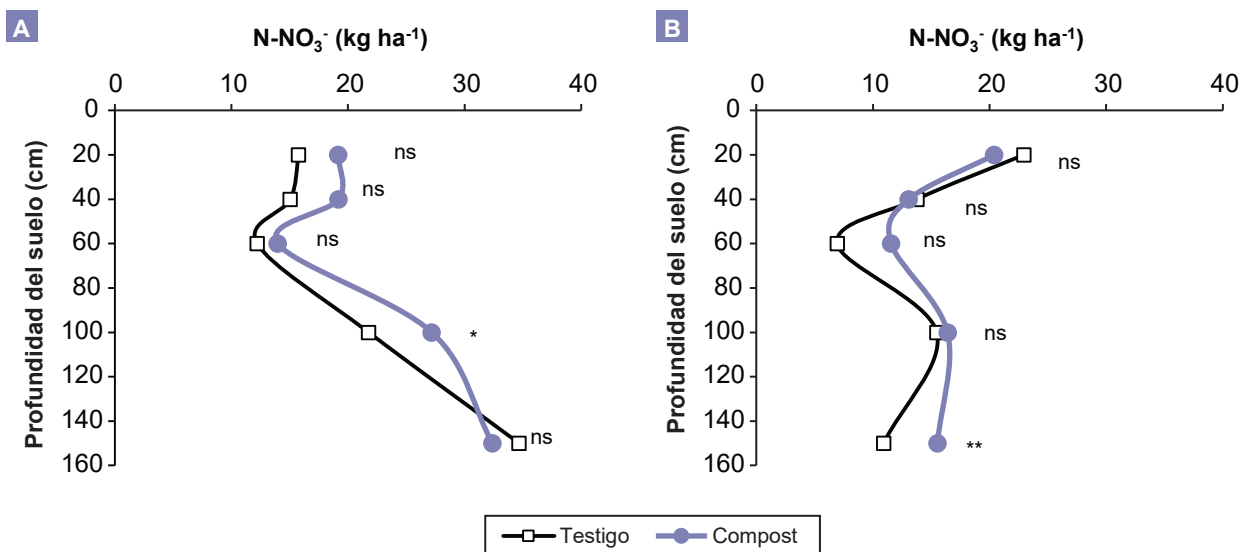
Variable	Unidades	Testigo		Compost	
		Promedio ± EE		Promedio ± EE	
COS	g kg <sup>-1</sup>	16,36 ± 0,85		16,96 ± 0,85	
NOS	g kg <sup>-1</sup>	1,29 ± 0,06		1,35 ± 0,06	
C/N		12,69 ± 0,32		12,49 ± 0,32	
MOP *	g kg <sup>-1</sup>	5,04 ± 0,97 a		6,66 ± 0,97 b	
CBM *	mg kg <sup>-1</sup>	76,19 ± 19,05 a		95,24 ± 19,05 b	
Nan **	mg kg <sup>-1</sup>	50,52 ± 4,11 a		58,57 ± 4,11 b	
Pe	mg kg <sup>-1</sup>	67,7 ± 18,87 a		65 ± 18,87 a	
pH		5,83 ± 0,18		5,73 ± 0,18	
CE **	dS m <sup>-1</sup>	0,08 ± 0,01 a		0,12 ± 0,02 b	

**Tabla 2.** Variables químicas y microbiológicas de suelo al momento de la siembra.

Letras distintas indican diferencias significativas. (\*) significativo al 10% (\*\*) significativo al 5%. (Media ± EE, n=3). COS: carbono orgánico del suelo; NOS: nitrógeno orgánico del suelo; C/N: relación carbono: nitrógeno; MOP: materia orgánica particulada; CBM: carbono de la biomasa microbiana; Nan: N anaeróbico; pH: potencial hidrogeno; CE: conductividad eléctrica; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrógeno de nitratos.

En cuanto la distribución de contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el perfil del suelo, estas respondieron levemente a la aplicación de compost (figura 1 A y B). A la siembra se observó un incremento solo en la profundidad de 60-100 cm (p<0,10), mientras que al momento de la cosecha fue a la profundidad de 100-150 cm (p<0,05). Sin embargo, la cantidad total de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el perfil del suelo (0-150 cm) no mostró diferencias significativas en ambos momentos. A la siembra presentaron 99 y 112 kg ha<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> para los tratamientos testigo y compost, respectivamente. Mientras que a la cosecha fueron 70 y 77 kg ha<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> para dichos tratamientos. En cambio, Armstrong *et al.* (2007a) informaron que el contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> fue significativamente mayor en

los estratos superiores del suelo cuando se aplicó CP. Dichos autores lo atribuyen a que las aplicaciones sucesivas de compost lograron incrementos en el NOS, el cual es un reservorio del N mineral. Además, el compost utilizado en este experimento presentó una relación C:N de 21, similar al reportado por Armstrong *et al.* (2007a), lo cual pudo haber provocado una inmovilización temporal del N en el suelo. Por su parte, Schmidt *et al.* (2000) reportaron que en poscosecha los contenidos de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dependen de la dosis de N aplicado, donde dosis de 260 kg N ha<sup>-1</sup> provocaron menos de 70 kg N ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto, el contenido de N proporcionado por la aplicación de CP no representaría un riesgo ambiental.



**Figura 1.** Distribución de nitrógeno de nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (kg ha<sup>-1</sup>) en el perfil de suelo a la siembra (A) y cosecha del cultivo de soja (B). (\*) significativo al 10%, (\*\*) significativo al 5%, (ns) no significativo.

El rendimiento de grano mostró una respuesta favorable a la aplicación de compost con respecto a T ( $p < 0,10$ ), con un incremento del 17%. Mientras que la calidad del grano, en función del contenido de proteína y aceite no mostraron efectos del tratamiento (tabla 3). Varios estudios han informado efectos beneficiosos en la producción de diferentes cultivos. Armstrong *et al.* (2007b) reportaron importantes mejoras en la producción de MS y rendimiento de grano sobre cultivos de trigo, canola y avena. Mientras que, cuando dichos autores lo evaluaron sobre una leguminosa (arveja) no encontraron respuesta al agregado de compost de CP. A su vez, Loecke *et al.* (2004) reportaron incrementos de 17% sobre un cultivo de maíz con aplicaciones de 340 kg N ha<sup>-1</sup> por medio de la CP.

Variable	Unidades	Testigo	Compost
		Promedio ± EE	Promedio ± EE
Rendimiento de grano	kg ha <sup>-1</sup>	3759 ± 210 a	4417 ± 210 b
Proteína de grano (%)	%	35,1 ± 0,35	35 ± 0,35
Aceite (%)	%	23,4 ± 0,31	23,37 ± 0,31

**Tabla 3.** Rendimiento promedio del cultivo de soja y calidad de grano.

Letras distintas indican diferencias significativas al 10%. (Media ± EE, n=3).

Existen pocos antecedentes que han utilizado compost de CP sobre un cultivo de soja. Sin embargo, está reportado que este cultivo responde a las aplicaciones de estiércoles, comparándolo con fertilización mineral o soja sin fertilizar (Helmerts *et al.*, 2008). Hati *et al.* (2006) evidenciaron incrementos del rendimiento de soja entre 16 y 103% cuando utilizaron estiércol de tambo combinado con rastrojo de trigo, comparado con una fertilización mineral. Ellos lo atribuyen a un mayor contenido de COS y una mayor eficiencia en el uso del agua, como así también a un incremento en la proliferación de las raíces, lo que provoca una menor resistencia mecánica, mejor aireación y menor densidad aparente del suelo. Mientras que Schmidt *et al.* (2000) reportaron aumentos en la producción de soja con diferentes dosis de aplicación de estiércol porcino, y afirmaron que el aumento de los rendimientos coincidió con sitios de bajo contenido de N en el suelo. En cambio, Barbazan (2004) observó que la aplicación de estiércol porcino provocó un crecimiento vegetativo temprano, en comparación con el agregado de fertilizante fosforado, pero no se tradujo en mayores rendimientos.

Sin embargo, Helmerts (2008) resalta que no se puede lograr una conclusión clara sobre la causa de la mayor respuesta del rendimiento del cultivo de soja a las aplicaciones de estiércol porcino. La mayoría de los estudios sugieren

que esta respuesta no se debe únicamente a la provisión de N, sino que pueden estar relacionados con otros efectos residuales, como el aporte de MO y otros nutrientes, incremento en la actividad microbiana, concentraciones de sustancias que imitan los efectos reguladores del crecimiento de los cultivos, u otros factores desconocidos presentes en el estiércol.

## CONCLUSIÓN

Los aumentos en MOP e indicadores microbiológicos indican que hubo mayor calidad del suelo durante la estación de crecimiento del cultivo, lo cual pudo ser una de las razones del incremento en el rendimiento de la soja. Además, se debe tener en cuenta que estos compost son enmiendas complejas que aportan diversos nutrientes, que en este trabajo no han sido cuantificados. Por tal motivo, se sugiere en investigaciones futuras evaluar el aporte de otros macro y micronutrientes.

## AGRADECIMIENTOS

El estudio fue financiado por el Proyecto "Tecnologías y estrategias de gestión de residuos y efluentes en sistemas agropecuarios y agroindustriales" (PNNAT 1128042) y el Proyecto "Aprovechamiento de residuos para aumentar el reciclado en el suelo. Sumideros de carbono y emisiones" (PNSUELO 1134042) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACPA. 2007. Camas profundas. Crianza porcina a pequeña y mediana escala. Revista de la Asociación Cubana de Producción Animal 4, 37-40.
- ARMSTRONG, R.; EAGLE, C.; JARWAL, S. 2007a. Application of composted pig bedding litter on a Vertosol and Sodosol soil. 2. Effect on soil chemical and physical fertility. *Animal Production Science* 47 (11), 1341-1350.
- ARMSTRONG, R.; EAGLE, C.; MATASSA, V.; JARWAL, S. 2007b. Application of composted pig bedding litter on a Vertosol and Sodosol soil. 1. Effect on crop growth and soil water. *Animal Production Science* 47 (6), 689-699.
- BARBAZAN, M. 2004. Liquid swine manure as a phosphorous source for corn-soybean rotation. Thesis Doctor of Philosophy. Iowa State University, Ames, Iowa. (Disponible: <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2143&context=rtd> verificado: 31 de enero de 2018).
- BARRENA GÓMEZ, R.; VÁZQUEZ, F.; GORDILLO, M.A.; GEA, T.; SÁNCHEZ, A. 2005. Respirometric assays at fixed and process temperatures to monitor composting process. *Bioresource Technology* 96, 1153-1159.
- BOE. 2013. Boletín oficial del Estado N° 164. Real Decreto 506/2013 sobre productos fertilizantes. Boletín Oficial del Estado de España, Madrid. 171: 51119-51207.
- BREMNER, J. 1965. Inorganic forms of nitrogen. En: EVANS, D.; WHITE, J.; ENSMINGER, L.; CLARK, F. (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 1179-1237 pp.

- BRUNETTO, G.; COMIN, J.J.; SCHMITT, D.E.; GUARDINI, R.; MEZZARI, C.P.; OLIVEIRA, B.S.; PIRES DE MORAES, M.; GATIBONI, L.; LOVATO, P.E.; CERETTA, C. A. 2012. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36 (5), 1620-1628.
- CAMBARDELLA, C.; ELIOTT, E. 1993. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma* 56, 449-457.
- CAMPIÑO-ESPINOSA, G.P.; OCAMPO DURÁN, A. 2007. Comportamiento de la temperatura de la cama profunda de cerdos de engorde utilizando racimos vacíos de palma de aceite *Elaeis guineensis* jacq. *Orinoquia* 11 (1), 65-47.
- CAMPOS, A.; VELOSO, A.; SILVA, E.; YANAGI JUNIOR, T.; KLOSOWSKI, E. 2012. Nitrogen fertilization by deep-bedding swine production and its effects on the properties of a Quartzarenic Neosol. *Engenharia Agrícola* 32 (4), 756-764.
- COMIN, J.J.; LOSS, A.; DA VEIGA, M.; GUARDINI, R.; SCHMITT, D.E.; DE OLIVEIRA, P.A.V.; FILHO, P.B.; COUTO, R.; BENEDET, L.; VILMAR MÜLLER, J.; BRUNETTO, G. 2013. Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilised with pig slurry and pig litter in a no-tillage system. *Soil Research* 51 (5), 459-470.
- CRUZ, E.; ALMAGUEL, R.E.; ROBERT, M.; LY, J. 2012. Estudio sobre la contaminación del suelo después de tres ciclos de crianza de cerdos con el sistema de cama profunda a pequeña escala. *Tropicultura*, 30 (2), 113-116.
- DI RIENZO, J.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- ECHEVERRÍA, H.; SAN MARTIN, N.; BERGONZI, R. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Ciencia del Suelo* 18, 9-16.
- FABRIZZI, K.P.; MORON, A.; GARCÍA, F.O. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Science Society of America Journal* 67 (6), 1831-1841.
- GALANTINI, J.A.; SUÑER, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 25 (1), 41-55.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C. 2008. Deep-Litter and pig slurry as nitrogen sources for corn. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32 (1), 195-205.
- GUARDINI, R.; COMIN, J.J.; SCHMITT, D.E.; TIECHER, T.; BENDER, M.A.; DOS SANTOS, D.R.; MEZZARI, C.P.; OLIVEIRA, B.S.; GATIBONI, G.; BRUNETTO, G. 2012. Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 93 (2), 215-225.
- HATI, K.M.; MANDAL, K.G.; MISRA, A.K.; GHOSH, P.K.; BANDYOPADHYAY, K.K. 2006. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water use efficiency of soybean in Vertisols of central India. *Bioresource Technology* 97, 2182-2188.
- HAUG, R.T. 1993. *The practical handbook of compost engineering*. Lewis publishers, Boca Raton, Florida, Estados Unidos.
- HAYNES, R.J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy* 85, 221-268.
- HELMERS, M.J.; MOODY, L.B.; BURNS, R. 2008. Utilization of manure nutrients for soybean crop production. Technical Report, Iowa State University Extension, National Pork Board, Des Moines, Iowa. (Disponible: <https://pdfs.semanticscholar.org/799b/7d3acc9eb1451d312a7dfa38e9f98fae92ed.pdf> verificado: 31 de enero de 2018).
- Iannotti, D.A.; Pang, T.; Toth, B.L.; Elwell, D.I.; Keener, H.M.; Hoitink, H.A. 1993. A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Science and Utilization*. 1: 52-65.
- IMBEAH, M. 1998. Composting piggery waste: a review. *Biore-source Technology* 63 (3), 197-203.
- INTA. 1978. Carta de suelos de la República Argentina hoja 3363-17. Buenos aires. 85 p.
- IRAM. 1999. Instituto de Normalización. Norma 29410. Determinación del pH.
- IRAM. 2010. Instituto de Normalización. Norma 29570-1. Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1. Método Bray Kurtz 1 modificado (extracción con solución de fluoruro de amonio - ácido clorhídrico).
- IRAM. 2011. Instituto de Normalización Norma 29571-2. Determinación de Materia Orgánica en Suelos. Parte 2. Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro.
- IRAM. 2011. Instituto de Normalización. Norma 29572. Determinación de Nitrógeno por el método Kjeldahl modificado.
- LIEBMAN, M.; MENALLED, F.D.; BUHLER, D.D.; RICHARD, T.L.; SUNDBERG, D.N.; CAMBARDELLA, C.A.; KOHLER, K.A. 2004. Impacts of composted swine manure on weed and corn nutrient uptake, growth, and seed production. *Weed science* 52 (3), 365-375.
- LOECKE, T.D.; LIEBMAN, M.; CAMBARDELLA, C.A.; RICHARD, T.L. 2004. Corn growth responses to composted and fresh solid swine manures. *Crop science* 44 (1), 177-184.
- MAAS, E.; HOFFMAN, G. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the irrigation and drainage division* 103 (2), 115-134.
- MAZZARINO, M.J.; SATTI, P.; ROSELLI, L. 2012. Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. En: MAZZARINO, M.J.; SATTI, P. (Eds). *Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso*. Universidad Nacional de Río Negro. 13-28 pp.
- MCANDREWS, G.M.; LIEBMAN, M.; CAMBARDELLA, C.A.; RICHARD, T.L. 2006. Residual effects of composted and fresh solid swine (L.) manure on soybean [(L.) Merr.] growth and yield. *Agronomy Journal* 98 (4), 873-882.
- MINISTERIO DE HACIENDA Y FINANZAS PÚBLICAS. 2016. *Informes de cadenas de valor: cárnica-porcina. Año 1, N.º 9. Ciudad autónoma de Buenos Aires, República Argentina*. 35 p.
- MORALES, D.; VARGAS, M.M.; OLIVEIRA, M.P.D.; TAFPE, B.L.; COMIN, J.; SOARES, C.R.; LOVATO, P. 2016. Response of soil microbiota to nine-year application of swine manure and urea. *Ciência Rural* 46 (2), 260-266.
- NETO, M.N.; DE PAULA MELLO, S. 2010. Produção de silagens de milho (*Zea mays* L.) com diferentes adubações. *Nucleus* 2 (2), 1-10.
- POWLSON, D.S.; PROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry* 19(2), 159-164.
- RHOADES J. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. En: SPARKS, D.; PAGE, A.; HELMKE, P.; LOEPPERT, R.; SOLTANPOUR, P.; TABATABAI M.; JOHNSTON, C.; SUMNER, M. (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 417-435 pp.

- SAVIOZZI, A.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALDI, R.; VANNI, G. 1997. Laboratory studies on the application of wheat straw and pig slurry to soil and the resulting environmental implications. *Agriculture, ecosystems & environment* 61(1): 35-43.
- SCHMIDT, J.P.; SCHMITT, M.A.; RANDALL, G.W.; LAMB, J.A.; ORF, J.H.; GOLLANY, H.T. 2000. Swine manure application to nodulating and nonnodulating soybean. *Agronomy Journal* 92 (5), 987-992.
- SENASA. 2011. Resolución 264. Manual para el registro de fertilizantes, enmiendas, sustratos, acondicionadores, protectores y materias primas en la República Argentina. (Disponible: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-264-2011-senasa-servicio-nacional-de-sanidad-y-calidad-agroalimentaria> verificado: 31 de enero de 2018).
- SOMMER, S.G.; HUSTED, S. 1995. The chemical buffer system in raw and digested animal slurry. *The Journal of Agricultural Science* 124 (1), 45-53.
- TIQUIA, S.M.; RICHARD, T.L.; HONEYMAN, M.S. 2000. Effect of windrow turning and seasonal temperatures on composting of hog manure from hoop structures. *Environmental Technology* 21 (9), 1037-1046.
- TUMELERO, I.L. 1998. Avaliação de materiais para o sistema de criação de suínos sobre cama. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. (Disponible: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/77543> verificado: 31 de enero de 2018).
- UICAB BRITO, L.U.; YANEZ, I.A.; MALDONADO, A.C.; FRANCO, L.S.; CORREA, J.S.; RICALDE, R.S. 2009. Effect of pig litter composted on growth of maize (*Zea mays*) and havanan pepper (*Capsicum chinense*) plants. *Research Journal of Biological Sciences*, Lucknow 4 (4), 514-518.
- USDA/USCC, 2001. Test methods for the examination of composting and compost. Houston: Edaphos International, Department of Agriculture and Composting council, EUA.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil biology and Biochemistry* 19 (6), 703-707.
- WASTELL, M.E.; LUBISCHER, P; PENNER, A. 2001. Deep bedding an alternative system for raising pork. *American Society of Agricultural Engineers* 17 (4), 521-526.