

# VARIABILIDAD ESPACIAL EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN CON CERDOS EN PASTOREO.

*Spatial variability in soil chemical properties in an outdoor pig production system*

MONTEVERDE, S.<sup>1</sup>; DEL PINO, A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Veterinaria, Universidad de la República. Lasplacas 1620. CP 11600 Montevideo, Uruguay. smonteverde.uy@gmail.com

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Garzón 780. CP 12900 Sayago. Montevideo, Uruguay

## Resumen

La producción de cerdos a campo es una alternativa para productores familiares, pero investigaciones recientes han demostrado que pueden alterar negativamente propiedades químicas del suelo. Es necesario contar con información local sobre tipo y distribución de impactos sobre el mismo, para estudiar causas de degradación y alternativas de manejo. El objetivo fue estudiar la variabilidad espacial en superficie (0-15 cm) de características químicas en un Brunosol (Canelones, Uruguay), por un sistema de cerdos a campo y compararlas con un suelo testigo (sin cerdos). Se muestreó en grilla (5x5 m) en 4 parcelas, para mapear la variabilidad espacial. En base a éste se realizó un segundo muestreo en un área testigo y 6 parcelas (1500 m<sup>2</sup> c/u), con 3 zonas diferenciadas de manejo (servicio, pastoreo e intermedia) por parcela (n=24). Se determinó carbono orgánico (COS), N-nitrato, N-amonio, fósforo (Bray) y P en solución, pH y conductividad eléctrica (CE). En la zona de servicio aumentó estadísticamente en relación al testigo la concentración de nitrato, P disponible y en solución y la CE, en tanto disminuyó NH<sub>4</sub> y COS. En la zona de pastoreo aumentó el P disponible, en tanto disminuyó el NH<sub>4</sub>, COS y pH. La variabilidad espacial del N, fósforo y CE fue influenciada por la distancia a las instalaciones. El sistema generó heterogeneidad espacial, incrementando riesgos ecológicos asociados a pérdidas de N, P y disminución de COS.

**Palabras claves:** cerdos a campo - distribución de nutrientes - carbono orgánico del suelo

## Introducción

A pesar de su gran tecnificación, la producción de cerdos en confinamiento, es considerada como una actividad potencialmente causante de degradación ambiental (Steinfeld *et al.*, 2006), viéndose como una alternativa de menor impacto la producción a campo, especialmente para la producción familiar (Barlocco & Vadell, 2011). Ésta ofrece la oportunidad de establecer sistemas con bajo costo de capital (Lopardo *et al.* 2000), integrados con la agricultura, obtener un producto al alcance de los consumidores y producir de manera sustentable (Dichio & Campagna, 2007).

Investigadores latinoamericanos remarcan las bondades para el ambiente de los sistemas a campo (Dalla Costa *et al.*, 2002; Pinheiro *et al.*, 2002; Ly & Rico 2006). Pero malos manejos generalmente asociados a la carga animal pueden tener peor desempeño y dañar el ambiente (Hansen *et al.*, 2001; Dalla Costa *et al.*, 2002; Dichio & Campagna, 2007). Entre los aspectos de

## Summary

Outdoor swine production is an alternative for family farmers, but recent research has shown that they can negatively alter soil chemical properties. To study the causes of degradation and management alternatives, it is necessary to have local information on the type and distribution of impacts. The aim of this work was to study the spatial variability of soil chemical characteristics in the surface layer (0-12 cm) of a Brunosol (Canelones, Uruguay) under an outdoor swine production system in comparison with a control soil (without pigs). Sampling was made in a grid (5x5 m) in 4 plots to map spatial variability. Based on this, a second sampling was performed in a control area and 6 plots (1500 m<sup>2</sup> each), with 3 different management areas (service, grazing and intermediate) per plot (n = 24). We measured organic carbon (SOC), NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, P (Bray) and in solution, pH and electrical conductivity (EC). In the service area, the concentration of nitrate-N, available P, P in solution and EC increased significantly in relation to the control, whereas NH<sub>4</sub> and SOC decreased. In the grazing area, available P increased, while NH<sub>4</sub>, COS and pH decreased. Spatial variability of N, phosphorus and CE was influenced by the distance to the service. The system generated spatial heterogeneity, increasing ecological risks associated with N and P losses and decrease in SOC.

**Key words:** grazing sows - nutrient distribution - soil organic carbon

posibles riesgos ecológicos de los cerdos a campo se encuentran la acumulación y lavado de nutrientes del suelo (Eriksen & Kristensen 2001; Quintern & Sundrum, 2006), agravados por la heterogeneidad espacial en su distribución (Petersen *et al.*, 2001; Watson *et al.*, 2003; Benfalk *et al.*, 2005). La intensidad y extensión de los impactos depende principalmente de la intensidad de producción, excesivas cargas animales, tipo y nivel de alimentación, localizaciones permanentes y/o inadecuadas son algunas de las causas de los problemas ambientales mencionados (Quintern, 2005).

El objetivo del trabajo fue estudiar los impactos acumulados en el largo plazo (12 años) del sistema de cerdos a campo desarrollado en el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República (Uruguay) sobre propiedades químicas del suelo.

## Materiales y métodos

### Descripción del sitio

El estudio se realizó en la Unidad de Producción de Cerdos (UPC) del Centro Regional Sur (34°36' S; 56°13' W). El tipo de suelo fue un Brunosol (MAP/DSF, 1976) Typic Argiudoll (Duran *et al.*, 2005). Formado sobre materiales sedimentarios de la formación Libertad, en una ladera convexa (pendiente menor al 1%). La secuencia de horizontes descrita en campo es: horizonte A arcillo limoso subdividido en dos (0-15 y 15-30 cm), transición gradual al Bt y C, con acumulación secundaria de Ca. La precipitación anual es en el orden de los 1200 mm, clima templado con heladas invernales.

La UPC instalada en 1997, consiste en un sistema de producción de cerdos a pastoreo en 12,9 ha divididas en 82 parcelas. En el mismo se mantiene un rodeo reproductor, realizando la cría con destete entre las 6 y 8 semanas y posdestete hasta la semana 11. Desde ese año en el centro de la UPC una zona permaneció sin cerdos con vegetación espontánea de campo natural, la que fue utilizada como testigo en este estudio. Los dos años previos a la instalación de la UPC el suelo (del testigo y parcelas) fue cultivado con endivia (*Cichorium endivia L.*), previo al cual tenía historia agrícola y varios años de regeneración del tapiz natural. Se utilizaron seis parcelas con cerdos, abarcando dos áreas con rotaciones agrícolas diferentes (Tabla 1). Las pasturas sobre las que se mantuvieron los cerdos fueron mezcla de *Trifolium pratense L.*, *Trifolium repens L.* y *Cichorium intybus L.* (Pastura) y cultivos puros de *Medicago sativa L.*, *Sorghum spp.* y *Avena sativa L.* En la rotación A la primera pastura fue alfalfa sembrada en 1997, seguida de pastura mezcla en 2002, luego avena seguida de sorgo en 2006-2007 y pastura mezcla en 2007; en tanto la rotación B siempre se trabajó con la misma mezcla, sembradas en 1997, 2002 y 2006, (Tabla 1). La instalación de los cultivos se realizó hasta el 2002 con laboreo mínimo (menor a 10 cm de profundidad) y en adelante siembra directa. La alfalfa fue fertilizada a la siembra con 80-100 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en el resto de las siembras se utilizó 10-24 kg/ha de N y 40-100 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, adicionalmente se realizaron refertilizaciones puntuales con bajas dosis de urea (entre 10 y 20 kg/ha de N).

Todas las parcelas tenían 1500 m<sup>2</sup>, un bebedero fijo, refugio y comederos móviles, diferenciándose en las mismas tres zonas: de “servicio” sin pastura implantada (primeros 10 m desde la cabecera donde está el bebedero) y las otras con pastura implantada, “pastoreo” correspondientes a los 55 m finales de las parcelas, y una zona “intermedia” entre los 10 y 20 m desde la cabecera de servicio (Figura 1). La zona intermedia, si bien recibió el mismo manejo que la de pastoreo, mantuvo una menor cobertura vegetal y muestra signos de degradación de suelos como escurrimiento superficial, compactación medida con penetrómetro y aumento de la densidad aparente (Monteverde, 2012).

El manejo animal fue similar en todas las parcelas. La carga animal utilizada fue calculada según la masa de animales días en una hectárea anualizada (t d ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). El peso promedio usado para el cálculo fue de 130, 160, 190, 15 y 60 kg para cerdas gestantes, lactantes, verracos, lechones en posdestete y cachorras de recría, respectivamente. La carga animal promedio fue 316 t d ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con mínimo de 267 y máximo de 350 t d ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, equivalentes a aproximadamente 5 - 6 cerdas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 2).

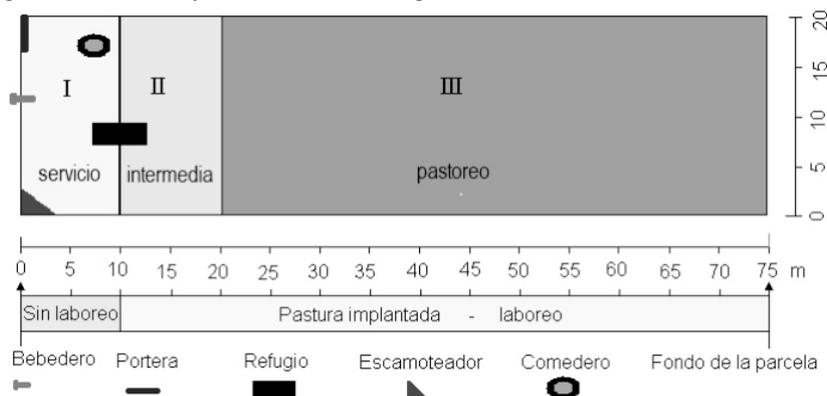
Todo el ciclo reproductivo se realizó en parcelas con pasturas, manteniéndose los animales en grupos según el estado fisiológico. La rotación animal en las parcelas fue a tiempo fijo para cerdas lactantes, mantenidas individualmente con su camada hasta el destete. Para cerdas gestantes y verracos la ocupación fue variable, procurándose lotes de 3 animales por 2 a 6 semanas en cada parcela. Los lechones en posdestete permanecían en la misma parcela por 3 a 5 semanas. A las cerdas se les suministró diariamente en gestación 1,25 kg de ración y en lactancia 3,0 kg de ración, agregando 0,25 kg por lechón. A los verracos siempre se les suministró 3,0 kg de ración por día. La ración para los reproductores contenía 13,8 % de proteína cruda y 13,8 MJ/kg de energía digestible. A los lechones se les suministró ración a voluntad y en posdestete según el peso vivo, esta ración contenía 20,3 % de proteína cruda y 14,6 MJ/kg de energía digestible. Los comederos utilizados fueron ruedas de camión cortadas a la mitad y la ración fue suministrada una sola vez al día.

**Tabla 1.** Años de siembra y rotación agrícola 1997-2009 para las seis parcelas experimentales.

Rotación	Parcelas	Años			
		1997	2002	2006	2007
A	1, 2 y 3	Alfalfa	Pastura	Avena / Sorgo	Pastura
B	4, 5 y 6	Pastura	Pastura	Pastura	

Pastura: corresponde en todos los casos a mezcla de trébol rojo, achicoria y trébol blanco.

**Figura 1.** Esquema espacial de las zonas y dimensiones de cada parcela.



**Tabla 2.** Carga según categoría (animales d ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), y carga total (t d ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) por parcela.

Parcela	Reproductores	Lechones posdestete y cachorras	Carga total*
	(animales d ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )		
A1	2016	1876	339
A2	1546	1834	267
A3	1686	1977	302
B4	1912	1916	350
B5	1736	2088	334
B6	1556	2442	305
Promedio	1742	1876	316

\* peso de todos los animales por días (todas las categorías) anualizadas por hectárea

### Muestreos de suelo

Se realizó un muestreo en grilla de 5 x 5 m en agosto 2009 en cuatro parcelas (A1, A2, B4 y B5). Se realizaron muestras compuestas de 12 tomas en torno al centro de cada celda en la capa de 0 a 15 cm (n= 240). Este muestreo buscó recabar información para construir mapas de propiedades químicas y analizar su concordancia con las zonas de manejo. Con esa información se definieron los puntos del segundo muestreo, con el cual se buscó comparar propiedades químicas entre las diferentes zonas de manejo de las parcelas entre sí y con el testigo, el mismo se realizó en diciembre de 2009 en seis parcelas y la zona testigo. En el suelo con cerdos se realizaron muestras de las tres zonas definidas de las parcelas: I de servicio, II intermedia y III pastoreo. Para cada zona de las parcelas se tomaron muestras de 0-15 cm (compuestas cada una de 12 tomas) para los análisis de suelo (n= 18) y 6 muestras comparables en la zona lindera a las parcelas (testigo). En el momento de los muestreos las parcelas estaban con cerdos, en el sector A con pastura de 3° año y el sector B con pasturas de 4° año, dominada por gramíneas (no sembradas).

### Análisis de suelo

Las determinaciones de pH se realizaron en agua destilada, con electrodo de pH Orion Research 701A. Se utilizó la relación suelo:agua 1:2,5 en el primer muestreo y en relación 1:1 en el segundo. Las determinaciones de conductividad eléctrica (CE) se realizaron en suspensión en agua (relación suelo:agua 1:2,5 y 1:1) con conductímetro Orion 122. Los contenidos de carbono orgánico del suelo (COS) se determinaron por oxidación con K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Nelson & Sommers, 1996) y determinación colorimétrica (600 nm). Los contenidos de P asimilable por método Bray 1 (Bray & Kurtz, 1945) con determinación colorimétrica a 660 nm. El P inorgánico en solución se determinó colorimétricamente luego de la extracción por succión (relación

suelo agua 1:1) expresándose los valores en mg/kg. Para el análisis de N mineral la extracción se realizó agitando 20 g de muestra con 100 mL de KCL 2M, por 1 hora. Se determinó N-NO<sub>3</sub> por colorimetría (540 nm), luego de la reducción de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a NO<sub>2</sub><sup>-</sup> a través de una columna de cadmio (Reacción de Griess-Ilosvay; Mulvaney, 1986). El N-NH<sub>4</sub> se determinó colorimétricamente (660 nm) según el método de Berthelot (Rhine *et al.*, 1998). El N mineral (N min) se calculó como la suma de N-NO<sub>3</sub> y N-NH<sub>4</sub>.

### Análisis estadístico

Los valores empíricos del muestreo en grilla fueron utilizados para generar representaciones espaciales de la concentración en superficie de COS, P Bray, N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, Nmin, CE y pH. Para ello se utilizó el método de interpolación local "Splines" utilizando Spatial Analyst del Arcview GIS 3.2.

Con los datos del segundo muestreo se analizó la significancia de las diferencias entre las tres zonas con cerdos y la testigo. Se usó el modelo ANOVA de Tipo I, considerando como efecto fijo la zona. Para comparar las variables entre las tres zonas de las parcelas del suelo con cerdos, se aplicó el modelo ANOVA de Tipo I, considerando la rotación y la zona como efectos fijos, la parcela anidada en rotación y la interacción entre carga y zona. Para probar normalidad se utilizó Shapiro Wilk, y para probar homogeneidad de varianza, el test de Bartlett. Cuando no se cumplieron las hipótesis de normalidad y/o homogeneidad de varianza, se aplicó el test de Kruskal-Wallis. Se utilizó el test a posteriori de Bonferroni para identificar diferencias significativas entre zonas. En los casos en que al aplicar el test de Kruskal-Wallis se obtuvieron diferencias significativas, se utilizó Mann Whitney corregido por Bonferroni. Para los análisis se usó el programa STATA/SE. Las diferencias mencionadas en el texto son significativas al nivel del 5%.

## Resultados

### Variabilidad espacial en las parcelas (Muestreo 1)

Luego de 12 años de instalado el sistema de producción de cerdos, se observó alta variabilidad en la concentración de nutrientes y la conductividad eléctrica del suelo con cerdos en las parcelas experimentales (Tabla 3).

El manejo realizado generó áreas claramente diferenciadas, con la mayor acumulación de nutrientes en la zona de servicio (Figura 2). El COS no tuvo una clara relación con las instalaciones o el manejo realizado, se hallaron parches de acumulación de materia orgánica distribuidos en todas las zonas. La concentración de COS presentó un amplio rango de variación, equivalente a valores extremos de 1,4 y 7,1% de materia orgánica. El pH fue la característica menos variable, observándose de todas maneras una tendencia a valores más básicos en los primeros 5 metros de la zona de servicio.

La concentración de P disponible en las parcelas con cerdos fue muy alta, superando 50 mg kg<sup>-1</sup> en el 60% del área, correlacionado significativamente con las concentraciones de N-NO<sub>3</sub>, N mineral y la CE (Figura 3). La concentración de N mineral fue inferior a 20 mg kg<sup>-1</sup> en el 70% del área. El N-NO<sub>3</sub> explicó la mayor proporción de la variación del N mineral, correlacionado también con la CE. El COS y el pH no se correlacionaron significativamente con las otras variables.

### Comparación entre zonas de las parcelas y testigo (Muestreo 2)

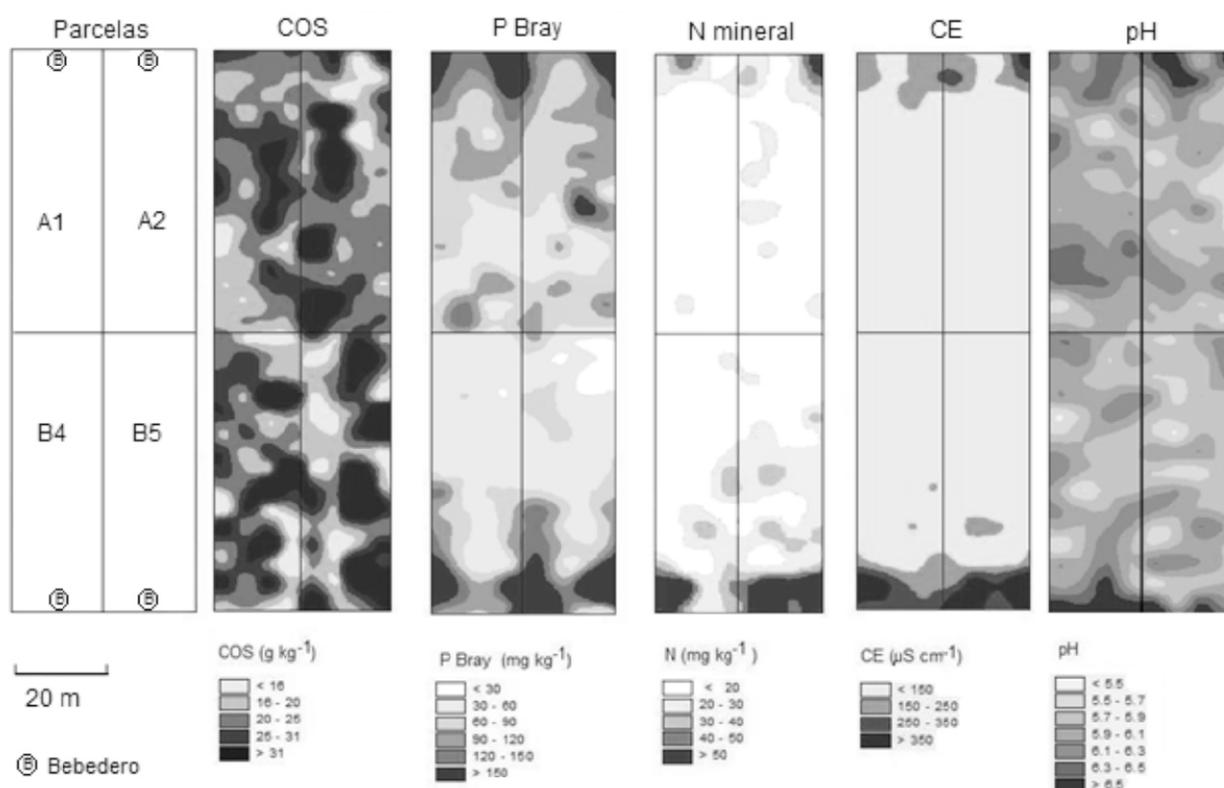
Los valores promedios por zonas del segundo muestreo (Tabla 4) fueron similares a los obtenidos en las áreas equivalentes del primero, siendo el N mineral la excepción con concentraciones sensiblemente menores. Esto puede ser debido a que 15 días antes del segundo muestreo hubo precipitaciones de aproxima-

**Tabla 3.** Contenido de carbono orgánico del suelo (COS), nutrientes, pH y conductividad eléctrica (CE) para las cuatro parcelas (n=240).

	COS	P disponible	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N mineral	CE*	pH
	g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>			μS cm <sup>-1</sup>	
Promedio	19,9	84	10,7	10,5	21,3	121	6,0
mínimo	8,2	20	3,3	5,1	10,3	70	5,5
máximo	41,0	443	72,5	46,9	100,7	520	6,6
DS	5,4	52	9,8	4,3	12,4	74	0,2
CV (%)	27	63	91	41	58	61	4

\* Conductividad eléctrica (CE) medida en relación suelo agua 1:2,5

**Figura 2.** Distribución espacial del carbono orgánico del suelo COS (g kg<sup>-1</sup>), P disponible (Bray) y N mineral (mg kg<sup>-1</sup>), conductividad eléctrica (CE) (μS cm<sup>-1</sup>) y pH, en cuatro parcelas bajo pastoreo de cerdos. Contorno del diagrama creado por interpolación lineal entre los valores de la muestra (0-15 cm de profundidad) en la grilla (5 x 5 m).



damente 100 mm, condición predisponente para las pérdidas de N mineral, ya sea por lixiviación como por desnitrificación.

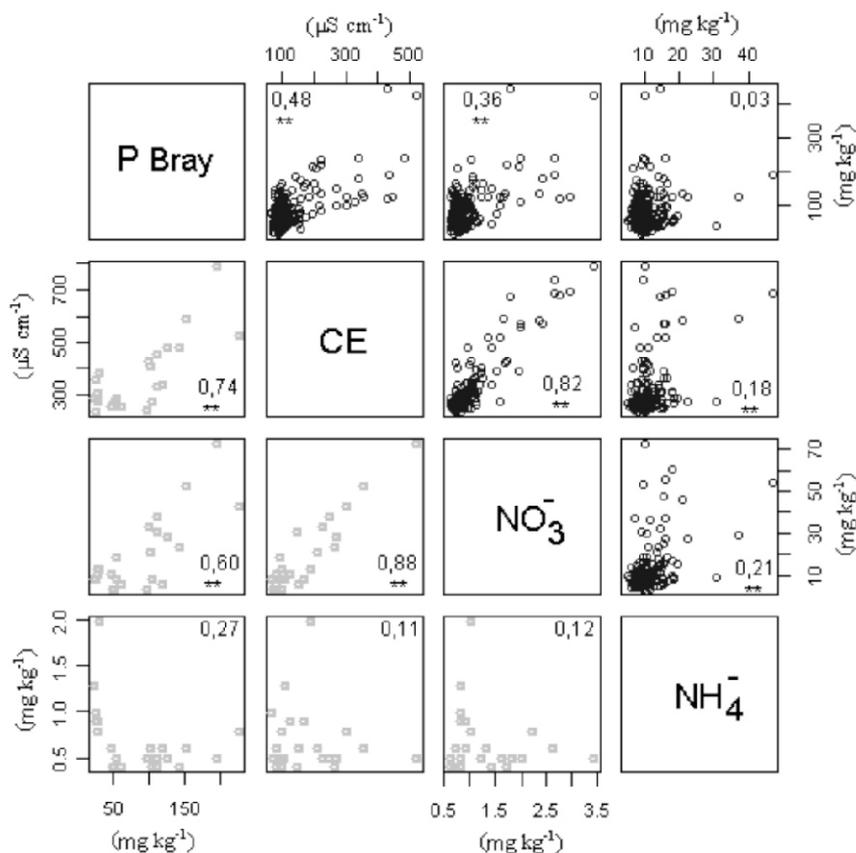
El sistema aumentó la concentración de P disponible y en solución, con variaciones significativas entre zonas (Tabla 4), aun considerando que se partió de valores altos en el testigo.

Los valores altos de P del testigo posiblemente estén influenciados por el manejo de los cultivos previos a la instalación de la UPC. El P inorgánico en solución de la zona de pastoreo no tuvo diferencias significativas con la zona testigo, sin embargo en la zona intermedia y particularmente en la de servicio, se hallaron valores significativamente superiores, con un valor máximo de 6 mg kg<sup>-1</sup>. El P inorgánico en solución tuvo alta correlación lineal con el P Bray ( $r^2=0,93$ ). El P disponible se correlacionó con el N mineral ( $r^2=0,28$  y  $0,63$  para el primer y segundo muestreo, respectivamente). Además el P disponible estuvo significativamente correlacionado con la CE en ambos muestreos (Figura 3).

El N mineral aún con muy bajas concentraciones en el suelo también tuvo diferencias significativas entre zonas, aumentando el nitrato en la zona de servicio. Al igual que en el primer muestreo, el N-NO<sub>3</sub> explicó la mayor variación del N mineral. La CE tuvo una tendencia similar a la observada para el P disponible y N-NO<sub>3</sub>, aumentando significativamente en la zona de servicio. La CE más alta registrada fue inferior a lo considerado muy levemente salino, mayores a 980 μS cm<sup>-1</sup> (USDA, 2001).

A diferencia de lo observado con los nutrientes, que tendieron a aumentar en relación al testigo, luego de 12 años las zonas con cerdos tuvieron aproximadamente 18% menos COS que el testigo. No se hallaron diferencias significativas en la concentración de COS entre las zonas de manejo de las parcelas. El pH también disminuyó en todas las zonas frente al testigo, pero solo significativamente en las zonas II y III de pastura implantada (Tabla 4). Al igual que en el primer muestreo el COS y el pH tuvieron baja correlación con las otras variables.

**Figura 3.** Correlación entre características químicas del suelo. Primer muestreo, derecha y arriba con símbolo de círculos; segundo muestreo, abajo a la izquierda con símbolo de cuadrados. Conductividad eléctrica (CE) relación suelo agua 1:2,5 y 1:1 primer y segundo muestreo, respectivamente. Valor en el gráfico coeficiente Pearson, \*\* significativo al 5%.



**Tabla 4.** Concentración de carbono orgánico (COS), nutrientes, conductividad eléctrica (CE) y pH, por zona correspondientes al segundo muestreo.

Zona	COS	P disponible	P solución	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N mineral	CE*	pH
	g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>			µS cm <sup>-1</sup>	
I. servicio	22,6 a (2,1)	152 a (47,6)	3,66 a (1,7)	2,1 a (0,8)	0,6 a (0,1)	2,7 a (0,8)	541 a (138,2)	6,1 ab (0,1)
II. intermedia	22,5 a (2,5)	107 a (11,5)	1,24 a (0,3)	1,2 ab (0,5)	0,5 a (0,1)	1,7 b (0,5)	347 ab (92,9)	5,9 a (0,1)
III. pastoreo	22,8 a (3,3)	50 b (5,1)	0,11 b (0,1)	0,8 b (0,2)	0,5 a (0,1)	1,3 b (0,3)	263 b (12,7)	6,0 a (0,2)
Testigo	27,4 b (2,6)	25 c (2,6)	0,05 b (0,1)	0,9 b (0,1)	1,2 b (0,5)	2,0 ab (0,5)	306 b (55,4)	6,4 b (0,2)

Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). / Valores entre paréntesis corresponden a desviación estándar.

\* Conductividad eléctrica (CE) medida en relación suelo agua 1:2,5.

#### Efecto de la carga animal

Las parcelas con mayores cargas animales (A1, B4 y B5), recibieron mayor aporte de nutrientes vía ración, aumentando las pérdidas de los comederos y excreciones animales, con una mayor presión de pastoreo sobre las pasturas. En la zona de servicio la concentración de N-NO<sub>3</sub>, P disponible y CE aumentó linealmente con la carga animal ( $r^2 = 0,76$ ,  $0,70$  y  $0,67$ , respectivamente;  $p < 0,05$  en todos los casos). Mientras que, en la zona de pastoreo la relación entre concentración de nutrientes a diferentes cargas no fue evidente.

El pastoreo produjo disturbios físicos (pisoteo y hozado) y probablemente aumentó el movimiento horizontal de carbono incrementando la heterogeneidad espacial del COS en la zona de pastoreo. La variación en el COS tuvo influencia estadísticamente significativa de la interacción entre carga y zona de la parcela. En la zona de pastoreo el COS se correlacionó lineal y negativamente con la carga ( $r^2 = 0,82$ ,  $p < 0,01$ ).

## Discusión

### Carbono orgánico del suelo

Desde el punto de vista de la sustentabilidad ambiental uno de los principales impactos del sistema fue la reducción del carbono orgánico del suelo. El suelo testigo presentó valores de COS similares a los reportados para este tipo de suelo bajo uso agrícola (Duran, 1991), mientras que el suelo con cerdos presentó promedios inferiores, aunque superiores a los reportados bajo usos hortícolas (García *et al.*, 2011). Si bien es posible mantener e incluso incrementar la concentración de COS en suelos agrícolas agregando materia orgánica en forma de estiércol animal (Hansen *et al.*, 2001) en este sistema de pastoreo de cerdos con bajo aporte de ración, la concentración de COS parece estar más relacionada al efecto del sistema de pastoreo sobre las propiedades físicas del suelo, afectando el crecimiento vegetal y la biología del suelo. En la zona de servicio con importantes aportes orgánicos (pérdidas de ración de los comederos y deyecciones animales) aumentó el P disponible, el N mineral y la CE.

La disminución del COS parece indicar que de la multiplicidad de factores que condicionan el balance de materia orgánica del suelo, los procesos relacionados a la descomposición superaron a los de aporte. En este experimento el riesgo de erosión fue mínimo debido a la escasa pendiente, por lo que eventualmente la erosión (importante en otras situaciones) tuvo poca incidencia en los cambios de COS. La disminución del COS cuando se realiza agricultura con laboreo, ha sido ampliamente reportada (VandenBygaert *et al.*, 2003). Los disturbios mecánicos ocurridos durante la preparación del suelo para la siembra de pasturas alteran la estructura y rompen agregados del suelo, lo que determinaría que las partículas orgánicas que estaban protegidas, queden expuestas a procesos microbianos y la materia orgánica no adsorbida en estos agregados, sea más fácilmente oxidada (Cambardeila & Elliot, 1992). Esta situación podría responder parte de la disminución del COS en las zonas sembradas pero no en la zona de servicio (no laboreada). Una posible explicación es que los cerdos por medio del hozado y pisoteo modifican la estructura superficial del suelo (Quintern & Sundrum, 2006), favoreciendo la oxidación de materia orgánica en superficie.

Otro efecto que puede contribuir a la disminución de la materia orgánica del suelo es la reducción de la actividad de coprófagos y de la macrofauna del suelo. Durante los muestreos se observaron muy pocos signos de actividad de la macrofauna del suelo y no se hallaron lombrices, las cuales podrían haber sido afectadas por la compactación del suelo, especialmente observada en la zona de servicio e intermedia (Monteverde, 2012) y por el uso de ivermectina en los cerdos. Si bien, no hay estudios específicos del impacto de la ivermectina suministrada a cerdos sobre organismos del suelo, varios trabajos sugieren que ésta podría afectar a algunos insectos coprófagos (Lumaret & Martínez, 2005), y a las lombrices (Beynon, 2012). También es posible el incremento de la tasa de descomposición de la material orgánica del suelo luego del agregado de materia orgánica fresca al suelo, ya sea este en pulsos o continuo, llamado efecto "priming" (Kuzyakov, 2010).

Desde el punto de vista de los aportes, la zona de pastoreo si bien tuvo mayores entradas de C aportadas directamente por la pastura, recibió menos aportes de materia orgánica en relación a la zona de servicio por la pérdida de ración de los comederos y las deyecciones. Salomon *et al.*, (2007) y Watson *et al.*, (2003) coinciden en que con cerdos a campo la zona de pastoreo es quien recibe menos deyecciones animales. La carga tiene entonces efectos con sentido contrario, aumentando las deyecciones al incrementar la misma (especialmente en la zona de servicio) pero disminuyendo los aportes de la pastura (especialmente en la zona de pastoreo).

Galvão (1998) reportó que luego de dos años de pastoreo rotativo con cerdas gestantes sobre gramíneas perennes, en parcelas de 1500 m<sup>2</sup>, no hubo diferencias significativas en el contenido de materia orgánica del suelo. En el presente trabajo si bien el sistema en general disminuyó el COS, el amplio rango de variación observado mantiene la expectativa de que bajo determinadas condiciones de suelos (con bajo contenido original de materia orgánica) y manejo (bajas cargas animales, respetando tiempos de descanso de las pasturas en los pastoreos y/o introduciendo gramíneas perennes en la rotación) sea posible incrementar, o al menos mantener el COS con la producción de cerdos a campo.

### Fósforo

Las concentraciones de P disponible observadas fueron muy altas, especialmente en la zona de servicio, no siendo explicadas por la fertilización fosfatada (aproximadamente 24 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), ya que la zona de mayor incremento no tuvo fertilización química directa. Esta observación es coincidente con trabajos anteriores. Por ejemplo, Eriksen & Kristensen (2001) reportaron un aumento del P extraíble luego de 6 meses con cerdas lactantes, el cual continuó aumentando luego de retirados los animales, siendo el P un nutriente menos móvil y más vinculado a la materia orgánica de las deyecciones animales que los otros nutrientes.

El ingreso más relevante de fósforo al sistema fue por la ración (alrededor de 45 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), llegando ésta al suelo por la pérdida de los comederos y con las deyecciones animales. Por lo tanto es probable que los altos niveles de P disponible hayan provenido mayoritariamente de la descomposición de dichos aportes orgánicos. El ciclaje de P por los cerdos, se hace fundamentalmente a través de las heces, siendo las cantidades de P en la orina menores (Poulsen, 2000). La concentración de P de las heces es normalmente mayor que la concentración de P de la pastura que pastorean los animales (Gillingham, 1980). Eriksen & Kristensen (2001) hallaron que las cerdas incrementaron considerablemente la variabilidad del P extractable, correlacionada con la distancia a los comederos y refugios. Valores altos también fueron reportados por Watson *et al.* (2003) en solo 15 meses de pastoreo con cerdas gestantes, mencionando que la distribución heterogénea de deyecciones aumentó la variabilidad del N y P extractables. En parcelas de similar tamaño a las del presente trabajo hallaron concentraciones de P extractable (resina) superior a 300 mg kg<sup>-1</sup> en los primeros 15 cm de suelo en las zonas preferidas para las excreciones, mientras que en las zonas menos preferidas cerca de 100 y en la zona testigo 80 mg kg<sup>-1</sup>. Reportaron además que los cerdos aumentaron el P total, estando la mayor proporción de incremento asociada al aumento del P orgánico.

En el suelo con cerdos el P inorgánico en solución se correlacionó con el P Bray y se observaron valores particularmente altos de P en solución en la zona de servicio e intermedia (Tabla 4). Koopmans *et al.*, (2007) reportaron que aplicaciones a largo plazo de fósforo con el estiércol animal, en cantidades superiores a la eliminación de cultivos conduce a la acumulación de P en el suelo y al aumento de riesgo de pérdida de P en el agua. El riesgo de pérdidas de P por escorrentía y lixiviación puede aumentar debido a la gran concentración de P observada en la zona de servicio, siendo la zona más compactada y a que la capacidad de fijación de P en los Brunosoles éutricos es frecuentemente media a baja (Duran, 1991, citando a Escudero & Morón 1978). El aumento de P aun no siendo un problema para el suelo, puede incrementar el riesgo de eutrofización si el sistema permite que los excesos de P alcancen cuerpos de agua, y se combinen con N, altas temperaturas y luz solar entre otros factores (Koopmans *et al.*, 2007).

El tipo de ración utilizada sin ajustar por el consumo de pastura, contribuyó a aumentar los excesos de P y N. El manejo de la dieta es clave para reducir la pérdida de nutrientes al ambiente (Aarnink & Verstegen, 2007). Es ampliamente aceptado que las dietas de cerdos utilizadas formuladas por mínimo costo (como en el presente trabajo), a partir de las materias primas más baratas frecuentemente tienen menor digestibilidad de nutrientes y son mal balanceadas a nivel de aminoácidos, por lo que generan mayores deyecciones de P (Poulsen, 2000) y N (Watson *et al.*, 2003).

#### Nitrógeno

El N mineral a diferencia del P disponible no se acumuló, a pesar de que las entradas fueron importantes vía ración (aproximadamente 177 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), fertilización (27 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y fijación biológica (no estimada). Las entradas vía ración no alcanzaron valores tan altos como en otros sistemas, por ejemplo el reportado por Worthington & Danks (1992), quienes estimaron un ingreso de N en la ración de 625 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para cargas de 14 cerdas/ha. En el sistema del CRS si bien hay categorías animales con altos requerimientos de N la carga es menor y en las cerdas gestantes la ración aporta solo el 50% de los requerimientos animales, por lo que el ingreso de N en la ración fue menor al planteado por esos autores (se estimaron entre 150 y 220 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de N según la parcela, datos no mostrados). Gustafson (2000) plantea que entradas de N en la ración de 172 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (manejando cargas muy bajas de 2,5 cerdas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en climas fríos) pueden ser de todas formas considerables. El aporte de N por fijación biológica presumiblemente fue importante, ya que las pasturas fueron siempre sembradas con leguminosas inoculadas con *Rhizobium*, con una buena producción de las mismas al menos los primeros dos años de cada pastura sembrada.

El N que ingresa al suelo (ya sea en forma orgánica o inorgánica) puede seguir una de las siguientes vías: ser absorbida por las plantas y biota del suelo, perderse por lixiviación, volatilización, desnitrificación y/o ser acumulado en el suelo en forma orgánica o mineral (Eriksen *et al.*, 2006). Las concentraciones de N mineral en ambos muestreos fueron más bajas que los reportados por Eriksen & Kristensen (2001) y Watson *et al.* (2003), si bien dichos estudios no son fácilmente comparables por haberse realizado en ambientes diferentes, con mayores cargas y niveles de ración que los del presente trabajo.

Las muy bajas concentraciones de N mineral halladas en el segundo muestreo luego de un importante período de precipitaciones, indican la relevancia del proceso de lixiviación. Además, el exceso de precipitaciones puede haber provocado pérdidas de nitrato por desnitrificación. También hubo un efecto de utilización diferencial del N mineral por la pastura en función del crecimiento de la misma, efecto señalado por Williams *et al.* (2000) y Rachuonyo *et al.* (2002). El primer muestreo fue a la salida del invierno con bajo crecimiento vegetal, en tanto que el segundo fue en un momento de mayor tasa de crecimiento de la pastura. La introducción de gramíneas perennes en la mezcla de las pasturas podría contribuir a disminuir los excesos de nitrógeno (Scherer-Lorenzen *et al.*, 2003) y a mejorar la cobertura del suelo (Rachuonyo *et al.*, 2002).

Algunos autores como Williams *et al.* (2000), plantean que es posible que los excedentes de N generados en la producción de cerdos a campo, puedan hacer una contribución de N a los cultivos siguientes. En este experimento, dada la gran movilidad del N y a que no se incrementó la materia orgánica del suelo, es esperable una baja contribución de N al próximo cultivo.

#### Variabilidad espacial (efecto zona)

Los cerdos en pastoreo aumentaron la variabilidad espacial de la materia orgánica y los nutrientes del suelo. La zona de servicio

concentró los mayores impactos y la de pastoreo los menores, siendo el COS la excepción a este patrón. En la zona de pastoreo (75% del área) sólo aumentó significativamente el P disponible, fue la más homogénea para todas las variables analizadas excepto para el COS, el cual disminuyó en las tres zonas de las parcelas.

Este patrón heterogéneo en la distribución de nutrientes fue similar al descrito por Eriksen & Kirstensen (2001) y Salomon *et al.* (2007), disminuyendo la concentración en las zonas de pastoreo más lejanas a las instalaciones. Sólo para el P disponible se hallaron incrementos hacia los laterales de las parcelas en los primeros 20-30 m (Figura 2), semejantes a lo reportado por Watson *et al.* (2003) en parcelas de similares dimensiones. Estos autores atribuyen este hecho al comportamiento de los cerdos, que recorren frecuentemente los bordes de las parcelas. Pero a diferencia de Watson *et al.* (2003), en este experimento la mayor concentración de P ocurrió en la zona del bebedero y comederos, similar a lo observado por Rachuonyo & McGlone (2007). La alta concentración de P y N concentrada en pequeñas áreas, especialmente en torno a los comederos, pueden ser un problema desde el punto de vista medioambiental. En este sentido, para sistemas con áreas de servicio fijas, la localización del criadero debe considerar al riesgo de eutrofización y contaminación de fuentes de agua cercanas. Si bien es posible mejorar la distribución de nutrientes como sugieren Eriksen *et al.* (2006), por ejemplo moviendo regularmente las instalaciones y no tener un área fija de servicio, Campagna *et al.* (2011) en condiciones similares a la del presente experimento (agroclimáticas y con sistemas donde el consumo de pastura es un factor importante) plantean que es necesario trabajar con el mínimo desplazamiento de reparos y comederos para reducir la pérdida de cobertura vegetal.

A pesar de no acumular una alta concentración de N mineral, la distribución espacial fue similar a la reportada por Eriksen & Kristensen (2001). Observaron que el N mineral se correlacionó con la distancia a los comederos y que a los 30-40 m había parches en los que los niveles de N mineral se correspondían a los hallados en el testigo sin cerdos fuera de las parcelas. En este trabajo en la zona de transición (alrededor de 10-20 m de distancia de los comederos) los niveles de N mineral no difirieron estadísticamente de la zona testigo sin cerdos (Tabla 4).

#### Efecto rotación

No hubo efectos sobre las variables estudiadas que puedan ser atribuidas a las diferencias en laboreos, fertilizaciones o el tipo de pasturas utilizadas entre las parcelas de ambas rotación. El efecto global de la rotación sólo fue estadísticamente significativo para la concentración de N-NO<sub>3</sub>. La rotación A tuvo menos N-NO<sub>3</sub> que la B pero la diferencia fue agrónomicamente mínima (0,8 mg kg<sup>-1</sup> en el segundo muestreo), presumiblemente debido a la diferencia en la demanda coyuntural de N al momento del muestreo por la pastura del sector A (pastura de 3º año en activo crecimiento), mayor a la del sector B (pastura de 4º año degradada). En este sentido Rachuonyo *et al.* (2002), plantean que si los cerdos permanecen sobre pasturas todo el año, en los momentos de menor actividad vegetal (invierno o luego del crecimiento de las especies anuales) es necesario un mayor control de los excesos de N, al verse reducida la demanda por parte del cultivo.

#### Efecto carga animal

Pese a haber utilizado bajas cargas fueron evidentes efectos de dicho factor sobre los nutrientes y la materia orgánica del suelo en función de la interacción entre dichas cargas y las zonas de las parcelas. En particular, se observó que a mayor carga aumentó la concentración de nutrientes y la CE en la zona de servicio (datos no mostrados). Esto podría estar relacionado con varios efectos (no cuantificados) como el hábito de pastoreo de los cerdos, con incremento de excreciones en la zona de servicio (Watson *et al.*

2003), pérdida de ración de los comederos, los cuales no tenían un diseño adecuado (aumento en la cantidad de ración perdida por la competencia animal) y menor uso de nutrientes por los vegetales (menor crecimiento de pasturas).

El efecto de la interacción carga con zona sobre el COS fue significativo, observándose particularmente en la zona de pastoreo, una correlación lineal y negativa entre carga y COS ( $r^2 = 0,84$ ,  $p < 0,01$ ). Al aumentar la carga (mayor presión de pastoreo) aumentó el pisoteo, el hozado (ambos favorecerían la mineralización de MO) y se redujo el aporte de C de la pastura al suelo, efectos que no fueron compensados por el aumento de la materia orgánica con las deyecciones.

Ajustar la carga animal es fundamental para mantener la pastura y

## Conclusiones

El sistema aumentó la concentración de nutrientes en la capa superficial del suelo y la heterogeneidad espacial en la distribución de los mismos, incrementando los riesgos ecológicos asociados a las pérdidas de N y P. Este hecho, y la disminución de la materia orgánica del suelo, sugieren que se requiere diferentes soluciones para que estos sistemas sean más respetuosos del medioambiente. Los resultados ponen de relieve la importancia de planificar la ubicación de las instalaciones, la elección de la pastura a usar, el ajuste del contenido de nutrientes en la ración y del método de pastoreo.

Los cerdos a campo en una rotación con cultivos, podrían realizar una importante contribución de fósforo para los mismos, pero en situaciones agroclimáticas similares a las del presente trabajo, no parece probable que el aporte de N sea significativo para el cultivo siguiente.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Antonio Vadell y demás trabajadores del Centro Regional Sur y del Departamento de Suelos y Aguas de Facultad de Agronomía por hacer posible la ejecución de los trabajos. A Daniel Panario, Marcel Achkar y docentes de la Maestría en Ciencias Ambientales (Facultad de Ciencias), así como a José Piaggio y Hugo Naya por sus aportes a los análisis. La investigación contó con la financiación de la CSIC.

## Bibliografía

1. AARNINK AJ, VERSTEGEN MW (2007) Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science*, 109: 194-203.
2. BARLOCCO N, VADELL A (2011) La Unidad de Producción de Cerdos. En: Barlocco N, Vadell A. (Ed.) Producción de cerdos a Campo. Aportes para el desarrollo de tecnologías apropiadas para la producción familiar. Uruguay. Facultad de Agronomía. p. 1-10.
3. BENFALK C, LINDGREN K, LINDAHL C, RUNDGREN M (2005) Mobile and stationary system for organic pigs animal behaviour in outdoor pens. Paper presentado a Researching Sustainable Systems-International Scientific Conference on Organic Agriculture. Adelaide. Australia. [http://orgprints.org/4313/4/4313-Benfalk\\_etal\\_4p\\_revised-ed.pdf](http://orgprints.org/4313/4/4313-Benfalk_etal_4p_revised-ed.pdf) Acceso: 21 de julio de 2014.
4. BEYNON SA (2012) Potential environmental consequences of administration of anthelmintics to sheep. *Veterinary Parasitology* 189: 113–124.
5. BRAY RH, KURTZ LT (1945) Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. *Soil Science*, 59: 39-45.
6. CAMPAGNA D, DICHIO L, AUSILIO A, BESSÓN PA, SILVA P, SPINOLLO L (2011) Efectos de la carga animal sobre el tapiz vegetal y el recurso suelo en un sistema de producción al aire libre. En: Barlocco N, Vadell A. (Ed.) Producción de cerdos a Campo. Aportes para el desarrollo de tecnologías apropiadas para la producción familiar. Uruguay. Facultad de Agronomía. p. 97-101.
7. CAMBARDELLA CA, ELLIOT ET (1992) Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56: 777-783.
8. DALLA COSTA AO, DIESEL R, COELHO LOPES EJ, CUNHA NUNES R, HOLDEFER C, COLOMBO S (2002) Sistema intensivo de suínos criados ao ar Livre-SISCAL. *Boletim Informativo Pesquisa & Extensão*. Brasil. EMBRAPA- EMATER/RS. Año 9, N° 13. 68 p.
9. DICHIO L, CAMPAGNA D (2007) Caracterización de la vegetación sometida a diferentes cargas de porcinos. Resultados preliminares. Volumen Especial, IX Encuentro de nutrición y producción en animales monogástricos: innovación y desarrollo de tecnologías apropiadas para la producción familiar. *Agrociencias Uruguay*, 87-92.
10. DURAN A (1991) Los suelos del Uruguay. Ed Agropecuaria Hemisferio Sur. 2ª edición. 398 p.

11. **DURAN A, CALIFRA A, MOLFINO JH, LYNN W** (2005) Keys to Soil Taxonomy for Uruguay. USDA. Natural Resource Conservation Service. 77 p.
12. **ERIKSEN J, HERMANSEN JE, STRUDSHOLM K, KRISTENSEN K** (2006) Potential loss of nutrients from different rearing strategies for fattening pigs on pasture. *Soil Use and Management*, 22 (3): 256-266.
13. **ERIKSEN J, KRISTENSEN K** (2001) Nutrient excretion by outdoor pig: a case study of distribution, utilisation and potential for environmental impact. *Soil Use and Management*, 17: 21-29.
14. **GALVÃO, D** (1998) Avaliação do efeito do pisoteio rotativo dos suínos sobre as propriedades físicas e químicas do solo em diferentes lotações e forrageiras. En: Memorias del Primer Encuentro de Técnicos del Cono Sur Especialistas en Sistemas Intensivos de Producción Porcina a Campo. Argentina.
15. **GARCÍA DE SOUZA M, ALLIAUME F, MANCASSOLA V, DOGLIOTTI S** (2011) Carbono orgánico y propiedades físicas del suelo en predios hortícolas del sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15 (1): 70-81.
16. **GILLINGHAM, AG** (1980) Phosphorus uptake and return in grazed steep hill pastures. I. Pasture production and dung and litter accumulation. *New Zealand J. Agric. Res.* 23:313-321.
17. **GUSTAFSON GM** (2000) Barley as catchcrop of soil nitrogen after grazing sows. En: Hermansen JE, Lund V, Thuen E (Ed.) *Ecological Animal Husbandry in the Nordic Countries*. Proceedings from NJF- Seminar N° 303. (1999) Horsens, Denmark. DARCOF. p. 29-34.
18. **HANSEN B, ALRØE HF, KRISTENSEN ES** (2001) Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83: 11-26.
19. **KOOPMANS GF, CHARDON WJ, MCDOWELL RW** (2007) Phosphorus movement and speciation in a sandy soil profile after long-term animal manure applications. *Journal of Environmental Quality*, 36 (1): 305-315.
20. **KUZYAKOV Y** (2010) Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 42: 1363-1371.
21. **LUMARET JP, MARTÍNEZ I** (2005) El impacto de productos veterinarios sobre insectos coprófagos: consecuencias sobre la degradación del estiércol en pastizales. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 21 (3): 137-148.
22. **LY L, RICO C** (2006) Cría de cerdos al aire libre. El caso cubano. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 13 (1): 13-24.
23. **MAP/DSF MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES** (1976) Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Montevideo, Uruguay.
24. **MONTEVERDE S** (2012). Impactos sobre el suelo de un sistema de producción de cerdos a campo en el largo plazo. Tesis de Magister en Ciencias Ambientales. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay. 108 p.
25. **MULVANEY RL** (1986) Total Carbon, Nitrogen-inorganic forms. En: Sparks DL et al. (Ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods. ASA and SSSA, Madison WI. p. 1123-1184.
26. **NELSON DW, SOMMERS LE** (1996) Total carbon, organic carbon, and organic matter. En: Sparks DL et al. (Ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods. ASA and SSSA, Madison WI. p. 961-1010.
27. **PETERSEN SO, KRISTENSEN K, ERIKSEN J** (2001) Denitrification losses from outdoor piglet production. *Journal of Environmental Quality*, 30: 1051-1058.
28. **PINHEIRO MACHADO LC, DA SILVEIRA MC, HÖTZEL MJ, PINHEIRO MACHADO LC** (2002) Produção agroecológica de suínos - uma alternativa sustentável para a pequena propriedade no Brasil. En: 2º Conferência Internacional Virtual sobre Qualidade de Carne Suína. 5 de noviembre al 6 de diciembre de 2001. Concórdia, SC, Brasil. Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 74. 438 p.
29. **POULSEN HD** (2000) Phosphorus Utilization and Excretion in Pig Production. *Journal of Environmental Quality*, 29: 24-27.
30. **QUINTERN M, SUNDRUM A** (2006) Ecological risk of outdoor pig fattening in organic farming and strategies for their reduction. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 117: 238-250.
31. **QUINTERN M** (2005) Integration of organic pig production within crop rotation. En: Sundrum A & Weibmann F (Ed.) *Organic pig production in free range systems*. Landbauforschung Völknerode - FAL Agricultural Research, Special Issue 281: 31-34.
32. **RACHUONYO HA, MCGLONE JJ** (2007) Impact of outdoor gestating gilts on soil nutrients, vegetative cover, rooting damage, and pig performance. *Journal of Sustainable Agriculture*, 29 (3): 69-87.
33. **RACHUONYO H, POND W, MCGLONE J** (2002) Effects of stocking rate and crude protein intake during gestation on ground cover, soil-nitrate concentration, and sow and litter performance in an outdoor swine production system. *Journal of Animal Science*, 80 (6): 1451-1461.
34. **RHINE ED, SIMS GH, MULVANEY RL, PRATT EJ** (1998) Improving the Berthelot reaction for determining ammonium in soil extracts and water. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 473-480.
35. **SALOMON E, AKERHJELM H, LINDAHL C, LINDGREN K** (2007) Outdoor pig fattening at two Swedish organic farms. Spatial and temporal load of nutrients and potential environmental impact. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121 (4): 407-418.
36. **SCHERER-LORENZEN M, PALMBORG C, PRINZA A, SCHULZE ED** (2003) The role of plant diversity and composition for nitrate leaching in grasslands. *Ecology*, 84 (6): 1539-1552.
37. **STEINFELD H, GERBER P, WASSENAAR T, CASTEL V, ROSALES M, DE HAAN C** (2006) *Livestock's Long Shadow: environmental issues and options*. Roma. FAO/LEAD. 390 p.
38. **USDA, NRCS. SOIL QUALITY INSTITUTE** (2001) *Soil Quality Test Kit Guide*. [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_050956.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_050956.pdf). Acceso: 21 de julio de 2014.
39. **VANDENBYGAART A, GREGORICH E, ANGERS D** (2003) Influence of agriculture management on soil organic carbon: a compendium and assessment of Canadian studies. *Canadian Journal of Soil Science*, 83: 363-380.
40. **WATSON CA, ATKINS T, BENTO S, EDWARDS AC, EDWARDS SA** (2003) Appropriateness of nutrient budgets for environmental risk assessment: a case study of outdoor pig production. *European Journal of Agronomy*, 20: 117-126.
41. **WILLIAMS JR, CHAMBERS BJ, HARTLEY AR, ELLIS S, GUISE HJ** (2000) Nitrogen losses from outdoor pig farming systems. *Soil Use and Management*, 16 (4): 237-243.
42. **WORTHINGTON TR, DANKS PW** (1992) Nitrate leaching and intensive outdoor pig production. *Soil Use and Management*, 8 (2): 56-60.
43. **LOPARDO JP, GÓMEZ A, MONTEVERDE S, BARLOCCO N, VADELLA** (2000) Análisis económico de un sistema de producción de cerdos a campo. XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal. III Congreso Uruguayo de Producción Animal. Montevideo Uruguay.