

EFEECTO DEL PISOTEO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CERDOS A CAMPO SOBRE PROPIEDADES DEL SUELO

EFFECT OF TRAMPLING IN PIG PRODUCTION SYSTEMS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES

Adriana Rodríguez M.*, Mansonia A. Pulido M.*, Juan C. Rey B.**,
Deyanira Lobo L.*, Humberto Araque* y Carmen Rivero*

*Profesores. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía.

**Investigador. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Maracay-Venezuela.

E-mail: acrmate@gmail.com, pulidom@agr.ucv.ve, jcrey@inia.gob.ve, lobod@agr.ucv.ve,
araqueh@agr.ucv.ve, criver@ewinet.com

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la tendencia de los cambios producidos por el pisoteo en sistemas de producción de cerdos a campo (CC) sobre las propiedades de un suelo Mollisol de Venezuela. El muestreo se basó en un diseño factorial 2x3 a dos niveles: potreros con cerdos (PCC), potreros sin cerdos (PSC) y otro factor a tres niveles (0-5, 5-10 y 10-20 cm). En cada potrero se seleccionaron cuatro puntos al azar con base a un análisis previo de variabilidad del área, en cada punto se determinó el pH, la conductividad eléctrica (CE), el contenido de carbono orgánico (CO) del suelo, evaluándose la condición y estabilidad estructural al humedecimiento, impacto de gotas y movimiento del agua. Los resultados mostraron diferencias significativas por efecto de la presencia de cerdos y profundidad para las variables densidad aparente (D_a), poros con radio $>15\mu\text{m}$, resistencia mecánica a la penetración (RMP) y CO, mientras que el pH y la CE evidenciaron algunas diferencias por efecto de la presencia o ausencia de cerdos. Esto permite afirmar que el pisoteo de los cerdos ejerce un efecto modificador sobre las propiedades del suelo evaluado, en este caso, mayor evidencia de cambios negativos, tales como el aumento de la D_a , la proporción de poros con radio $<15\mu\text{m}$, la disminución de la porosidad total y la tasa de infiltración.

Palabras Clave: densidad aparente; pisoteo de cerdos; porosidad; profundidad del suelo; propiedades del suelo; tasa de infiltración.

RECIBIDO: agosto 11, 2009

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the tendency of changes produced by the trampling in production systems from pigs to field (PF) on the properties of a Mollisol ground of Venezuela. The sampling was based with pigson a factorial design 2x3, a factor of two levels: pastures (PWP) and pig paddocks without (PPW) and soil depth atf three levels (0-5, 5-10 y 10-20 cm). In each plot four points were selected at random according to previous variability analysis. At each point was determined pH, electrical conductivity (EC) and organic carbon (OC) content of the soil, and assessing structural condition, structural stability to wet sieving, drop impact, and water movement. The results showed significant differences between treatment for the variables bulk density (BD), pores with radio $<15\mu\text{m}$, mechanical resistance to the penetration (MRP) and OC, while for pH and EC only significant differencesby effect of the presence or absence of pigs. This suggest that pigs trampling have an modifier effect on soil properties evaluated, in this case further evidence of negative changes such as, increase of BD and pores with radio $<15\mu\text{m}$ and the diminution of the total porosity and infiltration rate.

Key Words: bulk density; pigs trampling; porosity; soil's depth; soil properties; infiltration rate.

ACEPTADO: noviembre 11, 2010

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción alternativos de cría de cerdos a cama profunda y cerdos a campo (CC) descritos por González (2006), reúnen una serie de consideraciones que los convierten en una opción factible para reducir los problemas ambientales causados por los residuos sólidos y líquidos, producto de lavado de los corrales y la alta producción de excretas de cerdos por metro cuadrado (m²) en los sistemas de confinamiento. La producción de CC es escasamente contaminante al ambiente debido a que las deyecciones se distribuyen en el suelo y se aprovechan como fertilizante (Anzola y Carmenza, 2006). Sin embargo, las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo son modificadas, afectando de forma general los procesos relacionados con la hidrología, el ciclo de nutrientes y la producción vegetal del pastizal (Echavarría *et al.*, 2007).

Por otra parte, Baldizán (1997) señala que el pisoteo, la deposición de excretas sólidas y orina, son los primeros efectos del animal sobre el suelo. Se ha establecido que conforme se incrementa la carga animal y el período de estancia del ganado en el potrero, el pisoteo de animales produce la destrucción paulatina de los agregados del suelo e incrementos de la densidad aparente (Da), originando problemas de compactación que afectan negativamente la infiltración, retención de humedad e incremento en los riesgos de erosión (Echavarría *et al.*, 2007).

Igualmente, Ausilio *et al.* (2007) evaluaron el efecto de producción de CC sobre algunas propiedades del suelo en un Argiudol vértico localizado en Argentina, encontrando que la compactación relativa del suelo, luego de 9 meses de producción, aumentó en los primeros 8 cm de profundidad en el tratamiento con carga de cerdos de 8 000 kg.ha⁻¹, manteniéndose en muestreos posteriores, alcanzando valores de compactación elevados, atribuido a la presión transmitida en la interfase animal-suelo.

En otras especies de animales como ovinos y caprinos las características son más o menos similares a los cerdos (peso promedio, tamaño y forma de la pezuña), también pueden ejercer cambios en las propiedades del suelo. Taboada (2007), señala que el pastoreo directo con este tipo de ganado doméstico, ejerce dos grandes efectos sobre los suelos: la defoliación causada por la ingesta de forraje por los animales y el pisoteo causado por el tránsito de los mismos. Ambos efectos generan importantes cambios en estas propiedades, como lo mencionan Ramírez *et al.* (2007), quienes realizaron un ensayo con un sistema de producción de caprinos

en un Inceptisol en Colombia, donde se encontró que el pisoteo caprino incrementó en un 17% la Da, lo que generó problemas de compactación y cambios negativos en la productividad del pasto.

Por otra parte, Echavarría *et al.* (2007) evaluaron un sistema de producción de caprinos y ovinos bajo pastoreo rotacional continuo, en un suelo franco arenoso de México, cuyos resultados indicaron que el pastoreo rotacional influyó positivamente en las características físicas del suelo, al no incrementar los valores de Da en comparación con el pastoreo continuo.

En Venezuela, Ordóñez (2002) evaluó un sistema de maíz (*Zea mays* L.) bajo labranza conservacionista con ganado ovino, en un Entisol, mostrando que después de varias semanas de pastoreo, se produjeron cambios desfavorables en las propiedades físicas del suelo.

A diferencia de otros países, en Venezuela la producción de CC es un sistema menos desarrollado y no se cuenta con estudios sobre el efecto que causa este sistema de producción en el suelo. Sin embargo, Mora (2004) realizó un estudio en una parcela ubicada en la misma área de evaluación contemplada en el presente trabajo, reportando que 18 d después de la introducción al potrero de cerdos con peso promedio de 60 kg y capacidad de carga de cuatro animales por 144 m², los valores de Da no presentaron diferencias significativas, lo cual fue atribuido al corto tiempo de permanencia de los animales en el campo.

Por la razón expuesta, se planteó evaluar el efecto del pisoteo de CC sobre las propiedades de un Mollisol con predominio de clase textural franco - franco limoso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un suelo clasificado como Typic Haplustoll, ubicado en el Campo Experimental de la Sección de Manejo de Pastizales, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Campus Maracay (10°16'52" latitud N y 67°35'48" latitud O). El clima se corresponde con bosque seco tropical según Holdridge (1967), con un promedio anual de precipitación de 930 mm y temperatura de 26,7 °C (INIA, 2007). El área del ensayo está ubicada en la cuenca del río Güey al Norte del Lago de Valencia, asociada a la formación Las Brisas, que presenta una dominancia de esquistos y gneises cuarzo-feldespático-micáceos (Márquez, 1989).

Uso y manejo del suelo bajo estudio

El área total está dividida en dos potreros con manejos diferentes: uno con cerdos a campo (PCC) y el otro sin cerdos (PSC), con una superficie de 1,8 y 1,2 ha, respectivamente; establecidos principalmente con una mezcla de gramíneas Swazi (*Digitaria swazilandensis*) y Angleton (*Dichanthium aristatum*). En el PCC los animales entraron en dos oportunidades: a) En la primera: cerdos en etapas de crecimiento y engorde, con peso inicial de 20 a 105 kg, híbridos de razas mejoradas, utilizando 1 cerdo/150 m², equivalente a una carga animal de 66,66 cerdos/ha. b) En la segunda: se introdujeron cerdas con un peso inicial de 120 kg, llegando al servicio a los 150 kg; durante la gestación aumentaron de peso hasta alcanzar un día antes del parto 220 kg y terminado el período de lactancia pesaron al destete 170 kg. Estos cambios sucedieron en un lapso de 174 d promedio, utilizando cerdas primerizas (1 cerdo/600 m²) de la línea genética Camborough 22 (Landrace x Yorkshire) equivalente a una carga animal de 16,66 cerdos/ha⁻¹. Los cerdos permanecieron las 24 h del día en el campo, suministrándoles alimento balanceado. Para el momento de la evaluación los potreros tenían un año en descanso.

Diseño del experimento

El diseño del experimento fue aleatorizado con arreglo de tratamiento factorial 2x3, un factor a dos niveles: PCC y PSC y el otro factor a tres niveles: 0-5, 5-10 y 10-20 cm de profundidad.

Muestreo de suelo

Se realizó un análisis de variabilidad previo al área de estudio, que permitió detectar la existencia de homogeneidad en profundidad, color de los horizontes y variabilidad media en clase textural, resultando que las diferencias en textura, definieron los puntos y profundidad de muestreo. Se dividió cada potrero en dos partes iguales, presentándose la menor variabilidad de suelos en dirección NO - SE y la mayor en NE - SO. El potrero se fraccionó en cuatro franjas para luego determinar al azar la posición de los puntos a muestrear, es decir, un punto por franja. En éstos se realizaron excavaciones de 20 cm de profundidad y se tomaron tres muestras a: 0-5, 5-10 y 10-20 cm (0-5 y 5-10 cm corresponden al horizonte Ap y 10-20 cm al A1). Éstas fueron definidas con base al espesor de las capas presentes en el suelo y a resultados obtenidos en los estudios realizados por Ausilio *et al.* (2007), con CC y Ramírez *et al.* (2007), Echavarría *et al.* (2007) y Ordóñez (2002) con ovinos y caprinos, quienes demostraron los efectos del pisoteo animal sobre el suelo en los primeros 8-15 cm de profundidad.

En cada punto se tomaron muestras de suelo no disturbadas y disturbadas, realizando evaluaciones a nivel de campo. Las no disturbadas fueron efectuadas con el toma muestra tipo Uhland y cilindros de aproximadamente 5 cm de diámetro por 5 cm de altura, con tres repeticiones por capa en cada punto de muestreo; las mismas se mantuvieron a humedad de campo hasta el momento del análisis. Las disturbadas se tomaron con un palín, se secaron al aire y se pasaron por un set de tamices de 2 y 4 mm, con la obtención de dos fracciones: <2 mm y 2-4 mm.

En las muestras no disturbadas se determinó: Da con el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986), porosidad total y distribución de tamaño de poros por el método de la mesa de tensión de Danielson y Sutherland (1986), modificado por Pla (1983) y en el caso de las disturbadas la distribución de tamaño de partículas por el método del hidrómetro modificado (Gee y Bauder, 1986) y propiedades químicas: pH y conductividad eléctrica (CE) en una suspensión de suelo: agua de 1:2,5 y carbono orgánico (CO) mediante el método de Walkley y Black modificado (Heanes, 1984).

Finalmente, las evaluaciones realizadas en campo fueron: resistencia mecánica a la penetración (RMP), tomando tres lecturas por punto hasta los 20 cm de profundidad, utilizando un penetrómetro de impacto de punta cónica con un área basal de 0,8 cm², diseñado por Nacci y Pla (1992); con la toma de muestras de humedad correspondientes a cada medición y la tasa de infiltración mediante el método del doble anillo de Bouwer (1986) modificado (Pla, 1983).

Con las muestras disturbadas secas al aire y pasadas por mallas de 2 y 4 mm de abertura, se evaluó la estabilidad de los agregados tamizados en húmedo por el método de Yoder modificado (Pla, 1983), igualmente, frente al impacto de las gotas de lluvia (Nacci y Pla, 1991).

Análisis de datos

Los análisis de los datos realizados con el paquete estadístico SAS v 9.0 (2002), incluyeron un análisis descriptivo donde se comprobaron los supuestos de la varianza, transformando la variable, agregados estables al agua (AEA) por raíz cuadrada para ajustar la normalidad, un análisis de varianza por vía paramétrica para el modelo factorial 2x3. A las variables que arrojaron diferencias significativas se les hizo la prueba de medias de Duncan. Finalmente, para establecer asociaciones entre las variables evaluadas se procedió a un análisis de correlación de Pearson (Chacín, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de tamaño de partículas y propiedades químicas del suelo evaluado

En los suelos se establecieron los tratamientos que presentaron un predominio de partículas tamaño limo y arena muy fina (2-100 μm) con más de 83% en promedio, clasificado como un suelo con textura franco limoso - franco (Cuadro 1). La existencia de una mayor proporción de estas partículas, le confiere a este suelo una baja estabilidad estructural y por ende una óptima susceptibilidad a procesos de degradación como sellado, encostrado y compactación por la baja cohesión que poseen estas partículas (Pla, 1978).

El contenido de CO presentó diferencias significativas con respecto a la presencia o ausencia de cerdos ($P \leq 0,05$) y altamente significativa en la profundidad ($P \leq 0,01$), encontrándose el mayor contenido de CO en la capa superficial de 0-5 cm de profundidad (Cuadro 2), clasificado como moderado en función de la clase textural (Gilabert *et al.*, 1990), mientras que en las capas subsuperficiales los valores fueron bajos. La presencia de cerdos incrementó un 22% de CO en el suelo, respecto al sin cerdos, podría atribuirse al cambio de manejo al

aporte continuo de excretas de los cerdos directamente al suelo, constituyendo una fuente importante de materia orgánica (MO), según Anzola y Carmenza (2006).

En cuanto al pH y la CE del suelo hubo diferencias significativas, con relación a la presencia o ausencia de cerdos ($P \leq 0,05$), pero no hubo diferencias con respecto a profundidad (Cuadro 2). Para el PCC los valores de pH en todas las profundidades se encontraron dentro del rango de la neutralidad; mientras que PSC, el valor de pH para la capa superficial de 0-5 cm fue moderadamente ácido, aumentando en profundidad al pH ligeramente ácido.

El aumento del pH, estimado en un 10% para el PCC, fue asociado a la continua incorporación de excretas de cerdos sobre el suelo (Mora *et al.*, 2000; Rodríguez, 2002).

En general, la CE en los dos potreros evaluados fue baja. Sin embargo, se encontró diferencias significativas en cuanto a la presencia o ausencia de cerdos, los valores mayores de CE se presentaron en el PCC aumentando en un 108%, debido principalmente a la deposición de excretas. Así mismo, Taboada (2007), señala que en general, la presencia del animal en el campo causa aumentos de salinidad de los horizontes superiores del suelo.

CUADRO 1. Distribución de tamaño de partículas y clasificación textural del suelo bajo estudio.

	Prof. (cm)	Distribución de tamaño de partículas (μm)						Clase textural	
		< 2	2-50	50-100	100-250	250-500	500 -1 000		1 000 -2000
%									
Con cerdos	0-5	8 \pm 0	54 \pm 9	28 \pm 11	5 \pm 2	2 \pm 1	1 \pm 0,3	1 \pm 0,6	FL
	5-10	9 \pm 2	52 \pm 6	31 \pm 8	5 \pm 1	2 \pm 0,6	1 \pm 0,3	1 \pm 0,6	FL
	10-20	10 \pm 1	49 \pm 8	33 \pm 7	4 \pm 2	2 \pm 1	1 \pm 0,3	1 \pm 0,3	F
Sin cerdos	0-5	9 \pm 2	49 \pm 9	34 \pm 13	4 \pm 2,2	2 \pm 1,0	1 \pm 0,3	1 \pm 0,2	F
	5-10	9 \pm 2	51 \pm 8	30 \pm 9	5 \pm 1,0	3 \pm 0,5	1 \pm 0,3	2 \pm 0,3	FL
	10-20	10 \pm 4	56 \pm 11	28 \pm 13	3 \pm 0,3	2 \pm 0,1	1 \pm 0,1	1 \pm 0,2	FL

FL = Franco limoso; F = Franco.

CUADRO 2. Características químicas evaluadas en el suelo bajo estudio.

Variables	Profundidad (cm)	Tratamientos		Promedio por profundidad
		Con cerdos	Sin cerdos	
Carbono orgánico (g.kg ⁻¹)	0-5	27,24 ± 3,20	25,14 ± 3,99	26,1 a
	5-10	21,39 ± 2,53	15,91 ± 1,98	18,6 b
	10-20	17,62 ± 3,41	13,0 ± 4,95	15,3 b
	Promedio por tratamiento	22,0 A	18,0 B	
pH	0-5	6,60 ± 0,32	5,98 ± 0,13	6,40
	5-10	6,58 ± 0,39	6,03 ± 0,26	6,30
	10-20	6,70 ± 0,36	6,10 ± 0,23	6,28
	Promedio por tratamiento	6,62 A	6,03 B	
Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹)	0-5	0,32 ± 0,10	0,18 ± 0,10	0,25
	5-10	0,26 ± 0,14	0,11 ± 0,05	0,18
	10-20	0,18 ± 0,08	0,08 ± 0,02	0,13
	Promedio por tratamiento	0,25 A	0,12 B	

Letras minúsculas en una misma columna y las mayúsculas en una misma fila, presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según la prueba de medias de Duncan.

Se evidencia el incremento de los niveles de CE, a pesar de no alcanzar valores altos. Se aprecia a largo plazo que éstos podrían llegar a causar efectos negativos en el suelo, si no se maneja adecuadamente a los cerdos con respecto a la disminución de la carga animal y su rotación dentro de los potreros, entre otros.

Propiedades físicas del suelo evaluado

Condición estructural

Las diferencias observadas para la Da fueron altamente significativas ($P \leq 0,01$) tanto para la presencia o no de cerdos como para la profundidad (Cuadro 3). Se consideró una tendencia general del suelo en ambos potreros a presentar valores menores en la capa superficial (0-5 cm) y un aumento de la Da en las capas subsuperficiales. Los valores de la Da en ambos potreros son altos para la clase textural presente en cada capa (Pla, 1983), sin embargo, se encontraron diferencias significativas en cuanto a la presencia o ausencia de cerdos. En el PCC el suelo cuenta con mayor Da, lo que indica que el pisoteo de los animales incrementó el estado de compactación en las capas superficiales del suelo evaluado, resultados

similares fueron reseñados por Echavarría *et al.* (2007); Ausilio *et al.* (2007); Ramírez *et al.* (2007).

La porosidad total mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las distintas profundidades (Cuadro 3), los valores observados no son limitantes porque ocupan más del 50% del volumen del suelo. Los mayores valores de porosidad total, se encuentran en la capa superficial del suelo (0-5 cm), estos presentaron un descenso no significativo en profundidad. Los cambios observados están asociados al incremento de la Da ($r = 0,60^{**}$).

Los poros con radio $>15 \mu\text{m}$ no mostraron diferencias significativas en ninguno de los factores evaluados (Cuadro 3), aunque sus valores disminuyeron con la profundidad y están cercanos al límite crítico del 10% del volumen del suelo, por debajo de las limitaciones para el desarrollo de las raíces de los cultivos (Pla, 1983), lo que indica limitaciones por aireación a mayor profundidad. Este comportamiento de porosidad con radio $>15 \mu\text{m}$ está relacionado con el aumento de la Da ($r = -0,78^{**}$) y con la subsecuente disminución de la porosidad total ($r = 0,69^{**}$).

CUADRO 3. Índices estructurales del suelo bajo estudio.

Variables	Profundidad (cm)	Tratamientos		Promedio por profundidad
		Con cerdos	Sin cerdos	
Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	0 - 5	1,49 ± 0,15	1,33 ± 0,13	1,40 b
	5 - 10	1,60 ± 0,09	1,52 ± 0,05	1,55 a
	10 - 20	1,64 ± 0,09	1,49 ± 0,06	1,56 a
	Promedio por tratamiento	1,57 A	1,44 B	
Porosidad total (%)	0 - 5	60,4 ± 4,0	60,1 ± 5,1	60,2 a
	5 - 10	55,1 ± 2,6	53,2 ± 1,0	54,1 b
	10 - 20	55,0 ± 2,2	52,0 ± 2,7	53,4 b
	Promedio por tratamiento	56,8	55,1	
Poros con radio > 15µm (%)	0 - 5	12,2 ± 4,2	14,9 ± 4,7	13,5
	5 - 10	10,5 ± 3,0	10,4 ± 2,9	10,4
	10 - 20	10,7 ± 1,8	10,1 ± 2,2	10,4
	Promedio por tratamiento	11,1	11,8	
Poros con radio < 15 µm (%)	0 - 5	48,2 ± 3,1	45,2 ± 4,5	46,7 a
	5 - 10	44,6 ± 0,4	42,8 ± 3,1	43,6 b
	10 - 20	44,3 ± 1,2	41,9 ± 1,5	43,0 b
	Promedio por tratamiento	45,7 A	43,2 B	
Resistencia mecánica a la penetración (k.Pa)	0 - 5	2,9 ± 1,6	5,0 ± 0,1	4,5 b
	5 - 10	6,9 ± 3,7	11,3 ± 2,9	9,1 a
	10 - 20	8,2 ± 2,2	12,8 ± 2,6	10,5 a
	Promedio por tratamiento	6,0 A	10,1 B	
Contenido de humedad para RMP (%)	0 - 5	4,25 ± 0,96	3,25 ± 0,96	3,75
	5 - 10	5,75 ± 0,50	4,75 ± 0,96	5,25
	10 - 20	5,25 ± 0,50	4,5 ± 2,38	4,87
	Promedio por tratamiento	5,08	4,16	

Letras minúsculas en una misma columna y las mayúsculas en una misma fila, presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según la prueba de medias de Duncan.

Los poros con radio <15 µm revelaron diferencias ($P \leq 0,05$) para los factores evaluados, presencia de cerdos y profundidad. Estos ocupan la mayor proporción del espacio poroso del suelo abarcando más de 41% en promedio, además se evidenció un aumento del 6% en el PCC respecto al PSC. Su predominio se vincula al aumento de la Da y a los contenidos de partículas tamaño limo ($r = 0,48^*$).

En general, en este estudio el efecto del pisoteo animal produjo un aumento de la Da generando problemas de compactación del suelo, afectando la porosidad total y la distribución de poros.

Resultados similares son presentados por Taboada (2007) y Bhandral *et al.* (2007), quienes mencionan que los cambios generados por el tránsito y el pisoteo de los

animales son consecuencia del reordenamiento espacial de los sólidos, además, los poros del suelo dependen de la intensidad del pisoteo (asociada a la carga y especie animal), de la cobertura vegetal, clima y manejo.

Con respecto a la RMP se encontró diferencias significativas ($P \leq 0,01$) para la presencia o ausencia de cerdos y profundidad, por otra parte, los valores obtenidos no fueron limitantes debido a que no superaron el nivel crítico de la RMP a partir del cual se restringiría el crecimiento de las raíces (Bravo, 1995). Se observó que la RMP es mayor en el PCC en comparación con el otro, esto podría estar relacionado al menor contenido de humedad presente en el tratamiento sin cerdos, a pesar de no haber encontrado asociación entre dichas variables.

Se aprecia que a medida que se profundiza, se incrementa la RMP del suelo, relacionado significativamente con la

porosidad total ($r = -0,65^{**}$) y el porcentaje de porosidad con radio $< 15 \mu\text{m}$ ($r = -0,67^{**}$); este comportamiento se le puede atribuir al aumento de la Da a pesar de no haber encontrado asociación entre estas variables, se considera que el uso de un mayor número de réplicas podría evidenciar esta asociación.

Estabilidad estructural

Los AEA mostraron diferencias significativas sólo para las distintas profundidades (Cuadro 4). En general, el suelo tiene una alta estabilidad estructural al humedecimiento en ambos potreros, ya que hay un predominio de agregados de diámetro $> 2 \text{ mm}$; sin embargo, los valores disminuyeron con la profundidad, siendo más evidente en el PCC, situación que refleja el aumento de la proporción de AEA con diámetro $< 0,25 \text{ mm}$.

CUADRO 4. Agregados estables al humedecimiento del suelo bajo estudio.

Variables	Profundidad (cm)	Tratamientos		Promedio por profundidad
		Con cerdos	Sin cerdos	
AEA > 2 mm	0 - 5	89,0 ± 7,7	86,3 ± 11,7	87,64a
	5 - 10	78,2 ± 12,3	62,9 ± 34,3	70,55ab
	10 - 20	42,9 ± 26,3	61,8 ± 12,3	52,37b
Promedio por tratamiento		70,04	70,34	
AEA 2 - 1 mm	0 - 5	0,7 ± 0,6	2,1 ± 2,5	1,39b
	5 - 10	2,7 ± 2,6	7,8 ± 9,2	5,25ab
	10 - 20	8,7 ± 5,0	4,8 ± 3,18	6,73a
Promedio por tratamiento		4,04	4,88	
AEA 2 - 0,5 mm	0 - 5	0,9 ± 1,2	1,7 ± 2,0	1,30b
	5 - 10	4,9 ± 5,4	5,3 ± 5,9	5,06ab
	10 - 20	9,2 ± 4,7	4,3 ± 1,7	6,78a
Promedio por tratamiento		4,99	3,77	
AEA 0,5 - 0,25 mm	0 - 5	1,1 ± 1,3	1,2 ± 1,8	1,13
	5 - 10	0,5 ± 0,5	2,2 ± 3,7	1,35
	10 - 20	2,7 ± 3,4	2,4 ± 3,2	2,53
Promedio por tratamiento		1,41	1,93	
AEA < 0,25 mm	0 - 5	8,3 ± 4,7	8,8 ± 5,5	8,52b
	5 - 10	13,7 ± 4,6	21,8 ± 17,2	17,77b
	10 - 20	36,5 ± 16,9	26,6 ± 14,0	31,56a
Promedio por tratamiento		19,50	19,06	

AEA= Agregados estables al agua. Letras minúsculas en una misma columna y las mayúsculas en una misma fila, presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según la prueba de medias de Duncan.

El predominio de agregados con diámetro > 2 mm en las condiciones evaluadas indican que los mismos presentan resistencia a la deformación, en forma y tamaño, frente al humedecimiento; sin corresponder a la alta proporción de partículas tamaño limo y arena muy fina, que confieren susceptibilidad a la alta separabilidad y por ende, a la baja estabilidad de agregados superficiales.

Sin embargo, la alta proporción de AEA encontrada, se le atribuye a los años que tienen los potreros establecidos con gramíneas Swazi y Angleton, confiriéndole una contribución continua de residuos vegetales, tanto de material aéreo como de las raíces, lo cual constituye uno de los factores en la formación y conservación de los suelos, según Osechas (2006).

A pesar de lo mencionado, se puede resaltar que los AEA > 2 mm de diámetro, presentan una clara tendencia a disminuir en profundidad asociada al aumento de la Da ($r = -0,49^*$) y a la disminución del CO. Los AEA $< 0,25$ mm presentaron una relación directamente proporcional con la Da ($r = 0,51^*$) y una asociación negativa con la porosidad total ($r = -0,435^*$) y con los poros con

radio $> 15 \mu\text{m}$ ($r = -0,425^*$), características que están presentes en los suelos por la distribución de tamaño de partículas existentes.

Para medir la estabilidad de los agregados frente al impacto de gotas, se tomó en cuenta la evolución de la conductividad hidráulica del sello formado (KCS) cuando el suelo está desprotegido y cuando se previene la formación de sello (KSS), usando cobertura para impedir su formación.

En las Figuras 1 y 2 se observa la KCS superficial para ambos potreros con valores entre 8 y 5 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, considerados de moderados a bajos, de acuerdo a Pla (1983) lo que indica que el suelo tiende a formar sello superficial frente al impacto de las gotas de lluvia, disminuyendo la capacidad de infiltración. Sin embargo, cuando los AEA son protegidos, los valores de la KSS son altos, evidenciando que cuando el suelo está desprotegido, o no tiene cobertura vegetal, los agregados tienden a ser destruidos fácilmente por la acción de la fuerza externa de la lluvia, formando sellado superficial y disminuyendo la capacidad de infiltración del mismo.

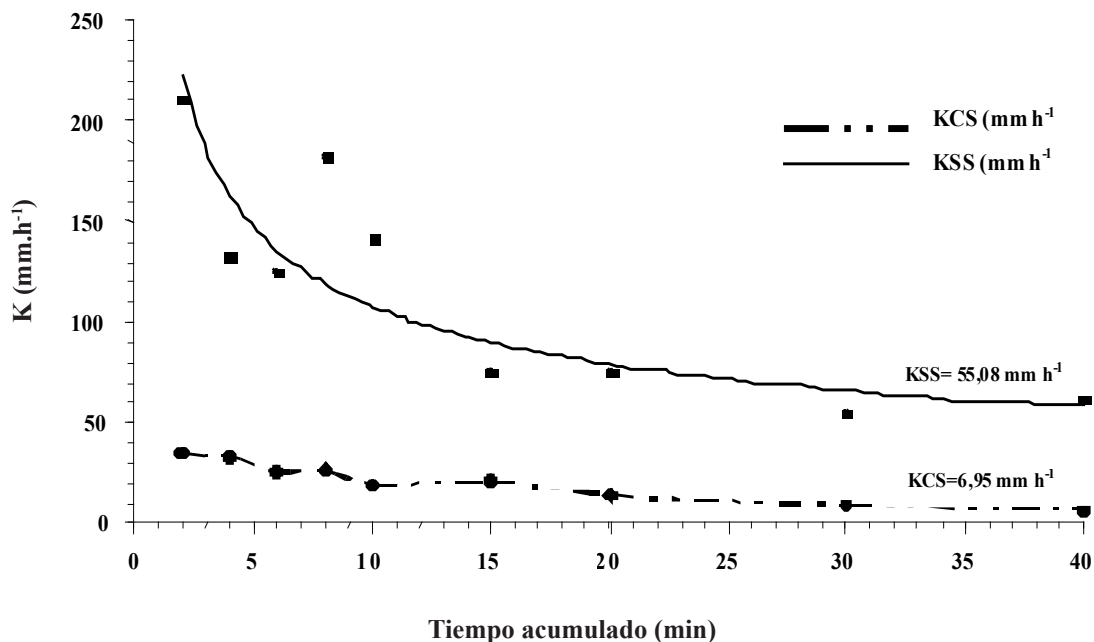


FIGURA 1. Evolución de la conductividad hidráulica con sello (KCS) y sin sello (KSS) superficial para el suelo en el potrero con cerdos a campo.

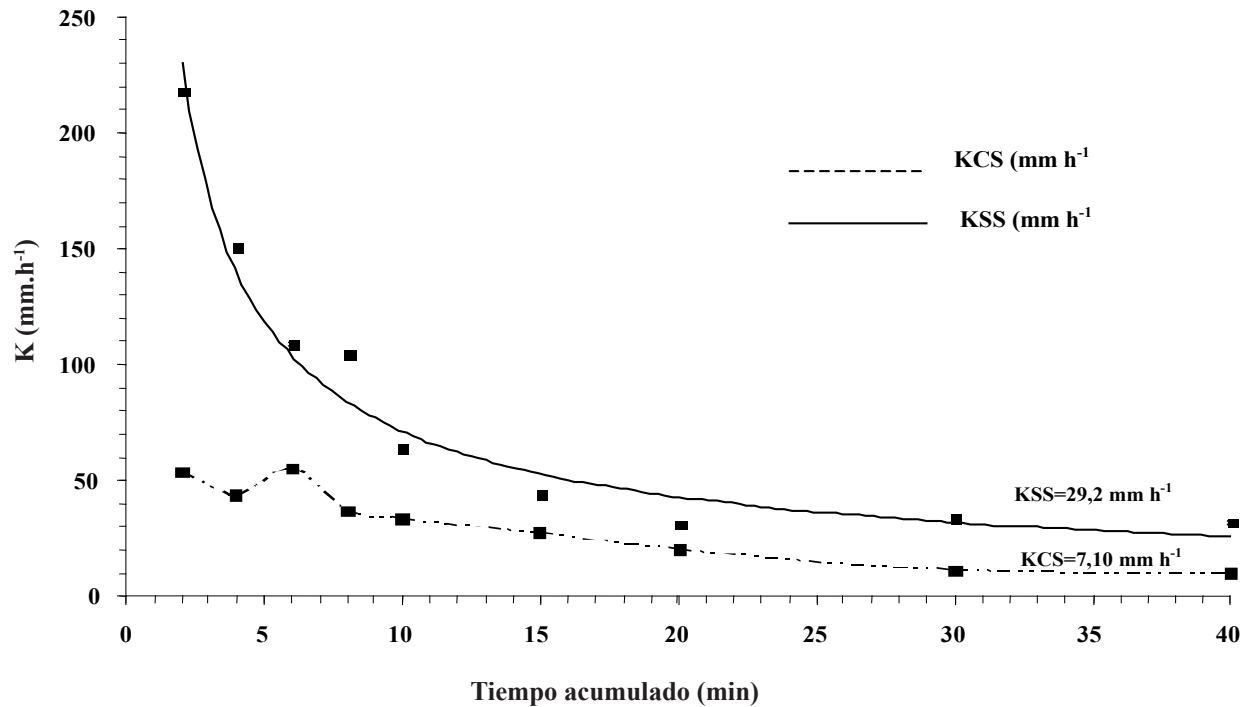


FIGURA 2. Evolución de la conductividad hidráulica con sello (KCS) y sin sello (KSS) superficial para el suelo en el potrero sin cerdos a campo.

Cabe señalar, que a pesar de tener una tendencia de alta estabilidad de agregados al humedecimiento, cuando los mismos son sometidos al impacto de las gotas de lluvia, se notan claramente su inestabilidad frente a esa fuerza externa, atribuible principalmente al predominio de partículas tamaño entre 2 y 100 μm , debido a que los tamaños de partículas requieren menor energía para separarse (Poesen, 1986), traducido en una rápida formación de sello superficial y sus subsecuentes efectos.

Esa discrepancia puede deberse a la calidad de la MO presente en el suelo, confiriéndole a los agregados, enlaces débiles no resistentes al impacto de las gotas de lluvia; estos suelos se encuentran bajo pasto y posiblemente existen enlazantes de tipo temporal que se destruyen con el impacto de las gotas.

Al respecto, Rivas *et al.* (2009) señalan una mayor proporción de sustancias no húmicas. Según Pulido M. *et al.* (2009) y Fortun y Fortun (1989), no siempre los contenidos de MO tienen relación con la estabilidad de los agregados, pudiendo depender más del tipo o calidad de la MO, agentes enlazados y a la disposición de la misma con respecto a las partículas minerales.

Penetración de agua en el suelo

Con relación a la infiltración se puede observar que para el PCC hay una menor tasa, presentando limitaciones con respecto al PSC (Figura 3). Los valores para el PCC estuvieron por debajo de 5 mm.h^{-1} , según Pla (1983), acarrear problemas de penetración de agua en el suelo y consecuentemente de anegamiento en las condiciones de relieve plano. De igual manera, se evidencia que la infiltración básica se alcanza en menor tiempo en el PCC que en el PSC.

Este comportamiento podría estar asociado a la formación de sello superficial, la D_a y la distribución de poros para la capa superficial, debido a que en el PCC se presentan cambios desfavorables para estas propiedades, observándose valores absolutos.

Igualmente, influenciado por las actividades de los cerdos en superficie, se mostró de manera cualitativa, menor cobertura superficial, quedando expuesto el suelo a los procesos de degradación.

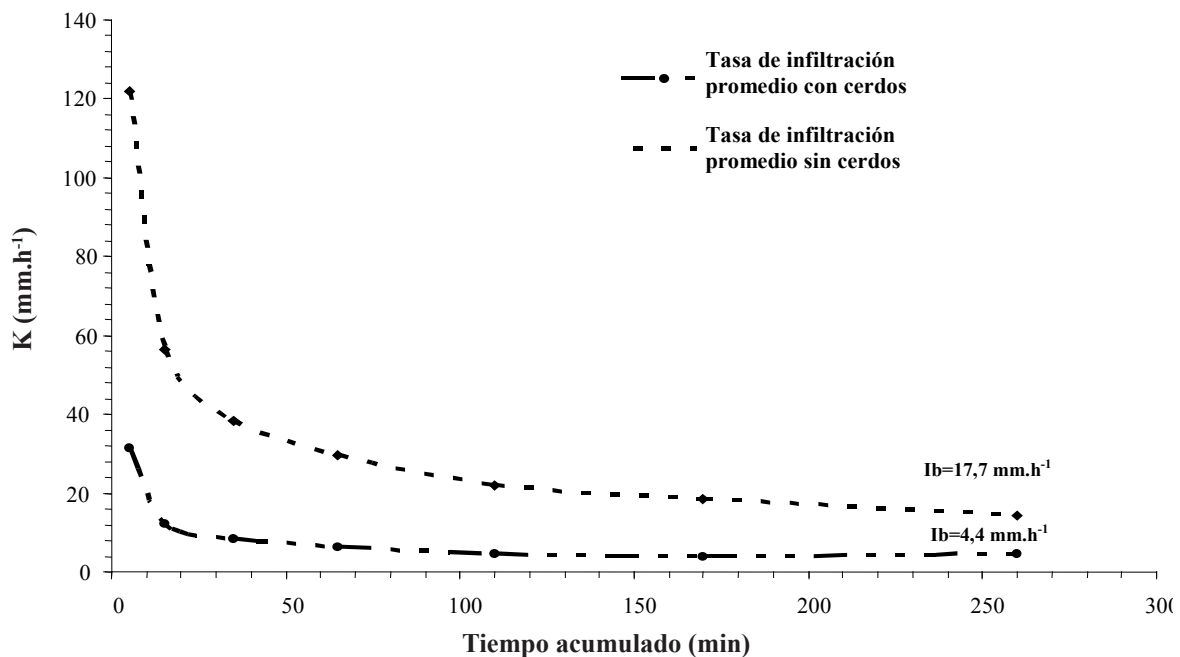


FIGURA 3. Evolución de la infiltración en el suelo de los potreros con y sin cerdos a campo.

En general, se puede afirmar que el pisoteo de los cerdos afectó de manera negativa las propiedades estructurales e hidráulicas del suelo evaluado, atribuyéndole estos efectos a la acción mecánica de la pezuña animal, la presión que los animales ejercen sobre el suelo y las características intrínsecas que le confieren susceptibilidad a los procesos de degradación física, como al predominio de partículas tamaño limo y arena muy fina.

CONCLUSIONES

- El suelo mostró una alta susceptibilidad del deterioro estructural de forma natural; adicionalmente, se apreció un efecto detrimental promovido por la introducción de los CC.
- Se encontraron cambios desfavorables en las propiedades físicas del suelo con la incorporación de cerdos, evidenciándose un aumento en la D_a (9%) y de los poros con radio <15 mm (6%), originando problemas de compactación (disminución del 75%). Esto sugiere un mayor estudio de la carga animal apropiada para la utilización de CC y el monitoreo continuo de las propiedades de suelo bajo este tipo de manejo.

AGRADECIMIENTO

Al apoyo financiero del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH) a través del proyecto de investigación N° PG-01-00-7143-2008, titulado “Impacto del Manejo de Sistemas de Producción de Cerdos a Campo sobre el Suelo”.

BIBLIOGRAFÍA

- Anzola, H. J. y F. Carmenza. 2006. Porcicultura ecológica, orgánica y sostenible (en línea). ICA, Grupo Transferencia de Tecnología. Bogotá. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/Publicaciones/AreaPecuaria/Documentos/Caratula%20porcicultura.pdf>, 15 p. [Consultado 30 oct. 2008]
- Ausilio, A., P. Besson, D. Durán, F. Bauza y G. Mena. 2007. Efecto de la producción porcina a campo sobre algunas propiedades del suelo (en línea). Revista Agromensajes de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario Argentina. Disponible en: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/23/8AM23.htm>. [Consultado 8 nov. 2008]

- Baldizán, A. 1997. Manejo de pequeños rumiantes a pastoreo. II jornadas de actualización en medicina y producción de rumiantes. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Veterinaria, Maracay, 1-13 pp.
- Bhandral, R., S. Saggarr, N. S. Bolan and M. J. Hedley. 2007. Transformation of nitrogen and nitrous oxide emission from grassland soils as affected by compaction. *Soil and Tillage Research*, 94: 482-492.
- Blake, G. R. and K. H. Hartge. 1986. Bulk density. **In:** A. Klute (Ed.). *Methods of soil analysis, Part I. Physical and mineralogical methods*, 2nd ed. American Society of Agronomy and SSSA. Agronomy Monograph. Madison, Wisconsin, USA, n° 9, 363-375 pp.
- Bouwer, H. 1986. Intake rate: Cylinder infiltrometer. **In:** A. Klute (Ed.). *Methods of soil analysis, Part I. Physical and mineralogical methods*, 2nd ed. American Society of Agronomy and SSSA, Agronomy Monograph. Madison, Wisconsin, USA, n° 9, 825-843 pp.
- Bravo, C. 1995. Producción de maíz y efecto de la siembra directa sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos de sabana del estado Guárico. **In:** Taller sobre prácticas de labranza en los sistemas de producción con maíz en los Llanos Occidentales. Memoria, Venezuela, 73-89 pp.
- Chacín, F. 2000. Diseño y análisis de experimentos I. Ediciones del Vicerrectorado Académico. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. 387 p.
- Danielson, R. E. and P. L. Sutherland. 1986. Porosity. **In:** A. Klute, (Ed). *Methods of soil analysis, Part I. Physical and mineralogical methods*. 2nd ed. American Society of Agronomy and SSSA, Agronomy Monograph. Madison, Wisc. EUA. n° 9, 443-461 pp.
- Echavarría, C. F., P. A. Serna y V. R. Bañuelos. 2007. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano: II Cambios en el suelo. *Téc. Pecu. México*, 45(2):177-194.
- Fortun, C. y A. Fortun. 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *Edafol. Agrobiol.* 48:185-204.
- Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. **In:** Klute, A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. Agronomy series. ASA. Madison, Wisc., EUA, n° 9, 383-411 pp.
- Gilbert de B., J., I. López de R. y R. Pérez de R. 1990. Análisis de Suelos para el diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Maracay. INIA. 164 p. (Serie D. n° 26).
- González, C. 2006. Potencialidad del cerdo criollo y la producción alternativa de cerdos en Venezuela (en línea). Instituto de producción animal. FAGRO-UCV. Disponible en: <http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/conferencias/cerdo-criollo.pdf>. [Consultado 8 nov. 2008]
- Heanes, D. 1984. Determination of total organic – C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Com. Soil Sci. Plant. Anal.* 15(10):1 191-1 213.
- Holdridge, L. R. 1967. Life zone ecology. San José, CR, Trop. Sci. Cent. 206 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). 2007. Datos de la Estación Climática del CENIAP – INIA. Recopilación de datos, desde 1960 hasta la actualidad. Maracay, estado Aragua. Venezuela.
- Márquez, O. 1989. Caracterización mineralógica y génesis de suelos de dos ambientes geoquímicos en la cuenca del Río Güey. Tesis de maestría en Ciencias del Suelo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 135 p.
- Mora, F. 2004. Aceptabilidad de gramíneas y leguminosas por porcinos a pastoreo. Trabajo de grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 101 p.
- Mora, A., I. R. Armendáriz, R. Belmar y J. Ly. 2000. Algunos aspectos de la producción y manejo de cerdos en exterior (en línea). Sistema de Información Agrícola Nacional. Revista computadorizada de producción alternativa de cerdos. Venezuela. 7(2). Disponible en: <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rev72/72artres.htm>. [Consultado 18 nov. 2008]

- Nacci, S. y I. Pla. 1991. Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades físicas de los suelos. FONAIAP. Maracay, Venezuela. 40 p. (Serie B, n° 17).
- Nacci, S. e I. Pla. 1992. Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Trop.* 42(1-2):115-132.
- Ordóñez, M. 2002. Evaluación del sistema maíz (*Zea mays* L) bajo labranza conservacionista – ganado ovino, en la relación con la ganancia de peso del animal y las propiedades físicas de un suelo de sabana. Trabajo de grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 55 p.
- Osechas, D. 2006. La relación suelo – planta – animal dentro del ecosistema pastizal (en línea). *Mundo Pecuario*. Universidad de los Andes. NURR. Departamento de Ciencias Agrarias. Trujillo. Venezuela. 2(3):63-68. Disponible en: <http://oai.saber.ula.ve/db/ssaber/Edocs/pubelectronicas/mundopecuario/vol2num3/articulo4.pdf> [Consultado 20 febrero 2009]
- Pla, I. 1978. Dinámica de las propiedades físicas y su relación con problemas de manejo y conservación de suelos agrícolas de Venezuela. Trabajo de Ascenso. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 312 p.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. *Rev. Alcance* n° 32. 91 p.
- Poesen, J. 1986. Surface sealing on loose sediments: the role of texture, slope and position of Stones in the top layer. **In:** Callebaut F. D. Gabriels y M. De Boodt (Eds.), *Assessment of Soil Surface Sealing and Crusting*. Proceedings of Symposium, Gent, Belgium, 1985. 354-362 pp.
- Pulido, M., D. Lobo, Z. Lozano. 2009. Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y tipos de materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agrociencia* 43(3):221-230.
- Ramírez, R., M. Marín, J. Ossa y J. Pérez. 2007. Efecto del pisoteo caprino en las propiedades físicas de un suelo de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín (en línea). 13 p. Disponible en: http://www.unalmed.edu.co/esgeocien/documentosrramirez/efecto_del_pisoteo_caprino_en_las_propiedades_fisicas_de_un_suelo_de_la_universidad_nacional_de_Colombia_sede_Medellin.pdf. [Consultado 25 nov. 2008]
- Rivas A., M. A., H. Arias, C. Rivero, M. Pulido, J. C. Rey, D. Lobo y Z. Lozano. 2009. Evaluación del impacto del manejo de sistema de producción de cerdos a campo sobre la materia orgánica de un suelo. **In:** XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Memoria. Versión en CD-ROM. 4 p.
- Rodríguez, C. 2002. Residuos Ganaderos (en línea). Cursos de Introducción a la Producción Animal. UNRC-FAV. Argentina. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/05-residuos_ganaderos.pdf [Consultado 30 oct. 2008]
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. SAS/STAT. Procedures guide. Software release 9.0. SAS Institute Inc. Cary, EE.UU.
- Taboada, M. 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. **In:** 4° Simposio de Ganadería en Siembra Directa. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. UBA. Fac. Agro. Argentina. Disponible en: http://www.produccionbovina.com.ar/suelos_ganaderos/49-efectos_pisoteo.pdf. [Consultado 30 oct. 2008]