

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CALIDAD DE SUELOS EN UNA  
SITUACIÓN DE PRODUCCIÓN DE  
CERDOS SOBRE PASTOREO**

**por**

**Bernardo LLADÓ VADELL**

**Tesis presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO**

**URUGUAY**

**2010**

Tesis aprobada por:

Director: \_\_\_\_\_

Ing. Agr. PhD. Amabelia del Pino

Co-director: \_\_\_\_\_

Ing. Agr. Nelson Barlocco

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. PhD. Mónica Barbazán

Fecha: \_\_\_\_\_

Autor: \_\_\_\_\_

Bernardo Lladó Vadell

## **AGRADECIMIENTOS**

En un principio quiero agradecer a mi familia especialmente a mi madre por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera.

También al Ing. Agr. Nelson Barlocco y al profesor Antonio Vadell por la orientación durante la misma.

A la Ing. Agr. PhD. Amabelia del Pino y al Ing. Agr. Santiago Monteverde por todos los aportes realizados durante este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	4
2. 1 <u>MATERIA ORGÁNICA</u> .....	4
2.1.1. <u>Consideraciones generales</u> .....	4
2.1.2 . <u>Propiedades de la materia orgánica</u> .....	5
2.1.2.1. Color del suelo.....	5
2.1.2.2. Retención de agua.....	5
2.1.2.3. Combinación con minerales arcillosos.....	5
2.1.2.4. Quelatación.....	6
2.1.2.5. Solubilidad en agua.....	6
2.1.2.6. Poder buffer.....	6
2.1.2.7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	7
2.1.2.8. Mineralización.....	7
2.1.2.9. Combinación con moléculas orgánicas.....	7
2.1.2.10. Disminución de la erosión.....	8

2.1.2.11. Fertilidad del suelo.....	8
2.1.3. <u>Factores que determinan el contenido de materia orgánica en el suelo.....</u>	8
2.1.3.1. El factor tiempo.....	8
2.1.3.2. Influencia del clima.....	9
2.1.3.3. Vegetación.....	9
2.1.3.4. Material madre.....	10
2.1.3.5. Topografía.....	10
2.1.3.6. Efecto del laboreo.....	10
2.1.4. <u>Dinámica de la materia orgánica.....</u>	11
2.1.5. <u>Fraccionamiento químico de la materia orgánica.....</u>	14
2.1.5.1. Restos orgánicos frescos.....	14
2.1.5.2. Restos orgánicos no frescos.....	14
2.1.5.3. Sustancias húmicas.....	14
2.1.6. <u>Fraccionamiento físico de la materia orgánica.....</u>	16
2.1.7. <u>Determinación analítica de la materia orgánica.....</u>	17
2.1.8. <u>Contenido de materia orgánica de los suelos de Uruguay.....</u>	19
2. 2 LA PRODUCCIÓN DE CERDOS A CAMPO.....	20
2.2.1. <u>Consideraciones generales.....</u>	20
2.2.2. <u>Unidad de producción de cerdos del Centro Regional Sur (UPC).....</u>	22
2.2.2.1. Descripción del criadero.....	22
2.2.2.2. Clima.....	25
2.2.2.3. Descripción del suelo de la Unidad de Producción de Cerdos.....	27
2.2.2.4. Historial agrícola de la Unidad de Producción de Cerdos.....	28

2.2.2.5. Manejo animal de la Unidad de Producción de Cerdos.....	29
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	34
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	36
4.1 CONSIDERACIONES FINALES.....	45
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	48
6. <u>RESUMEN</u> .....	49
7. <u>SUMMARY</u> .....	50
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	51
9. <u>ANEXOS</u> .....	56

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Contenidos de materia orgánica en suelos de Uruguay .....	19
2. Brunosol Éútrico Típico .....	28
3. Vertisol Rúptico Lúvico .....	28
4. Historial agrícola de los piquetes seleccionados.....	29
5. Presencia animal en piquete C11.....	30
6. Presencia animal en piquete C12.....	31
7. Presencia animal en piquete C13.....	31
8. Presencia animal en piquete B11.....	32
9. Presencia animal en piquete B12.....	32
10. Presencia animal en piquete B13.....	33
11. Contenido total de C y fraccionamiento físico.....	36
12. C en las fracciones de MOP como proporción del C total del suelo.....	39
13. Conductividad eléctrica y pH de los suelos.....	41
14. Potasio y sodio intercambiables en el suelo.....	42
15. Densidad aparente del suelo .....	43
Figura No.	
1. Precipitación mensual .....	26
2. Temperatura medias .....	26
3. Régimen de heladas .....	27
4. Evolución de C obtenidos mediante incubación en 4 tratamientos.....	40

## 1.INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos cada vez se hace más importante conservar los recursos del planeta y manejar los mismos de forma sustentable, esto no solo en parámetros biológicos, sino también sociales y económicos.

Sustentabilidad implica que de el punto de vista ecológico que los recursos renovables sean mantenidos, que los no renovables se usen con precaución y perspectiva, y que se reconozca el valor intrínseco del medio ambiente; que de el punto de vista socio económico implica que las familias de agricultores alcancen un nivel de vida decente y que las demandas crecientes de productos agrícolas se satisfagan a precios accesibles (De Wit, citado por UDELAR. FA, 2007).

En otras palabras, si no hay un manejo sustentable dentro del predio, esto se verá reflejado en el mediano o largo plazo en una reducción del ingreso familiar, un deterioro de la calidad del suelo, mayor presión en recursos de capital y mano de obra limitantes, lo que producirá un desbalance en la organización del predio que resultan en un uso ineficiente de los recursos productivos.

El logro de una agricultura sustentable tiene su clave en el conocimiento de las delicadas relaciones que se establecen entre el ambiente, los componentes del sistema, los procesos y mecanismos involucrados en la definición de la producción, y la forma en que éstos son alterados por las prácticas de manejo. La transformación de la agricultura tradicional en sostenible supone el cambio de una agricultura basada en los insumos externos, a una agricultura basada en el manejo de las interacciones y de los procesos (Luna y House, citados por Studdert, 2003) que permita hacer un uso más racional y seguro, valiéndose de los servicios que el agro ecosistema puede brindar, si se lo mantiene en condiciones adecuadas. El manejo de las propiedades del suelo tiene importancia para el logro de sistemas agrícolas productivos en el largo plazo, ya que de ellas dependen gran parte de las condiciones necesarias para garantizar una agricultura sostenible (Robinson et al., citados por Studdert, 2003).

El suelo se concibe como un sistema natural abierto, integrado por diversos componentes (material mineral, materia orgánica, raíces, biología, agua, gases) en íntima interrelación recíproca, todos entre todos, y siempre en estado dinámico. Sigue las leyes de comportamiento de todo sistema natural abierto (Bertalanfy, citado por García de Souza, s.f.).

Actualmente en nuestro país se están tomando medidas que fomentan y exigen un desarrollo sustentable en el manejo de los suelos del país. A lo largo de la historia hubo períodos de expansión agrícola que fueron acompañados de severa degradación de los suelos, llegando inclusive a dejar grandes áreas inutilizadas para la producción agrícola. En esos casos la causa principal fue el sistema de laboreo convencional, acompañado de prácticas inadecuadas. Sin embargo, la erosión también puede estar presente en sistemas menos intensivos como la ganadería, donde el uso de prácticas de manejo inadecuadas, como el sobre pastoreo y la no incorporación de nutrientes causa una importante degradación de los suelos.

En los últimos 50 años mediante el agregado de fertilizantes sintéticos y riego se intento aumentar o mantener la productividad para equilibrar las pérdidas de la MO por el manejo intensivo del suelo, esto se logra en el corto plazo, pero no se logran mantener los mismos rendimientos en el largo plazo.

El concepto de calidad de suelo es definido como la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de un ecosistema, sustentar la productividad de plantas y animales, mantener o aumentar la calidad del agua y del aire y soportar la salud y hábitat humano. La evaluación de la calidad de los suelos es una herramienta enfocada al estudio de propiedades y procesos del suelo que son usados para determinar la sustentabilidad de las prácticas de manejo utilizadas (Karlen et al., citados por Bautista et al., 2004).

Generalmente la evaluación de calidad de suelos no se realiza utilizando un solo indicador de calidad, sino a través de la combinación de varios indicadores. Se pueden utilizar indicadores físicos (textura, densidad aparente, retención de agua, etc), indicadores químicos (materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, etc), indicadores biológicos (carbono y nitrógeno en la biomasa microbiana, respiración del suelo, etc) e indicadores visuales (erosión hídrica, encostramiento, etc).

Una secuencia general de cómo evaluar la calidad del suelo es: (1) definir las funciones del suelo en cuestión, (2) identificar procesos edáficos específicos asociados a esas funciones, y (3) identificar propiedades del suelo e indicadores que sean suficientemente sensibles como para detectar cambios en las funciones o procesos del suelo de interés (Carter et al., citados por E.E.U.U.DA, 1999).

La materia orgánica (MO) influye en varias propiedades del suelo como: retención de agua, capacidad de intercambio catiónico (CIC), poder buffer, actividad biológica,

estabilidad estructural, reserva de nutrientes (98% del nitrógeno, 50% del fósforo), entre otras.

La MO también tiene influencia en procesos de mayor escala, como lo es el ciclo del carbono y su influencia en el cambio climático debido a la liberación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por los procesos de respiración del suelo.

En este estudio se consideró la MO porque ha sido identificada como el indicador más importante en la evaluación de calidad de suelos.

Para complementar esta evaluación también se consideraron otras propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Como propiedad física se analizó la densidad aparente (Dap), entre las biológicas la respiración del suelo y las propiedades químicas incluyen conductividad eléctrica (CE), pH, potasio (K) y sodio (Na).

El objetivo del siguiente trabajo fue evaluar los efectos de la producción de cerdos a campo sobre la calidad de los suelos en el largo plazo.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

#### 2.1.1. Consideraciones generales

La MO se define como todos los compuestos orgánicos, vivos o muertos, que se encuentran en el suelo (Theng et al., citados por Morón, 1994a). Otro nuevo concepto define a la MO como todo material orgánico que pasa a través de un tamiz de 2 mm, y asume que el carbono orgánico  $\times 1.724 = \% \text{ MO}$  (Anderson e Ingram, citados por Morón, 1994a).

El carbono orgánico del suelo (COS) es el principal elemento que forma parte de la MO, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno y otro. Al respecto cabe señalar que los métodos analíticos determinan COS ( mediante calcinación húmeda o seca) y que la MO se estima a partir del COS multiplicado por factores empíricos como el de van Benmelen, que propuso el factor 1,724 (Jackson, citado por Martinez et al., 2008).

La MO puede estar protegida de la descomposición acelerada mediante: 1) estabilización física por micro agregación, 2) estabilización físico-química mediante asociación con partículas de arcilla y 3) estabilización bioquímica mediante la formación de compuestos altamente recalcitrantes (Six et al., citados por Martinez et al., 2008).

La MO es un componente clave del sistema suelo dada su influencia sobre las propiedades biológicas, físicas y químicas que definen su productividad (Robinson et al., citados por Studdert, 2003) y su calidad (Doran y Parkin, citados por Studdert, 2003). Las variaciones en la MO significan cambios en la fertilidad del suelo y en su resistencia a la erosión, como así también en la facilidad con que puede ser laboreado, en su capacidad de infiltración y de almacenaje de agua, y en la habilidad para ligar y/o promover la degradación de sustancias tóxicas (Follett et al., citados por Studdert, 2003).

Actualmente se considera que toda aquella práctica tendiente al mantenimiento o incremento del nivel de MO en el suelo es una práctica que contribuye a la sustentabilidad (Robinson et al., citados por Studdert, 2003).

Según Follett et al., citados por Studdert (2003), uno de los componentes del suelo más alterados por las prácticas de manejo es la MO. Generalmente el desarrollo de la agricultura convencional determina disminuciones del contenido de la MO del suelo respecto de su valor original en el mismo.

Por otro lado, las variaciones en el contenido de MO del suelo se asocian a la emisión o fijación de dióxido de carbono con el consecuente efecto sobre la atmósfera (Varvel, Lal et al., citados por Studdert, 2003).

El contenido de MO de un suelo nos muestra la historia entre las tasas de humificación y de mineralización (Campbell, Stevenson, citados por Studdert y Echeverría, 2002). Este balance es afectado por la cantidad y forma de manejo del carbono incorporado al suelo mediante residuos de cosecha, raíces, laboreo y fertilización (Doran y Smith, Bullock, Robinson et al., citados por Studdert y Echeverría, 2002).

En la MO se distingue una fracción lábil, disponible como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos), y una fracción húmica, mas estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Aguilera, Galantini, citados por Martinez et al., 2008).

#### 2.1.2. Propiedades de la materia orgánica

##### 2.1.2.1. Color del suelo

El color oscuro del suelo está determinado principalmente por la cantidad de materia orgánica que presenta. Como característica asociada a esto, está la temperatura que puede alcanzar el mismo. Por ejemplo suelos oscuros pueden absorber hasta 80% de la radiación solar, mientras que esta absorción desciende hasta 30% en suelos claros.

##### 2.1.2.2. Retención de agua

La materia orgánica puede retener 20 veces su peso en agua, reteniendo mucha más agua que la fracción mineral, con lo cual ayuda previniendo el desecamiento y contracción del suelo. Este efecto es muy importante en los horizontes superficiales, donde hay mas MO, pero pasa a no tener importancia en profundidad. En consecuencia, cuando se estima el impacto de la MO sobre la capacidad de retención de agua del estrato de 0 a 20 cm de suelo, su efecto es muy marcado y más todavía en suelos arenosos (Álvarez, 2006).

##### 2.1.2.3. Combinación con minerales arcillosos

Es bien sabido que suelos arcillosos retienen más MO que suelos arenosos, a pesar de haber sido sometidos al mismo aporte de materia orgánica (Jenkinson, Amato y Ladd,

Hassink, citados por Llona et al., 2006). Estas diferencias resultan en una mayor protección de la MO contra la biodegradación (Van Veen y Kuikman, citados por Llona et al., 2006). La protección ocurre cuando la MO es adsorbida sobre la superficie de las partículas de arcilla, o cuando es "incrustada" o recubierta por los minerales de arcilla (Tisdall y Oades, Golchin et al., citados por Llona et al., 2006) o cuando se localiza dentro de los micro-agregados, fuera del alcance de los microorganismos (Elliott y Coleman, citados por Llona et al., 2006).

Por lo tanto la MO favorece la formación de una estructura estable de agregados en el suelo por medio de la estrecha asociación con las arcillas. Esto permite el intercambio gaseoso, estabiliza la estructura del suelo e incrementa la permeabilidad del mismo.

#### 2.1.2.4. Quelatación

En nutrición vegetal, la quelatación, se lleva a cabo para que los elementos que se desean incorporar a la planta no precipiten en el suelo ni en el medio extra celular, de manera que sean más asimilables por las plantas y se puedan agregar dosis más elevadas sin que estas sean fitotóxicas.

Micronutrientes tales como el hierro (Fe), y en menor proporción el zinc (Zn), el manganeso (Mn) y el cobre (Cu), cuando se encuentran en forma de sales orgánicas (sulfatos, nitratos, cloruros, etc.) son relativamente insolubles en las soluciones nutritivas en contacto con el suelo, tendiendo a precipitar bajo la forma de hidróxido u otro tipo de óxidos con productos de solubilidad extremadamente bajos. La MO forma complejos estables con  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$  y otros cationes polivalentes. Esto mejora la disponibilidad de micronutrientes para las plantas superiores.

#### 2.1.2.5. Solubilidad en agua

La asociación de la MO con la arcilla le confiere la característica de ser insoluble en agua por lo cual poca MO se pierde por lixiviación. Sin embargo, ocasionalmente se pueden encontrar fracciones de MO solubles en agua.

#### 2.1.2.6. Poder buffer

El poder buffer de un suelo significa que ante el agregado de sustancias ácidas o básicas al sistema las variaciones de pH no se manifiestan de la misma magnitud que las que se producen cuando las mismas se realizan en agua pura. Por ejemplo cuando la actividad del ion hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) se reduce en la solución, el suelo es capaz de ceder hidrógenos que se encuentran principalmente en la arcilla y materia orgánica, cuando el

pH disminuye estos iones de hidrógeno vuelven a esas posiciones de intercambio. Por lo tanto, la MO tiene un gran rango de amortiguación tanto de sustancias ácidas como básicas lo que permite mantener un pH uniforme en el suelo.

#### 2.1.2.7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

CIC es la máxima cantidad de cationes adsorbidos que se presentan en el suelo en forma intercambiable. Presenta gran importancia desde el punto de vista agronómico, dado que le da al suelo capacidad buffer con respecto a los cambios en la composición catiónica de la solución y le brinda a las plantas la posibilidad de nutrición catiónica.

La MO forma coloides con una alta CIC, más elevada que la de los componentes minerales del suelo, por lo tanto al aumentar la MO en el suelo aumenta la CIC.

La acidez total de la MO puede ir de 300 a 1400 meq/100 de suelo, con lo cual del 20 al 70% de la CIC del suelo es debida a la MO.

#### 2.1.2.8. Mineralización

La mineralización es el pasaje de sustancias orgánicas a inorgánicas. Este proceso está determinado principalmente por la actividad biológica y el nivel de MO del suelo. Prácticas como el laboreo intenso o frecuente, la incorporación de MO con baja relación C/N (menor a 25), provocan un aumento de la tasa de mineralización.

La mineralización de la MO produce  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  y  $\text{SO}_4$ , liberando también micronutrientes. Por lo tanto es una fuente de nutrientes fundamental para el desarrollo de las plantas.

#### 2.1.2.9. Combinación con moléculas orgánicas

Muchas de las moléculas orgánicas producidas por los microorganismos favorecen la agregación al formar compuestos con la arcilla. A su vez, las raíces y los micelios de los hongos ayudan a conservar los agregados, e igual ocurre con los exudados gelatinosos segregados por muchos organismos (plantas, bacterias).

La MO afecta la persistencia y biodegradabilidad de los pesticidas. Es el componente de los suelos que está mas directamente relacionado con la absorción de los mismos.

#### 2.1.2.10. Disminución de la erosión

La erosión es la pérdida de material de suelo debido a la acción de factores naturales como el agua y el viento o a la acción del hombre mediante el mal uso del recurso y la no aplicación de prácticas conservacionistas.

Los restos vegetales y animales depositados sobre la superficie del suelo disminuyen la acción erosiva del viento y el agua. Además, su poder aglomerante protege a las partículas más pequeñas de la erosión. Los suelos con mayores niveles de MO retienen más agua, lo que favorece a una mayor vegetación, mayor cantidad de raíces y, por la tanto, mayor es la protección ante factores de erosión.

#### 2.1.2.11. Fertilidad del suelo

La materia orgánica ha sido considerada tradicionalmente uno de los factores fundamentales de la fertilidad de los suelos. Es el reservorio de alrededor del 95% del N edáfico e influye favorablemente sobre propiedades físicas como la estabilidad de la estructura, la erodabilidad y la densidad aparente (Swift y Woome, citados por Alvarez et al., 2002).

La pérdida de fertilidad del suelo está asociada a pérdidas de MO, por mayor tasa de mineralización, menor tasa de reposición, mayores pérdidas por erosión en suelos de texturas medias a pesadas con lenta infiltración, pendientes medias y régimen de lluvias con tormentas de alta erosividad. La pérdida de materia orgánica está asociada a prácticas inadecuadas de manejo de suelos: excesivo laboreo, laboreo en momento no apto, arada a favor de la pendiente, suelo descubierto la mayor parte del año, monocultivo, utilización de maquinaria no adecuada, uso irracional de agroquímicos, etc.

### 2.1.3. Factores que determinan el contenido de materia orgánica en el suelo

#### 2.1.3.1. El factor tiempo

Durante los primeros años de formación del suelo en hay una acumulación rápida de la MO. Esta acumulación irá disminuyendo lentamente hasta alcanzar un equilibrio con el medio que dependiendo del material madre, sería de 100 años para texturas arcillosas y de 1500 años o más para texturas arenosas. De acuerdo a este tiempo de formación, el suelo será más o menos estable. Se encontró una mayor estabilidad de la MO en suelos con 1000 años de edad que en suelos de 300 años de edad.

### 2.1.3.2. Influencia del clima

El clima es el factor mas importante porque es el determinante de la vegetación y de la actividad microbiana en el suelo. En áreas con mayor pluviometría habrá mayor desarrollo vegetal que en áreas áridas. Por ejemplo un clima húmedo conduce a asociaciones forestales y el desarrollo de Spodosoles (Podzol) y Alfisoles (Gris Pardo Podzólico y Rojo Amarillo Podzólico) en tanto que en un clima semiárido conduce a asociaciones de praderas y al desarrollo de Molisoles (Brunizen, Chernozen y Chestnut).

Según Senstius et al., Stevenson, citados por Silva (1998), aumentos de la temperatura conducen a menores niveles de MO por una mayor actividad de los microorganismos del suelo.

### 2.1.3.3. Vegetación

Permaneciendo los otros factores constantes, la cantidad y distribución que tiene la MO en un suelo es función del tipo de cobertura vegetal. Por ejemplo se producen mayores aportes de MO en suelos bajo vegetación de pradera que bajo forestación, esto se debe principalmente a que hay mayores cantidades de materia prima para la síntesis de humus bajo pasturas debido a que el sistema radicular aporta anualmente mayor cantidad de MO al espesor del suelo que los sistemas forestales en los cuales los mayores aportes se dan en superficie. También es inhibida la nitrificación en los suelos de pasturas, por lo tanto conduce a la preservación del N y C. La síntesis de humus ocurre en la rizósfera, la cual es más abundante en un suelo de pasturas.

En ensayos realizados en diferentes suelos del Uruguay por VÍctora et al., citados por Luscher et al. (2007), se encontraron que en suelos sin presencia de cobertura, la erosión hídrica produjo pérdida de suelo y de materia orgánica. En suelos de mayor fertilidad natural y fracciones finas se obtuvieron sedimentos con mayores niveles de materia orgánica, mientras que en suelos de textura más gruesa se obtuvieron mayor cantidad de sedimentos pero con niveles más bajos de materia orgánica. La cobertura vegetal redujo promedialmente las pérdidas de suelo en casi 50 veces, en relación a las pérdidas ocurridas con suelo desnudo. Esto se debe fundamentalmente a la disminución de la carga de sedimentos en el escurrimiento (Luscher et al., 2007).

Altieri, citado por Luscher et al. (2007), sostiene que desde el punto de vista de manejo, dentro de los componentes básicos de un agroecosistema sustentable, la cubierta vegetativa es una medida efectiva de conservación de suelo y agua. Dentro de estas

prácticas se cuenta con: cero-labranza, cultivos con "mulches" y mantenimiento del suelo cubierto.

#### 2.1.3.4. Material madre

Los materiales primarios tienen un efecto indirecto pero importante sobre la MO, ya que éstos influyen en el desarrollo de la vegetación y en la dinámica del agua y del aire. Cuando el material que da origen a los suelos es rico en nutrientes minerales como fósforo, potasio, calcio y magnesio principalmente, el desarrollo vegetal será mayor que en suelos pobres en estos minerales, por lo tanto habrá mayor aporte de restos vegetales y MO.

Este factor también es importante por su gran influencia sobre la textura. Por ejemplo, suelos arcillosos tienen mayor contenido y estabilidad de MO que suelos limosos y éstos, a su vez, tienen mayor contenido que suelos arenosos. Esto se debe a que las uniones entre los compuestos húmicos y las arcillas hacen menos accesible el ataque de los microorganismos evitando la descomposición.

#### 2.1.3.5. Topografía

El relieve afecta el contenido de MO a través de su influencia en el clima, escurrimiento superficial, evaporación y transpiración. Variaciones locales en topografía tales como lomas, laderas, depresiones, modifican el microclima de las plantas. Este es definido por Aandahl, Stevenson, citados por Silva (1998), como el clima en la inmediata vecindad del perfil del suelo. Generalmente a medida que aumenta la pendiente, la cantidad de MO disminuye, debido al mayor escurrimiento superficial que trae como consecuencia una más alta pérdida por erosión de MO. A su vez, hay menores aportes de ésta por el limitado desarrollo de raíces que se da por la ausencia de agua. Suelos que presentan depresiones son más húmedos y tienen más MO que suelos de lomada, que son más áridos. También suelos húmedos y pobremente drenados tienen altos niveles en MO debido a la anaerobiosis del suelo que impide la descomposición de la misma.

#### 2.1.3.6. Efecto del laboreo

La MO es un componente fundamental del suelo ya que de ella dependen muchas de sus propiedades químicas, físicas y biológicas. La variación de la fracción orgánica del suelo y la intensidad de laboreo, determinan la condición física del mismo. La labranza, por la acción física directa, destruye los macroagregados y provoca la pérdida de su estabilidad debido a la reducción de los contenidos de MO por exposición de fracciones

que se hallaban protegidas dentro de sus estructuras (Tisdall y Oades, Six et al., citados por Eiza et al., 2006).

La implementación de la siembra directa y de una adecuada fertilización podría reducir los efectos de una agricultura intensiva, a través de la promoción del mantenimiento y la acumulación de la MO (Salinas y García et al., citados por Eiza et al., 2005). Así mismo, la elección de la secuencia de cultivos (Studdert y Echeverría, citados por Eiza et al., 2005) y la alternancia de cultivos agrícolas con pasturas (Studdert et al., citados por Eiza et al., 2005) influyen sobre la dinámica de la MO del suelo, a través del momento y la cantidad de aporte de residuos vegetales que contribuyen a la recomposición del contenido de MO.

La labranza afecta las características físicas del suelo y puede incrementar la porosidad y la aireación, pero también puede afectar negativamente la fauna del suelo debido al disturbio que causan los implementos agrícolas en el mismo. Los sistemas de labranza mínima y de labranza cero contribuyen a salvaguardar la fauna y la estructura de poros creadas por ellos. A causa de que esos sistemas tienden a mantener más estable los regímenes de temperatura y humedad del suelo, también protegen la población microbiana durante los períodos de altas temperaturas o sequías prolongadas.

Alguacil et al., citados por Luscher et al. (2007), estudiando el uso del cero laboreo obtuvo resultados que muestran que el cero laboreo fue el más efectivo en la mejora de las propiedades físicas y bioquímicas y el incremento de la materia orgánica del suelo. Dichos efectos fueron más notables en la capa de suelo de 0 a 5 cm. En ese estudio, el cero laboreo incrementó significativamente la acumulación de restos en la superficie del suelo, la cual enriqueció el suelo en materia orgánica lábil.

Ensayos realizados en el sur de Brasil por Alguacil et al., citados por Luscher et al. (2007), muestran el efecto de distintos manejos para un suelo arcilloso sobre los tenores de carbono orgánico del suelo. Estos resultados son concluyentes en que el aumento del laboreo trae aparejado disminuciones en los porcentajes de carbono orgánico. Analizando las parcelas con cero laboreo, el carbono orgánico aumentó aproximadamente un 300 % respecto del laboreo convencional, que consistió en dos pasadas de disquera al año a una profundidad de 20 cm.

#### 2.1.4. Dinámica de la materia orgánica

La MO agregada al suelo normalmente incluye hojas, raíces, residuos de los cultivos y otros compuestos orgánicos. Como muchos de los residuos vegetales son aplicados en la

superficie, el contenido de MO de esta capa tiende a ser mas alto y a decrecer con la profundidad.

Después que se han agregado residuos orgánicos frescos al suelo hay un rápido aumento en la población de organismos debido a la gran cantidad de material fácilmente degradable, incluyendo azúcares y proteínas. Estos elementos son transformados en energía, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y en compuestos sintetizados por los organismos. A medida que la cantidad de MO de fácil descomposición disminuye, el número de organismos también disminuye. La velocidad de transformación de los residuos orgánicos frescos depende de la naturaleza de la MO inicial y de las condiciones ambientales del suelo.

Por ejemplo, después de la aplicación de materiales leñosos u otros residuos orgánicos que tienen un alto contenido de carbono y un bajo contenido de nitrógeno disponible en el suelo, se produce una inmovilización neta del nitrógeno. Como resultado, por algún tiempo habrá poco nitrógeno disponible para las plantas. Con la descomposición gradual de la MO, la población de organismos se reduce y el nitrógeno vuelve a estar disponible para las plantas, estabilizándose en una relación C/N entre 10 y 12. Para evitar la competencia por nitrógeno entre los organismos y las plantas, es conveniente esperar que los residuos orgánicos alcancen un estado avanzado de descomposición antes de la siembra de un nuevo cultivo.

La fauna del suelo, especialmente las lombrices de tierra, crean macroporos verticales de varios tamaños en el suelo, aumentando la aireación, la tasa de infiltración y la permeabilidad. La flora del suelo produce sustancias gelatinosas, incluyendo polisacáridos que ayudan a estabilizar la estructura del suelo.

La fertilización, tanto orgánica como mineral, tienden a estimular los organismos del suelo y el uso de pesticidas puede disminuir sensiblemente su número. Los monocultivos pueden afectar esas poblaciones ya sea porque proporcionan continuamente el mismo tipo de material orgánico o por la acumulación de sustancias tóxicas exudadas por las raíces, reduciendo la diversidad de las especies y rompiendo su equilibrio.

El contenido de nutrientes de la MO es importante para las plantas. Por medio de la actividad de la fauna y flora del suelo estos nutrientes son transformados y pasan a estar disponibles para las plantas. A medida que los rendimientos aumentan, también lo hace la cantidad de raíces. Por lo tanto, el contenido de MO del suelo aumenta al ser mayor la cantidad de residuos que se incorporan. La MO también puede ser agregada usando abonos verdes o residuos orgánicos como estiércol o compost.

Los aportes de residuos vegetales y animales son descompuestos en el suelo. Esto constituye un proceso biológico básico en el que el carbono (C) es recirculado a la atmósfera como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el nitrógeno (N) es hecho disponible como amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y otros elementos (P, S, micronutrientes) aparecen en la forma requerida por las plantas superiores (Silva, 1998).

En este proceso, parte del C es asimilado por los microorganismos del suelo y parte es transformado en humus; parte de éste es mineralizado en forma simultánea con lo cual el contenido total de materia orgánica se mantiene en un nivel estable característico del suelo y del manejo del sistema.

El contenido de MO del suelo es el resultado del balance entre la tasa de mineralización y los aportes de C al sistema y la tasa con que éstos se humifican (Andriulo et al., Stevenson y Cole, citados por Studdert, 2003). El aporte de C a través de los residuos, considerado el factor más importante en la dinámica de la MO, puede ser manejado a través de la selección de los cultivos que participan en la rotación y de las prácticas de manejo para incrementar la producción de biomasa (Havlin et al., Varvel, Allmaras et al., citados por Studdert y Echeverría, 2002). Por otro lado, las tasas de descomposición de ese material (la de mineralización y la de humificación) pueden manipularse, no sólo mediante la elección de los cultivos a incluir en la secuencia, sino a través de la elección del sistema de labranza a utilizar.

La descomposición de los restos vegetales y animales en el suelo es realizada por un pool de microorganismos y también de la microfauna edáfica (ácaros, insectos, lombrices, etc.). Estas desintegraciones mecánicas, oxidaciones, hidrólisis, etc., pueden ocurrir bajo acción directa de las precipitaciones atmosféricas o de la reacción ácida o básica del suelo, del viento, de los cambios de temperatura, etc (Silva, 1998).

El término general de Materia Orgánica del Suelo (MOS) comprende todos los componentes orgánicos del suelo: 1) biomasa viva (tejidos intactos de animales y vegetales, así como microorganismos), 2) raíces muertas y otros residuos de plantas reconocibles, 3) una gran mezcla de sustancias complejas orgánicas amorfas y coloidales, no identificables como tejido. Solamente la tercer categoría de material orgánico corresponde a lo que se denomina humus del suelo. Este fraccionamiento ha sido criticado por no tener sus fracciones un claro significado biológico (Stevenson y Elliott, citados por Morón, 1994a).

En los últimos años diversos trabajos han utilizado o propuesto fraccionamientos físicos para la MO (Dalal y Mayer, Strickland y Sollins, Janzen, Stevenson y Elliott,

Cambardella y Elliott, citados por Morón, 1994a). El fraccionamiento físico ha identificado fracciones que presentan una alta correlación con el manejo anterior del suelo (Dalal y Mayer, Cambardella y Elliott, Janzen et al., Angers et al., citados por Morón, 1994a).

#### 2.1.5. Fraccionamiento químico de la materia orgánica

##### 2.1.5.1. Restos orgánicos frescos

Los restos orgánicos frescos son aquellos producidos tanto por la descomposición como los sintetizados por los organismos del suelo. Entre estos compuestos se encuentran: proteínas, aminoácidos, carbohidratos, ácidos orgánicos, ceras, resinas, lignina, etc. Los mismos constituyen entre el 10 y 15% del total de la MO.

##### 2.1.5.2. Restos orgánicos no frescos

Son restos de plantas y animales que aún son reconocibles y no han sido descompuestos e incorporados a la biomasa del suelo por los microorganismos, entre los mismos se encuentran: hojas, ramas, raíces, etc.

##### 2.1.5.3. Sustancias húmicas

Constituyen grupos heterogéneos que no están definidos por una composición determinada sino que se establecen en base a su comportamiento frente a determinados reactivos (según sean solubles o precipiten). El humus al tratarlo con una serie de reactivos extractantes se separa en fracciones.

Mediante reactivos alcalinos, como el NaOH, se separan las huminas (que son insolubles) de los ácidos fúlvicos y húmicos, que son solubles. Estos últimos se separan mediante tratamiento ácido, generalmente HCl; los ácidos fúlvicos son solubles en HCl mientras que los húmicos son insolubles.

##### Ácidos fúlvicos

Constituyen una serie de compuestos sólidos o semisólidos, amorfos, de color amarillento y naturaleza coloidal, fácilmente dispersables en agua y no precipitables por los ácidos, susceptibles en cambio de experimentar floculación (aglomeración de partículas) en determinadas condiciones de pH y concentración de las soluciones de cationes no alcalinos.

## Ácidos húmicos

Se presentan como sólidos amorfos de color marrón oscuro, generalmente insolubles en agua y en casi todos los disolventes no polares, pero fácilmente dispersables en las soluciones acuosas de los hidróxidos y sales básicas de los metales alcalinos, constituyendo un hidrosol que puede experimentar floculación mediante el tratamiento de los ácidos o los demás cationes.

Desde el punto de vista estructural, su molécula parece estar constituida por un núcleo de naturaleza aromática más o menos condensado, y de una región cortical con mayor predominio de radicales alifáticos, presentando en conjunto el carácter de heteropolímeros condensados.

## Huminas

Los compuestos húmicos no extraíbles con reactivos alcalinos o huminas, constituyen un grupo de sustancias relativamente diferentes entre sí, cuyo origen puede tener lugar mediante la vía de herencia o la de neoformación. En el primer caso se encuentra la humina heredada.

La humina heredada está constituida por partículas de densidad menor de  $1,8 \text{ g/cm}^3$  pero que al contrario que la MO libre, con la que presenta otras diferencias de tipo químico, se hallan retenidas en los agregados de la fracción pesada del suelo mediante uniones que no se rompen por medio de la agitación mecánica común, pero sí por la de los ultrasonidos. Es mayoritaria en aquellos suelos que tienen una vegetación de difícil biodegradación. La fracción de humina heredada se encuentra débilmente ligada a la fracción arcilla de los suelos mediante una serie de enlaces lábiles que resisten la acción de la agitación mecánica clásica, pero no la de los ultrasonidos, que se utilizan para su extracción.

Entre las huminas de neoformación se encuentran las huminas de insolubilización extraíbles, de naturaleza comparable a la de los ácidos húmicos y fúlvicos, pero irreversiblemente ligada a la fracción mineral por medio de enlaces que solo pueden ser destruidos en el laboratorio por medio de agentes químicos que rompen la unión con los silicatos. Se obtiene la humina unida al hierro y la humina unida a la arcilla (Humina de insolubilización). Al finalizar el tratamiento se obtiene un residuo que se denomina humina de insolubilización no extraíble.

## Características comunes de las sustancias húmicas

Se admite que se trata de sustancias amorfas de colores oscuros, que son polímeros tridimensionales de elevado peso molecular, de carácter ácido, constituidos por grupos funcionales en los cuales el núcleo está formado por grupos aromáticos nitrogenados, como el indólico y el pirrólico, y grupos bencénicos aromáticos, como el naftaleno y el benceno, grupos reactivos (responsables de importantes propiedades de la materia orgánica: hidroxilo, carboxilo, amino, metoxilo) y puentes de unión (nitrilo, amino, cetónico; etc.) y cadenas alifáticas.

### 2.1.6. Fraccionamiento físico de la materia orgánica

Desde el punto de vista productivo y de la calidad del suelo, la dinámica de la MO total aporta muy poco para el estudio de los efectos de las prácticas agronómicas de corto plazo (Tan et al., citados por Galantini y Suñer, 2008). Esto se debe a que las fracciones orgánicas más abundantes en el suelo son las de ciclo más lento, por ello se necesita gran cantidad de años para observar esas diferencias. En cambio, las fracciones lábiles son más sensibles a los efectos del uso de la tierra, motivo por el cual pueden utilizarse como indicadores tempranos del efecto de la rotación de cultivos, de la fertilización o del sistema de labranza sobre la calidad del suelo (Haynes, Six et al., citados por Galantini y Suñer, 2008).

Cualquier decisión de manejo que tienda a alterar la dinámica de estas fracciones lábiles, tendrá incidencia sobre el ambiente físico y químico-bioquímico del suelo (Six et al., Studdert y Echeverría, citados por Eiza et al., 2005). La fracción lábil de la MO está constituida por restos vegetales, animales y hongos en distintos grados de descomposición y un tamaño de partícula de entre 50  $\mu\text{m}$  y 2000  $\mu\text{m}$ . Esta fracción que presenta una relación C/N relativamente alta y un rápido reciclaje, es llamada MO particulada (MOP) y puede ser separada por tamizado (Cambardella y Elliot, citados por Eiza et al., 2005). El seguimiento de la variación del contenido de MOP o de alguna otra fracción similar (por ejemplo fracción liviana) puede dar indicios tempranos de los efectos producidos por las prácticas de manejo (Janzen et al., Fabrizzi et al., citados por Eiza et al., 2005) a través de la dinámica del C (Alvarez y Alvarez, citados por Eiza et al., 2005) y del N en el suelo.

En 1992, Cambardella y Elliot, citados por Salvo (2008), desarrollaron un método simple de fraccionamiento físico de la MO. En el mismo, una muestra de suelo es dispersada con hexametáfosfato de sodio y posteriormente es tamizada a través de una malla de 53  $\mu\text{m}$ . Todo el material retenido por dicho tamiz, se denomina MOP y el

material de menor tamaño es lo que se denomina Materia Orgánica Asociada a la fracción Mineral del suelo (MOAM). La primera fracción es joven, poco transformada y por su menor asociación con la parte mineral del suelo constituye la parte más dinámica de la MO, asociándose a la disponibilidad de nutrientes en el corto plazo. La MOAM es la fracción más humificada de la MO, es estable en el tiempo y difícil de degradar por su compleja estructura (Galantini et al., citados por Salvo, 2008). El fraccionamiento por tamaño de partícula está basado en el concepto de que la MO está compuesta por partículas de distinto tamaño, según lo cual se asocian a diferentes fracciones mineralógicas del suelo y difieren en su estructura y función (Christensen, citado por Salvo, 2008).

En Uruguay, Morón y Sawchik, citados por Salvo (2008), compararon la sensibilidad de diferentes indicadores de calidad de suelo frente a cambios generados por distintas rotaciones de cultivo de largo plazo, bajo laboreo convencional (INIA La Estanzuela). De los indicadores relacionados al carbono orgánico del suelo (COS), el carbono de la MOP (C-MOP) mayor a 212  $\mu\text{m}$  fue la fracción más sensible para comparar tratamientos. A éste le siguió, en orden descendente de sensibilidad, la fracción de C-MOP de un tamaño entre 53  $\mu\text{m}$  y 212  $\mu\text{m}$  y por último el carbono asociado a la MOAM (C-MOAM). La determinación tradicional de COS mostró una pobre sensibilidad a los tratamientos. Otros autores también reportaron que el C-MOP era un indicador de calidad de suelo altamente sensible, para detectar cambios producidos por diferentes usos del suelo y prácticas de manejo (Cambardella y Elliot, Elliot et al., Bayer et al., citados por Salvo, 2008).

La materia orgánica estable (humus) se encuentra significativamente correlacionada con la fracción fina del suelo y es menos sensible a las prácticas agrícolas (Buschiazzi et al., Quiroga et al., citados por Galantini y Suñer, 2008). En cambio, la MOP está más relacionada con el manejo y los efectos son más notorios en los suelos de textura fina. Por este motivo, se proponen las relaciones entre MOT y MOP como indicador del efecto de las prácticas agrícolas sobre estos suelos.

#### 2.1.7. Determinación analítica de la materia orgánica

Existen diferentes técnicas analíticas para su determinación, dos de las cuales están muy difundidas y son las que se utilizan en los laboratorios de la región: el método de pérdida por ignición (Davies, citado por La Manna et al., 2007) y el método de combustión húmeda de Walkley - Black (Walkley y Black, citados por La Manna et al., 2007).

El método de pérdida por ignición se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a una temperatura de 430 °C en horno mufla durante 24 h (Davies, citado por La Manna et al., 2007). Con temperaturas de 430 °C se lograría una completa oxidación de la MO. Así este método permite la determinación de la MO total del suelo, incluyendo las formas condensadas, humus, humatos y residuos orgánicos poco alterados (Davies, citado por La Manna et al., 2007). Otros estudios han determinado que aún a 600 °C parte de las sustancias húmicas permanecen resistentes a la oxidación. Sin embargo, temperaturas mayores a 500 °C pueden implicar importantes errores en la determinación por pérdidas de dióxido de carbono de los carbonatos, agua estructural de los minerales de arcilla, oxidación del ion ferroso, descomposición de sales hidratadas y óxidos (Rosell et al., citados por La Manna et al., 2007 ). El método de pérdida por ignición resulta un método económico dado que no se utilizan reactivos químicos y requiere pocas horas hombre para su realización. Este método resulta razonablemente preciso en la estimación de MO del suelo si se consideran precauciones para evitar errores por higroscopicidad y contenido de sales (Rosell et al., citados por La Manna et al., 2007).

El método de combustión húmeda de Walkley-Black consiste en una oxidación con dicromato de potasio en medio de ácido sulfúrico. La reacción toma el calor de la disolución del ácido, lo que eleva la temperatura y logra la oxidación del carbono orgánico. El dicromato residual es posteriormente titulado con una sal ferrosa (Carreira, citado por La Manna et al., 2007) o medido colorimetricamente. El método de combustión húmeda determina sólo una parte del carbono orgánico, discriminando las formas condensadas y excluyendo en un 90 a 95% el carbono elemental (Jackson, citado por La Manna et al., 2007). Dado que la oxidación de la MO que se logra es incompleta se utiliza un factor de corrección que puede variar de acuerdo al tipo de suelo y al horizonte considerado (Rosell et al., Certini et al., De Vos et al., citados por La Manna et al., 2007). El factor de corrección generalmente utilizado es 1,32 que se basa en la suposición de que el 76% del carbono es oxidado ( $1/0,76=1,32$ ) (Rosell et al., citados por La Manna et al., 2007). Distintas interferencias pueden afectar la cuantificación de MO por el método de Walkley-Black, por ejemplo, presencia de iones cloruro o ferroso y óxidos de manganeso. A pesar de estas dificultades este método es ampliamente utilizado porque requiere un equipamiento mínimo, puede adaptarse para la manipulación de gran número de muestras y no es muy costoso (Rosell et al., citados por La Manna et al., 2007).

### 2.1.8. Contenido de materia orgánica de los suelos de Uruguay

El contenido de MO de los suelos es determinado por los factores formadores del suelo (tiempo, clima, vegetación, material madre, topografía, manejo). El manejo de suelos afecta el contenido de MO según el número de años de agricultura, tipos de cultivos, formas de labranzas, las rotaciones, el manejo del cultivo, la fertilización y los períodos de barbecho.

El uso de sistemas de siembra directa, la rotación de cultivos y el mantenimiento y la generación de adecuados niveles de fertilidad de los suelos permite estabilizar los contenidos de MO ajustados a las condiciones edafo-climáticas del sitio a través de la incorporación de residuos en cantidad y calidad.

En el siguiente cuadro (Silva, citado por García de Souza, s.f.) se muestran los contenidos de materia orgánica en los suelos de Uruguay.

Cuadro 1. Contenidos de materia orgánica en suelos de Uruguay

TEXTURA	CONDICIONES		RANGO	PROMEDIO
	DEL MEDIO	GRAN GRUPO		
FINA Y MEDIA	Bien y moderada mente drenados	VERTISOLES	3,3-10,5	6,44
		BRUNOSOLES	3,1-8,2	5,14
		ARGISOLES	1,6-6,0	3,14
		PLANOSOLES		3,84
GRUESA	Bien drenados	LUVISOLES	1,5-2,7	2,23
		ACRISOLES	0,8-2,9	1,65
	Mal drenados	GLEYSOLES		8,41
		HISTOSOLES		29,48

Fuente: García de Souza (s.f.)

La mayoría de los suelos en el estado actual presentan valores de MO por debajo de los rangos promedios señalados en el cuadro.

## 2.2. LA PRODUCCIÓN DE CERDOS A CAMPO

### 2.2.1. Consideraciones generales

A nivel mundial la producción animal está altamente concentrada, principalmente en los países desarrollados donde las explotaciones se han ampliado y se han vuelto más especializadas. La concentración, la expansión y la especialización han dado ventajas económicas, sin embargo, presentan también algunos inconvenientes. Una de las principales preocupaciones es la pesada carga ambiental causada por esas grandes cantidades de animales.

La carga del medio ambiente se puede dividir en carga de minerales en el suelo y la carga de gases a la atmósfera. La carga de minerales es causada por el alto nivel de aplicación de estiércol en el suelo, causada por el desequilibrio entre la producción de estiércol y los requisitos en estas áreas. Los principales problemas surgen del nitrógeno, fósforo y metales pesados. Excedentes de nitrógeno se filtran a las aguas subterráneas y de superficie, provocando altos niveles de nitrato en las mismas. El escurrimiento de fósforo, sobre todo conduce a la eutrofización de las aguas superficiales. Los metales pesados se acumulan en el suelo y darán problemas ambientales de mediano y largo plazo, mientras que los tiempos de residencia, dependiendo de los elementos y la propiedad de la tierra, puede variar desde cientos hasta miles de años (L'Herroux et al., Nicholson et al., citados por Aarnink, 2007)

Diversos estudios coinciden en afirmar que el método más efectivo y económico de afrontar la problemática de la acumulación de los desechos de tipo orgánico procedentes de la ganadería intensiva, es a través de su aplicación en el suelo (Schröder et al., Westernam y Bicudo, citados por Llona et al., 2006). La aplicación racional y controlada de los efluentes de cerdos al suelo presenta un gran interés desde el punto de vista de la fertilización, en suelos que han sido durante siglos utilizados para la agricultura y que, por lo tanto, están empobrecidos respecto a sus cualidades nutritivas. También tiene gran importancia el hecho de reemplazar la fertilización mineral por la de tipo orgánica, lo que lleva a minimizar los costes de producción, a la vez que ayuda a mejorar las condiciones medioambientales (Schröder, citado por Llona et al., 2006).

Según Vado, citado por Mora et al. (s.f.), se puede definir la producción de cerdos a campo como “un sistema en el cual los animales permanecen al aire libre en alguna(s) o en todas sus etapas de producción, en grandes extensiones de terreno con pasto o sin él, bajo el abrigo de cobertizos o pequeñas casas portátiles”. En un sentido más amplio se

ha definido la cría a campo como todos aquellos sistemas de producción porcina que se desarrollan al aire libre sobre una extensión de campo (Vadell, 1999b).

Las principales características que presentan los modelos al aire libre son: el uso de instalaciones de bajo costo, mantenimiento de los parámetros productivos similares a los de sistemas confinados, generalmente desarrollar la fase de cría a campo y el engorde-terminación confinado, también esta actividad se realizará en suelos pobres o no aptos para la agricultura así se disminuirá una posible competencia por tierras con la misma, por último el producto obtenido debe ser similar al obtenido en confinamiento (Vadell, 1999b).

Los sistemas de producción de cerdos a “campo” no son algo actual, sino que existen desde los comienzos de la domesticación de los cerdos. El reciente interés por esta forma de producción ha resurgido por varias razones, incluyendo la relativa rentabilidad de los cerdos a “campo” comparada con la alta demanda de capital de la producción intensiva de cerdos, y las consideraciones sobre el bienestar animal (Algers, citado por Mora et al., s.f.). Una ventaja de este sistema es que sólo necesita entre un 20 y un 25% del capital que se necesitaría para iniciar una unidad intensiva de igual tamaño (Vado, citado por Mora et al., s.f.).

Los sistemas productivos a “campo” no solo se caracterizan por su baja inversión en infraestructura, sino por los grandes beneficios que tiene la crianza al aire libre para los animales. Este tipo de crianza brinda un marco donde el cerdo puede satisfacer sus necesidades meso-etológicas y de confort, en un medio más sano, manifestando un comportamiento más natural, minimizando los estados de estrés y expresando su verdadero potencial productivo. Webster, citado por Mora et al. (s.f.), sugiere que se le deben de brindar cinco formas de libertad al cerdo: (1) libertad para expresar el más normal y aceptable patrón social de conducta; (2) libertad de temor y estrés; (3) libertad de lastimarse y enfermarse; (4) libertad de malestar térmico y físico y (5) libertad de nutrirse.

Los requerimientos térmicos de cerdos sometidos a condiciones de producción a campo son similares a los de los sistemas de producción confinados, aunque depende de variables climáticas. En invierno la demanda es mayor en cerdos al aire libre (Terry, citado por Mora et al., s.f.). Según Noblet et al., citados por Mora et al. (s.f.), los sistemas de producción de cerdos a campo pueden incrementar los requerimientos de energía en los cerdos, por el incremento del ejercicio de los mismos, aunque esto sería “compensado” ya que el cerdo tiene acceso a pasturas en forma “ad libitum”.

Las condiciones climáticas de Uruguay permiten el desarrollo de la cría a campo del cerdo. Desde que fueran introducidos a campo por parte de inmigrantes españoles y portugueses, las pasturas naturales han sido parte de la alimentación de los mismos. Actualmente, la utilización de pasturas en cerdos constituye un componente importante de la dieta en una gran cantidad de predios, principalmente para las categorías de cría, pero también, en algunos casos, en la etapa de recría-terminación. Además los productores buscan alimentos alternativos que permitan disminuir los costos de alimentación que representan la mayor parte de los costos totales de producción (Battezzore, 2006).

Otro aspecto positivo de los sistemas a campo es que el cerdo en pastoreo racional es un gran mejorador de la fertilidad del suelo, ya que con este manejo (quedan en el campo) los restos de heces y orina, son distribuidas uniformemente gracias a esta modalidad de pastoreo (Vadell, 2005). Los animales no solo devuelven los nutrientes del pasto consumido en forma de heces, sino que además existe una importación de fertilidad gracias a los granos consumidos, que pasan a enriquecer el suelo en vez de perderse en una laguna o fosa, con la consiguiente contaminación de las napas (Anzola et al., 2006).

Por lo tanto, dados los beneficios en lo alimenticio, la menor dependencia de insumos externos, las mejoras en la fertilidad del suelo, la menor contaminación y la posible certificación de producción de “carne natural”, se puede lograr un manejo sustentable del sistema.

### 2.2.2. Unidad de Producción de Cerdos del Centro Regional Sur

#### 2.2.2.1. Descripción del criadero

La Unidad surgió con el objetivo de ser un modelo piloto de producción de cerdos en el país además de ser base para capacitación y estudio para la Facultad de Agronomía. Para que el modelo pudiera ser adoptado por la mayoría de los productores del país, se priorizó una serie de características; entre ellas, la Unidad debería necesitar de una baja inversión para su establecimiento, a diferencia de los sistemas confinados en los cuales el paquete productivo que hay que adoptar requiere una gran inversión inicial, con lo cual hace imposible su adopción por pequeños productores.

La misma Unidad una vez en funcionamiento debería tener bajos costos operativos. La misma sería más elástica a variaciones de la economía lo que permitiría que los productores siguieran en el rubro a lo largo del tiempo. En términos productivos, la

Unidad mejoraría los parámetros productivos respetando el comportamiento animal y el ambiente. Por último la integración de este rubro con otros también podría ser prioritario entre los objetivos de la UPC.

El Centro Regional Sur (CRS, comenzó a producir en 1996 con un rodeo de 20 madres, actualmente 45 aproximadamente), ubicado en Camino Folle km 35.500 s/n Progreso, departamento de Canelones, Uruguay. La Unidad de Producción de Cerdos (UPC) comprende 10 hectáreas dentro del predio y esta dividido en 64 piquetes de 1500 m<sup>2</sup> aproximadamente.

Los mismos están separados por un cerco eléctrico. Todos poseen suministro de agua a través de dispensadores tipo chupete, una paridera “tipo Rocha” (Barlocco y Vadell, citados por Vadell, 1999b), una batea de ración. Esto genera dentro del piquete dos zonas bien marcadas: una de servicio (agua, batea y paridera) y otra de pastoreo (ver Anexo 1).

Dentro de los piquetes se realizan modificaciones cada vez que salen animales del mismo. En el caso del refugio se mueve dentro de la zona de servicio por manejo sanitario, dejando que el anterior sitio sea “esterilizado” por las condiciones ambientales.

También los animales son desplazados entre los piquetes manteniendo así el buen estado de las pasturas y permitir una mayor persistencia.

La alimentación en la UPC se basa en el uso de ración balanceada y disponibilidad de pasturas en pastoreo permanente. Se utilizan dos tipos de raciones según categorías que se suministran una vez al día: una para madres (proteína cruda 13.8%, energía digestible 3.290 kcal/kg) y otra de lechones (proteína cruda 20.3%, energía digestible 3.500 kcal/kg). Los cerdos cuentan además con la posibilidad de alimentarse de pasturas en forma “ad libitum”.

A las madres durante la gestación; se le suministra 1,25 kg de ración balanceada. Durante la lactancia a las cerdas se le suministra 3,0 kg de ración, agregando 0,25 kg por cada lechón amamantado. A los verracos del rodeo durante toda su vida se les suministra 3,0 kg de ración. Como batea para colocar la ración se utilizan cubiertas de tractor cortadas a la mitad lo que impide que los cerdos den vuelta el envase desperdiciando alimento.

Los lechones a partir de dos semanas de vida tienen a su disposición ración de iniciación “ad libitum”, luego las cantidades varían según el peso. Además tienen libre acceso a las pasturas del piquete. Luego del destete el cual ocurre a las 6 semanas los

lechones permanecen en el piquete. Posteriormente son trasladados para su terminación y engorde a otro piquete de la UPC, o se comercializan.

Genéticamente se buscó una raza que permitiese mantener buenos parámetros productivos en un sistema de cría a campo con una oferta permanente de pasturas implantadas y en condiciones de fuerte restricción de concentrado en determinados períodos fisiológicos. Luego de una etapa de pruebas, se observó un comportamiento muy superior de una raza criolla originaria del Departamento de Rocha (Pampa Rocha) frente a las razas blancas en las condiciones de producción planteadas.

En los últimos años se ha venido trabajando en conocer los parámetros productivos en las etapas de cría, posdestete, recría y terminación de esa raza y sus cruas, siempre en condiciones de campo, buscando en todo momento que la pastura se constituya en un componente relevante en la dieta de los animales. Actualmente se utiliza en los cruzamientos madres de raza Pampa Rocha (las cuales tienen una mayor habilidad materna, excelente producción de leche, y son dóciles) con padres raza Duroc y Large White. También se realiza cruzamientos de madres crua (padre Duroc por madre Pampa) por padre Large White.

Para el manejo reproductivo se utiliza la monta controlada a campo en una relación de dos a tres hembras con un verraco durante 20 a 30 días y con resultados de concepción superiores al 80% (Vadell, 1999b). También se utiliza la monta controlada en la cual se alojan hembras con un macho detectándose el celo previamente.

El recurso pastura dentro del sistema es fundamental brindando protección contra la erosión, el pisoteo animal y disponibilidad alimentaria a los cerdos además de una disminución en los costos operativos de la UPC. También es un factor que puede ser usado como “respaldo” ante la volatilidad de los precios de los granos y otros insumos que afectan el costo de las raciones balanceadas.

La misma (UPC) es manejada de forma de permitir la mejor conservación de la pastura, recurriendo a la rotación de los cerdos entre los piquetes y al anillado de los mismos para evitar el hábito de hozar que destruye el tapiz.

Las pasturas seleccionadas en la UPC deben adaptarse a las condiciones de pisoteo y pastoreo por parte del cerdo, además del tipo de suelo. También deben suministrar en forma adecuada forraje en cantidad y calidad a lo largo del año, tener alta digestibilidad y palatabilidad dada la gran selectividad del cerdo en el consumo de forraje.

Por lo tanto, las especies utilizadas como componentes de las praderas en los piquetes son trébol rojo (*Trifolium pratense*) y achicoria (*Cichorium intybus*). La carga en promedio es de 5,5 animales adultos por hectárea. Para la implantación de las mismas se utilizaron métodos de mínimo laboreo los cuales disminuyen las pérdidas de suelo por erosión.

Otro recurso utilizado es el uso de verdeos de verano (sorgo) y verdeos de invierno (trigo consociado con pradera, avena). Otras especies utilizadas son trébol blanco (*Trifolium repens*) y alfalfa (*Medicago sativa*).

Este sistema de producción realizado en el CRS se considera “amigable” con el medio debido a la baja concentración de animales por hectárea con lo cual las deyecciones producidas por los mismos se distribuyen de forma natural en el suelo mientras los cerdos pastorean, a la vez que son una forma natural de fertilizar las praderas.

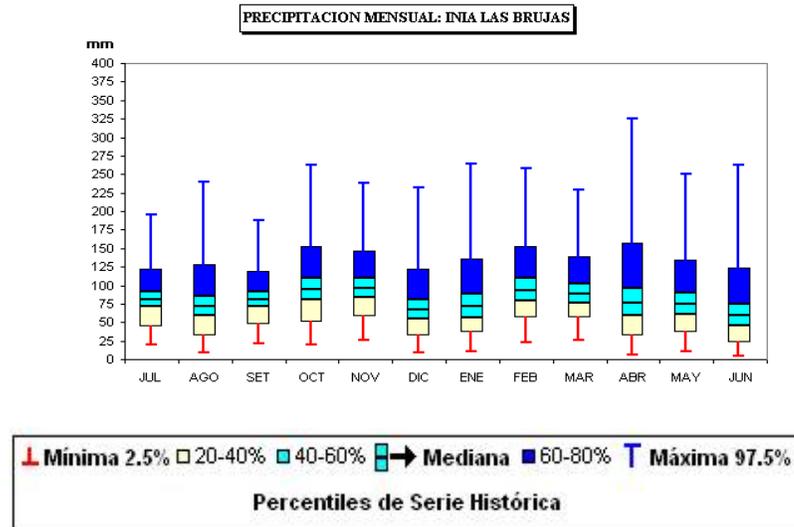
#### 2.2.2.2. Clima

El clima de Uruguay es subtropical templado, (ubicado entre los 30° y 35° de Latitud Sur). El CRS se ubica a una altitud promedio de 40 metros sobre el nivel del mar y a unos 25 kilómetros de la costa del Río de la Plata. Los datos meteorológicos son de la Estación Experimental INIA Las Brujas (Ruta 48, Km 10, Canelones). Se eligió esta estación por la gran cercanía con el CRS (15 Km aproximadamente).

La figura 1 presenta las precipitaciones acumuladas en la estación experimental INIA Las Brujas desde 1972 al presente. Esta información es de utilidad a la hora de la elección de especies o variedades a implantar en la zona en estudio. Las precipitaciones anuales son de 1200 milímetros aproximadamente.

## Precipitaciones

Figura 1 Precipitación mensual (promedio histórico 1972-2009)

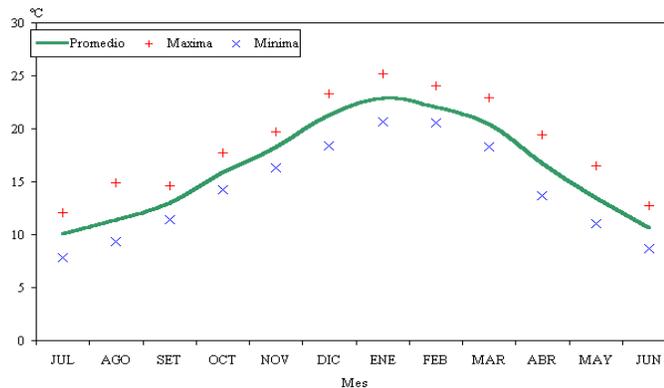


Fuente: INIA (2009)

## Temperaturas

Para el mismo período se obtuvieron las temperaturas medias, mínimas y máximas de la zona, (Figura 2).

Figura 2 Temperatura medias mensuales (promedio 1972-2009)



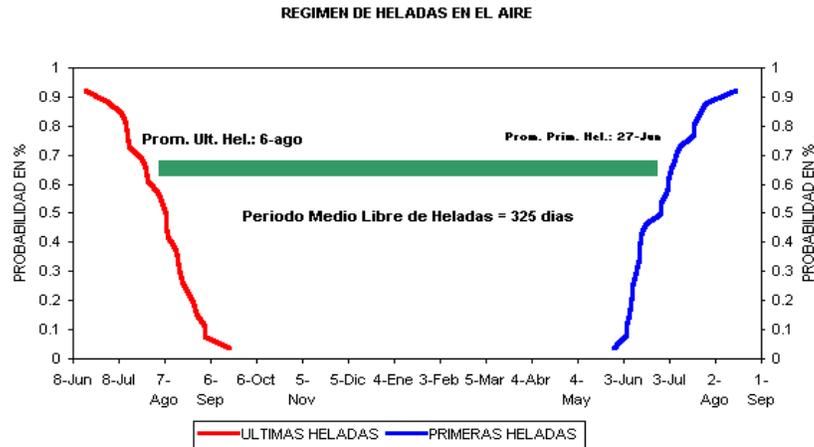
Fuente: INIA (2009)

En general las temperaturas invernales (JUN, JUL, AGO) mínimas promedio son de 7° C aproximadamente, y las máximas promedio en verano (DIC, ENE, FEB) son de 24° C.

### Riesgo de heladas

La figura 3 esquematiza el régimen de heladas en el sur del país. Los registros indican que hay un período libre de heladas medio de 325 días con una probabilidad de más de 60% de que la última helada se genere el 6 de agosto y la primera el 27 de junio.

Figura 3 Régimen de heladas (datos 1972-2009)



Fuente: Fuente: INIA (2009)

### 2.2.2.3. Descripción del suelo de la Unidad de Producción de Cerdos

El predio está ubicado sobre la unidad Tala-Rodríguez (carta a escala 1:1.000.000), sus suelos dominantes son Brunosoles Eútricos Típicos (foto perfil en Anexo 2), los cuales se encuentran en las laderas y en mayor proporción Vertisoles Rúpticos Lúvicos (foto perfil en Anexo 3), localizados estos en los interfluvios convexos.

Las características predominantes de la zona son lomadas suaves a fuertes, no inundable, con erosión moderada a severa, nula rocosidad y pedregosidad.

Los piquetes seleccionados para el experimento presentan una pendiente menor al 1%, por lo cual el efecto erosivo por escorrentía en estos suelos es de riesgo bajo.

Los cuadros 2 y 3 muestran los perfiles tipo de los suelos dominantes.

Cuadro 2: Brunosol Éútrico Típico

Horizonte	Lim.Inf.	Transición	Color	Arena	Limo	Arcilla	Carbono	pH	Bases (total)	Al interc.	CIC pH7
A	25	c	10YR2/1,5	21,6	45,4	33	3,04	6,6	22,9		23,4
Bt	62	c	10YR2/1	16,1	32,4	51,4	0,97	6,5	28,4		29,1
BC	90	g	7,5YR4/2	16,2	31,6	52,2	0,49	7,6	30,9		30,9
Ck	100		7,5YR4/4	15,8	33,7	50,1	0,2	8,2	31,3		31,3

Fuente: URUGUAY. MAP. DS <sup>1</sup>

Cuadro 3: Vertisol Rúptico Lúvico

Horizonte	Lim.Inf.	Transición	Color	Arena	Limo	Arcilla	Carbono	pH	Bases (total)	Al interc.	CIC pH7
A	13	c	10YR2/1	14,5	49,2	36,3	3,8	6,7	29		31,7
Bt	76	g	10YR2/0	12,1	35,3	52,6	0,76	7,7	43,8		43,8
Btk	100	g	10YR3/1	10	36,7	53,3	0,63	8,8	33,5		33,5
Ck	110		7,5YR4/2	11,8	37,7	50,5	0,31	8,9	30,6		30,6

Fuente: URUGUAY. MAP. DS <sup>1</sup>

#### 2.2.2.4. Historial agrícola de la Unidad de Producción de Cerdos

La UPC mantiene un historial agrícola sobre lo realizado en los piquetes, en el mismo se establece qué especies fueron y son utilizadas, qué fertilización se aplicó al suelo y que manejo se realizó para la implantación de las mismas.

Las especies forrajeras utilizadas fueron trébol rojo, trébol blanco, alfalfa y achicoria. En la implantación de las praderas se utilizó algunas veces una siembra consociada con un verdeo invernal trigo, y luego de terminado el ciclo de las praderas se implantaron cultivos de verano como sorgo, y cultivos de invierno como avena. El raigrás cuando aparece es espontáneo, ya que nunca fue implantado.

El control de malezas (cardo, rábano y revienta caballos) se efectuó mediante la pasada de pastera, herbicida aplicado con mochila (round up) y control manual con asada. Previo al laboreo también se realizan aplicaciones (1 ó 2) de herbicida (round up). A su vez, para el correcto funcionamiento del cerco eléctrico también se utiliza el mismo herbicida, para evitar el contacto entre el alambre y las pasturas.

En cuanto a los fertilizantes, sólo se utilizaron binarios (N y P), urea o sólo fosfatados. En ningún caso se fertilizó con potasio, ni tampoco Ca o S.

<sup>1</sup> Curso de manejo y conservación de suelos y aguas. 2008. Datos (sin publicar).

Los laboreos fueron siempre superficiales, (menores a 20 cm), con excéntrica, nunca cincel. La implantación de los cultivos se realizó mayoritariamente con siembra directa (dependiendo de disponibilidad de esta herramienta).

El historial agrícola de los piquetes en los cuales se realizó el estudio se presenta en el cuadro No. 4.

Cuadro 4: Historial agrícola de los piquetes seleccionados.

<b>Año / piq uete</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>B11 , 12 y 13</b>	AA	AA	AA	AA	AA	P1	P2	P3	P4	VI/ VV	P1	P2	P3
<b>C11 ,12 y 13</b>	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4

Fuente: Datos tomados Cracco<sup>2</sup>

Claves: AA: cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*, cultivar criola o chaná dependiendo de disponibilidad), 20-22 kg de semilla /ha., fertilizante 170-200 kg de supertriple ( 0-46/47-0). P: pradera trébol rojo ( *Trifolium pratense*, cultivar LE116), 18 kg de sem./ha + achicoria (*Cichorium intybus*, cultivar INIA Lacerta), 10 kg de sem./ha, fertilización 100 kg de 18-46 + 100 kg de 0-46/47-0. VI: verdeo de invierno con avena (*Avena byzantina*, cultivar LE 1095). VV: verdeo de verano con sorgo (*Sorgo sudanense* x *S. Bicolor*)

#### 2.2.2.5 Manejo animal de la Unidad de Producción de Cerdos

Al igual que con el historial agrícola la UPC tiene registros de todos los animales que hubieron en el criadero y sus movimientos (entradas y salidas de los piquetes).

<sup>2</sup>Cracco, P. 2009. Com. personal

La presencia animal en los piquetes del experimento datan de la primavera del año 1997. Los muestreos de suelo se realizaron en la primavera del año 2009. Esto hace un total de 12 años con cerdos.

En el criadero se manejan diferentes categorías de animales: cerdas lactantes (cl), cerdas gestantes (cg), lechones post destete (lpd), recria (cerdos para reposición del criadero, cr) y verracos (machos reproductores, v). También está la categoría de cerdos en engorde pero no se realiza en los piquetes del experimento. Según la categoría varía el tiempo de permanencia en el piquete. Las cerdas lactantes permanecen toda la lactancia (42 días) más 7 a 10 días de permanencia de los lechones luego del destete. En el resto de las categorías, el tiempo de permanencia en el piquete varía dependiendo del estado de la pastura. En general, las cerdas gestantes se ubican de a 3, próximo a parir las cerdas se desplazan a un piquete de forma individual.

Los pesos promedio aproximados de cada categoría son 125, 150, 30 y 150 kg para cg, cl, cr y v, respectivamente. Los lechones no fueron considerados, dado su bajo peso y por lo tanto menor incidencia para las características evaluadas en este experimento en comparación al resto de las categorías. En promedio, entre los piquetes estudiados hay presencia de cerdos el 42% de los días en estos 12 años (1997-2009). A continuación se presentan los detalles de presencia y descanso por piquete y por categoría en la UPC durante los últimos 12 años (4380 días). Esta información fue proporcionada por registros pertenecientes a la UPC.

Cuadro 5: Presencia animal en piquete B11

categoría	Cerdas gestantes	Cerdas gestantes + verraco	Cerdas lactantes	Cerdos recria	verracos	total
No. animales	127	70	17	10	1	225
días ocupación	648	520	708	68	28	1972
% ocup/cat	32,9	26,4	35,9	3,4	1,4	100
% oc/des en 4380 días	14.8	11.9	16.2	1.6	7.8	44.6

nota: % ocup/cat: porcentaje ocupado por categoría; % oc/des: porcentaje ocupado desocupado Fuente: UPC<sup>3</sup>

Cuadro 6: Presencia animal en piquete B12

categoría	Cerdas gestantes	Cerdas gestantes + Verraco	Cerdas lactantes	Cerdos re cría	total
No. animales	130	68	20	12	230
días ocupación	640	520	708	68	1936
% ocup/cat	33,1	26,9	36,6	3,5	100
% oc/des en 4380 días	14.6	11.9	16.2	1.6	44.2

nota: % ocup/cat: porcentaje ocupado por categoría; % oc/des: porcentaje ocupado-desocupado Fuente: UPC<sup>3</sup>

Cuadro 7: Presencia animal en piquete B13

categoría	Cerdas gestantes	Cerdas gestantes + verracos	Cerdas lactantes	Cerdos re cría	total
No. animales	125	28	23	18	194
días ocupación	548	178	950	21	1697
% ocup/cat	32,3	10,5	56,0	1,2	100,0
% oc/des en 4380 días	12.5	4.1	21.7	0.5	38.7

nota: % ocup/cat: porcentaje ocupado por categoría; % oc/des: porcentaje ocupado-desocupado Fuente: UPC<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Unidad de Producción de Cerdos. 2009. Datos (sin publicar).

Cuadro 8: Presencia animal en piquete C11

categoria	Cerdas gestantes	Cerdas gestantes + verracos	Cerdas lactantes	Cerdos recría	total
No. animales	100	35	22	1	158
días ocupación	462	198	1165	14	1839
% ocup/cat	27,2	11,7	68,7	0,8	100
% oc/des en 4380 días	10.5	4.5	26.6	0.3	42.0

nota: % ocup/cat: porcentaje ocupado por categoría; % oc/des: porcentaje ocupado-desocupado Fuente: UPC<sup>3</sup>

Cuadro 9: Presencia animal en piquete C12

categoria	Cerdas gestantes	Cerdas gestantes + verraco	Cerdas lactantes	Cerdos recría	verracos	total
No. animales	60	52	25	8	1	146
días ocupación	284	238	1373	56	1	1952
% ocup/cat	14,5	12,2	70,3	2,9	0,1	100
% oc/des en 4380 días	6.5	5.4	31.3	1.3	0.02	44.6

nota: % ocup/cat: porcentaje ocupado por categoría; % oc/des: porcentaje ocupado-desocupado Fuente: UPC<sup>3</sup>

Cuadro 10: Presencia animal en piquete C13

categoria	Cerdas gestantes	Cerdas gestantes +	Cerdas lactantes	Cerdos recría	total
-----------	------------------	--------------------	------------------	---------------	-------

		verracos			
No. animales	81	34	18	6	139
días ocupación	607	138	884	78	1707
% ocup/cat	35,8	8,1	52,1	4,6	100,0
% oc/des en 4380 días	13.9	3.2	20.2	1.8	39.0

nota: % ocup/cat: porcentaje ocupado por categoría; % oc/des: porcentaje ocupado-desocupado Fuente: UPC<sup>3</sup>

En resumen, en los piquetes del sector B el número de animales estuvo en el rango de 194-230 y los días de ocupación entre 1697 a 1839. En tanto, en los piquetes del sector C el número de animales varía entre 139 - 158 y los días de ocupación entre 1707 y 1952.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo del siguiente trabajo fue evaluar los efectos de la producción de cerdos a campo sobre la calidad de los suelos en el largo plazo.

El experimento se desarrolló en la Unidad de Producción de Cerdos del Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía ubicado en la localidad de Progreso en el Departamento de Canelones, Uruguay.

La presencia animal en los piquetes del experimento data de la primavera del año 1997. Los muestreos de suelo se realizaron en la primavera del año 2009, por lo cual se tiene un total de 12 años con cerdos dentro del sistema.

Se tomaron muestras de suelo en 6 piquetes de la UPC denominados como B 11, B 12, B 13, C 11, C 12 y C 13. En cada uno se tomaron 3 muestras en superficie y 3 muestras en profundidad (10 tomas en cada una).

La elección de los puntos de muestreo se definió arbitrariamente en tres zonas dentro del piquete (ver Anexo 4): zona 1 o de servicio (primeros 5 metros del piquete en donde están ubicados el comedero, refugio y bebederos suministro de agua), zona 2 (intermedia, 15 metros siguientes) y zona 3 (zona posterior, 40 metros finales).

El testigo seleccionado es el suelo ubicado al costado del camino que divide los piquetes B 9-C 9 con B 10-C 10 (ver Anexo 4). El mismo nunca tuvo cerdos y permaneció como campo natural desde la creación del criadero. En este se tomaron 6 muestras compuestas de suelo (3 del lado B y 3 del lado C).

Por lo tanto los tratamientos fueron 4: 3 son los diferentes zonas dentro del piquete (3 zonas de muestreo) y un testigo sobre campo natural. Las repeticiones fueron 6 (número de piquetes seleccionados para el experimento).

El tipo de suelo según la clasificación de suelos nacional corresponde a un Vertisol Rúptico Lúvico Lac, con pendiente menor al 1%.

Para la toma de muestras se usó un calador manual y se perforó hasta una profundidad de 15 cm de suelo eliminando la vegetación superficial. Para las tomas en profundidad se perforo hasta los 30 cm. Las muestras fueron secadas en estufa, molidas en molino y tamizadas a menos de 2 mm para su posterior análisis.

Las variables analizadas en laboratorio fueron: carbono orgánico, MO particulada, respiración en incubación, conductividad, pH, potasio, sodio y densidad aparente.

El análisis de C en el suelo y las fracciones se realizó por oxidación con  $K_2Cr_2O_7$  en  $H_2SO_4$  (Nelson y Sommers, citados por Barros et al.<sup>4</sup>) y determinación colorimétrica (600 nm).

Para el análisis de contenido de la MO particulada se realizó el fraccionamiento físico de los suelos (0-15 cm) a partir de una muestra de 50 g, la cual fue agitada con hexametáfosfato de Na durante 16 hs y luego tamizada por sucesivos lavados a través de un tamiz y recogiendo el material mayor a 200  $\mu m$ , el cual fue evaporado y secado a 60° y molido para analizar. El material que atravesó la malla de 200  $\mu m$  fue nuevamente tamizado (malla de 50  $\mu$ ), siguiendo el mismo procedimiento de secado y molido.

Para la determinación de la evolución de  $CO_2$ , al inicio de la incubación se pesaron 50 g de suelo (0-15 cm) en vasos de 50 mL; éstos se ubicaron en frascos de 1L cerrados herméticamente, con un recipiente con 5 mL de NaOH 0.25 M. El exceso de NaOH se tituló con HCl 0.1 M. Las mediciones de respiración no implicaron toma de muestras, ya que se realizaron de manera secuencial sobre las mismas muestras. En cada medición se controló el contenido de humedad y se colocó un recipiente con 5 mL de NaOH 0.25 M para la medición siguiente. Se calculó el  $CO_2$  liberado por diferencia respecto al  $CO_2$  atrapado en frascos control sin suelo.

El pH y la conductividad eléctrica del suelo se midieron en suspensión en agua con electrodo Orion Research 710A en una relación suelo:agua 1:2,5.

Para la determinación del potasio (K) y el sodio (Na) intercambiables se utilizó como extractante Mehlich 3, con una relación suelo:solución de 1:10.

Para la densidad aparente se utilizó la metodología del cilindro, con un muestreador con anillos de 68.7  $cm^3$

El análisis estadístico de los datos se realizó con el procedimiento GLM de SAS del software The SAS System Inc.

---

<sup>4</sup> Barros, C.; Coscia, P.; del Pino, A.; Moltini, C. 2009. Cambios en la materia orgánica de suelos hortícolas de Uruguay con agregado de enmiendas orgánicas (sin publicar).

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de carbono total luego de 12 años de producción de cerdos a campo fue menor en los piquetes que en el testigo sin cerdos (Cuadro 11). Esta diferencia se da tanto en superficie como en profundidad, disminuyendo un 18% en el primer caso (promedio tratamientos 1, 2, 3 con respecto al testigo) y un 17% para el segundo caso.

Cuadro 11. Contenido total de C y fraccionamiento físico

Tratamientos	C total sup. (g Kg <sup>1</sup> )	C total prof. (g Kg <sup>1</sup> )	C 50-200 (g Kg <sup>1</sup> )	C>200 (g Kg <sup>1</sup> )	C MOP (g Kg <sup>1</sup> )
1	22,6 b	12,2 b	3,5 a	2,3 ba	5,8 a
2	22,5 b	12,7 b	2,8 b	2,6 ba	5,4 a
3	22,8 b	12,7 b	3,6 a	2,1 b	5,7 a
Testigo	27,4 a	15,0 a	3,7 a	2,9 a	6,6 a

P< 0.05

**Nota:** **C total sup.:** carbono total en superficie (0-15 cm.); **C total prof:** carbono total en profundidad (15-30 cm.); **C 50-200:** carbono en fracción 50-200 µm; **C>200:** carbono en fracción mayor a 200 µm; **C MOP:** carbono en materia orgánica particulada.

Entre los tratamientos 1, 2, 3 de carbono total en superficie no hubo diferencias, tampoco entre los mismos tratamientos en profundidad, a su vez si se observa un mayor contenido de carbono en superficie que en profundidad (45% promedio de los tratamientos 1, 2, 3), seguramente por un mayor aporte de materia orgánica en ese estrato.

En cuanto al carbono en fracciones no hubo diferencias en el C MOP entre los tratamientos y el testigo, en la fracción C 50-200 el tratamiento B presenta menor contenido de carbono que el resto, en tanto que en la fracción C >200 lo mas destacable es el mayor contenido en el testigo con respecto a los tratamientos y el menor valor de carbono en el tratamiento 3.

Entre las diferentes fracciones, la MOP presentó una menor cantidad de C (Cuadro 12).

El COS es un balance entre los ingresos de materiales de origen vegetal y los egresos, dados por la degradación de los compuestos carbonados debido a la respiración microbiana y a la erosión (Alvarez y Steinbach, citados por Salvo, 2009).

Por lo tanto, la calidad y cantidad del residuo orgánico, en interacción con el medio ambiente, producirá una mayor o menor acumulación de COS (Urquiaga et al., citados por Salvo, 2009).

Estos resultados concuerdan con los realizados en un experimento de larga duración de INIA Treinta y Tres (Uruguay), instalado en 1995 sobre un suelo de textura franca. Se estudió la evolución del COS en sistemas de agricultura forrajera continua (doble cultivo anual) con laboreo convencional, laboreo reducido y siembra directa. En 6 años, el COS de los primeros 15 cm de suelo se redujo en un 24, 12 y 7.5% para el laboreo convencional, laboreo reducido y siembra directa respectivamente respecto a la situación original.

En estos sistemas de cultivo continuo con destino forrajero, muy extractivos en biomasa, aún con siembra directa se produjo una pérdida significativa de COS, aunque de menor magnitud a la producida por el laboreo convencional (Terra y García Préchac, citados por Salvo, 2009).

En otro trabajo en calidad de suelos sobre predios lecheros en Uruguay realizados por Morón et al. (2008), comparando suelos bajo pradera y verdeos con testigos no perturbados, encontraron una diferencia de 0,7 % en los valores de COS en los primeros centímetros.

Estas diferencias serían menores si: a) la productividad de las pasturas fueran mayores con un consiguiente mayor ingreso de COS vía raíces, exudados radiculares y restos de hojas y tallos; y/o b) que disminuyan las pérdidas de COS vía mineralización de la MO existente así como a las atribuibles a la erosión (Morón et al., 2008).

En el trabajo de Terra et al., citados por Salvo (2009), sobre suelos de texturas medias del este del Uruguay, el COS de los primeros 15 cm estuvo conformado por un 32% de C-MOP y 68% de C-MOAM en el suelo bajo pastura permanente. La C-MOP se redujo a 26% luego de 8 años de cultivo forrajero continuo con siembra directa.

Al igual que en los resultados presentados, en otro estudio realizado en Uruguay, luego de 8 años de evaluación de rotaciones de cultivos forrajeros en SD, los primeros 15 cm del suelo bajo pastura permanente (campo natural con inclusión de leguminosas)

no difirieron en C-MOP con aquellas intensidades de uso del suelo que incluían alguna proporción de pasturas en la rotación (Terra et al., citados por Salvo, 2009 ).

Es probable que los cambios se produzcan muy lentamente, dado por la textura media a pesada del suelo que proporciona mayores mecanismos de retención del COS y a la pendiente menor a 1% del experimento, lo cual reduce las pérdidas de suelo por erosión.

Según Clerici et al., citados por Salvo (2009), reportaron que la erosión explicó un alto porcentaje de las pérdidas totales de C (50 a 90% para las rotaciones de cultivo continuo,) y que las pérdidas serían porcentualmente mayores en un suelo de textura media que en uno arcilloso.

Trabajos realizados por Roldán et al., Izquierdo et al., citados por Luscher et al. (2007), concluyeron que la calidad y la cantidad de la materia orgánica perteneciente a un suelo, normalmente varía de forma lenta, y se requiere muchos años (5-10 años), para detectar los cambios producidos por las prácticas de manejo. Los grandes cambios en la materia orgánica están controlados principalmente por la actividad microbiana y son influenciados por el tipo y el grado de laboreo del suelo.

Otro factor que disminuye las pérdidas de MO son los aportes de estiércol por parte de los cerdos.

Por lo tanto en este experimento, en el sistema de producción planteado, la nula a baja pendiente y la textura del suelo arcillosa, son posibles factores que contrarrestan la posibilidad de encontrar cambios de mayor magnitud en el período considerado (12 años).

Al plantear el experimento la hipótesis era esperar diferencias marcadas entre los tratamientos y el testigo; principalmente en la MOP. Sin embargo, esto no fue así debido a los supuestos expresados en párrafos anteriores.

Además, en los sistemas comparados, aunque se aprecia en los resultados mayor MO en el testigo que en los tratamientos con cerdos (1, 2 y 3), no son los más contrastantes desde el punto de vista del impacto que causan sobre el suelo, ya que por más que en los tratamientos (1, 2 y 3) se realicen siembras de pasturas y verdesos, este sistema mantiene poco tiempo el suelo descubierto.

Cuadro 12. C en las fracciones de MOP como proporción del C total del suelo.

Tratamientos	C 50-200 (% del CO total)	C>200 (% del CO total)	C MOP (% del CO total)
1	15,5	10,3	25,8
2	12,8	11,6	24,4
3	15,8	9,3	25,1
Testigo	13,6	10,5	24,1

**Nota:** C 50-200: carbono en fracción 50-200  $\mu\text{m}$ ; C>200: carbono en fracción mayor a 200  $\mu\text{m}$ ; C MOP: carbono en materia orgánica particulada.

El C MOP en términos generales entre los tratamientos y testigo es una cuarta parte del CO total.

La relación MOP/MOT es un importante indicador del efecto de diferentes manejos que modifican el aporte de carbono o su velocidad de descomposición (Galantini et al., Noellemeyer et al., citados por Galantini y Suñer, 2008).

Sin embargo, también se deben tener en cuenta las características del suelo (Quiroga et al., Galantini et al., Noellemeyer et al., citados por Galantini y Suñer, 2008) y el efecto de los factores ambientales que modifican la producción y aporte de materia seca o su velocidad de transformación (Galantini y Rosell, citados por Galantini y Suñer, 2008).

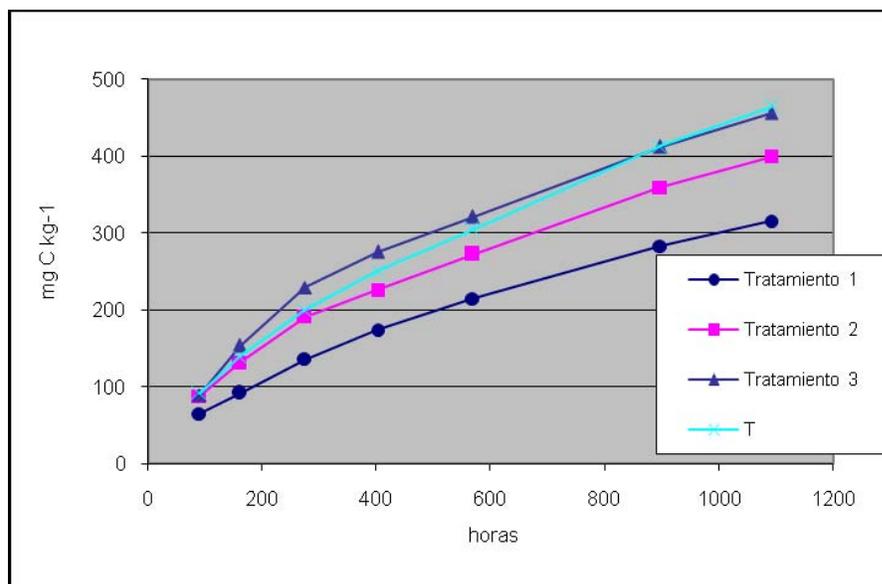
Mandolesi et al., citados por Galantini y Suñer (2008), estudiaron diferentes secuencias agrícolas durante 10 años, encontrando que la relación COP/COT fue el indicador más sensible para detectar los cambios ocurridos en el suelo.

Resultados semejantes fueron observados por Galantini et al., citados por Galantini y Suñer (2008), durante la rotación trigo-leguminosa. Las fracciones lábiles de la MO, así como su relación con la fracción resistente, reflejaron las diferencias entre las dos fases de la rotación (Galantini y Suñer, 2008).

La inclusión de ciclos cortos de leguminosas forrajeras dentro de la rotación con trigo aumentó el contenido de las fracciones orgánicas lábiles y modificó la composición y estructura de la fracción orgánica más compleja, como son los ácidos húmicos (Galantini y Suñer, 2008).

En la figura 4 se presentan las curvas de respiración de C obtenidas mediante incubación de las muestras. En la misma se aprecia valores de respiración mayores en el Tratamiento 3 y en el Testigo, seguidos por el Tratamiento 2 y muy por debajo el Tratamiento 1.

Figura 4. Evolución de C obtenidos mediante incubación en 4 tratamientos.



La actividad respiratoria medida por la producción de CO<sub>2</sub> es un indicador de la actividad de los organismos aeróbicos del suelo (Anderson y Domsch, Borie et al., citados por Martínez et al., 2008).

La producción de CO<sub>2</sub> puede cambiar con la calidad del material orgánico aportado al suelo (Delaney et al., Arrigo et al., citados por Martínez et al., 2008) y con las variaciones estacionales definidas por el clima (Swift et al., citados por Martínez et al., 2008). También es sensible a las alteraciones producidas por distintos sistemas de labranza (Carter, Reicosky, Acevedo y Martínez, citados por Martínez et al., 2008) y rotaciones de cultivo (Campbell et al., citados por Martínez et al., 2008).

En un experimento en Brasil en un suelo Fragiudalf típico manejado en forma convencional y con enmiendas orgánicas, el tratamiento convencional tuvo la menor actividad biológica medida a través de la producción de CO<sub>2</sub>, mientras que el tratamiento basado en abono animal tuvo la mayor tasa respiratoria (Wander et al., citados por Martínez et al., 2008).

En otro trabajo en suelos hortícolas de Uruguay con diferentes niveles de agregado de enmiendas y abonos verdes comparados con el testigo laboreado y sin aplicación de enmienda, se observaron menores tasas de respiración en el testigo y las mayores en el tratamiento con mayor agregado de enmiendas y abonos verdes en la rotación<sup>4</sup>.

En las condiciones de nuestro experimento las zonas con mayor respiración microbiana (Tratamiento 3 y Testigo) estarían asociadas a mayor biomasa vegetal y por lo tanto mayores aportes de restos vegetales y exudados por parte de las raíces.

Otro factor que influye y será analizado mas adelante es la densidad aparente (Cuadro 15) y la conductividad eléctrica (Cuadro 13) los cuales al aumentar disminuyen la actividad microbiana (zonas 1 y 2).

Cuadro 13. Conductividad y pH de los suelos a 0-15 cm (sup.) y 15-30 cm (prof)

Tratamientos	Cond. sup.(dS/m)	Cond. prof.(dS/m)	pH sup.	pH prof.
1	1,85 a	1,95 a	6,1 ba	6,9 a
2	0,94 b	1,03 ba	5,8 b	6,9 a
3	0,76 b	0,88 ba	6,0 ba	6,9 a
Testigo	0,77 b	0,69 b	6,4 a	6,7 a

P < 0.05

**Nota:** **Cond. sup.:** conductividad en superficie, **Cond. prof.:** conductividad en profundidad; **pH sup.:** pH en superficie; **pH prof.:** pH en profundidad

En cuanto a las características químicas del suelo se observa mayores niveles de conductividad eléctrica en el Tratamiento 1, tanto en superficie como en profundidad (56% por encima de la media de los tratamientos). Los Tratamientos 2 y 3 no tienen diferencias con el testigo en superficie, ni en profundidad, aunque mostraron tendencias a mayores valores.

En lo referente al pH se observan menores valores de los tratamientos con respecto al Testigo, aunque estas diferencias no se dieron en profundidad.

El pH del suelo está asociado a la presencia de H y Al intercambiables. Está caracterizado como medida de la actividad de los iones H (Zamalvide y García, citados por Luscher et al., 2007). Permite reflejar la actividad química y biológica límites, para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana (Luscher et al., 2007).

Claro, citado por Luscher et al. (2007), propuso como rango ideal de un suelo, valores de 5.5 a 6.5, donde la disponibilidad de macro y micronutrientes es óptima para los vegetales y la actividad de los microorganismos del suelo. Para nuestro caso el pH no sería una limitante dado los valores dentro de parámetros aceptables.

La conductividad eléctrica mide el nivel de sales en el suelo, los iones generalmente asociados con salinidad son  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$  (cationes) ó  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$  (aniones). Este exceso de sales puede inhibir el crecimiento de las plantas al afectar el equilibrio suelo-agua, también son influenciados los principales procesos microbianos (E.E.U.U.DA, 1999).

Los niveles ligeramente salinos en el Tratamiento 1 estarían asociados principalmente a los restos de ración (que contiene apreciables cantidades de Na) que quedan en el suelo y orina, la cual en suelos aireados pasa rápidamente a  $\text{NH}_4^+$  y luego a  $\text{NO}_3^-$ . También debido principalmente a que es la zona de mayor permanencia de los animales dentro del piquete debido a que allí el cerdo se alimenta de ración, toma agua y tiene su refugio.

Los valores de conductividad ligeramente salinos en la zona de servicio (Tratamiento 1) serían un factor a tratar de modificar para no tener limitantes en el rendimiento de las pasturas y procesos microbianos.

Cuadro 14. Potasio y sodio intercambiables en el suelo (0-15 cm).

Tratamientos	K ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )
1	1,4 a	0,91 a
2	0,96 b	0,75 a
3	0,43 c	0,73 a
Testigo	0.66 c	0,50 b

P < 0.05

**Nota:** K: potasio; Na: sodio

Se observaron al igual que con la conductividad, el K intercambiable presentó mayor acumulación en el Tratamiento 1, luego el Tratamiento 2 y luego sin diferencia entre los Tratamientos 3 y el Testigo. En cuanto al Na las diferencias estarían entre los Tratamientos 1, 2 y 3 con respecto al Testigo.

Los mayores niveles de K intercambiable en la zona de servicio (Tratamiento 1) y cercanías (Tratamiento 2) estarían asociados a la orina del cerdo. Los mayores niveles de Na apreciados en el Tratamiento 1 (aunque no de forma significativa con los tratamientos 2 y 3) además de la orina, estarían vinculados a los restos de ración que quedan en el suelo.

La densidad aparente definida por Ruks et al., citados por Luscher et al. (2007) es la relación que existe entre el peso seco (105 °C) de una muestra de suelo y el volumen que esa muestra ocupa. Representa una medida del grado de compactación que pueden presentar los suelos.

En este estudio, la Dap., fue mayor en los Tratamientos 1 y 2 con respecto al Tratamiento 3 y el Testigo. Esta diferencia no se aprecia en los datos de profundidad (Cuadro 15).

Cuadro 15. Densidad aparente del suelo a 0-15 cm (sup) y 15-30 cm (prof)

Tratamientos	Dap. sup.(g/cm <sup>3</sup> )	Dap. prof. (g/cm <sup>3</sup> )
1	1,34 a	1,22 a
2	1,34 a	1,25 a
3	1,23 b	1,24 a
Testigo	1,19 b	1,20 a

P < 0.05

**Nota:** **Dap. sup.:** densidad aparente superficial; **Dap. prof.:** densidad aparente en profundidad

Estas diferencias se traducen en una mayor compactación en la zona de servicio (Tratamiento 1) y el área mas cercana a la misma (Tratamiento 2). En cambio, en la zona más lejana del piquete se dan valores de Dap. similares al Testigo. Cabe aclarar que en la zona de servicio el cerdo pasa la mayor parte del tiempo debido a que como ya se menciono antes es el área donde duerme, toma agua y se alimenta de ración.

Como se mencionó antes, una de las características de la materia orgánica es la reducción de la densidad del suelo debido a su propia baja densidad y a la estabilización de la estructura del suelo que resulta en mayor porosidad.

La compactación causada por el uso inadecuado de equipos agrícolas, por el tráfico frecuente o pesado, la excesiva carga animal o por el pobre manejo del suelo, pueden aumentar la densidad del suelo de los horizontes superficiales a valores que pueden llegar a  $2 \text{ g/m}^3$  (Luscher et al., 2007). La densidad de los suelos a menudo es usada como un indicador de la compactación (Garrido, citado por Luscher et al., 2007).

Según Sawchik (s.f.), como esta medida es difícil de determinar a nivel de campo, a manera de guía se presentan valores de densidad aparente para diferentes situaciones: suelo recién laboreado,  $0.95 - 1.05 \text{ g/cm}^3$ , suelos bajo pastura,  $1.25 \text{ g/cm}^3$ , suelos compactados,  $1.4 \text{ g/cm}^3$ .

En condiciones de sistemas pastoriles como las presentadas en este trabajo, la compactación del suelo es causada por el efecto repetitivo y acumulativo producido por el pastoreo excesivo con el consiguiente pisoteo animal, en condiciones de humedad del suelo dentro de los límites de plasticidad (Proffit et al., citados por Pérez, 2005).

Edmond, citado por Pérez (2005), menciona que en condiciones de altos contenidos de agua los efectos de la compactación provocados por el pisoteo animal, alteran las propiedades del suelo, las que repercuten en forma indirecta sobre la producción de las pasturas.

El mismo autor señala que en condiciones de suelo seco, el daño por el sobrepastoreo es más un efecto directo, provocando una restricción en el área foliar, disminuyendo la capacidad fotosintética.

Además, el sobrepastoreo en condiciones extremas, causa la eliminación de la cobertura vegetal, resultando en una mayor exposición del suelo al contacto directo de la pezuña del animal con el suelo y por otro lado, al mayor efecto a los agentes erosivos incrementando el riesgo de erosión (Pérez, 2005).

La reducción de la porosidad es uno de los mayores impactos físicos que produce la compactación. Este aspecto incide en una menor disponibilidad tanto de aire como de agua para las raíces de las plantas (Cornish et al., citados por Perez, 2005). Al mismo tiempo, las raíces tienen más dificultad en penetrar en el suelo y un acceso reducido a los nutrientes. La actividad biológica queda de esta forma, sustancialmente disminuida.

Otro efecto de la compactación es el aumento de la escorrentía, disminuyendo la tasa de infiltración del agua de lluvia. Esto incrementa el riesgo de erosión y la pérdida de las capas superficiales de suelo.

Cornish et al., citados por Perez (2005), trabajando con especies forrajeras estudiaron la respuesta del sistema radicular a estrés físico. Encontró que a medida que la densidad del suelo se incrementaba, disminuía el espacio poroso disponible para el intercambio gaseoso, incrementando los riesgos de anaerobiosis. Por otro lado, bajos contenidos de agua en el suelo limitaban la extensión radicular por el incremento en la impedancia mecánica ofrecida por el suelo.

En las condiciones del experimento de cría de cerdos a campo del CRS la mayor Dap (Tratamientos 1 y 2) es causada por el pisoteo animal. Esto repercute como ya se menciona de forma negativa en factores edáficos tanto físicos como biológicos. El Tratamiento 1 de mayor Dap presenta a su vez los menores contenidos de MO y la menor respiración (Cuadro 11 y Figura 4).

Una posible solución sería una distribución más homogénea dentro del piquete del agua, la batea de ración y el refugio o paridera, aunque esto traería aparejado por ejemplo un mayor gasto metabólico por parte de los cerdos al aumentar los desplazamientos para satisfacer sus necesidades básicas, disminuyendo las ganancias de peso.

#### 4.1 CONSIDERACIONES FINALES

La calidad del suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones. Por esto, para detectar si un suelo tiene “buena” calidad o salud, deberán ser medidos todos los parámetros. Sin embargo, no todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos, o situaciones. Por ejemplo para nuestro caso se considerará un grupo mínimo de propiedades del suelo, o indicadores, de cada uno de los tres componentes del suelo (físicos, químicos y biológicos).

Existen dos formas básicas para evaluar la calidad del suelo:

- 1) hacer mediciones periódicamente, a lo largo del tiempo, para monitorear cambios o tendencias en la calidad del suelo;
- 2) comparar valores medidos con los de una condición del suelo estándar (testigo).

En nuestro experimento se optó por la segunda opción, realizándose comparaciones entre distintos sistemas de manejo para determinar sus respectivos efectos sobre la calidad del suelo. Para la interpretación, las mediciones deben ser evaluadas con respecto a tendencias a largo plazo o a señales de sustentabilidad.

Los parámetros elegidos determinaron diferencias y similitudes entre los Tratamientos y el Testigo, los mismos sirvieron para hacer un diagnóstico del estado del recurso suelo en el sistema planteado, no encontrándose limitantes en el corto plazo que atenten la sustentabilidad en la cría de cerdos en el CRS. Esto se debe a que la zona que presenta cambios importantes en los indicadores (Tratamiento 1) es claramente minoritaria con respecto a la superficie total en producción.

En estos 12 años de producción continua la UPC se ha modificado año a año tratando de mejorar la sustentabilidad del sistema. Inicialmente la propuesta era el cultivo continuo de pradera sobre pradera. Esto trajo aparejado problemas de aumento de malezas, enfermedades y competencia con raígras (crecimiento espontáneo).

Dadas ciertas características del cerdo como: alta selectividad, mayor peso por superficie de apoyo, gran movilidad y hábito de hozar; la pradera disminuyó su productividad y persistencia.

Esto trajo como consecuencia una readaptación del sistema pastoril haciendo una rotación de tres años de duración de la pradera con verdeos de invierno (avena) y verdeo de verano (sorgo forrajero). Esta rotación es la que se realiza en la mayoría de los predios lecheros de nuestro país.

Actualmente se busca maximizar la producción de materia seca de la mezcla (achicoria, trébol rojo y trébol blanco) y reducir la incidencia de malezas mediante la utilización de herramientas como los herbicidas.

También se busca hacer un manejo más racional del pastoreo haciendo recorridas periódicas, observando el estado de los piquetes, evitando sobre y sub-pastoreos y, si es necesario hacer el cierre de la zona de servicio para favorecer la recolonización del tapiz vegetal destruido por el pisoteo.

Otro factor a mejorar que continúa siendo deficitario es el verdeo de verano como sustituto alimenticio en la rotación forrajera. En estos últimos años se han probado varios cultivos como es el caso del sorgo, el cual aporta volumen pero es deficitario en materia de calidad nutritiva.

Esto deja abierto el lugar para la introducción de otros cultivos. Adicionalmente, se podrían efectuar cultivos hortícolas que aprovecharán la buena fertilidad de los suelos del criadero (altos niveles de P particularmente) y éstos aportar elementos de descarte como residuos de cosecha que puedan ser aprovechados por los cerdos.

A futuro quedan a mejorar factores como:

- la “real” implementación de la siembra directa en la instalación de los cultivos y reducir el laboreo a cero.
- evitar la presencia de suelo desnudo tratando de implantar en la zona de servicio (Tratamiento 1) especies más resistentes al pisoteo ó disminución de la carga animal en este sector, redistribuyendo los servicios de forma equitativa en el resto del piquete. Esto mejoraría características negativas del área como lo son la alta densidad aparente, conductividad eléctrica, cationes y actividad microbiana.
- también vinculado a esto (alta conductividad y cationes) estaría la mejora en el suministro de ración en un recipiente que genere menos desperdicios que los actuales.
- otro factor asociado al deterioro de los piquetes es la elevada humedad en las cercanías al dispensador de agua. Esto provoca además del desperdicio de la misma, la cual produce daños de forma directa (goteo y escorrentía) ó indirectamente (por acción del cerdo) con la destrucción y pérdida del recurso suelo.
- en términos tanto económicos como ambientales se podrían aprovechar mejor los sistemas de producción asociados con la cría de cerdos como puede ser la integración con la horticultura.

## 5.CONCLUSIONES

Los resultados marcan un menor porcentaje de MO en los piquetes con cerdos con respecto al Testigo tanto en superficie como en profundidad.

En el C MOP no hay diferencias entre los Tratamientos y el Testigo.

Las curvas de respiración de C mostraron valores de respiración mayores en el Tratamiento 3 y en el Testigo, seguidos por el Tratamiento 2 y muy por debajo el Tratamiento 1.

Se observaron mayores niveles de conductividad eléctrica en el Tratamiento 1, tanto en superficie como en profundidad, los tratamientos 2 y 3 no tienen diferencias con el testigo en superficie, si las hay profundidad.

En lo referente al pH se observaron menores valores de los Tratamientos con respecto al Testigo en los primeros cm, aunque no hubo diferencias en profundidad.

El K intercambiable presentó mayor acumulación en el Tratamiento 1, luego el Tratamiento 2 y sin diferencia entre los Tratamientos 3 y Testigo. En el Na intercambiable fue mayor en los Tratamientos que en el Testigo.

Los resultados de densidad aparente indican mayores valores en los Tratamientos 1 y 2 con respecto al Tratamiento 3 y el Testigo, no hubo diferencias en profundidad.

Los indicadores elegidos determinaron diferencias y similitudes entre los Tratamientos y el Testigo, los mismos sirvieron para hacer un diagnóstico del estado del recurso suelo en el sistema planteado, no encontrándose limitantes en el corto plazo que atenten la sustentabilidad en la cría de cerdos en el CRS.

## 6.RESUMEN

El objetivo del siguiente trabajo fue evaluar los efectos de la producción de cerdos a campo sobre la calidad de los suelos en el largo plazo. El experimento se desarrolló en la Unidad de Producción de Cerdos del Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía ubicado en la localidad de Progreso en el Departamento de Canelones, Uruguay. Se eligieron seis piquetes, en los cuales se definieron arbitrariamente tres zonas de muestreo dentro de los mismos, Tratamiento 1 o de servicio (comedero, refugio y suministro de agua, primeros 5 metros), Tratamiento 2 (intermedia, próximos 15 metros) y Tratamiento 3 (zona posterior, últimos 40 metros). El Testigo seleccionado nunca tuvo cerdos y permaneció como campo natural desde la creación del criadero. De estos análisis surgen 4 Tratamientos, 3 son los diferentes sectores dentro del piquete y el restante es el Testigo sobre campo natural. En laboratorio se determinaron: carbono total, MO particulada, respiración en incubación, conductividad, pH, potasio, sodio y densidad aparente. Los resultados marcan un menor porcentaje de C orgánico en los piquetes con cerdos con respecto al Testigo tanto en superficie como en profundidad. En cuanto al C MOP no hay diferencias entre los Tratamientos y el Testigo. Las curvas de respiración de C (carbono) obtenidas mediante incubación de las muestras mostraron valores de respiración mayores en el Tratamiento 3 y en el Testigo, seguidos por el Tratamiento 2 y muy por debajo el Tratamiento 1. En cuanto a las características químicas del suelo se observa mayores niveles de conductividad en el Tratamiento 1, tanto en superficie como en profundidad, los Tratamientos 2 y 3 no tienen diferencias con el Testigo en superficie, si las hay en profundidad, aunque en menor medida que estos Tratamientos con 1. En lo referente al pH se observan menores valores de los Tratamientos con respecto al Testigo, no hay diferencias en profundidad. El K intercambiable presenta mayor acumulación en el Tratamiento 1, luego el Tratamiento 2 y sin diferencia entre los Tratamientos 3 y Testigo. En cuanto al Na las diferencias estarían entre los Tratamientos 1, 2 y 3 con respecto al Testigo que mostró menores valores. Los resultados de densidad aparente indican diferencias entre los Tratamientos 1 y 2 con respecto al Tratamiento 3 y el Testigo. Esta diferencia no se aprecia en los datos de profundidad.

Palabras clave: Materia orgánica; Producción cerdos a campo; Materia orgánica particulada.

## 7. SUMMARY

The aim of this study was to assess the effect of the soil quality on the swine production in open field in the long term. This research was carried out in the Pig Production Unit of the Southern Regional Center of the University of Agronomy, located in the town of Progreso in Canelones, Uruguay. Six different pickets fences were chosen and subdivided in three sample areas: 1) Service area (feeding trough, bedding and water, first 5 meters), 2) Intermediate area (next 15 meters) and 3) Back area (last 40 meters). The selected check treatment had never had pigs before and has reminded as natural open field since the establishment of the pigsty. Four treatments came out from this analyze, three of them were in the different areas within the picket and the last one was on the open field. Composite soil samples (10 cores) were taken at 0-15 cm. and 15-30 cm. depth. Organic carbon (OC), particulate organic matter (POM), soil respiration in incubation, electrical conductivity, pH, exchangeable K and Na and soil bulk density were analyzed in the laboratory. The result shows a smaller percentage of MO in the pickets with pigs than in the open field, both in the surface and deepness. With references to the OC and the POM, there is no relevant variation within the different areas and the witness. The breathing curve of carbon obtained with the incubation of the samples, showed in the treatment 3 and in the witness the highest breathing values, followed by treatment 2 and well below the treatment 1. In terms of soil chemical characteristics, higher levels of conductivity were determinate in the treatment 1, both in the surface and deepness. Treatments 2 and C have no relevant variation with the witness in the surface, but there is some variation in the deepness although this variation is smaller than the one between 2 and 3 with the treatment 1. Lower values of pH were observed in the treatments in relation to the witness, but this difference was not relevant in the surface. The potassium has the highest accumulation in the treatment 1, followed by treatment 2 and without relevant variation in treatment 3 and in the witness. In regard to the sodium, the treatments 1, 2 and 3 have a variation with reference to the witness. The outcome of apparent density shows a difference in treatment 1 and 2 in relation to the treatment 3 and the witness, this difference was not detected in the deepness where the values were similar.

Keywords: Organic matter; Swine production field; Particulate organic matter.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. AARNINK, A.J.A.; VERSTEGEN, M. 2007. Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. (en línea). Livestock Science. 109: 194-203. Consultado 20 oct. 2009 Disponible en <http://www.sciencedirect.com>
2. ALTIERI, M. 1999 Agroecología; bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo, Nordan. 113 p.
3. ALVAREZ, R.; ALVAREZ C.; STEINBACH, H.; SALAS, J.; GRIGERA, S. 2002. Materia orgánica y fertilidad de los suelos en la pampa ondulada. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. no. 14: s.p.
4. \_\_\_\_\_. 2006. Materia orgánica, valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Buenos Aires, Facultad de Agronomía. 206 p.
5. ANZOLA, H.; FLÓREZ, C. 2006. Porcicultura ecológica, orgánica y sostenible. (en línea). Bogotá, I.C.A. p. 17. Consultado 30 oct. 2009. Disponible en <http://www.ica.gov.co/getdoc/68ff489d-2aa5-46b0-a9e2-175df267484c/Publicacion-2.aspx>
6. BARLOCCO, N.; GARÍN, D.; VADELL, A. 2005. Caracterización de los principales componentes de los sistemas de producción de cerdos a campo en Uruguay. (en línea). Montevideo, s.e. 5 p. Consultado 15 nov. 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~suinos/>
7. \_\_\_\_\_. 2007. Recría y terminación de cerdos en condiciones pastoriles. (en línea). Montevideo, s.e. 10 p. Consultado 15 nov. 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~suinos/>
8. BATTEGAZZORE GUTIERREZ, G. 2006. Efecto de dos sistemas de alimentación de cerdos en crecimiento-terminación en condiciones de producción a campo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 52 p.
9. BAUTISTA, A.; ETCHEVERS, B.; del CASTILLO, R.; GUTIÉRREZ, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. s.n.t. s.p. Consultado 20 nov. 2009 Disponible en <http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revisión2.htm>
10. CANABAL, J.; QUINTERO, J. 1987. Rotaciones; dinámica de la materia

orgánica y del nitrógeno del suelo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 196 p.

11. CARÁMBULA, M. 2004. Pasturas y forrajes, insumos; implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. 371 p.
12. DÍAZ CANAVESSI, S. 2008. Sistemas de producción de cerdos, estudio para mejorar la articulación entre la oferta y la demanda por tecnologías para la cría de cerdos. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 72 p.
13. DURAN, A.; IPPOLITI, G.; ZAMALVIDE, J.; GARCIA PRÉCHAC, F. 1998. Propiedades físico-químicas de los suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 67 p.
14. EIZA, M.; STUDDERT, G.; DOMÍNGUEZ, G. 2006. Dinámica de la materia orgánica del suelo bajo rotaciones. Buenos Aires, INTA. p. irr.
15. \_\_\_\_\_.; FIORITI, J.; STUDDERT, G. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable; efecto de los sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada. Ciencia del Suelo. 23(1): 59-67. Consultado 15 oct. 2009. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672005000100007&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672005000100007&lng=es&nrm=iso).
16. ESTADOS UNIDOS. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Washington, D.C. 79 p.
17. FRIONI, L. 1999. Procesos microbianos. Córdoba, Universidad Nacional de Río Cuarto. 332 p.
18. GALANTINI, J.; IGLESIAS, J.; ROSSELL, R. 2004. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en la región semiárida pampeana. (en línea). Paraná, s.e. 28 p. Consultado 20 nov. 2009. Disponible en <http://www.apresid.org.ar/apadmin/img/upload/suelo%20-%200004.pdf>
19. \_\_\_\_\_.; SUÑER, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. (en línea). Agriscientia. 25(1): 41-55. Consultado 15 oct. 2009. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/pdf/agrisc/v25n1/v25n1a06.pdf>
20. GARCÍA DE SOUZA M. s.f. Manejo de suelos en horticultura. Curso de

horticultura. Montevideo, Facultad de Agronomía. 14 p.

21. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA (INIA). 2009. Estaciones agroclimáticas. (en línea). Montevideo. Consultado 20 oct. 2009. Disponible en <http://www.inia.org.uy/online/site/14552411.php>
22. KONONOVA, M. 1982. Materia orgánica del suelo; su naturaleza, propiedades y métodos de investigación, Barcelona, Oikos-Tau. 365 p.
23. LA MANNA, L.; BUDUBA, C.; ALONSO, V . 2007. Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos de la región Andino-Patagónica; efectos de la vegetación y el tipo de suelo. (en línea). Revista Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal (Temuco). 25(2): 179-188. Consultado 20 oct. 2009. Disponible en [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672007000200009](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672007000200009)
24. LUSCHER G.; OLIVERO C. 2007. Diagnóstico del estado del recurso suelo en sistemas de producción orgánica en el sur del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 127 p.
25. LLONA M., FAZ A. 2006. Efectos en el sistema suelo-planta después de tres años de aplicación de purín de cerdo como fertilizante en un cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea* L.). (en línea). Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal (Temuco). 6(1): 41-51. Consultado 20 oct. 2009. Disponible en [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071827912006000100005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071827912006000100005&script=sci_arttext)
26. MAROTTA, E. s.f. Pastoreo racional con porcinos. Una herramienta estratégica. (en línea). Santa Fe, s.e. s.p. Consultado 20 oct. 2009. Disponible en <http://www.sian.info.ve/porcinos/eventos/fericerdo/marotta.htm>
27. MARTINEZ, E.; FUENTES, J.; ACEVEDO, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. (en línea). Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal (Temuco). 8(1): 29. Consultado 2 nov. 2009. Disponible en [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071827912008000100006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071827912008000100006&script=sci_arttext)
28. MATUS, F. J.; MAIRE, G.; CHRISTIAN, R. 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono

y nitrógeno. (en línea). Agricultura Técnica. 60(2): 112-126. Consultado 2 nov. 2009.

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-)

29. MORA, A.; ARMENDÁRIZ, I.; BELMAR, R.; LY, J. s.f. Algunos aspectos de la producción y manejo de cerdos en exterior (en línea). Mérida, s.e. s.p. Consultado 20 oct. 2009. Disponible en <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rev72/72artres.htm>
30. MORÓN, A. 1994a. La materia orgánica del suelo en los sistemas productivos. In: Morón, A.; Martino, D.; Restaino, E. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, INIA. pp. 5-10 (Serie Técnica no. 42).
31. \_\_\_\_\_, BAETHGEN, W. E.; DÍAZ, R. M. 1994b. Materia orgánica en la rotación cultivo- pastura. In: Morón, A.; Baerhgen, E.; Díaz, R. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, INIA. pp. 5-11 (Serie Técnica no. 41).
32. PEREZ, E. 2005. Qualidade física de um vertissolo e produção forrageira em campo nativo melhorado, com irrigação e pastoreio. Tesis de doctorado. Santa María, RS, Brasil. Universidad Federal de Santa Maria. 87 p.
33. SALVO, L. 2008. Cambios en los contenidos del carbono orgánico del suelo bajo distintas rotaciones agrícolas ganaderas y sistemas de laboreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 76 p.
34. SAWCHIK, J. s.f. Algunos conceptos básicos para el manejo del riego. (en línea). La Estanzuela, Colonia, INIA. p. 5. Consultado 20 oct. 2009. Disponible en <http://www.inia.org.uy/online/site/publicacion-ver.php?id=680>
35. SILVA, A. 1998. La materia orgánica del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 46 p.
36. STUDDERT, G.; ECHEVERRÍA, H. 2002. Agricultura continua, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. (en línea). Puerto Madryn, s.e. p. irr. Consultado 20 nov. 2009. Disponible en <http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/.../Studdert%20y%20Echeverría.pdf>

37. \_\_\_\_\_. 2003. "Sojización", un riesgo para los suelos del S.E. bonaerense. (en línea). Buenos Aires, Facultad Ciencias Agrarias. s.p. Consultado 20 oct. 2009. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/baLcarce/info/documentos/agric/oleag/soja/studder.htm>
38. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMÍA. 2007. Curso sistemas de producción. (en línea). Montevideo. 48 p. Consultado 30 oct. 2009. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/IntroEda/tema02/susthum.htm>
39. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2008. Curso de manejo y conservación de suelos y aguas. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p.
40. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2009. Curso de edafología. (en línea). Montevideo. 1 p. Consultado 20 oct. 2009. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/IntroEda/tema02/susthum.htm>
41. VADELL, A.; BARLOCCO, N.; FRANCO, J.; MONTEVERDE, S. 1999a. Evaluación de una dieta restringida en gestación en cerdas de raza pampa sobre pastoreo permanente. (en línea). Montevideo, s.e. 8 p. Consultado 20 oct. 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~suinos>
42. \_\_\_\_\_. 1999b. Producción de cerdos a campo en un sistema de mínimos costos. Curso de suinotecnia. Montevideo, Facultad de Agronomía. 14 p.
43. \_\_\_\_\_. 2005. Producción de cerdos al aire libre en Uruguay. Curso de Suinotecnia. Montevideo, Facultad de Agronomía. 10 p. Consultado 20 oct. 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~suinos>

## 9. ANEXOS

Anexo 1: maqueta de muestreo en piquete



Fuente: elaboración propia

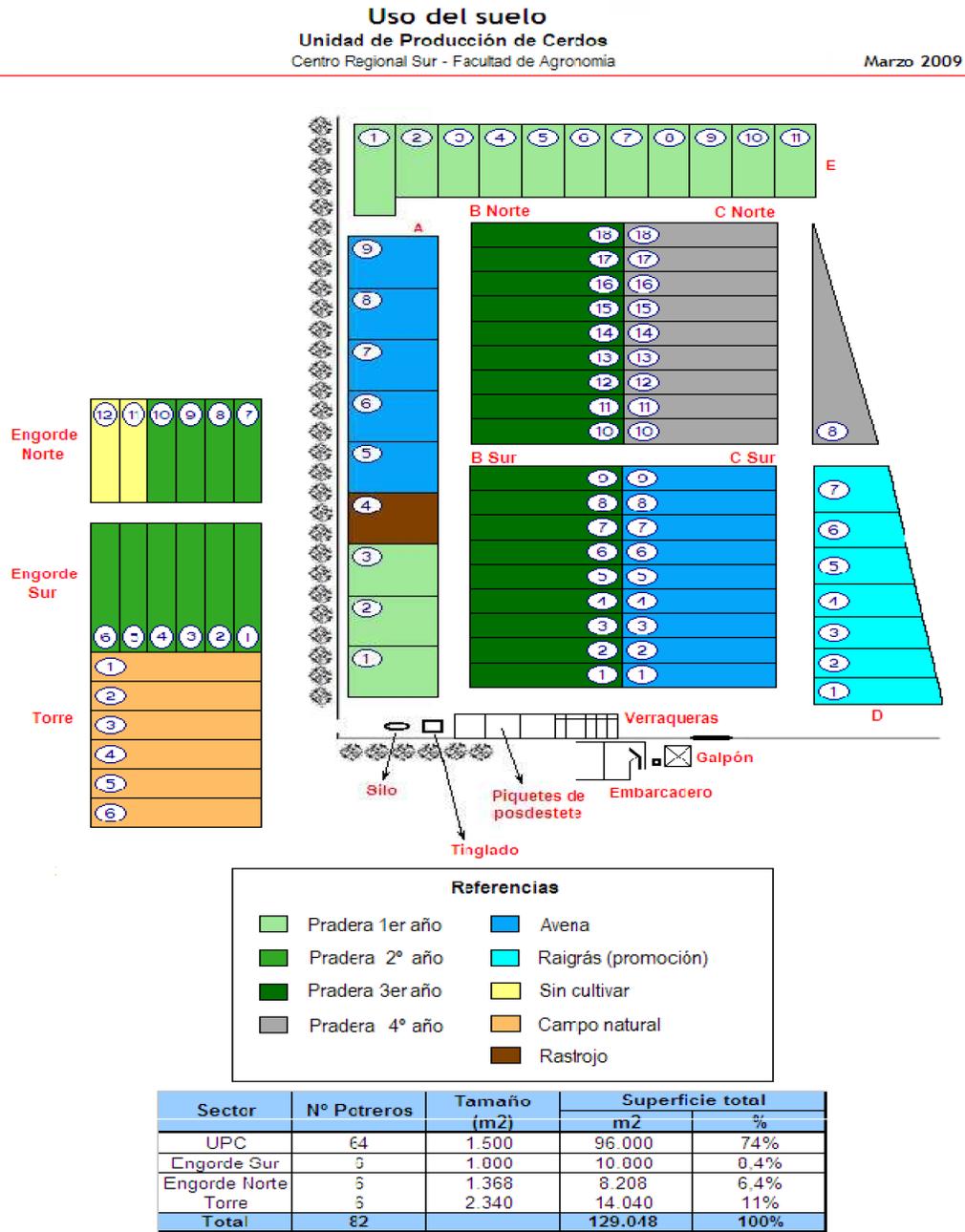
Anexo 1: foto brunosol



Anexo 3: foto vertisol



## Anexo 4: Uso del suelo en la Unidad de Producción de Cerdos



Fuente: UPC<sup>3</sup>.

Anexo 5: Análisis de varianza de carbono total en superficie

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	1.3776042	1.3776042	0.19	0.6712
Tratamiento	3	101.7496792	33.9165597	4.58	0.0142

Anexo 6: Análisis de varianza de carbono total en profundidad

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	4.83303750	4.83303750	3.09	0.0949
Tratamiento	3	28.77231250	9.59077083	6.13	0.0043

Anexo 7: Análisis de varianza de C>200

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	0.00666667	0.00666667	0.02	0.8934
Tratamiento	3	2.19666667	0.7322222	2.03	0.1445

Anexo 8: Análisis de varianza de C 50-200

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	3.15375000	3.15375000	11.59	0.0030
Tratamiento	3	2.54458333	0.84819444	3.12	0.0504

Anexo 9: Análisis de varianza de C POM

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	2.66666666	2.66666666	3.08	0.0954
Tratamiento	3	4.5500000	1.51666666	1.75	0.1906

Anexo 10: Analisis de varianza de pH en superficie

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	0.09250417	0.09250417	0.88	0.3605
Tratamiento	3	0.94747917	0.31582639	3.00	0.0564

Anexo 11: Análisis de varianza de pH en profundidad

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	0.87783750	0.87783750	8.55	0.0087
Tratamiento	3	0.20191250	0.06730417	0.66	0.5892

Anexo 12: Análisis de varianza de conductividad en superficie

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	15862.04167	15862.04167	7.82	0.0115
Tratamiento	3	49100.79167	16366.93056	8.06	0.0011

Anexo 13: Análisis de varianza de conductividad en profundidad

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	88.16667	88.16667	0.01	0.9198
Tratamiento	3	55938.16667	18646.05556	2.20	0.1213

Anexo 14: Análisis de varianza de densidad aparente en superficie

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	0.00643580	0.00643580	2.43	0.1352
Tratamiento	3	0.10561252	0.03520417	13.31	<.0001

Anexo 15: Análisis de varianza de densidad aparente en profundidad

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	0.00127127	0.00127127	0.30	0.5923
Tratamiento	3	0.00667417	0.00222472	0.52	0.6742

Anexo 16: Análisis de varianza de respiración acumulada en R1

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	4639.820417	4639.820417	4.35	0.0506
Tratamiento	3	2753.614583	917.871528	0.86	0.4781

Anexo 17: Análisis de varianza de respiración acumulada en R2

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	9036.52042	9036.52042	3.68	0.0701
Tratamiento	3	12762.05125	4254.01708	1.73	0.1939

Anexo 18: Análisis de varianza de respiración acumulada en R3

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	15346.98375	15346.98375	3.67	0.0705
Tratamiento	3	27186.68792	9062.22931	2.17	0.1252

Anexo 19: Análisis de varianza de respiración acumulada en R4

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	24358.88167	24358.88167	4.30	0.0518
Tratamiento	3	33921.63000	11307.21000	2.00	0.1485

Anexo 20: Análisis de varianza de respiración acumulada en R5

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	37296.05042	37296.05042	5.21	0.0342
Tratamiento	3	39751.53125	13250.51042	1.85	0.1724

Anexo 21: Análisis de varianza de respiración acumulada en R6

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	73693.08375	73693.08375	6.04	0.0238
Tratamiento	3	67496.88458	22498.96153	1.84	0.1734

Anexo 22: Análisis de varianza de respiración acumulada en R7

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	94350.96000	94350.96000	6.18	0.0224
Tratamiento	3	84958.99000	28319.66333	1.85	0.1717

Anexo 23: Análisis de varianza de potasio

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	0.26670417	0.26670417	6.23	0.0219
Tratamiento	3	3.20054583	1.06684861	24.92	<.0001

Anexo 24: Análisis de varianza sodio

F. de V.	G.I.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Sector	1	0.0006000	0.0006000	0.02	0.8960
Tratamiento	3	0.5128500	0.1709500	5.00	0.0101