



CREER... CREAR... CRECER...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Proyecto de Trabajo Final presentado para optar
al Grado de Ingeniero Agrónomo

**Materia orgánica total, lábil
y estabilizada en un Hapludol
típico del suroeste de Córdoba
en una rotación Agrícola
bajo tres sistemas de labranza.**

Alumno: Alejandro Jesús Mores

Río Cuarto - Córdoba
Dicimbre / 2016



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**

Trabajo Final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo

**Materia orgánica total, lábil y estabilizada en un Hapludol
típico del suroeste de Córdoba en una rotación
Agrícola bajo tres sistemas de labranza.**

Alumno: Alejandro Jesús Mores

DNI: 33328036

Director: Carmen Cholaky

Co-Director: Marcos Bongiovanni

Río Cuarto – Córdoba

Septiembre de 2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Materia orgánica total, lábil y estabilizada en un Hapludol típico del suroeste de Córdoba en una rotación Agrícola bajo tres sistemas de labranza.

Autor: Mores Alejandro Jesús.

DNI: 33328036.

Director: Ing. Agr. M. Sc. Carmen Cholaky.

Co-Director: Ing. Agr. M. Sc. Marcos Bongiovanni.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Ing. Agr. Silvina Amin _____

Ing. Agr. Rosana Marzari _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios la posibilidad de estudiar y poder desempeñarme en esta profesión, a mis profesores guías Carmen Cholaky y Marcos Bongiovanni, a familiares en especial mis padres por su apoyo incondicional, a mis amigos y compañeros por el constante apoyo y compañía en estos años, y a la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto por formarme como profesional.

INDICE

RESUMEN	1
SUMMARY	2
INTRODUCCIÓN	3
1.1. Presentación, fundamentación e importancia del trabajo	3
1.2. Antecedentes	6
1.3. Objetivo general.....	8
1.4. Objetivos específicos	8
MATERIALES Y METODOS	9
2.1. Caracterización de área de estudio.....	9
2.2. Descripción de los tratamientos y diseño experimental	9
2.3. Evaluaciones	12
2.3.1. Muestreo	12
2.3.2. Determinaciones	12
2.3.3. Fraccionamiento físico de la materia orgánica	12
2.3.4. Determinación de la materia orgánica	12
2.3.4.1. Cálculos de materia orgánica	13
Balance de la MO según el Método de Guerif	13
2.4. Análisis estadístico de los resultados	14
RESULTADO Y DISCUSION	15
3.1 Efecto de los sistemas de labranza sobre el contenido de materia orgánica total y sus fracciones Fina, Media y Gruesa.....	15
3.1.1. Comparación en el contenido de Materia Orgánica de la fracción “Fina” del suelo (0-53 μ), en la profundidad de 0-10 cm, entre las diferentes labranzas y tratamientos de fertilización.	19
3.1.2. Comparación en el contenido de Materia Orgánica de la fracción “Media” del suelo (53-100 μ), en la profundidad de 0-10 cm, entre las diferentes labranzas y tratamientos de fertilización.....	21
3.1.3. Comparación en el contenido de Materia Orgánica de la fracción “Gruesa” del suelo (100-2000 μ), en la profundidad de 0-10 cm, entre las diferentes labranzas y tratamientos de fertilización.....	23
3.2. Comparación de los contenidos de Materia Orgánica de la rotación agrícola con una situación de mínimo disturbio (MD).....	24
3.3. Comparación de los contenidos de Materia Orgánica total de la rotación agrícola pura con una rotación agrícola ganadera.....	27
3.3.1. Comparación de los contenidos de Materia Orgánica de la fracción fina de suelo (0-53 μ) en la rotación agrícola pura con una rotación agrícola ganadera para la profundidad de 0-10 cm.	30

3.3.2. Comparación de los contenidos de Materia Orgánica de la fracción media (53-100 μ) y gruesa (100-2000 μ) de suelo en la rotación agrícola puro con una rotación agrícola ganadera para la profundidad de 0-10 cm.	31
4. Balance de la Materia Orgánica (MO) según el Método de Guerif	33
4.1. Evolución d la MO observada bajo uso Agrícola.	33
4.2. Evolución de la Materia Orgánica simulada bajo un uso Agrícola.....	35
CONCLUSIONES	42
BIBLIOGRAFIA	43
ANEXO	53
1. GRAFICOS CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA TOTAL DEL SUELO 54	
2. GRAFICOS DE LAS FRACCIONES DE MATERIA ORGANICA FINA, MEDIA Y GRUESA	56
a. Gráficos materia orgánica fina de suelo.	56
b. Gráficos de la Materia Orgánica Media de suelo	57
c. Gráficos de la Materia Orgánica Gruesa de suelo.	59
Comparación con situación de mínimo disturbio (MD)	60
3. TABLAS ROTACION AGRICOLA vs ROTACION AGRICOLA - GANADERA	61

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la labranza y de la rotación sobre la MO total, lábil (media y gruesa) y estabilizada (fina) de un Hapludol típico del Sur Oeste de Córdoba. Sobre un diseño en bloques aleatorizados el estudio comprendió una rotación agrícola con tres sistemas de labranza: siembra directa (SD), labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC); en cada sistema de labranza se realizó un tratamiento de fertilización (Fertilizado (F) y no fertilizado (NF)). Estos datos se contrastaron con una situación de mínimo disturbio (MD). Para analizar el efecto de la rotación se comparó con un sistema agrícola-ganadero con las mismas alternativas de manejo. Posteriormente se hizo una simulación de la evolución de MO del mismo ensayo con un modelo de dos compartimentos. Se analizó la MO total por oxidación de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm, solo la MO de 0 a 10 cm se fraccionó físicamente en: fracción fina (0 μm a 53 μm), fracción media (53 μm a 100 μm) y fracción gruesa (100 μm a 2000 μm). Los resultados indican que el contenido de materia orgánica total (MOT) no arrojó diferencias significativas entre los sistemas de labranza analizados. La fracción fina presentó diferencias significativas, en la profundidad de 0 a 10 cm, a favor de la LR, asociado a la incorporación de residuos orgánicos al suelo. La fertilización generó efectos positivos en el contenido de MO en las labranzas utilizadas. En cuanto a la MO media y gruesa no se observaron diferencias significativas entre labranzas. En la comparación con la situación de MD se observaron diferencias, donde el contenido de MO fue significativamente mayor respecto de las labranzas analizadas. En confrontación de usos, agrícola puro y agrícola ganadera, en general la rotación pura con fertilización, muestra los mayores niveles de materia orgánica en superficie respecto de la rotación agrícola – ganadera, debido a un mayor y continuo aporte de restos aéreos y raíces en el suelo. En cuanto a la evolución de la MO en el tiempo, esta aumenta en las labranzas conservacionistas (SD y LR) y se mantiene o disminuye en las no conservacionistas (LC).

Palabras clave: Fracciones de materia orgánica, sistemas de labranza, rotación, mínimo disturbio.

SUMMARY

In the present work, it was evaluated the effect of farming and rotation on the total organic matter (OM), labile (medium and thick) and stabilized (fine) of a typical Hapludol in the south west of Cordoba. Based on a randomized block design, the study consisted in a crop rotation with three farming systems: direct seeding (DS), reduced tillage (RT) and conventional tillage (CT). A fertilizing treatment (fertilized (F) and non-fertilized (NF)) was done on each farming system. These data were contrasted with a minimum disturbance condition. To analyze the effect of the rotation it was compared to a crop-livestock system under the same management alternatives. Afterwards, a simulation of the development of the OM was made from the same trial with a two-compartment model. The total OM was analyzed by oxidation from 0 to 10 cm and from 10 to 20 cm, just the OM from 0 to 10 cm was split physically into: fine fraction (0 μ m to 53 μ m), medium fraction (53 μ m to 100 μ m) and coarse fraction (100 μ m to 2000 μ m). The results indicate that the content of total organic matter (TOM) did not show significant differences among the farming systems considered. The fine fraction presented significant differences in the 0 to 10 cm depth, in favor of the reduced tillage (RT), associated with the incorporation of organic waste into the soil. The fertilization produced positive effects in the content of the OM in the farming systems utilized. There were not considerable differences among the farming systems regarding the medium and thick OM. When compared to the minimum disturbance condition, differences were observed. The content of the OM was significantly higher with respect to the farming systems analyzed. When comparing purely agricultural use of the soil with crop-livestock use, it is observed that in general purely agricultural rotation with fertilization shows higher levels of OM in surface than the crop-livestock rotation, due to a greater and constant contribution of aerial waste and roots in the soil. As regards the evolution of the OM through time, it increases in conservation in farming systems (DS and RT) and it stays or decreases in non-conservationist ones (LC).

Key words: fractions of the organic matter, farming systems, rotation, minimum disturbance condition.

INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación, fundamentación e importancia del trabajo

El suelo es uno de los ecosistemas más complejos y diversos que existe en la naturaleza. Es un ambiente que combina las fases sólida, líquida y gaseosa, formando una matriz tridimensional (Zerbino y Altier, 2006). Su intenso uso bajo sistemas agrícolas, la ausencia de rotaciones con cultivos que hagan aportes voluminosos de materia orgánica (MO) y el excesivo laboreo para la preparación de la cama de siembra, son factores que determinan el aumento de las pérdidas de suelo por erosión y/o degradación de sus propiedades físico-químicas (Casas, 2005).

En los sistemas de producción de la región central de Córdoba, durante los últimos treinta años, fueron ocurriendo importantes cambios en el uso de la tierra, además de un avance de la agricultura sobre áreas ocupadas por la ganadería. Este proceso se caracterizó por un creciente predominio de la soja en reemplazo de otros cultivos como sorgo, maíz, girasol y maní, que inicialmente se cultivaban con sistemas convencionales de labranza, caracterizados por la remoción del suelo y la escasa o nula permanencia de rastrojo en superficie. Hacia fines de la década de los 80, los sistemas fueron evolucionando hacia los llamados conservacionistas, dentro de los cuales el sistema de siembra directa es actualmente el de mayor adopción en la región ya que contribuye a aumentar los rendimientos de los cultivos, porque mejora la condición hídrica del suelo, como así también genera importantes aportes de carbono de la biomasa vegetal, que incrementan el stock de carbono del suelo (Basanta *et al.*, 2015).

El hombre con su intervención provoca, a veces de manera muy importante, la pérdida de MO del suelo (Cisneros *et al.*, 2007). Este componente es de vital importancia para proveer energía, sustrato y la diversidad biológica necesaria para el mantenimiento de las numerosas funciones del suelo (Galantini *et al.*, 2004), además de ser una fuente de nutrientes, facilitar la agregación y estabilidad estructural (Bongiovanni *et al.*, 2000). La disminución de la MO, inicialmente aumenta la productividad por la liberación de los nutrientes contenidos en ella, pero tiene efectos adversos cuando los niveles disminuyen pudiendo alcanzar niveles críticos (Galantini *et al.*, 2004).

La MO representa un sistema complejo de sustancias, cuya dinámica es gobernada por el aporte de residuos orgánicos de diversa naturaleza y por la transformación continua a través de factores biológicos, químicos y físicos (Galantini *et al.*, 2005). Es el resultado del balance entre la mineralización, que aumenta con los laboreos, y el aporte de carbono al sistema a través de los rastrojos y raíces de los cultivos y restos de otros organismos. Este aporte varía en volumen y calidad según

los cultivos y las prácticas de manejo, especialmente aquellas que permiten incrementar la producción de biomasa (Studdert y Echeverría, 2000).

El contenido de materia orgánica total (MOT) en los sistemas agrícolas cambia lentamente a través del tiempo, producto del clima, el uso y manejo, y es un indicador biológico de calidad del suelo (Prados *et al.*, 2008). Cuando se elimina la vegetación original de un ecosistema y se inicia un cultivo, el contenido de MO del suelo decrece. La disminución es más rápida durante los primeros años y luego se hace más lenta tendiendo a un equilibrio. Este equilibrio significa que los niveles de MO se mantienen constantes en el tiempo. Si las condiciones de manejo cambian, el balance es disturbado y las pérdidas pueden exceder a las ganancias o viceversa (Álvarez y Steinbach, 2006).

La separación de la MO en fracciones físicas de diferente tamaño y estabilidad es importante para el estudio de la fertilidad del suelo. Varias fracciones han sido definidas dependiendo de la severidad del tratamiento de separación empleado, y su proporción varía en función del uso de la tierra, vegetación y otros factores como clima, tipo de suelo y actividad microbiana que afectan el balance entre el ingreso de residuos vegetales y su descomposición (Christensen, 2001). Estas fracciones, según explican Cambardella y Elliot (1992), tienen diferentes velocidades de ciclado y esto se debe al grado de protección física del carbono orgánico (CO) dentro de micro-agregados como también a la protección química desde los procesos de humificación.

La fracción de CO con rápido ciclado es la que ejerce mayor aporte de nutrientes, ya que constituye la fuente más accesible de energía para la microbiota del suelo, responsable de los procesos involucrados en el ciclado de nutrientes (Whalen *et al.*, 2000). Esta fracción es la denominada materia orgánica particulada (MOP) y corresponde al CO de la fracción mineral entre 50 μm y 2 mm, la cual es sensible a los cambios inducidos por los sistemas de manejo (Cambardella y Elliot, 1992). La fracción con menos velocidad de ciclado, asociada a la fracción mineral del suelo inferior a 50 μm es la menos afectada y permanece más estable frente a diferentes prácticas agrícolas. La MOP puede ser utilizada como indicador temprano de efectos producidos por las rotaciones, labranzas y fertilización (Galantini y Suñer, 2008), ya que demuestra mayor sensibilidad en el corto plazo (Prados *et al.*, 2008), y por ello es considerada un indicador rápido del efecto del manejo sobre la calidad del suelo (Janzen *et al.*, 1998).

Como se dijo anteriormente, la labranza favorece la reducción del contenido de MO como consecuencia del aumento de la mineralización, disrupción de los agregados del suelo y la mayor aireación (Sainju *et al.*, 2006). En este sentido, numerosos trabajos han observado que los sistemas de labranzas conservacionistas incrementan la

MO del suelo respecto a los sistemas de labranza convencional (Apesteguía y Sereno, 2008; Lardone, 2009). Sin embargo, éste incremento de la MO en los planteos de siembra directa se concentra en los primeros centímetros del suelo (Galantini *et al.*, 2004; Álvarez y Steinbach, 2006; Sainju *et al.*, 2006), además de producirse procesos de compactación superficial debidos a la mínima remoción y tráfico continuo de elevado peso (Balbuena *et al.*, 2009). Para prevenir esta problemática, la introducción de una labor de descompactación surge como alternativa de manejo mecánico que de acuerdo a Melero *et al.*, (2011), ejerce mínimo disturbio sobre la MO acumulada.

La correcta elección de una combinación de rotaciones y labranzas puede ser una herramienta para reducir los riesgos de degradación del suelo y para maximizar la producción con el mínimo compromiso para el medio ambiente (Eiza *et al.*, 2002).

Por lo antes dicho, el desafío que se plantea para el presente trabajo, es determinar el efecto de diferentes técnicas y estrategias de manejo del suelo a través de la labranza, sobre la MO en un sistema agrícola, en una situación representativa del sudoeste de la provincia de Córdoba. También se realizará una comparación con lo ocurrido en una rotación agrícola-ganadera ubicada en el mismo sitio experimental, cuyos datos se obtendrán de un trabajo final que se realizará de manera simultánea a éste.

1.2. Antecedentes

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 influyen sobre dichos atributos. La labranza destruye los macroagregados por la acción física directa y produce pérdida de la estabilidad de los mismos debido a la reducción de los contenidos de MO por exposición de fracciones que se hallaban protegidas dentro de sus estructuras (Eiza *et al.*, 2004).

Según pudieron determinar Diovisalvi *et al.*, (2006), los sistemas de labranza alteran la dinámica de la MO del suelo. La labranza convencional (LC) crea condiciones para que se produzca la descomposición de los residuos de cosecha y de la MO nativa. Bajo siembra directa (SD) ocurre lo contrario, produciéndose una acumulación de la MO o una reducción de la tasa de pérdida en los primeros centímetros del perfil. Por otro lado, si bien la merma de la MO es directamente proporcional a la agresividad de la labranza, depende además del retorno de carbono del suelo, ya que cuanto mayor es la cantidad de carbono devuelto, menores son sus tasas de caída.

En correspondencia con lo descripto, Minoldo *et al.*, (2004), afirmaron que los cambios de corto plazo (1-5 años) inducidos por las prácticas de manejo, son difíciles de detectar debido que existe una gran cantidad de MO relativamente estable. Sin embargo, aquellas fracciones de naturaleza más dinámica, pueden reflejar rápidamente los cambios en la provisión de carbono y/o condiciones que afectan la mineralización. Estas fracciones, tales como el carbono de la biomasa microbiana y el carbono lábil o particulado, han sido propuestas como indicadores sensibles y precoces del efecto de los sistemas de producción sobre la calidad de la MO del suelo.

Estudios realizados por Eiza *et al.* (2002), demostraron que el nivel de MO en el suelo es afectado por la LC, bajo la cual se reduce significativamente al cabo de diez años consecutivos. En nuestro país, Galantini e Iglesias (2007) al analizar cuarenta ensayos en los que se evaluó el efecto de los sistemas de labranza, encontraron que en promedio el contenido de CO de los suelos en SD era un 17.2% más alto que el de los suelos en LC.

Por otra parte, Galantini *et al.* (2004), expresaron que el incremento de la producción de residuos junto con la reducción de las labranzas permiten mantener y/o aumentar el nivel de MO del suelo. El efecto más notorio al disminuir las labranzas es la redistribución y estratificación de la MO dentro del perfil. Con respecto al carbono

orgánico particulado (COP), la LC mostró una distribución homogénea en los primeros centímetros de suelo, como consecuencia de la incorporación y mezclado de los residuos. En la medida que el laboreo del suelo fue menor se observó una estratificación cada vez mayor del COP. Las diferencias estadísticas se localizaron en el primer centímetro, donde la SD presentó los valores más elevados. La cantidad relativa de COP aumentó en el sentido LC, labranza vertical y SD.

En otra situación, Galantini *et al.* (2012) en un Argiudol típico del partido de Tornquist (Buenos Aires), tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades, a los 18, 24 y 25 años de mantener dos sistemas de labranza: SD y LC, y realizaron un fraccionamiento físico por tamaño de partícula. El CO en el tiempo fue estable en SD (de 49,0 a 49,7 Mg CO ha⁻¹) y decreciente en LC (de 42,8 a 40,9 Mg CO ha⁻¹). En promedio para las tres fechas de muestreo, el contenido de CO en la profundidad 0-2 cm fue 16,8% más alto en SD que en LC.

Por su parte, Eiza *et al.*, (2004), realizaron una comparación entre sistemas de LC y SD y no encontraron diferencias significativas en el CO asociado a la fracción mineral y a la particulada, excepto para la profundidad de 0-5 cm que si hubo diferencias en el CO de la fracción particulada. También incluyeron en sus tratamientos la rotación con pasturas y observaron que en una pastura de 3 años de antigüedad y como antecesor 3 años de agricultura, en los primeros 20 cm de suelo se pudieron alcanzar los valores de CO total similares a los presentes en pastura permanente, independientemente del sistema de labranza empleado durante el periodo agrícola.

En una investigación de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, en el establecimiento “Pozo del Carril”, donde se realizó el presente proyecto, luego de 16 años de estudios continuos del efecto de la rotación, las labranzas, el pastoreo de los rastrojos y la fertilización sobre un Hapludol típico franco arenoso muy fino, se pudo determinar que al quinto año de evaluación, el mayor contenido de carbono se observó en SD y labranza reducida no pastoreada, y el menor en LC con pastoreo (Bricchi *et al.*, 2004). La evaluación temporal de las fracciones de la MO indica que a los ocho años de ensayo, las labranzas conservacionistas sin pastoreo comparadas con LC, presentaron una tendencia al incremento de la fracción liviana y pesada de la MO, en la parte superficial del perfil cultural, indicando así una tendencia al mejoramiento en las primeras y a la degradación en la LC (Verri, 2004). Luego de 13 años de iniciado el ensayo, Esposito *et al.* (2008) determinaron que el contenido de CO liviano fue superior en SD en relación con las restantes labranzas. Algo similar encontró Massobrio (2012) en un ensayo realizado en el mismo campo experimental que la anterior cita, donde la MO

estabilizada fue significativamente mayor en los sistemas de labranzas conservacionistas respecto de la LC, como así también ésta última, registró un menor contenido de MOT debido a una mayor remoción del suelo. Natali (2013) encontró similares resultados en el mismo sitio de ensayo: sistemas de labranza con mínima remoción del suelo como es el caso de la siembra directa y labranza reducida permiten incrementar los niveles de materia orgánica total y estabilizada, esencialmente en los primeros centímetros de profundidad, respecto a la labranza convencional.

1.3. Objetivo general

Evaluar el efecto acumulado de 18 años de una rotación agrícola pura, con distintos sistemas de labranzas sobre el contenido de MO total y sus fracciones en la capa superficial de un Hapludol típico franco arenoso muy fino del sur oeste de Córdoba.

1.4. Objetivos específicos

- Determinar el contenido de MOT y de las fracciones, lábil y estabilizada, de la capa superficial de un suelo con uso agrícola durante 18 años, con manejo diferenciado de labranzas (LC, LR Y SD) y niveles de fertilización (fertilizado y no fertilizado).
- Comparar los valores obtenidos de MO con una situación de similares características correspondiente a un suelo bajo uso agrícola-ganadero con implantación de pasturas y con las mismas alternativas de laboreo desde hace 18 años, que se obtendrán en el marco de otro proyecto de trabajo final de grado.
- Comparar los valores de MO obtenidos y compararlos con una situación de mínimo disturbio.
- En base a los datos del presente trabajo, y los obtenidos de trabajos anteriores, realizar un balance de MO del suelo.

MATERIALES Y METODOS

2.1. Caracterización de área de estudio

La experiencia se desarrolló en el campo de la Docencia y Experimentación (CAMDOCEX) de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la universidad Nacional de Río Cuarto “Pozo del Carril”, ubicado en las cercanías del paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto (32°58'20" Sur, 64°39'19" Oeste) (Figura A, anexo) . El ensayo está ubicado en la unidad ambiental de la llanura subhúmeda bien drenada (Cantero *et al.*, 1998).

El clima es templado subhúmedo, con régimen de precipitaciones Monzónico (80% de las lluvias concentradas en el período comprendido entre octubre y abril) y con una precipitación media anual de 850 mm (Becerra *et al.*, 1999). El balance hídrico presenta un déficit entre 50 y 300 mm/año de acuerdo al régimen de lluvia. Las principales adversidades climáticas son: heladas extemporáneas, granizo e intensidad de las precipitaciones (Degioanni, 1998).

El área bajo estudio se caracteriza por presentar un relieve complejo, de moderado a fuertemente ondulado, con lomadas pronunciadas, cuya longitud oscila entre los 3.000 y los 6.000 metros, con gradiente del 2% al 3%. Localmente se presentan pendiente más cortas pero de mayor gradiente (Becker *et al.*, 2001). Los suelos son bien a algo excesivamente drenados, profundos (+ de 100 cm), y de elevada susceptibilidad a la erosión hídrica. El material originario está constituido principalmente por sedimentos de tipo loésicos, franco-arenosos muy finos de la formación La Invernada (Cantú, 1992), donde predominan Hapludoles típicos de textura franco arenosa muy fina (Cantero *et al.*, 1984).

2.2. Descripción de los tratamientos y diseño experimental

El programa de investigación sobre el cual se llevó a cabo este trabajo se inició en agosto de 1994. El sistema agrícola comenzó en la campaña 1994/95 con la rotación maíz-girasol, siendo reemplazado este último cultivo por soja a partir del 2003. Desde la campaña 2007/08 a la fecha, se adoptó la rotación maíz-soja.

Se plantearon dos tipos de usos: agrícola (Ag), agrícola-ganadero (A-G); tres sistemas de labranzas: siembra directa (SD), labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC); dos dosis de fertilización con nitrógeno y fosforo: Fertilizado (F) y no fertilizado (NF).

Las labores mecánicas realizadas difieren según sea el sistema de labranza. La condición de suelo en las cuales son realizadas es en estado friable y su antelación en el tiempo depende de las condiciones de humedad del suelo y de los objetivos perseguidos por las mismas.

En la parcela de SD no se realizó laboreo del suelo, solamente se realiza la siembra en plano con una sembradora marca Bertini, Mod. 10000 D, neumática, de siete surcos a 0,70 m entre líneas, adaptada para tal fin. El kit de siembra está constituido por: una cuchilla de microlabranza (corta labranza), posteriormente un sistema de doble disco (abre surco sembrador y fertilizador en la línea de siembra) y luego las ruedas dentadas tapadoras del surco. El control de la profundidad de la semilla se realiza a través de una leva central graduada. Para poder realizar la fertilización al costado de la línea de siembra, debe agregarse un doble disco fertilizador sujeto al chasis y cuchillas de microlabranza (corta rastrojo) colocadas delante en la barra porta cuchillas.

El tratamiento de LR consiste en dos labores de arado cincel hasta los 20 cm de profundidad en el momento de barbecho y a continuación un repaso con rastra de disco de tiro excéntrico con el mínimo cruce de los cuerpos, para luego realizar la siembra con la herramienta descrita anteriormente. El arado de cincel realiza un corte vertical en el suelo dejando aproximadamente el 70% de los residuos en superficie, provocado por los arcos ó cinceles ubicados a una distancia de 0,35 m, que al momento del trabajo efectúan una acción “vibratoria” anterior-posterior, que es en definitiva la que logra una buena roturación del suelo. A partir del 2013 se sustituyó esta labranza por una labor de descompactación con subsolador alado, similar a la reja cero (Cisneros *et al.*,1998).

En el caso de la LC se realiza una labor de arado de reja y vertedera en el momento del barbecho, con un repaso de rastra de disco de tiro excéntrico. Luego se realiza la siembra con la herramienta mencionada anteriormente. A partir del 2013 se sustituyó por una labor con cincel más una labor con rastra de discos antes de la siembra.

En cuanto a la fertilización, aquella realizada al momento de la siembra es ubicada al costado y por debajo de la línea del cultivo, para todos los tratamientos. Para la fertilización nitrogenada, se aplica urea entre la línea del cultivo. Las dosis aplicadas son determinadas en función de los rendimientos potenciales de los cultivos y de las condiciones de suelo. La fertilización fosfatada se realiza con el objetivo de incrementar los niveles de fósforo en el suelo, es decir una dosis que cubra los requerimientos del cultivo y permita acumular un remanente y de esta manera ir aumentando paulatinamente el contenido de fósforo.

El presente trabajo se realizó sobre la rotación agrícola pura con producción de maíz y soja, sobre los tratamientos fertilizados, siguiendo los tres sistemas de labranza planteados: SD, LR y LC.

Los datos de MO obtenido en los tratamientos, se contrastaron con los registrados en una situación de mínimo disturbio (MD), correspondiente a un bosque de Eucaliptus, Pinos y otras especies invasoras, en donde no se registraron intervenciones antrópicas en los últimos 30 años (Figura 2).

Finalmente, para realizar la comparación entre la rotación agrícola pura sobre la cual se desarrollará el trabajo y la rotación agrícola-ganadera, que incluye una pastura en base alfalfa cada cuatro ciclos agrícolas con maíz-soja, se utilizaron los datos obtenidos del trabajo que se realizó en simultáneo por el alumno *Ramassa Mariano Raúl*.

El diseño experimental del ensayo se dispone en bloques completamente aleatorios, con cuatro repeticiones espaciales por cada tratamiento. (Figura 1).

	Labranza Convencional	Labranza Reducida	Siembra Directa
Fertilizado			
No Fertilizado			

Figura 1: Esquema de los tratamientos de ensayo.



Figura 2. Estado de la situación de Mínimo Disturbio (MD).

2.3. Evaluaciones

2.3.1. Muestreo

En marzo del 2013, de cada tratamiento y repetición se obtuvo una muestra, compuestas por siete submuestras tomadas al azar, de 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad, previo a la realización de las labores para la campaña agrícola 2013 – 2014. Las muestras fueron secadas al aire y acondicionadas en laboratorio, para su posterior análisis.

2.3.2. Determinaciones

2.3.3. Fraccionamiento físico de la materia orgánica

Este procedimiento se realizó siguiendo el método adaptado de Galantini *et al.* (1994). La técnica consiste en el fraccionamiento físico por tamaño de partícula. Para ello se colocan 30 gr de suelo seco y tamizado (2 mm), en un frasco con 60 ml de “Calgon” (Hexametáfosfato de sodio 0,5% p/v) y 10 bolitas de vidrio a agitar vigorosamente durante una hora para desintegrar los agregados. Posteriormente se separa la muestra con dos tamices, de 53 μm y de 100 μm de abertura de malla, lavando con agua destilada. Se recogen en forma separada tres fracciones y se secan en estufa a 50°C. Las fracciones de suelo presentan características diferentes: la materia orgánica fina (Mof), menor a 53 μm donde se encuentra la arcilla, limo y la MO humificada o estabilizada unida a la fracción mineral, la materia orgánica media (Mom), entre 53 μm y 100 μm y la materia orgánica gruesa (Mog), entre 100 μm -2000 μm que comprende, junto a la fracción media, la MO lábil, joven o particulada asociada a la fracción arena ubicada entre los 53 μm y 2000 μm .

2.3.4. Determinación de la materia orgánica

Se determinó el contenido de materia orgánica total (MOT) en las dos profundidades y de las 3 fracciones mencionadas precedentemente, solo para la profundidad de 0-10 cm, siguiendo el método de Walkley y Black (Nelson and Sommers, 1982). Para ello se colocó 0,5 gr de suelo de la muestra en Erlenmeyer, y se agregó 5 ml de Dicromato de potasio ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$). Luego se colocaron 10 ml de ácido sulfúrico, se agitó suavemente y se dejó reposar.

Para la valoración por retroceso, se diluyó la disolución agregando agua destilada hasta completar 100 ml. De allí se agregaron 4 gotas de indicador N-fenilnitrilo, y se agitó. Finalmente se valoró esa disolución con Sal de Mohr 0,1 N, hasta el viraje de color.

2.3.4.1. Cálculos de materia orgánica

Los resultados se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$\%MO = ml\ Cr_2O_7K_2 \times (1 - T/S) \times 1,34$$

Donde: T: ml de disolución ferrosa gastados en la valoración de la muestra

S: ml de disolución ferrosa gastados en la valoración del ensayo en blanco

Para 0,5 g de suelo el factor 1,34 se deduce de:

$$Normalidad\ Cr_2O_7K_2 \times 12/4000 \times 1,72/0,77 \times 100/0,5 = 1,34$$

Donde:

1,72: factor de transformación de carbono orgánico en materia orgánica.

12/4000: peso en meq del C.

0,77: factor de recuperación del método, está comprobado que el 77% del carbono se oxida con el Dicromato.

Balance de la MO según el Método de Guerif

Para llevar adelante el tercer objetivo específico se utilizó el método de balance de MO propuesto por Guerif (1945, citado por Apezteguía, 2006). Es un modelo sencillo que utiliza dos fracciones de MO: residuo y MO humificada, y dos factores de transformación: coeficiente de humificación y coeficiente de mineralización.

$$MO_{final} = MO_{inicial} + (MO_{aportada} \times fh) - (MO_{inicial} \times fm)$$

Siendo: *MO_{final}*: materia orgánica final. *MO_{inicial}*: materia orgánica inicial. *MO_{aportada}*: materia orgánica aportada. *fh*: factor de humificación de los residuos, que presenta la proporción de los mismos que quedan en el suelo después de un año de incorporados. *fm*: factor de mineralización de la materia orgánica del suelo, que representa la proporción de la misma que es mineralizada en un año.

Para ello se utilizó la siguiente información:

- Rendimiento de los cultivos, que a través del índice de cosecha permite estimar la biomasa aérea aportada, a la que se le agregó un 20% ó 30% de biomasa correspondiente al aporte de raíces (Álvarez, 2006).
- Los coeficientes de Humificación para cada cultivo se utilizaron según lo propuesto por Soltner (1990), cereales, parte aérea 0,12, raíz 0,15. Leguminosas, parte aérea 0,12, raíz 0,20; y los coeficiente de mineralización para los sistemas de labranza, se estimaron considerando una oscilación según el grado de remoción que produce la labranza, tomando como referencia un valor de 3,5% para suelo franco arenoso (Lucas y Vitosh, 1978). Se utilizaron además datos de trabajos anteriores realizados en los mismos tratamientos y ensayo.

Para expresar los resultados en Kg ha^{-1} , se utilizaron valores de densidad aparente medidos de 0-10 cm y en cada sistema de labranza, obtenidos por otros investigadores del proyecto.¹

2.4. Análisis estadístico de los resultados

Los datos fueron analizados mediante ANOVA y test de comparación de medias, comparando los tratamientos de labranza y fertilización a diferente profundidad, y entre las dos rotaciones analizadas mediante el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011).

¹ Datos no publicados.

RESULTADO Y DISCUSION

3.1 Efecto de los sistemas de labranza sobre el contenido de materia orgánica total y sus fracciones Fina, Media y Gruesa.

El contenido de MOT no manifestó diferencias significativas entre los sistemas de labranza. En la Tabla 1 se presentan los datos expresados en % (g/100g suelo) de suelo, donde se observa que en ninguna de las dos profundidades hay diferencias significativas entre las labranzas, arrojando valores, en la profundidad de 0 – 10 cm, de 1,62%, 1,70% y 1,71% en LC, SD Y LR, respectivamente; en la profundidad de 10 – 20 cm se observa un comportamiento similar con valores de 1,16%, 1,24% y 1,28% en SD, LC Y LR, respectivamente.

Tabla 1. Contenido de materia orgánica total (MOT) de las capas superficiales del suelo manejado con diferentes sistemas de labranza.

Materia Orgánica Total (%)		
Profundidad (cm)		
Tratamientos	0 a 10	10 a 20
Labranza Reducida	1,71 a	1,28 a
Siembra Directa	1,70 a	1,16 a
Labranza Convencional	1,62 a	1,24 a
p - Valor	0,3901	0,4134

Para cada profundidad, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según el test de comparación de medias DGC ($p \leq 0,05$).

Estos resultados evidencian que no hay una diferencia entre las labranzas en cuanto al contenido de MOT analizado, tanto en la profundidad de 0-10 cm (figura 1, Anexo), como en los 10-20 cm de suelo (figura 2, Anexo). Como generalidad se presupone que la SD genera una acumulación progresiva de MO en superficie y que los procesos de mineralización se dan más lentos que en LC, por lo que era de esperar que en este análisis se encontraran diferencias significativas. Sin embargo en un trabajo realizado en establecimiento agrícola – ganadero en el sur de San Luis perteneciente a la ecoregión bosque de caldén, Nieto *et al.*, (2015), muestra que no existió diferencias entre SD y LC en cuanto al contenido de MO, al igual que lo expresado por Puget y Lal, (2005) en un ensayo realizado en un molisol en Ohio afectado por la labranza y el uso de la tierra. Fabrizio *et al.*, (2003) obtuvo resultados similares en un ensayo sobre molisoles en Argentina donde analizó fracciones de carbono y nitrógeno en suelos degradados

frente a los no degradados. Por su parte Arzeno *et al.* (2004), quienes evaluaron sobre un Ustocrepte údico cuatro sistemas de labranza (labranza convencional, labranza mínima vertical, labranza mínima con disco y siembra directa), observaron una tendencia al incremento del nivel de materia orgánica, en la medida que los sistemas de labranza fueron menos agresivos (menos laboreo y más cobertura) en el largo plazo. Fue así que Verri (2004) en su trabajo, concluyó que hay una tendencia creciente en el contenido de Carbono orgánico total y particulado hacia los sistemas de labranza conservacionistas. Por su parte Eiza *et al.*, (2005), observaron resultados similares en un ensayo de larga duración en Balcarce, el cual se encuentra sobre un complejo de Argiudol típico y Paleudol petrocálcico de textura franca. Dicho ensayo combina diversas rotaciones mixtas (cultivos y pasturas) y dos sistemas de labranza (siembra directa y labranza convencional).

Los menores contenidos de materia orgánica en los sistemas de laboreos agresivos, como la labranza convencional, estarían explicados por las condiciones ideales de aireación, contacto sustrato-suelo y exposición de la materia orgánica protegida en los agregados, que producen estos sistemas, lo cual genera una rápida descomposición de los residuos de cosecha y de la MO nativa (Domínguez *et al.*, 2004). En los laboreos menos agresivos como siembra directa, Cabrera *et al.*, (2012) sostienen que se establece un equilibrio dado por el menor ingreso de residuos al interior del suelo, siendo esto compensado por una menor tasa de mineralización en el suelo no removido.

Esto concuerda con lo analizado en laboratorio ya que no se observaron diferencias significativas en las distintas labranzas.

El contenido de MOT en los diferentes tratamientos de fertilización (Tabla 2) mostró diferencias solo en la profundidad de 0-10 cm, mientras que en la profundidad de 10-20 cm no hubo diferencias significativas entre tratamientos (figura 4, Anexo). La diferencia observada en el espesor de 0-10 cm. (figura 3, Anexo), es a favor del tratamiento fertilizado arrojando un valor medio de 1,78%, en contraparte del tratamiento no fertilizado donde se observó un valor medio de MO de 1,57%.

Tabla 2. Contenido de materia orgánica total de las capas superficiales del suelo manejado con diferentes tratamientos de fertilización.

Materia Orgánica Total (%)		
Profundidad (cm)		
Tratamientos	0 a 10	10 a 20
Fertilizado	1,78 b	1,19 a
No Fertilizado	1,57 a	1,27 a
p - Valor	0,0026	0,2993

Para cada profundidad, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según el test de comparación de medias DGC ($p \leq 0,05$).

Lo mostrado por la Tabla 2 puede evidenciarse ya que un cultivo fertilizado aporta mayor cantidad de residuos vegetales en los primeros centímetros del suelo. Este aporte varía en volumen y calidad según los cultivos y las prácticas de manejo, especialmente aquellas que permiten incrementar la producción de biomasa como lo es la fertilización (Studdert y Echeverría, 2000). En este sentido, cabe considerar que la Materia Orgánica del suelo ha sido definida como “la fracción orgánica del suelo, excluidos los residuos animales y vegetales aun no descompuestos”. Representa un sistema complejo de sustancias cuya dinámica es gobernada por el aporte de residuos orgánicos de diversa naturaleza y por la transformación continua a través de factores biológicos, químicos y físicos. De esta forma, se encuentra constituida por una variedad importante de compuestos de complejidad variable (Galantini *et al.*, 2004).

En el contenido a la MOT se puede observar (tabla 3) que sólo hubo interacción significativa entre labranza y fertilización, en cuanto al contenido de materia orgánica, en la profundidad de 0-10 cm., mientras que en la profundidad de 10-20 cm no hubo interacción.

Tabla 3. Contenido de materia orgánica total de las capas superficiales (0-10 y 10-20 cm) del suelo, interacción entre labranzas con diferentes tratamientos de fertilización.

Materia Orgánica Total (%)		
Labranza x Tratamiento	Profundidad (cm)	
	0 a 10	10 a 20
SD/NF	1,46 a	1,24 a
LC/NF	1,53 a	1,3 a
LR/F	1,71 a	1,3 a
LC/F	1,71 a	1,19 a
LR/NF	1,72 a	1,26 a
SD/F	1,94 b	1,08 a
p - Valor	0,0139	0,4925

Para cada profundidad, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según el test de comparación de medias DGC ($p \leq 0,05$).

La diferencia observada en la profundidad de 0-10 cm es a favor de la interacción SD/F, esto puede estar dado porque bajo siembra directa los procesos de mineralización de la materia orgánica son más lentos y el aporte de biomasa por residuos vegetales se incrementa, respecto a la situación no fertilizada. Hernández- Hernández y López Hernández, (2002), establecen que la remoción del suelo promueve los procesos de descomposición de la materia orgánica, aumentando las pérdidas por mineralización. Aparte de que el rastrojo en superficie es un aporte constante a la materia orgánica del suelo, la fertilización aumenta la biomasa del cultivo aportando más residuos al suelo. Esto concuerda con lo expuesto por Galantini *et al.*, (2008), donde en siembra directa (SD), la utilización de cultivos de cobertura, rotación de cultivos y fertilización maximizan la cantidad de residuos que quedan en la superficie, practicas comúnmente utilizadas para mantener o aumentar la MO del suelo. Muchos investigadores en la región pampeana evaluaron el efecto de la siembra directa, a largo plazo, y encontraron que los contenidos de materia orgánica mejoraron respecto de la labranza convencional (Galantini *et al.*, 2007, Eiza *et al.*, 2006).

Como se observa en la “figura 6” hay una diferencia media en el contenido de Materia Orgánica entre las dos profundidades analizadas, donde en el espesor de 0-10 cm hay un valor medio de 0,45% de MO mayor respecto del espesor de 10-20 cm. Como establece Unger, (1997), la no-remoción del suelo y manejo superficial, en siembra directa, de residuos aumentaría los contenidos de CO en los primeros centímetros de suelo.

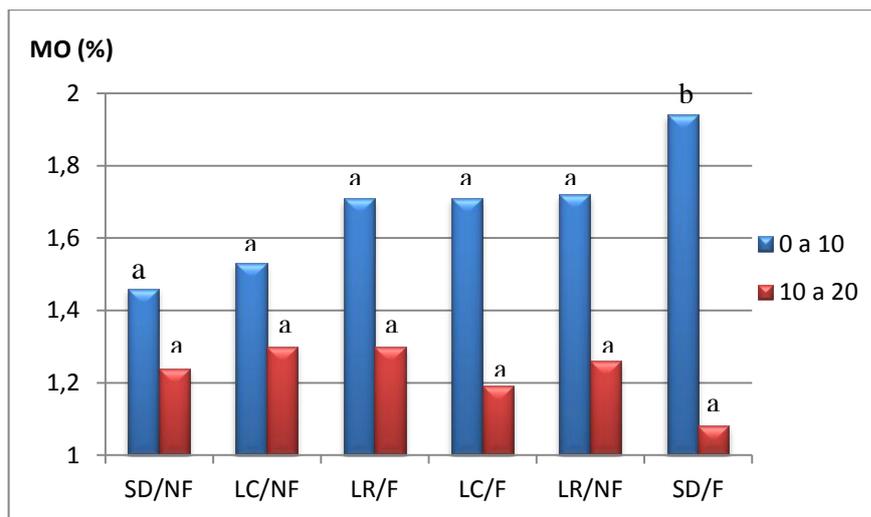


Figura 6: Comparación del contenido de Materia Orgánica Total de las dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) de suelo e interacciones entre sistemas de labranza y tratamientos de fertilización

Otro aspecto que surge claramente de la observación de la figura 6 es el proceso de estratificación marcado de la materia orgánica, que produce la SD, especialmente en la situación fertilizada. En los primeros 10 cm de suelo hay un 44% más de MO que de 10-20 cm, mientras que en el resto de los sistemas de labranza, esa diferencia es menor (24% y 30,4% en LR y LC fertilizados, respectivamente). Este proceso de estratificación producida por el manejo ha sido reportado por Álvarez y Steinbach (2010).

3.1.1. Comparación en el contenido de Materia Orgánica de la fracción “Fina” del suelo (0-53 μ), en la profundidad de 0-10 cm, entre las diferentes labranzas y tratamientos de fertilización

En la fracción fina del espesor de 0-10 cm, se observan diferencias significativas en cuanto al contenido de MO entre labranzas a favor de la Labranza Reducida con un valor medio de 1,06% de MO respecto de la Siembra Directa y Labranza Convencional con valores medios de 0,97% y 0,92%, respectivamente (Tabla 4).

En cuanto a la fertilización se encontraron diferencias significativas a favor de tratamiento fertilizado, el cual arrojó un valor medio de 1,04% de MO respecto del tratamiento no fertilizado, con valor medio de 0,92% de MO (Tabla 5).

Tomando estos valores se analizó la interacción entre los diferentes sistemas de labranza y los tratamientos de fertilización, donde a través el test de comparación de medias pudo observarse diferencias significativas explicado principalmente por la fertilización, la cual tuvo mayor peso, donde las interacciones SD/F y LR/F obtuvieron los mayores contenidos de MO, con 1,06% y 1,14%, respectivamente (Tabla 6). (ver anexo: Gráficos de la fracciones de materia orgánica fina, media y gruesa).

Tabla 4. Contenido de materia orgánica “Fina” de las capas superficiales (0-10 cm) del suelo manejado con diferentes sistemas de labranza.

Materia Orgánica Fina (%)	
Labranzas	MO (%)
Labranza convencional	0,92 a
Siembra Directa	0,97 a
Labranza reducida	1,06 b
p - Valor	0,0007

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p>0,05$).

Tabla 5. Contenido de materia orgánica “Fina” de las capas superficiales (0-10 cm) del suelo manejado con diferentes tratamientos de fertilización.

Materia Orgánica Fina (%)	
Tratamientos	MO (%)
No Fertilizado	0,92 a
Fertilizado	1,04 b
p - Valor	0,0001

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p>0,05$).

Tabla 6. Contenido de materia orgánica “Fina” de las capas superficiales (0-10 cm) del suelo, interacción entre labranzas con diferentes tratamientos de fertilización.

Materia Orgánica Fina (%)	
Labranza x Tratamiento	MO (%)
SD/NF	0,89 a
LC/NF	0,92 a
LC/F	0,93 a
LR/NF	0,97 a
SD/F	1,06 b
LR/F	1,14 b
p - Valor	0,0219

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p>0,05$).

De acuerdo a los datos analizados de la fracción Fina del suelo en los primeros 10 cm de profundidad, refiriéndonos a las labranzas, se puede observar que el sistema que generó

mayor contenido de Materia Orgánica Fina (MOF) fue la Labranza Reducida respecto de la Siembra Directa y la Labranza Convencional (Tabla 4). Según Andriulo *et al.* (2008) plantean que hay un equilibrio dado por el menor ingreso de residuos al interior del suelo en la siembra directa respecto a la labranza reducida, siendo esto compensado por una menor tasa de mineralización en el suelo no removido. Por lo que en el caso de la LR hubo un mayor ingreso de residuos al suelo con menor mineralización que hicieron que la misma aumente el contenido de MO.

Analizando la interacción entre sistemas de labranzas y tratamientos de fertilización se puede observar que hubo diferencias significativas, poniendo a la cabeza las relaciones SD/F y LR/F, donde, como se mencionó anteriormente, un cultivo fertilizado genera mayor rendimiento, mas biomasa y mayor aporte de residuos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Varvel (1994), quien concluyó que a través de la combinación cuidadosa de prácticas de manejo se puede mantener niveles sustentables de MO. De la misma manera esto coincide con lo aportado por Domínguez (2006) quien demostró que prácticas como el riego y la fertilización permitirían incrementar los rendimientos y el aporte de residuos, aún en cultivos que normalmente producen bajos aportes.

3.1.2. Comparación en el contenido de Materia Orgánica de la fracción “Media” del suelo (53-100 μ), en la profundidad de 0-10 cm, entre las diferentes labranzas y tratamientos de fertilización

Como puede observarse en los valores de las Tablas 7, 8 y 9, en la fracción media (53-100 μ) del espesor de 0-10 cm el análisis estadístico no arrojó diferencias estadísticamente significativas tanto en los diferentes tratamientos de labranza, de fertilización, como tampoco en la interacción entre ambos.

Tabla 7. Contenido de materia orgánica “Media” de las capas superficiales (0-10 cm) del suelo manejado con diferentes sistemas de labranza.

Materia Orgánica Media (%)	
Labranzas	MO (%)
Labranza convencional	0,44 a
Siembra directa	0,45 a
Labranza reducida	0,45 a
p - Valor	0,9736

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p > 0,05$).

Tabla 8. Contenido de materia orgánica “Media” de las capas superficiales (0-10 cm) del suelo manejado con diferentes tratamientos de fertilización.

Materia Orgánica Media (%)	
Tratamientos	MO (%)
Fertilizado	0,44 a
No Fertilizado	0,46 a
p - Valor	0,5930

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p > 0,05$).

Tabla 9. Contenido de materia orgánica “Media” de las capas superficiales (0-10 cm) del suelo, interacción entre labranzas con diferentes tratamientos de fertilización.

Materia Orgánica Media (%)	
Labranza x Tratamiento	MO (%)
LR/F	0,4 a
SD/NF	0,41 a
LC/F	0,42 a
LC/NF	0,46 a
SD/F	0,49 a
LR/NF	0,51 a
p - Valor	0,2398

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p > 0,05$).

3.1.3. Comparación en el contenido de Materia Orgánica de la fracción “Gruesa” del suelo (100-2000 μ), en la profundidad de 0-10 cm, entre las diferentes labranzas y tratamientos de fertilización.

La fracción Gruesa de la MO, del espesor de suelo de 0-10 cm, arrojó valores con diferencias estadísticamente significativas sólo para el factor fertilización, como en casi todas las fracciones anteriormente analizadas. El factor “fertilizado”, en la fracción gruesa, tuvo un valor medio de 0,31% de MO respecto al “no fertilizado” con 0,26% de MO (Tabla 11).

En cuanto a los diferentes sistemas de labranza y sus interacciones con los tratamientos de fertilización, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de MOg (Tabla 10) (Tabla 12).

Tabla 10. *Contenido de materia orgánica “Gruesa” de las capas superficiales (0-10 cm) del suelo manejado con diferentes sistemas de labranza.*

Materia Orgánica Gruesa (%)	
Labranzas	MO (%)
Siembra directa	0,26 a
Labranza convencional	0,31 a
Labranza reducida	0,34 a
p - Valor	0,1023

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p > 0,05$).

Tabla 11. *Contenido de materia orgánica “Gruesa” de las capas superficiales (0-10 cm) del suelo manejado con diferentes tratamientos de fertilización.*

Materia Orgánica Gruesa (%)	
Tratamientos	MO (%)
No Fertilizado	0,26 a
Fertilizado	0,31 b
p - Valor	0,0115

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p > 0,05$).

Tabla 12. Contenido de materia orgánica “Gruesa” de las capas superficiales (0-10 cm) del suelo, interacción entre labranzas con diferentes tratamientos de fertilización.

Materia Orgánica Gruesa (%)	
Labranza x Tratamiento	MO%
SD/NF	0,25 a
LC/NF	0,25 a
SD/F	0,28 a
LR/NF	0,3 a
LC/F	0,37 a
LR/F	0,38 a
p - Valor	0,4464

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p > 0,05$).

Tabla 13. Análisis de proporciones de cada fracción en el total.

	Fertilizado			No Fertilizado		
	SD	LR	LC	SD	LR	LC
MO_f	1,06 (57,9%)	1,14 (59%)	0,93 (54%)	0,89 (57%)	0,97 (54,5%)	0,92 (56,4%)
MO_m	0,49 (26,8%)	0,41 (21%)	0,42 (24%)	0,41 (26%)	0,51 (28,6%)	0,46 (28,2%)
MO_g	0,28 (15,3%)	0,38 (19%)	0,37 (21%)	0,25 (16,1%)	0,30 (16,8%)	0,25 (15,3%)
Total	1,83	1,93	1,72	1,55	1,78	1,63

Números entre paréntesis corresponden a proporciones de cada fracción en el total.

Alrededor del 55 % (56,9 % fertilizados y 55,9 % no fertilizados) de la MO total corresponde a la fracción fina, el 23,9 % y 27,6 % corresponde la fracción media para tratamientos fertilizados y no fertilizados respectivamente, mientras que el 18,4 % y el 16,06 % corresponden a la MO gruesa de condiciones fertilizadas y no fertilizadas, respectivamente.

3.2. Comparación de los contenidos de Materia Orgánica de la rotación agrícola con una situación de mínimo disturbio (MD).

Se puede observar analizando la Tabla 14, que los sistemas de labranza para la implantación de los cultivos han disminuido de manera considerable los niveles de MO con

respecto a la situación con la que se presupone que partieron. Estos resultados son similares a los explicados por Bongiovanni *et al.* (2000), quienes compararon el contenido de MOT de un Haplustol típico franco arenoso, ubicado en el área central de la provincia de Córdoba, de una situación no disturbada correspondiente al monte natural, con otra disturbada donde el suelo era cultivado desde hace aproximadamente 40 años. Concluyeron que el CO total disminuyó en casi tres veces, desde 2,82% en el suelo no disturbado a 1,07% en el disturbado.

En este caso, se encontraron diferencias significativas en el contenido de MOT en ambas profundidades 0-10 cm y 10-20 cm, entre todos los tratamientos respecto del Mínimo Disturbio (MD), lo mismo se observó en la distintas fracciones donde las diferencias fueron a favor de la situación MD (figura 14, Anexo), respecto de todos los tratamiento ya sea SD, LR y LC.

Tabla 14. Contenido de materia orgánica total (0-10 cm y 10-20 cm) y sus fracciones Fina, Media y Gruesa, de tres sistemas de labranza y una situación de mínimo disturbio (MD) para la profundidad de 0-10 cm.

Materia Orgánica %					
Tratamientos	Fracciones				
	MO fina	MO media	MO gruesa	MOT (0-10 cm)	MOT (10-20cm)
Pristino (MD)	2,85 b	1,61 b	1,87 b	6,12 b	4,23 b
SD	0,97 a	0,45 a	0,26 a	1,7 a	1,16 a
LR	1,06 a	0,45 a	0,34 a	1,71 a	1,28 a
LC	0,92 a	0,44 a	0,31 a	1,62 a	1,24 a

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p > 0,05$).

Con el propósito de realizar una comparación entre los tratamientos y la situación de MD, se observa para la MOT hasta los 10 cm de profundidad una disminución del 72,2%, 72% y 73,5% en los sistemas de labranza SD, LR y LC, respectivamente, con respecto a la situación de MD, en tanto que para la profundidad de 10-20 cm la disminución fue de un 72,6%, 69,7% y 70,7% en el contenido de materia orgánica para los tratamientos de SD, LR y LC, respectivamente. Un comportamiento similar evaluó Cabrera *et al.* (2012), donde el stock de carbono orgánico en los sistemas de labranza no mostró diferencias entre ellos, mientras que si respecto al sistema natural de referencia (MD) con una disminución del 25% (porcentaje menor respecto el presente trabajo) en ambas profundidades analizadas. Bongiovanni *et al.* (2000) también observaron en un ensayo en el que se comparaba una situación no disturbada de monte natural con otra disturbada con realización de cultivos por

más de 40 años, entre ellos maní, maíz, soja con labranzas convencionales, una disminución en el contenido de carbono orgánico en la capa superficial del suelo de casi tres veces, desde 2,82% en el suelo no disturbado a 1,07% en el suelo disturbado. Existen en suelos más degradados una menor proporción de compuestos orgánicos no descompuestos que en suelos de condiciones no intervenidas antropicamente (Galantini *et al.* 2004a)

El incremento de la actividad agrícola produce cambios en la condición original del suelo a medida que transcurre el tiempo, dado que la puesta de un cultivo implica una aceleración de la mineralización y una disminución exponencial en el contenido de MO (Rasmussen y Collins, 1991, citados por Martínez Uncal *et al.*, 2008). Esta disminución en los contenidos de materia orgánica, no solo afecta a esta propiedad química como tal, sino también a la fertilidad del suelo y produce modificaciones en otras propiedades físicas de los mismos. Tomando como ejemplo una situación de Monte, el horizonte superficial, el cual está en contacto con la broza, presenta las mejores condiciones físicas, evidenciadas por los bajos valores de densidad aparente y muy elevada porosidad. Eso hace también que sus valores de impedancia mecánica sean muy bajos y se genera un ambiente muy apropiado para la infiltración, circulación y almacenamiento del agua (Parera, 2006). Martínez Uncal *et al.* (2008) determinaron que la disminución de MO en el horizonte superficial fue de alrededor de 11,8 t ha⁻¹ al pasar de un suelo virgen con bosque de caldén, a un suelo agrícola de 30 años.

Se observa en la tabla 15 que hubo cambios en las proporciones de cada fracción, MO_f y MO_g son las que más cambios han sufrido a partir de la intervención antrópica. La proporción de MO_f, en la MOT, aumentó en las situaciones disturbadas en detrimento de la fracción gruesa, que corresponde a la MO activa mas sujeta a sufrir cambios por el uso y manejo del suelo en los agrosistemas.

Tabla 15. Cambias en las proporciones de cada fracción en el total.

	Pristino	SD	LR	LC
Mof	2,85 (45%)	0,97 (58%)	1,06 (57%)	0,92 (55%)
Mom	1,61 (25%)	0,45 (27%)	0,45 (24%)	0,44 (26%)
Mog	1,87 (29%)	0,26 (9%)	0,34 (18%)	0,31 (19%)
Total	6,33	1,68	1,85	1,67

Números entre paréntesis corresponde a proporciones de cada fracción en el total.

Esto se asemeja con lo realizado por Bongiovanni *et al.* (2006) en un estudio realizado sobre un suelo Haplustol típico en el centro de la provincia de Córdoba donde observó que en la situación no disturbada la fracción estabilizada (MO_f) contó con un 18,3 g CO/ Kg

suelo (70%) y la MO lábil (Mom y Mog) con 7,7 g CO/Kg suelo (30%), que comparado con la situación disturbada la proporción de MO estabilizada aumenta en detrimento de la MO lábil, con valores de 84% para la fracción estabilizada (9,6 g CO/Kg suelo) y 16% para la fracción lábil (1,8 g CO/Kg suelo), indicando que las fracciones orgánicas sufren cambios a partir de la intervención antrópica.

3.3. Comparación de los contenidos de Materia Orgánica total de la rotación agrícola pura con una rotación agrícola ganadera

El análisis comparativo entre la rotación agrícola pura y una rotación agrícola ganadero, considerando los niveles de materia orgánica total, manifiesta diferencias en la profundidad de 0-10 cm (Figura 8), mientras que para la profundidad de 10-20 cm no se observan diferencias significativas en los niveles orgánicos (Figura 9). En la capa superior del suelo se puede apreciar que los tratamientos de labranza convencional y siembra directa no fertilizados difieren significativamente del resto de los tratamientos, resultando los valores de MOT medios y mínimos en LC/NF y SD/NF, respectivamente, siendo la peor situación la rotación agrícola ganadera (Tabla 13, Anexo).

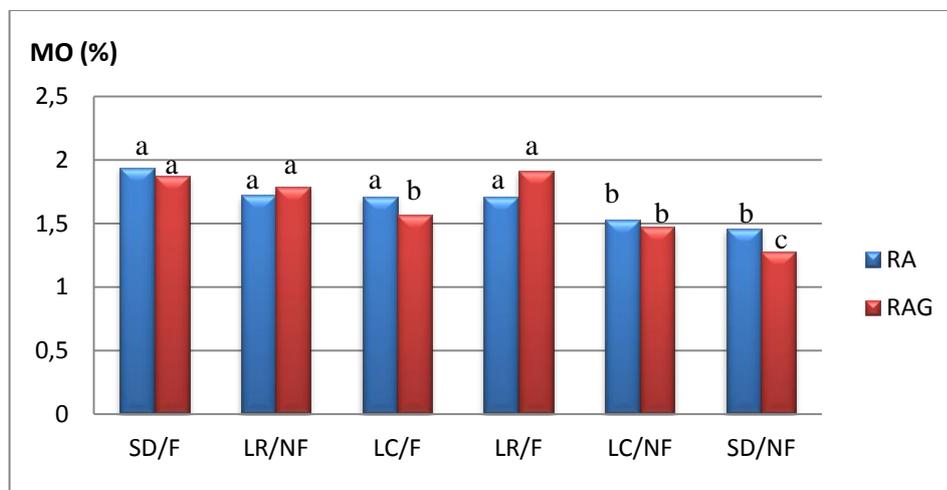


Figura 8. Contenido de Materia orgánica total de la capa de 0-10 cm de suelo para diferentes usos y tratamientos.

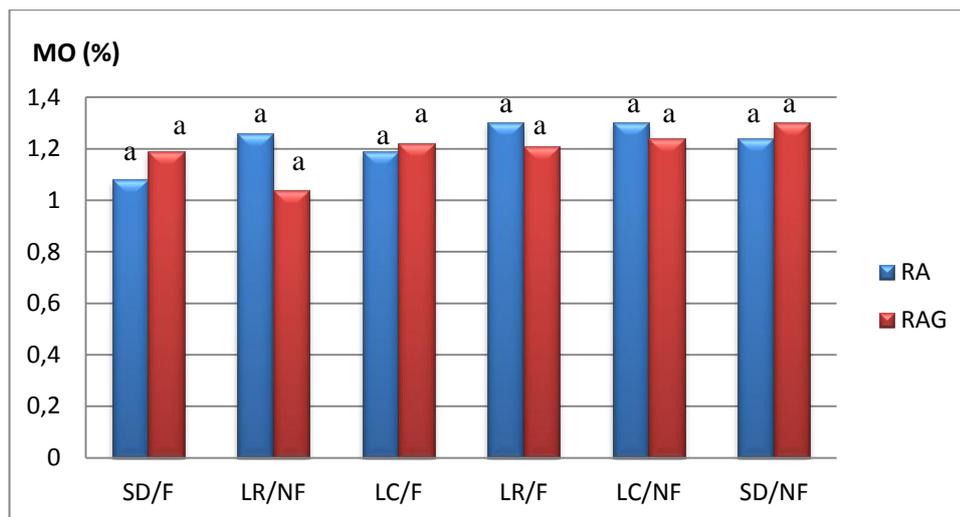


Figura 9. Contenido de Materia orgánica total de la capa de 10 - 20 cm de suelo para diferentes usos y tratamientos.

El análisis del comportamiento orgánico en la capa superficial del suelo hasta los 10 cm, muestra a la Siembra Directa con uso de fertilizantes, con ventaja para mantener altos niveles de materia orgánica. La gran actividad biológica en Siembra Directa es la que genera en el tiempo la materia orgánica, la cual es fundamental en la estructuración del suelo e incrementa la capacidad de retención del agua en el perfil, pero para ello hay que alimentar y mantener continuamente los microorganismos del suelo, y la mejor manera de hacerlo es a través de la maximización de la producción de restos orgánicos (Belloso, 2002). La no remoción del suelo y el mantenimiento de los residuos de cosecha en superficie bajo siembra directa resultan en un mayor contenido de materia orgánica en las capas superficiales del suelo respecto de situaciones similares bajo Labranza Convencional. Este efecto se explica por la menor oxidación de los residuos aportados, la menor erosión y, eventualmente, por una mayor producción de residuos bajo Siembra Directa, debida a la mayor producción de materia seca, que bajo Labranza Convencional (Studdert et al. 2002).

Sin embargo, en siembra directa sin aplicación de fertilizantes los valores de materia orgánica son los mínimos para ambos usos, esto explicado en parte al positivo efecto que tiene la fertilización en los aumentos de producción de biomasa, que en este caso no se evidenciaría. Massobrio *et al.* (2012) para la misma profundidad, sobre el mismo ensayo, encontraron que en la rotación agrícola – ganadera la materia orgánica fue mayor que en la rotación agrícola pura, confirmando que la inclusión de pastura permite un aumento en el aporte de restos orgánicos vegetales y la no remoción del suelo, durante este periodo, contribuye a una menor mineralización de la materia orgánica nativa (Álvarez y Steinbach, 2006). A diferencia, en los valores obtenidos en este trabajo no existe una influencia del uso, esto podría deberse a que para el presente trabajo las muestras, de la rotación agrícola –

ganadera, fueron obtenidas luego de 3 años de agricultura, es decir, al final el ciclo agrícola, mientras que Massobrio *et al.* (2012) realizaron el muestreo al finalizar el ciclo de pastura dentro de dicha rotación.

Dentro de los valores mínimos de MO se encuentran los sistemas de Labranza Convencional, estos resultados se relacionan con lo observado por Peralta (2011) quien determinó que en este tipo de labranzas, donde se produce una mayor remoción del suelo, se produce también un mayor deterioro de la estructura, impactando negativamente sobre la distribución del tamaño de agregados estables al agua y sobre el diámetro medio ponderal, variable indicadora que guarda una estrecha relación con el contenido de materia orgánica total y con sus fracciones.

El análisis del comportamiento orgánico de la capa de suelo entre 10-20 cm mostró que, los valores fueron uniformes entre tratamientos de labranza, rotaciones y fertilización, esto posiblemente debido a que tanto los aportes y pérdidas de materiales orgánicos como así también la mayor actividad de los microorganismos se concentran en la capa superficial del suelo, por lo que a mayor profundidad podrían atenuarse los efectos de las labranzas y de la rotación sobre los contenidos de materia orgánica. Esto demuestra que no basta con dejar de arar o modificar únicamente labranzas para que el balance de carbono se modifique, sino que es sumamente importante maximizar el aporte de carbono a través de los cultivos, considerando de manera especial aquellos cultivos con mayor contenido de lignina en sus rastrojos, para aumentar la fracción de materia orgánica humificada. Las rotaciones deben ser capaces de generar un balance positivo en la acumulación de Carbono orgánico en el suelo (Fogante, 2001).

Estos resultados coinciden con lo expuesto por Andriulo *et al.* (2008) en cuanto a la no diferenciación entre sistemas de labranzas mediante los contenidos de carbono orgánico en un periodo largo de tiempo. Estos autores plantean que hay un equilibrio dado por el menor ingreso de residuos al interior del suelo en la Siembra Directa respecto a la Labranza Reducida, siendo esto compensado por una menor tasa de mineralización en el suelo no removido. Otro ensayo conducido en condiciones edáficas y climáticas similares a las del presente trabajo, por Bongiovanni *et al.* (2012), sobre un campo ubicado al sudeste de Córdoba, en el que se incluyeron tres rotaciones: agrícola (soja y maíz), ganadera (verdeos de inviernos y soja en rotación) y gramíneas (pasturas de gramíneas por más de 20 años), encontraron que los mayores contenidos de carbono orgánico se dieron en la situación de pastura de gramíneas perennes, no existiendo diferencias en las rotaciones agrícola y ganadera en base a verdeos de invierno. Aquí también las diferencias halladas se observaron en la profundidad de 0-10 cm debido a la acumulación tanto de broza remanente como a lo aportado por las raíces.

3.3.1. Comparación del contenido de Materia Orgánica de la fracción fina de suelo (0-53 μ) en la rotación agrícola pura con una rotación agrícola ganadera para la profundidad de 0-10 cm

El análisis comparativo entre la rotación agrícola pura y una rotación agrícola ganadera considerando los niveles de materia orgánica de la fracción fina o humificada muestran un efecto significativo del uso y los tratamientos sobre los niveles de materia orgánica. Los tratamientos de Labranza Reducida con fertilización en ambos usos presentaron con significancia los mayores valores de materia orgánica, acompañados de la Siembra Directa con fertilización y el uso agrícola. Por otro lado la Labranza Convencional, independientemente de la fertilización y para el uso agrícola ganadero fue quien presentó, con significancia estadística, los menores niveles de materia orgánica, Tabla 14 Anexo (Figura 10).

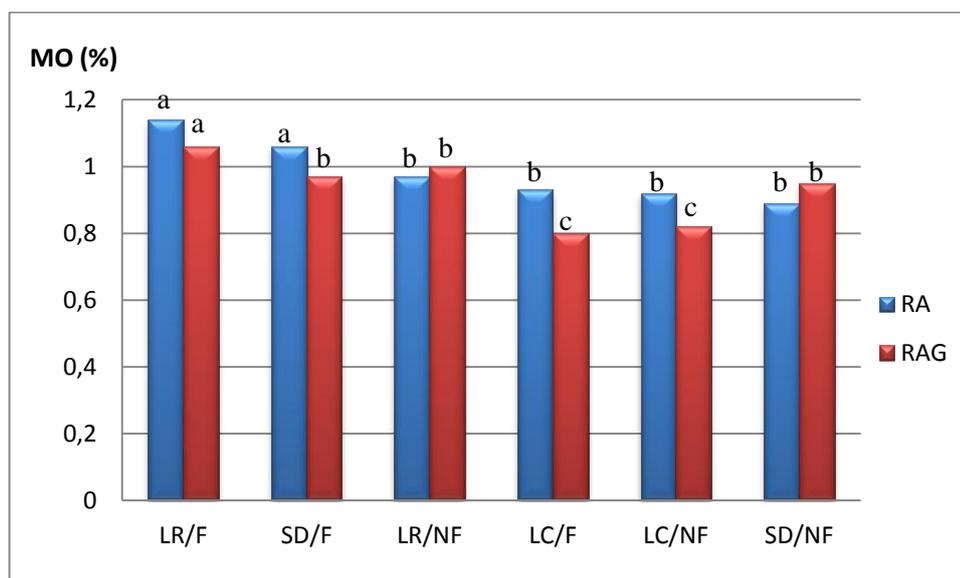


Figura 10. Contenido de materia orgánica fina de la capa de 0-10 cm del suelo para diferentes combinaciones de usos y tratamientos.

Al comparar los valores de este trabajo con valores obtenidos por Massobrio *et al.* (2012) se observan las mismas tendencias, estos autores no encontraron diferencia estadísticamente significativa por lo que no consideran atribuible el efecto de las variaciones a las labranzas. En el presente trabajo, las diferencias observadas podrían ser atribuibles a las labranzas y dentro de estas es de gran importancia atribuir efecto a la fertilización, sobre todo en Siembra Directa donde la liberación de nutrientes de los restos orgánicos es muy lenta.

3.3.2. Comparación del contenido de Materia Orgánica de la fracción media (53-100 μ) y gruesa (100-2000 μ) de suelo en la rotación agrícola puro con una rotación agrícola ganadera para la profundidad de 0-10 cm

El análisis comparativo entre la rotación agrícola pura y una rotación agrícola ganadera considerando los niveles de materia orgánica de la fracción lábil (53-2000 μ) muestra efecto del uso y de los tratamientos de labranza y fertilización sobre los niveles orgánicos. Para la materia orgánica media (53-100 μ) que representa el mayor porcentaje dentro de la lábil, se puede observar que en Labranza Convencional no fertilizado y para un uso agrícola ganadero es donde se obtienen los niveles inferiores de materia orgánica, de manera significativa por debajo del resto de los tratamientos, Tabla 15 Anexo (Figura 11). Para la fracción gruesa (100-2000 μ), que representa el 40% de la fracción lábil, la situación es un tanto diferente, aquí los tratamientos fertilizados de las labranzas con remoción del suelo, Labranza Reducida y Convencional en un uso agrícola fueron quienes manifestaron de manera significativa y por sobre el resto de los tratamientos los mayores valores de materia orgánica, Tabla 16 Anexo (Figura 12).

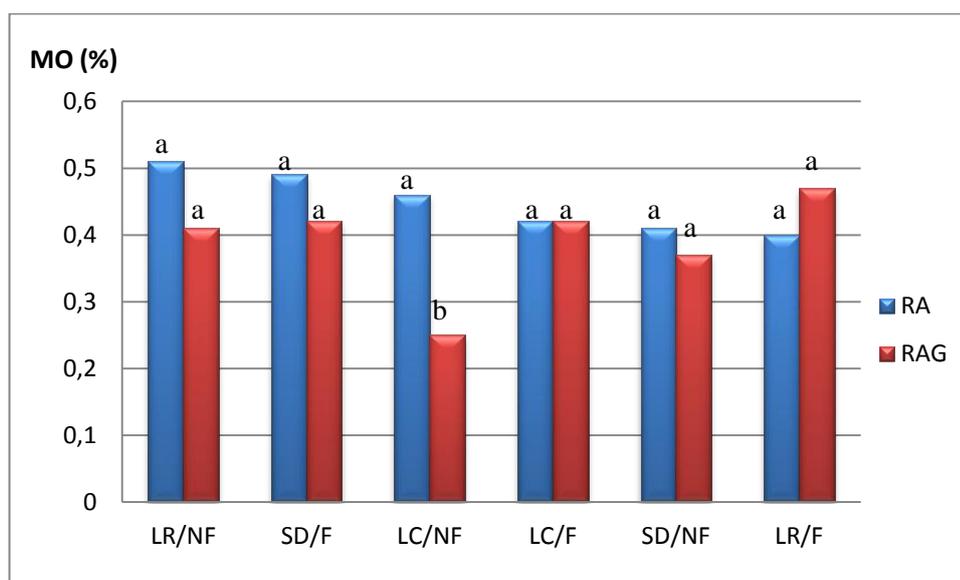


Figura 11. Contenido de materia orgánica media de la capa de 0-10 cm del suelo para diferentes combinaciones de usos y niveles de fertilización para la rotación agrícola (RA) y agrícola ganadera (RAG).

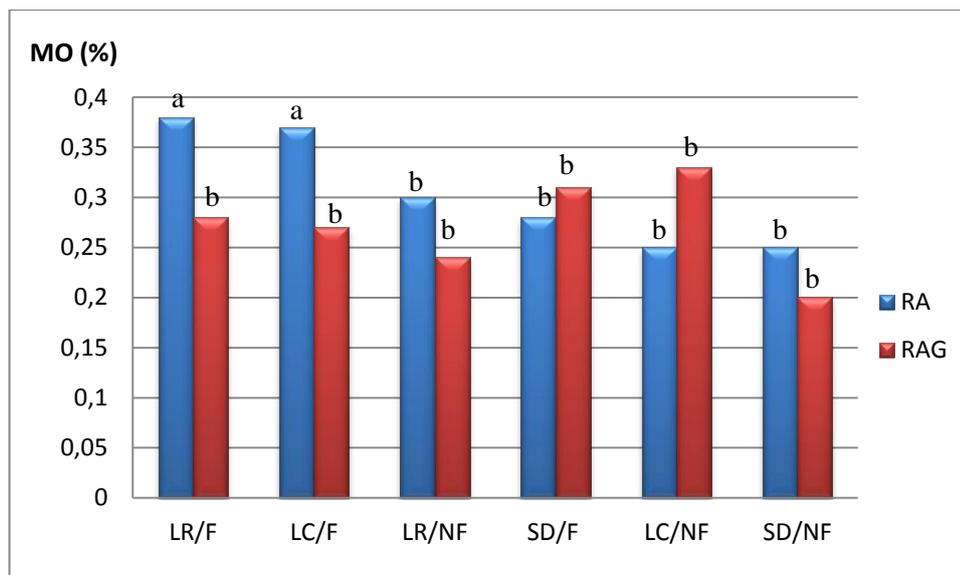


Figura 12. Contenido de materia orgánica gruesa de la capa de 0-10 cm del suelo para diferentes combinaciones de usos y niveles de fertilización para la rotación agrícola (RA) y agrícola ganadera (RAG).

En la fracción lábil, la materia orgánica correspondiente a la porción gruesa presenta un comportamiento diferente al resto de las fracciones, aquí el laboreo del suelo y el uso agrícola generan los mayores niveles de materia orgánica. Galantini *et al.*, (2011) en un suelo Argiudol típico del sudoeste de Buenos Aires encontraron el mismo comportamiento, en la capa de suelo entre 5-10 cm fue mayor el contenido de materia orgánica bajo Labranza Convencional. Esta fracción es más dependiente de la incorporación de los residuos por labranzas y dependiente de las características meteorológicas (Galantini *et al.*, 2007). En esta fracción y para la misma profundidad Massobrio *et al.* (2012) no encontraron diferencias entre tratamientos, si para la profundidad de 10-20 cm observaron diferencias significativas a favor de la rotación Agrícola Ganadera. En el caso de la rotación Agrícola, los tratamientos de Labranza Convencional superaron el resto de los tratamientos. En este sentido, cabe considerar que durante el período que lleva en marcha el ensayo, la rotación agrícola pura ha recibido el aporte continuo (salvo 3 años en que se ha perdido producción por granizo) los residuos de cosecha y de raíces de los cultivos, mientras que en la rotación agrícola – ganadera, esto ha sucedido solo en los años correspondientes al ciclo agrícola ya que durante el ciclo ganadero, si bien hay menor remoción de suelos y por lo tanto menor pérdida de la MO nativa del suelo, el aporte se reduce sustancialmente porque el pastoreo animal o cosecha mecánica retira del sistema algo más del 80% de la producción de biomasa aérea. Luego, durante el próximo ciclo agrícola la MOg que pudo haberse formado en el ciclo anterior, sufre disminuciones producto de la mineralización (Álvarez y Steinbach, 2010)

Las grandes variaciones encontradas en el comportamiento de la materia orgánica de la fracción lábil según diferentes trabajos indican lo expresado por Cambardella y Elliott (1992) quienes comprobaron que generalmente los cambios en el contenido orgánico de los suelos al ser cultivados ocurren en mayor parte sobre la fracción lábil.

4. Balance de la Materia Orgánica (MO) según el Método de Guerif

4.1. Evolución de la MO observada bajo uso Agrícola.

En la Tabla 21 se pueden observar los niveles de materia orgánica obtenidos en el ensayo mediante análisis de suelo. En el año 1981 se tienen los primeros registros y hasta el año 1994 no comienzan a realizarse los tratamientos. En el inicio de los tratamientos, los niveles orgánicos se encontraban en el orden de 1,62% y la tendencia hasta ese momento era decreciente (Figura 15), con la incorporación de las labranzas y el uso agrícola con fertilización, se llega luego de 16 años, a elevar los niveles orgánicos un 0,48% en Siembra Directa, 0,23% en Labranza Reducida y un 0,09% en Labranza Convencional. Sin embargo a los 19 años de comenzado el ensayo, se determina que en Siembra Directa, Labranza Reducida y Labranza Convencional los niveles de materia orgánica aumentaron en el orden de 0,32%, 0,09% y 0,09%, respectivamente (valores obtenidos respecto del año 1994).

Tabla 21. Niveles de materia orgánica obtenidos mediante análisis de suelo en el ensayo.

Tratamiento	% MO (0-10 cm)			
	1981	1994	2010	2013
SD	1,85	1,62	2,1	1,94
LR	1,85	1,62	1,85	1,71
LC	1,85	1,62	1,7	1,71

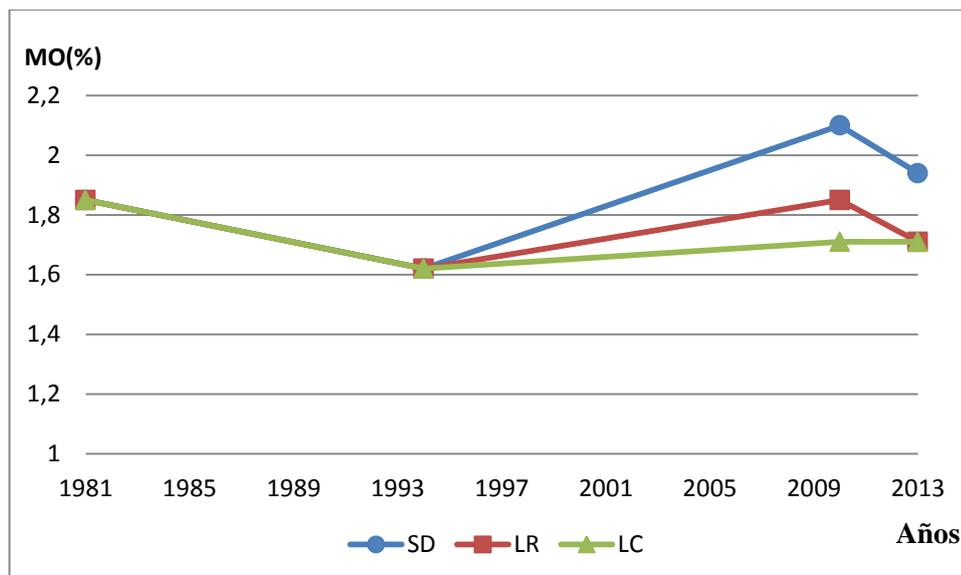


Figura 15. Evolución de la materia orgánica en el sitio del ensayo

Como puede observarse en la Figura 15, a partir del año 1994 en donde se empezó a hacer labores en el ensayo, hay un aumento en el contenido de MO. Tendencia que se invierte a partir del año 2010 hasta el año 2013, año en el cual se tomaron las muestras para el presente trabajo, con excepción de la LC que se mantuvo constante. Este comportamiento en el contenido de MO es avalado por varios autores. La intensificación del uso agrícola de los suelos con laboreos agresivos afecta la fertilidad y la resistencia a la erosión a través de la disminución del contenido de materia orgánica (Echeverría y Ferrari, 1993; Studdert y Echeverría, 2000).

La disminución de la materia orgánica que se produce bajo efecto de la Siembra Directa en la rotación agrícola es poco observada habitualmente. Al respecto, el carbono edáfico en el área Centro Sur de la Provincia de Santa Fe (Cordone y Martinez, 2005) muestra una pérdida constante. Asumiendo un valor inicial promedio del 2,5 % de materia orgánica en los suelos, en rotación agrícola con un manejo en siembra directa continua y para una secuencia regional de 10 años, constituida por 7 años de soja de primera, 2 años del doble cultivo trigo/soja de segunda y 1 año de maíz, se habrían perdido 500 Kg de Carbono/Ha/Año. La secuencia de cultivos realizó un aporte insuficiente de rastrojos como para mantener el nivel de materia orgánica, la razón de este resultado es la alta participación de la soja cuyo aporte no alcanza para compensar las pérdidas, el bajo rendimiento del trigo en la zona y la poca presencia de maíz. La adopción de la siembra directa no invierte el sentido negativo de su balance, el carbono no puede comprarse en el mercado y aplicarse en el lote, al menos en cultivos extensivos debe “fabricarse in situ” produciendo rastrojos, y para ello es necesario primero contar con un plan de rotación de cultivos, que fije la mayor cantidad de carbono en sus tejidos y luego, mediante un manejo conservacionista, permitir

que llegue a humificarse para compensar las pérdidas naturales por mineralización (Cardone y Martinez, 2005).

La tendencia decreciente observada en el presente trabajo, podría estar asociada, entre otras cosas, a la interrupción en el ciclo de aportes de residuos, en el periodo comprendido entre el 2008 y 2010, en el que la producción se perdió casi totalmente por efecto del granizo – piedra. En estas condiciones la variación real anual de la MO total sin dudas fue negativa, ya que el aporte de MO humificada probablemente fue próximo a cero (sólo algo por raíces y por la biomasa aérea producida al momento del granizo), mientras que las pérdidas por mineralización de la MO nativa se produjo de manera normal y en función del manejo del suelo y las condiciones climáticas que prevalecieron en dicho período.

4.2. Evolución de la Materia Orgánica simulada bajo un uso Agrícola

El ensayo para determinar la evolución de la materia orgánica comenzó en el año 1994, donde se lleva a cabo tratamientos de labranzas y fertilización conjuntamente al cronograma de cultivos a realizar. La evolución se estimó a través del modelo propuesto por Guerif (1945, citado por Apezteguia, 2006), donde los valores de entrada son los aportes de residuos de cosecha y por raíces de cultivo los cuales pueden obtenerse a partir de la producción de grano (Tabla 17) y el índice de cosecha de los cultivos (tabla 18).

Tabla 17. Rendimientos de cultivos de grano por campaña.

Campaña	Cultivo	Rendimientos Kg/ha					
		SD		LR		LC	
		F	NF	F	NF	F	NF
94/95	Maíz	6007	4432	4624	3589	4464	3177
95/96	Maíz	6842	3224	5143	2544	4018	1948
96/97	Girasol	2530	2634	2188	2336	1661	1590
97/98	Maíz	6928	2542	5688	4969	5012	4199
98/99	Girasol	1603	1049	1686	1374	1416	1165
99/00	Maíz	7664	2632	7898	3868	7711	3864
00/01	Girasol	2073	1290	2028	1567	1936	1290
01/02	Maíz	7108	323	6693	2631	5331	3393
02/03	Maíz	6931	804	6696	2723	5938	2321
03/04	Soja	2744	2389	2584	2705	2143	2553
04/05	Maíz	8709	3027	8089	4252	9292	6026
05/06	Soja	3364	2530	3116	2528	3442	2838
06/07	Maíz	5722	2256	5109	2474	5620	3080
07/08	Soja	0	0	0	0	0	0
08/09	Maíz	0	0	0	0	0	0
09/10	Soja	0	0	0	0	0	0
10/11	Maíz	7967	5618	7661	6026	7354	6333
11/12	Soja	2264	1975	2084	2331	2258	1800
12/13	Maíz	7540	4204	7468	4574	7472	4684
13/14	Soja	3791	2546	3963	2323	3444	1873

Fuente: Cátedra de Producción de Cereales; Cátedra de Manejo de Pasturas, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. (Los tres años donde se registró rendimiento 0Kg/ha, corresponden a cultivos dañados por granizo).

Tabla 18. Aportes de biomasa aérea y radicular.

Campaña	Cultivo	Aportes total de residuos (Kg MS/ha)					
		SD		LR		LC	
		F	NF	F	NF	F	NF
94/95	Maíz	8208,23	6056,08	6318,44	4904,17	6099,81	4341,19
95/96	Maíz	9349,21	4405,42	7027,62	3476,23	5490,37	2661,83
96/97	Girasol	6925,05	7209,71	5988,93	6394,03	4546,44	4352,10
97/98	Maíz	9466,73	3473,50	7772,34	6789,86	6848,62	5737,70
98/99	Girasol	4387,69	2871,29	4614,87	3760,87	3875,84	3188,81
99/00	Maíz	10472,43	3596,48	10792,18	5285,41	10536,65	5279,94
00/01	Girasol	5674,16	3530,95	5550,99	4289,15	5299,17	3530,95
01/02	Maíz	9712,69	441,36	9145,61	3595,12	7284,52	4636,35
02/03	Maíz	9470,83	1098,62	9149,71	3720,83	8113,95	3171,52
03/04	Soja	5223,54	4547,75	4918,96	5149,30	4079,46	4859,95
04/05	Maíz	11900,36	4136,23	11053,17	5810,12	12697,00	8234,19
05/06	Soja	6403,78	4816,16	5931,68	4812,36	6552,27	5402,48
06/07	Maíz	7818,80	3082,70	6981,16	3380,58	7679,42	4208,65
07/08	Soja	4472,00	4472,00	4472,00	4472,00	4472,00	4472,00
08/09	Maíz	6708,00	6708,00	6708,00	6708,00	6708,00	6708,00
09/10	Soja	4472,00	4472,00	4472,00	4472,00	4472,00	4472,00
10/11	Maíz	10886,46	7676,68	10468,33	8234,19	10048,83	8653,69
11/12	Soja	4309,80	3759,65	3967,15	4437,34	4298,38	3426,52
12/13	Maíz	10302,99	5744,53	10204,61	6250,12	10210,07	6400,43
13/14	Soja	7216,63	4846,62	7544,05	4422,11	6556,07	3565,48

Tabla correspondiente a aportes totales de residuos de cosecha, tanto de biomasa aérea como de raíces. Cabe destacar que el 20% de la MS total corresponde a aporte radical, el resto es aporte por biomasa aérea.

Tabla 19. Niveles de materia orgánica, de 0-10 cm, obtenidos mediante el modelo de simulación de Guerif (1945) ajustado para las condiciones del ensayo.

Campaña	Cultivo	% MO (0 - 10 cm)					
		SD		LR		LC	
		F	NF	F	NF	F	NF
94/95	Maíz	1,648	1,629	1,624	1,611	1,614	1,598
95/96	Maíz	1,690	1,628	1,637	1,593	1,606	1,566
96/97	Girasol	1,716	1,661	1,650	1,612	1,596	1,556
97/98	Maíz	1,756	1,650	1,669	1,623	1,601	1,552
98/99	Girasol	1,756	1,639	1,666	1,613	1,585	1,531
99/00	Maíz	1,804	1,630	1,712	1,612	1,623	1,524
00/01	Girasol	1,815	1,625	1,718	1,608	1,621	1,507
01/02	Maíz	1,856	1,589	1,747	1,591	1,628	1,495
02/03	Maíz	1,893	1,559	1,776	1,576	1,643	1,471
03/04	Soja	1,897	1,567	1,773	1,582	1,628	1,469
04/05	Maíz	1,955	1,564	1,818	1,586	1,683	1,491
05/06	Soja	1,969	1,575	1,825	1,588	1,692	1,494
06/07	Maíz	1,989	1,563	1,832	1,571	1,700	1,479
07/08	Soja	1,983	1,570	1,823	1,570	1,687	1,474
08/09	Maíz	1,993	1,590	1,827	1,582	1,687	1,482
09/10	Soja	1,987	1,596	1,819	1,581	1,674	1,476
10/11	Maíz	2,034	1,624	1,857	1,606	1,705	1,501
11/12	Soja	2,025	1,622	1,842	1,604	1,689	1,484
12/13	Maíz	2,066	1,633	1,877	1,611	1,721	1,488
13/14	Soja	2,085	1,642	1,899	1,608	1,728	1,473

El modelo de balance opera con variables que son necesarias ajustar de acuerdo a las características del ambiente y del manejo que se realice. Para este caso se tuvieron en cuenta:

- Densidad aparente de 1,42 t/m³ de suelo para Siembra Directa, Labranza Reducida y Labranza Convencional (Gómez, 2011), para el espesor de 0-10 cm.
- Índices de cosecha de 0,45 – 0,29 – 0,37 para maíz, girasol y soja, respectivamente (Andrade et al., 2002).
- Coeficientes de mineralización de 0,025 para Siembra Directa, 0,03 para Labranza Reducida y 0,035 para Labranza Convencional, según Lucas y Vitosh (1978).
- Coeficientes de humificación de 0,18 en cereales y 0,21 en leguminosas según Soltner (1990, citado por Saña *et al.*, 1996).

- Aporte de materia seca en raíces adicional al 20% de la materia seca aérea total (Álvarez, 2006).

En la Tabla 19 se muestran los valores de materia orgánica en la capa de 0-10 cm de suelo, obtenidos mediante el modelo de simulación. La Figura 13 muestra las tendencias obtenidos por el modelo, donde los sistemas de labranzas en la rotación agrícola tienden a estabilizar y lograr aumentos de los niveles orgánicos en el largo plazo.

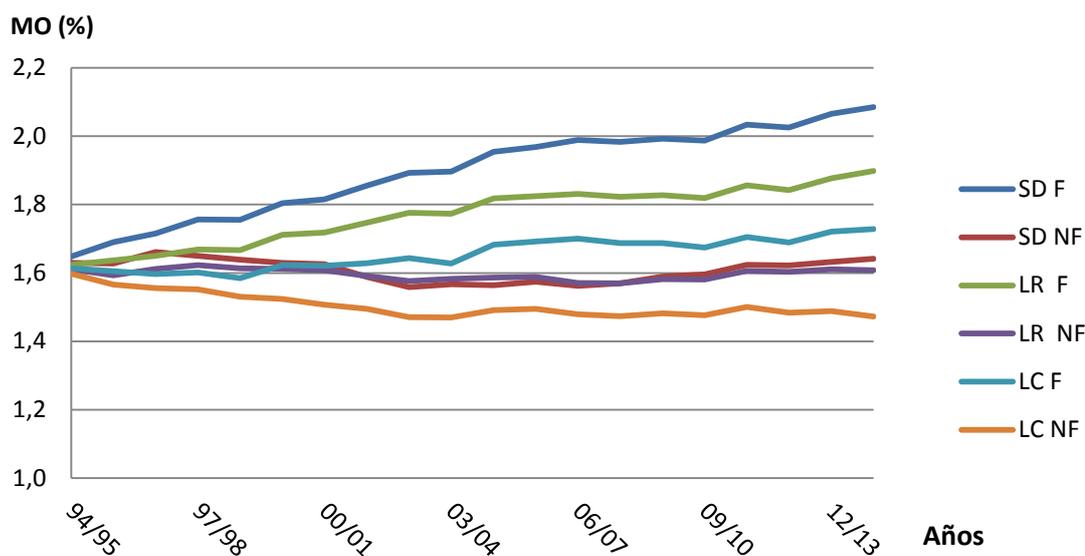


Figura 13. Evolución de la materia orgánica en el sitio del ensayo según el modelo de simulación de Guerif (1945)

Como se puede observar en la Figura 13 los contenidos de materia orgánica mejoran cuando al cultivo se le realiza un tratamiento de fertilización. Sin tener en cuenta las labranzas vemos que la fertilización está por encima de los tratamientos no fertilizados, coincidiendo con los valores observados. Carter (1996), establece que la variación edáfica de los niveles de Carbono (C) en el tiempo, bajo agricultura es directamente proporcional al C aportado a través de los residuos de cosecha de cultivos utilizados. En el presente trabajo pudo observarse algo similar, donde cultivos como Maíz, generador de mayor cantidad de materia seca (MS), con el tiempo aportó más cantidad de CO al suelo, en comparación con Soja y Girasol donde sus aportes de MS son menores, como así también el CO generado a partir de ésta, en el tiempo (tabla 17, Anexo). Esto se complementa con lo dicho por Domínguez *et al.* (2015) en un análisis de balance de carbono en un suelo del sudeste bonaerense, donde los rendimientos altos en cultivos fertilizados, el aporte de carbono de los residuos excedió en

todos los cultivos el nivel necesario para el mantenimiento del contenido de materia orgánica.

Si analizamos y tenemos en cuenta solo el tratamiento fertilizado, vemos que las labranzas conservacionistas dan valores más elevados, ubicándose en orden decreciente SD/F, LR/F y LC/F. Teniendo en cuenta solo los tratamientos no fertilizados se observa exactamente el mismo comportamiento (SD/NF, LR/NF y LC/NF). En este último caso, las tendencias simuladas, no coinciden con los valores de MOT observados, ya que en éstos, la peor situación la presenta SD/NF. La reducción en la intensidad de la labranza del suelo bajo siembra directa (SD), la utilización de cultivos de cobertura, rotación de cultivos y fertilización para maximizar la cantidad de residuos que quedan en la superficie son prácticas de manejo usadas comúnmente para mantener o aumentar la MO (Galantini *et al.*, 2008).

La SD junto con un adecuado sistema de rotación podría reducir los efectos negativos de una agricultura intensiva. La no-remoción del suelo y el manejo superficial de residuos aumentaría los contenidos de CO en los primeros centímetros de suelo y la resistencia de los agregados a la desintegración (Unger, 1997). Esta particularidad es atribuida por algunos autores a la conservación del CO dentro de los macro agregados (Tisdall & Oades, 1982). Muchos investigadores en la región pampeana evaluaron el efecto de la SD a largo plazo y encontraron que los contenidos de MO y la agregación mejoraron respecto de labranza convencional (Galantini *et al.*, 2007, Eiza *et al.*, 2006). Ensayos de larga duración han demostrado que la SD en comparación con los sistemas de labranza, en general, producen un aumento del stock de carbono orgánico (COS) (Franzluebbbers, 2005). La intensificación del uso agrícola de los suelos con laboreos agresivos como la LC afecta la fertilidad y la resistencia a la erosión a través de la disminución del contenido de MO (Echeverría & Ferrari, 1993; Studdert & Echeverría, 2000a).

En la tabla 20 se muestra la variación del carbono orgánico (CO) a lo largo de los años desde 1994 y 2014 mediante el modelo de simulación de Guerif (1945). Este modelo calcula la variación del CO por diferencia entre el CO humificado (aporte) y el CO mineralizado (pérdida). Aquí se muestra la variación del CO a través de los años con altibajos dados a las diferentes condiciones en que se expone el suelo, como cultivo sembrado, condiciones climáticas, época del año, etc.

Como puede observarse en dicha tabla, esta variación resultaría negativa, es decir la pérdidas anuales superan a las ganancias, cuando no se fertiliza a los cultivos, y cuando el aporte total de biomasa es bajo, como es el caso de los años en los que ha habido soja o girasol. Las variación simuladas para LC/NF son siempre negativas, la cual puede deberse

entre otras cosas al valor del factor de mineralización asumido, el cual puede ser superior al que realmente ocurre.

Tabla 20. Variación de carbono orgánico determinado mediante el modelo de simulación de Guerif (1945) ajustado para las condiciones del ensayo.

Campaña	Cultivo	Variación CO (Kg/ha/año)					
		SD		LR		LC	
		F	NF	F	NF	F	NF
94/95	Maíz	262,1	107,2	60,3	-41,5	-21,2	-147,8
95/96	Maíz	337,7	-14,3	109,5	-143,1	-64,4	-263,6
96/97	Girasol	210,1	274,4	103,3	148,0	-75,5	-80,4
97/98	Maíz	332,5	-87,9	156,8	95,3	38,3	-30,1
98/99	Girasol	-6,4	-94,7	-19,9	-80,5	-130,5	-174,3
99/00	Maíz	396,8	-74,5	370,1	-13,4	307,1	-55,9
00/01	Girasol	86,8	-35,0	48,2	-33,3	-17,2	-137,5
01/02	Maíz	330,0	-299,0	239,0	-133,7	62,8	-95,5
02/03	Maíz	304,3	-244,2	232,1	-120,7	120,3	-197,6
03/04	soja	32,7	64,9	-20,4	47,6	-125,4	-10,8
04/05	Maíz	470,8	-21,0	362,8	32,0	450,5	174,2
05/06	Soja	114,5	86,3	54,4	16,9	70,9	29,1
06/07	Maíz	162,3	-98,5	57,1	-144,4	71,0	-122,7
07/08	Soja	-47,0	57,7	-71,6	-7,9	-108,8	-45,8
08/09	Maíz	79,4	163,6	37,9	99,7	2,3	63,1
09/10	Soja	-47,8	52,2	-70,6	-10,6	-105,1	-46,4
10/11	Maíz	379,5	227,9	309,6	206,9	246,5	202,6
11/12	Soja	-69,0	-14,7	-120,2	-19,4	-124,6	-139,7
12/13	Maíz	329,7	83,5	284,9	58,4	253,8	38,2
13/14	Soja	157,0	74,9	175,4	-21,9	60,5	-124,5

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se concluye que:

La implementación de diferentes sistemas de labranza del suelo como es el caso de la siembra directa, labranza reducida y labranza convencional no influyeron en los niveles de materia orgánica total. Solo se observó diferencia en siembra directa con tratamiento fertilizado, en los primeros 10 cm, por lo que podemos decir que la fertilización fue la que tuvo un papel importante en cuanto a niveles de MO.

Las fracciones de la materia orgánica no presentan diferencias entre los sistemas de labranza, aunque la materia orgánica “fina” muestra una tendencia hacia el incremento en la labranza reducida respecto a siembra directa y labranza convencional. Aquí también la fertilización tuvo un papel importante ya que en la interacción con las labranzas permitió incrementar los niveles de MO en los sistemas conservacionista (LR y SD).

La intervención antrópica sobre suelos no disturbados, para el uso agrícola y/o ganadero, genera una fuerte caída en los contenidos de materia orgánica de estos suelos.

La rotación no produce cambios significativos en la materia orgánica del suelo, aunque la rotación agrícola pura con fertilización muestra mayor nivel de materia orgánica en superficie que la rotación agrícola – ganadera.

El modelo de balance propuesto por Guerif es una herramienta útil para comprender la dinámica de la MO de suelo y de los residuos que se aportan, sin embargo hace falta ajustar el factor de mineralización anual, para estrechar los valores simulados a los observados en la realidad.

BIBLIOGRAFIA

- ÁLVAREZ, R. y H. STEINBACH. 2006. Efecto del sistema de labranza sobre la materia orgánica: 41-53. En: *Materia Orgánica. Valor Agronómico y Dinámica en suelos pampeanos*. Álvarez R. (coord.). Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 423 p.
- ÁLVAREZ R. 2006. Balance de carbono en los suelos. Información técnica de trigo campaña 2006. Publicación miscelánea N° 105. EEA. Rafaela-INTA
- ÁLVAREZ, R. y H. STEINBACH. 2010. *Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana*. 1ª ed. Editorial Facultad Agronomía Universidad de Buenos Aires. Sección 3, Capítulo 3: *Efecto del uso agrícola sobre el nivel de materia orgánica*. Buenos Aires. Argentina. 496p.
- ÁLVAREZ, R. y H. STEINBACH. 2010. Efecto del uso agrícola sobre el nivel de materia orgánica. En: Álvarez R., Rubio G., Álvarez C.R. y R. Lavado. 2010. *Fertilidad de Suelos. Caracterización y Manejo en la Región Pampeana*. Editorial FAUBA. Buenos Aires, Argentina.
- ANDRADE F. H. y SADRAS V. O., 2002. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. E.E.E. INTA Balcarce – F.C.A. U.N.M.P. Cap 3, pag 75.
- ANDRIULO, A; MC SASAL; AB IRIZAR; SB RESTOVICH y F RIMATORI. 2008. Efecto de diferentes sistemas de labranza, secuencias de cultivo y de la fertilización nitrogenada sobre los stocks de C y N edáficos. En: *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Ed: Galantini J.A. (EdiUNS). Argentina. 117-126 pp.
- ARZENO J. L., E. R. CORVALAN, D. J. HUIDOBRO, A. FRANZONI y D. A. MATTA 2004. Indicador de la calidad de suelo: relación de la materia orgánica entre dos profundidades: 0-5 y 0-20cm. XIX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo. Paraná, Argentina.
- APEZTEGUIA H. 2006. Dinámica de la materia orgánica de los suelos de la región semiárida central de Córdoba (Argentina). Tesis doctoral. Inédita.
- APESTEGUÍA, H. y R. SERENO. 2008. Sustancias húmicas y otras fracciones de la materia orgánica en el bosque nativo y en suelos cultivados: 131-143. En: *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Galantini, J. (Ed.) Editorial de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 308p.

- BALBUENA, R.H., BOTA, G.F. y RIVERO, E.R.D. 2009. Herramientas de labranza para la descompactación del suelo agrícola. Ed. Orientación Gráfica. Buenos Aires. Pp. 205.
- BASANTA, M. y C. ALVAREZ. 2015. Manejo sustentable de sistemas agrícolas en la región central de Córdoba: una experiencia de largo plazo en INTA EEA Manfredi. RIA. Revista investigación agropecuaria vol.41 no.2 Ciudad Autónoma de Buenos Aires agosto 2015.
- BECERRA, V., G. CIMADEVILLA, J. DE PRADA, A. GEYMONAT, H. GIL, J.J. MIRAS, G. CALVI y D. CEDRIANI. 1999. **Plan Director**. ADESUR (Asociación interinstitucional para el desarrollo del sur de Córdoba). Edición: Depto. Prensa y Publicaciones. Universidad Nacional de Rio Cuarto, Córdoba, Argentina
- BECKER, A.R., M.P. CANTÚ, H.F. SCHIAVO y J.I. OSANA. 2001. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la región pedemontana del suroeste de Córdoba, Argentina. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la ciencia del suelo. CD. Trabajo VII 41-44.
- BELLOSO C. 2002. El Maíz, la rotación en siembra directa y su aporte a la sustentabilidad. Guía Dekalb del cultivo de Maíz, Monsanto, Buenos Aires, pág. 284.
- BONGIOVANNI M. D., J. C. LOBARTINI y G. A. ORIOLI 2000. Cambios en las sustancias húmicas y agregados del suelo provocadas por labranzas. **XVII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.
- BONGIOVANNI M. D. y J. C. LOBARTINI. 2006. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro- and microaggregates as affected by cultivation. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRC. Rio Cuarto. Córdoba. Argentina. Geoderma 136 (2006) 660-665.
- BONGIOVANNI M. D. y A. DEGIOANNI. 2012. Materia Orgánica total y particulada en suelos con diferentes usos del sudeste de Córdoba. XXIII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo. Mar del Plata. Argentina.
- BRICCHI, E., F. FORMIA, G. ESPOSITO, L. RIVERI y H. AQUINO. 2004. The effect of topography, tillage and stubble grazing on soil structure and organic carbon levels. Spanish Journal of Agricultural Research. P: 409-418.

- CABRERA, F., A. BECKER, B. PARRA y J. BEDANO. 2012. Stock de carbono orgánico en haplustoles del centro-sur de Córdoba. **XXIII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo. Mar del Plata**, Argentina.
- CAMBARDELLA, C.A. y E.T. ELLIOT. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.
- CORDONE, G. y MARTÍNEZ F. 2005 Avance en el manejo de la fertilización de cultivos y fertilidad de suelos en el Sur de Santa Fe. INPOFOS, Simposio Fertilidad. pág. 1:8.
- CANTERO, A., E. BRICCHI, V. BECERRA, J. CISNEROS y H. GIL. 1984. Zonificación y descripción de las tierras de Departamento de Rio Cuarto. Talleres gráficos de la UNRC, adhesión del bicentenario de la fundación d la ciudad de Rio Cuarto.
- CANTERO, A., M. CANTÚ, J. CISNEROS, J. CANTERO, M. BLARASIN, A. DEGIOANNI, J. GONZALES, V. BECERRA, H. GIL, J. DE PRADA, S. DEGIVANNI, C. CHOLAKY, M. VILLEGAS, A. CABRERA y C. ERIC. 1998. Las tierras y aguas del sur de Córdoba propuestas para un manejo sustentable. Universidad Nacional de Rio Cuarto. Argentina. 119p.
- CANTÚ, M.P. 1992. Holoceno de la Provincia de Córdoba. Manual: Holoceno de la República Argentina. Tomo I. Ed. Doctor Martin Iriondo. Simposio Internacional sobre el holoceno en América del Sur. Paraná, Argentina.
- CARTER, M.R. 1996. Analysis of soil organic matter storage in agro-ecosystems. In Carter, M.R.; Stewart, B. A. (Eds.). *Structure and organic matter storage in agricultural soil.* Lewis Publishers. CRC Press. Boca Raton. Florida. p. 3-11.
- CASAS, R. 2005. La transformación de la agricultura argentina. *Ciencias hoy.* Vol. 15. N° 87. ISS 1666-5171.
- CHRISTENSEN, B.T. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European J. Soil Sci.* 52:345-353.
- CISNEROS, J.M., CANTERO, G.A., MARCOS, J., DEGIOANNI, A., BRICCHI, E., GIAYETTO, O., CHOLAKY, C., BONADEO, E., CERIONI G. y M. UBERTO. 1998. Comportamiento de un subsolador alado adaptable a implementos de uso común. Págs. 128-134. En: *Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito de Latinoamérica.* Balbuena R., Benez, S.H. y D. Jorajuría (Eds.) Editoria de la Universidad de La Plata, Argentina. 612 pps.

- CISNEROS, J.M., C. CHOLAKY y A.R. REINERO. 2007. En: Documento de apoyo didáctico para el curso Uso y Manejo de Suelos. Manejo de la condición biológica de los suelos: la materia orgánica y su dinámica. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- CORDONE, G. y MARTÍNEZ F. 2005 Avance en el manejo de la fertilización de cultivos y fertilidad de suelos en el Sur de Santa Fe. INPOFOS, Simposio Fertilidad. pág. 1:8.
- DEGIOANNI, A.J. 1998. Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto (Argentina). Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. Departamento de geografía. Alcalá de Henares, España.
- DI RIENZO, J.A., M. BALZARINI, L. GONZALES, F. CASANOVES, M. TABLADA y C. ROBLEDO. InfoStat versión 2011. *Software estadístico*. Registro Dirección Nacional Derecho de Autor, obra de software, N° 960318. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DIOVISALVI, N.V., G.A. STUDDERT, G.F. DOMÍNGEZ y M.J. EIZA. 2006. Materia orgánica total y particulada en un molisol de Balcarce bajo dos sistemas de labranza. **XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Salta-Jujuy, Argentina.
- DOMINGUEZ G. F., G. A. STUDDERT, H. E. ECHEVERRIA y G. LORENZ 2004. Efectos de dos sistemas de labranza sobre materia orgánica total y particulada en un molisol de Balcarce. XIX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo. Paraná. Argentina.
- DOMINGUEZ G. F. y G. A. STUDDERT. 2015. Balance de carbono en el sudeste Bonaerense: Rol de los sistemas de cultivos. Unidad Integrada Balcarce (Fac. Ciencias Agrarias-UNMdP – INTA Balcarce) C.C. 276 (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- ECHEVERRIA, H.E. y FERRARI, J. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. Boletín Técnico N° 112. INTA, CeRBAS, EEA. Balcarce.
- EIZA, M.J., M.R. BIANCHINI, F. CABRIA y G. MONTEERRUBBIANESI. 2002. Efecto de la labranza y la fertilización nitrogenada sobre la materia orgánica y la

capacidad buffer. **XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

EIZA, M.J., N. FIORITI, G.A. STUDDERT y H.E. ECHEVERRÍA. 2004. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. **XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná-Entre Ríos, Argentina.

EIZA M. J., G.A. STUDDERT, N. FIORITI y G.F. DOMINGUEZ 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en molisoles de Balcarce. En CD, 5 pp. En: Actas de **XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. ISBN 10:987-21419-5-9. Salta y Jujuy, 19-22 de septiembre de 2006.

EIZA M. J., N. FIORITI, G. A. STUDDERT, H. y E. ECHEVERRIA 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada. *Ciencias del suelo* v.23 n.1 Buenos Aires ene. /jul. 2005. ISSN 1850-2067

ESPOSITO, G., C. CASTILLO, E. BRICCHI, R. BALBOA y M. ETCHEVERRY. 2008. Productividad de maíz y propiedades químicas del suelo afectadas por su uso, tipo de labranza y fertilización. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná-Entre Ríos, Argentina. Actas pág. 79.

FABRIZZI, K.P.; MORÓN, A. y GARCÍA, F.O., 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. Non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Science Society of American Journal* 67, 1831-1841.

FRANZLUEBBERS, A.J., 2005. Greenhouse gas contributions and mitigation potential in agricultural regions of North America: introduction. *Soil Till. Res.* 83, 1-8.

FOGANTE R. 2001. Sistema de Producción como Sistema de Producción. Sitio oficial de Aapresid, En: www.aapresid.org.ar

GALANTINI, J.A., ROSELL R.A. y J.O. IGLESIAS. 1994. Determinación de la materia orgánica empleando el método de Walkley Black en fracciones granulométricas del suelo. *Ciencias del Suelo*. 12:81 – 83.

- GALANTINI, J.A., J.O. IGLESIAS, L. CUTINI, H. KRUGER y S. VENANZI. 2004. Sistemas de labranzas: efecto sobre las fracciones orgánicas. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- GALANTINI J. A., N. SENESI, G. BRUNETTI y R. ROSELL. 2004a. Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrógeno and sulphur status in semiarid Pampean grassland soils of Argentina *Geoderma* 123: 143-152
- GALANTINI, J.O. IGLESIAS y R.A. ROSELL. 2005. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en la región semiárida pampeana. Conociendo el suelo en siembra directa. AAPRESID. Marzo de 2005, p 21-28.
- GALANTINI, J.A. y J.O. IGLESIAS. 2007. Capacidad de secuestro de carbono y efecto de las prácticas agronómicas en suelos de la región pampeana de Argentina. En: *Captura de Carbono en Ecosistemas Terrestres de Iberoamérica*. Ed. Juan Gallardo Lancho. Págs. 169-182. ISBN: 978-84-611-9622-7.
- GALANTINI, J., J. IGLESIA; C. MANEIRO y C. KLEINE. 2007. Efectos de largo plazo sobre la materia orgánica del suelo. La siembra directa en los sistemas productivos del Sur y Sudoeste Bonaerense. *Rev. Técnica especial. Sistemas Productivos del Sur y Sudoeste Bonaerense*. Ed. Responsable JA Galantini pag. 11-15.
- GALANTINI, J.A. y L. SUÑER 2008. Fraccionamiento de la Materia Orgánica del Suelo: 19-39. En: *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Galantini J.A. (Editor). Editorial de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 308 p.
- GALANTINI, J.A., J. IGLESIAS, M. R. LANDRISCINI, L. SUÑER y G. MINOLDO. 2008. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. En J. Galantini (ed.). *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. EdiUNS. Bahía Blanca, Argentina. Pp. 71-95.
- GALANTINI, J.A.; J. O. IGLESIAS y M. DUVAL. 2012. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense: efectos sobre las fracciones orgánicas. **XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Trabajo en CDROM. ISBN 978-987-1829-11-8.

- GOMEZ M. 2011. Efecto de una labor superficial sobre el almacenamiento de agua en un Hapludol típico del sur cordobés. Tesis. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRC. Córdoba. Argentina.
- HERNANDEZ- HERNANDEZ, R. M. y D. LOPEZ HERNANDEZ. 2002. El tipo de labranza como agente modificador de la materia orgánica: Un modelo para suelos de sabana De los llanos centrales venezolanos. *Interciencia*. Vol.27, Nº10.
- JANZEN, HH, CAMPBELL, CA, IZAURRALDE, RC, ELLERT, BH, JUMA, N, MacGill WB, ZENTNER, RP (1998) Management effect on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil Till. Res.* 47: 181-195.
- LARDONE, A. 2009. *Estimación de los coeficientes de humificación y mineralización de la materia orgánica en un Hapludol típico de Rio Cuarto*. Trabajo final de graduación de la carrera Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Rio Cuarto, Argentina. 33 p.
- LUCAS R. E. y M. L. VITOSH. 1978. Soil Organic Matter Dynamics. Michigan state University. Agricultural Experiment Station East Lasing. Michigan.
- MARTINEZ UNCAL M. C., S. AIMAR, H. M. MARTINEZ y R. HEVIA. 2008. Estudio de materia orgánica y estabilidad en un Haplustol del caldenal, con distintos manejos. **XX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Salta, Argentina.
- MASSOBRIO N. J., C. CHOLAKY y I. MORENO. 2012. Materia Orgánica total y lábil en un Hapludol típico del sur oeste de la provincia de Córdoba en una rotación agrícola ganadera con tres sistemas de labranza. Tesis de grado. Facultad De Agronomía y Veterinaria, UNRC, Rio Cuarto, Argentina.
- MEBIUS, L. 1960. A rapid method for determination of organic carbon in soils. *Anal. Chem. Acta* 22: 120-124.
- MELERO, S., M. PANETTIERI, E. MADEJON, H. GOMEZ MACPHERSON, MORENO y J.M. MURILLO. 2011. *Implementation of chiselling and mouldboard ploughing in soil alter 8 years of no-till*. Management in SW, Spain: Effect on soil quality. *Soil & Tillage Research*. 112 (2011): 107-113.

- MINOLDO, G., J. GALANTINI, R. ROSELL, H. KRUGER y S. VENZA. 2004. Fracciones orgánicas en el suelo de la región semiárida bajo diferentes rotaciones. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- NATALI, C. O. 2013. *Efecto del sistema de labranza y de la rotación sobre la materia orgánica total y lábil de un Hapludol típico del sur oeste de la provincia de Córdoba*. Trabajo final de grado. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto. Argentina.
- NELSON D.W. y L.E. SOMMERS. 1982. Total carbon, Organic carbon and organic matter, en *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological properties*, Agronomy monographs, no. 9, second edition, ASA.SSSA., pp 539-577.
- NIETO, M; C. VIDELA; J. de DIOS HERRERO; M. DEMARIA; K. FRIGERIO y J. RIEDEL. 2015. Cambio de uso del suelo en caldenales de San Luis: Efecto sobre algunas propiedades edáficas. Fac. Ciencias Agrarias, UNMdP. Unidad Integrada Balcarce, Ruta 226 km 74,5, Balcarce, Bs. As.
- PARERA, J. C. 2006. Dinámica de la materia orgánica aportada al suelo por bosque del chaco húmedo. XX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo. Salta, Argentina.
- PERALTA C.M. 2011. Estabilidad estructural superficial de un Hapludol típico del sur oeste de Córdoba en una rotación agrícola ganadera con tres sistemas de labranzas. Tesis. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional De Río Cuarto. Córdoba. Argentina.
- PRADOS, M.L., S.P. DEBELIS, M.C. GAGEY, M.B. BARRIOS, A.A. BOZZO y J.V. GIRÁLDEZ CERVERA. 2008. Variación de las fracciones de materia orgánica en función del paisaje. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.
- PUGET, P. y LAL, R. 2005. Soil organic carbon and nitrogen in a mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. *Soil Till. Res.* 80:201-213.
- SAINJU, U.M., B.P. SINGH, W.F. WHITEHEAD y S. WANG. 2006. Carbon supply and storage in tilled and nontilled soils as influenced by cover crops and nitrogen fertilization. *J. Environ. Qual.* 35: 1507-1517.

- SAÑA J., J. C. MORE y A. COHI. 1996. La gestión de la fertilidad de los suelos. MAPA. Madrid. 277pp.
- SOLTNER, D. 1990. En: J.SAÑA, J.C. MORÉ y A. COHÍ. 1996. La gestión de la fertilidad de los suelos. MAPA. Madrid. 277 p.
- STUDDERT G. y H. ECHEVERRIA. 2002. Rotaciones agrícolas y dinámica del carbono orgánico del suelo en Balcarce. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2002". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 52 pág.
- STUDDERT, G.A. y H.E. ECHEVERRÍA. 2000. Soja, girasol y maíz en los sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. En: Bases para el manejo de maíz, el girasol y la soja. Andrade y V. Sadras (eds.). INTA – Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). Advanta Semillas SAIC. p. 407-437.
- STUDDERT G. y H. ECHEVERRIA. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1496-1503.
- TISDALL, J.M. y J.M. OADES. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science 33: 141-163.
- UNGER, P.W. 1997. Aggregate and organic carbon concentration interrelationships of Torrtic Paleustoll. Soil and Tillage Research. 42:95-113.
- VARVEL, G.E., 1994, Rotation and nitrogen fertilization effects on changes in soil carbon and nitrogen, Agron, J, 86:319-325.
- VERRI, L. 2004. Efecto del uso y del manejo sobre la materia orgánica total y sus fracciones en un Hapludol típico. Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. 54 p.
- WALKLEY A., BLACK A. 1934. An examination of the Dejtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.
- WHALEN, J.K., P.J. BOTTOMLEY y D.D. MYROLD. 2000. Carbon and nitrogen mineralization from light –and heavy- fraction additions to soil. Soil Biology & Biochemistry 32: 1345-1352.

ZERBINO, S. y N. ALTIER. 2006. La Biodiversidad del suelo. 8-9. Suplemento Tecnológico. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La Estanzuela. Uruguay.

ANEXO

Figura A. Vista en planta del campo experimental de la U.N.R.C. (polígono amarillo: lugar de ensayo).



1. GRAFICOS CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA TOTAL DEL SUELO

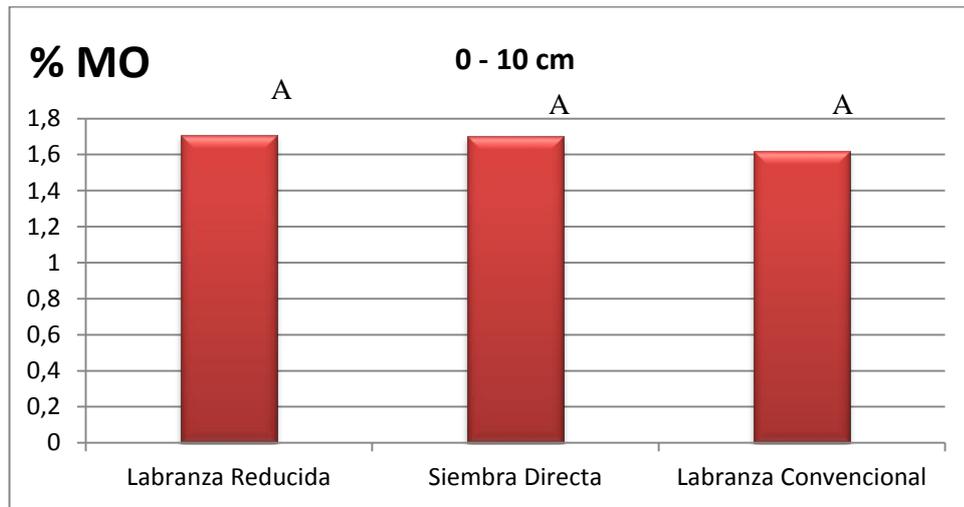


Figura 1: Contenido de Materia Orgánica total para la profundidad de 0 -10 cm de suelo para diferentes labranzas.

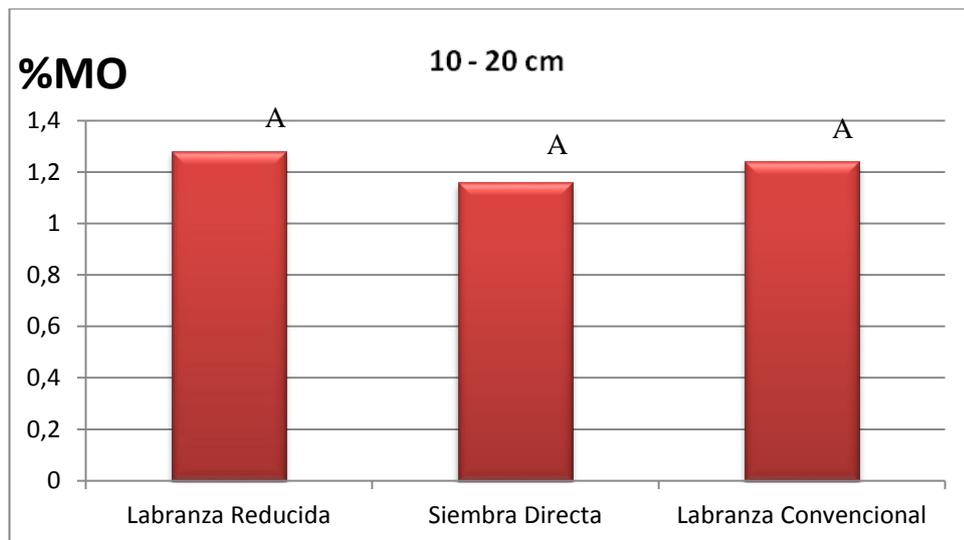


Figura 2: Contenido de Materia Orgánica total para la profundidad de 10 -20 cm de suelo para diferentes labranzas.

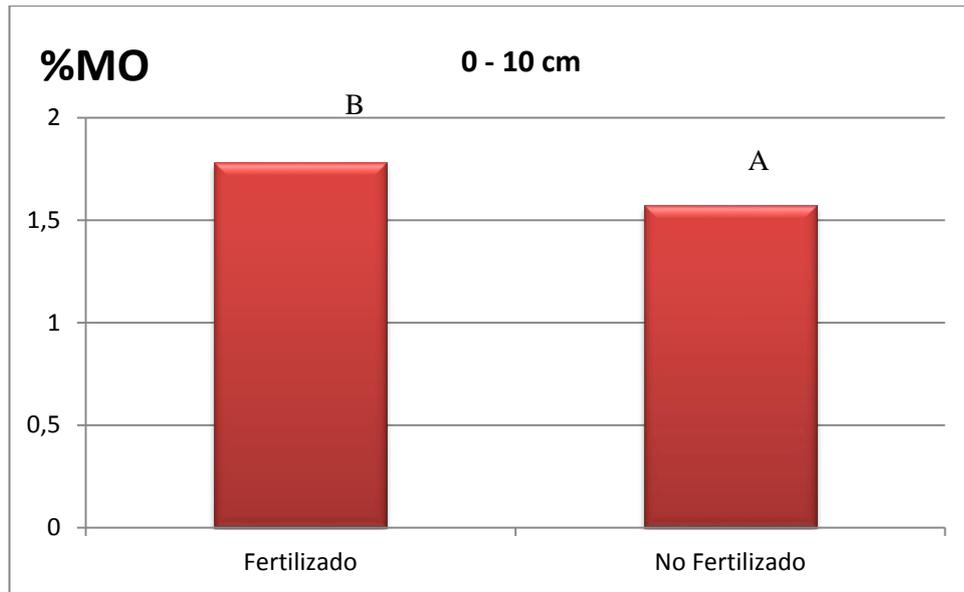


Figura 3: Contenido de Materia Orgánica total para la profundidad de 0 -10 cm de suelo para diferentes tratamientos de fertilización.

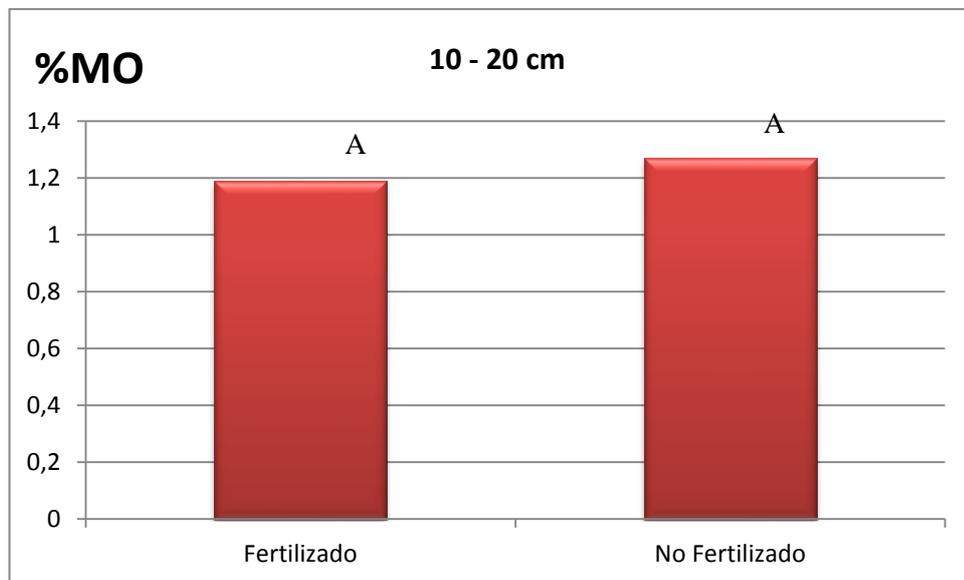


Figura 4: Contenido de Materia Orgánica total para la profundidad de 10 -20 cm de suelo para diferentes tratamientos de fertilización.

2. GRAFICOS DE LAS FRACCIONES DE MATERIA ORGANICA FINA, MEDIA Y GRUESA

a. Gráficos materia orgánica fina de suelo.

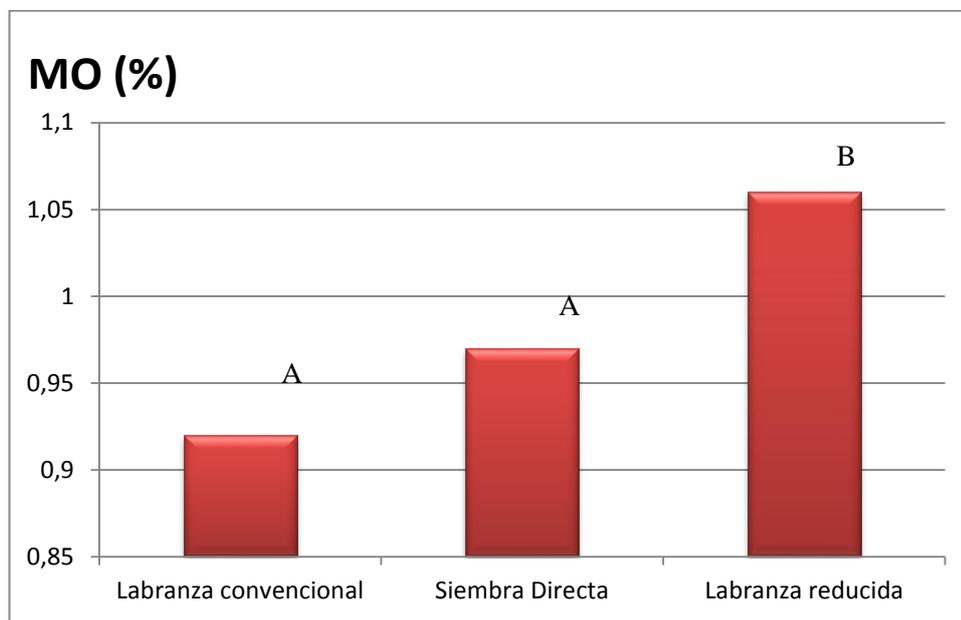


Figura 5: Gráfico del contenido de Materia Orgánica de la fracción “fina” en la profundidad de 0-10 cm de suelo para diferentes labranzas.

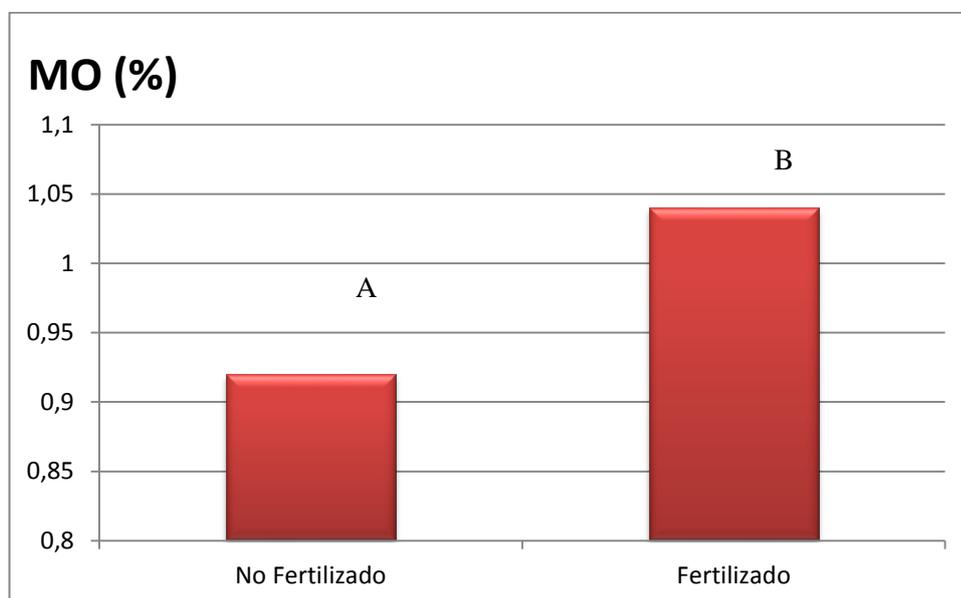


Figura 6: Gráfico del contenido de Materia Orgánica para la fracción “Fina” en la profundidad de 0 -10 cm de suelo para diferentes tratamientos de fertilización.

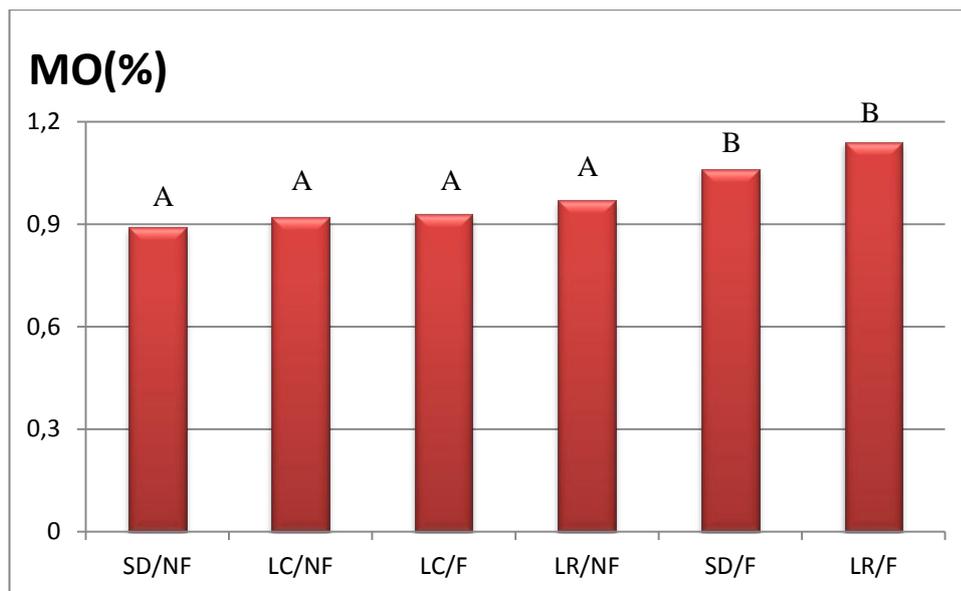


Figura 7: Gráfico del contenido de materia orgánica “fina” en profundidad de 0-10 cm de profundidad, interaccionando labranzas y tratamientos de fertilización.

b. Gráficos de la Materia Orgánica Media de suelo

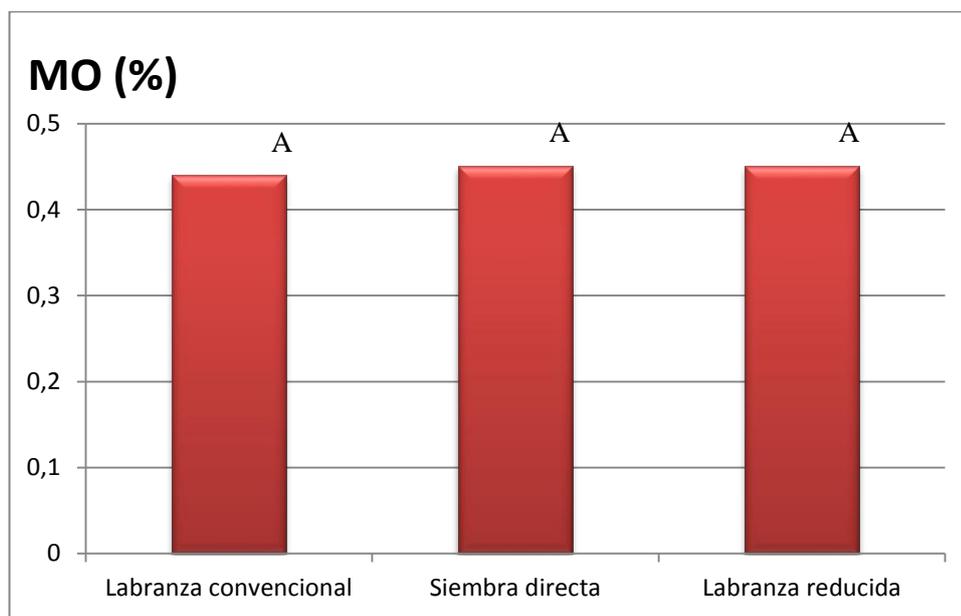


Figura 8: Gráfico del contenido de Materia Orgánica de la fracción “media” en la profundidad de 0-10 cm de suelo para diferentes labranzas.

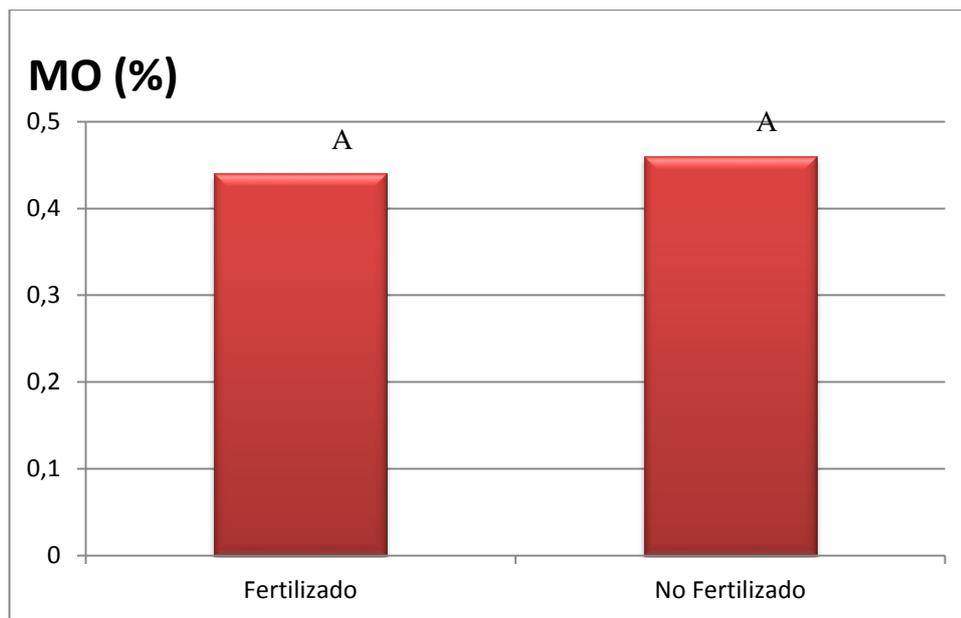


Figura 9: Gráfico del contenido de Materia Orgánica para la fracción “media” en la profundidad de 0 -10 cm de suelo para diferentes tratamientos de fertilización.

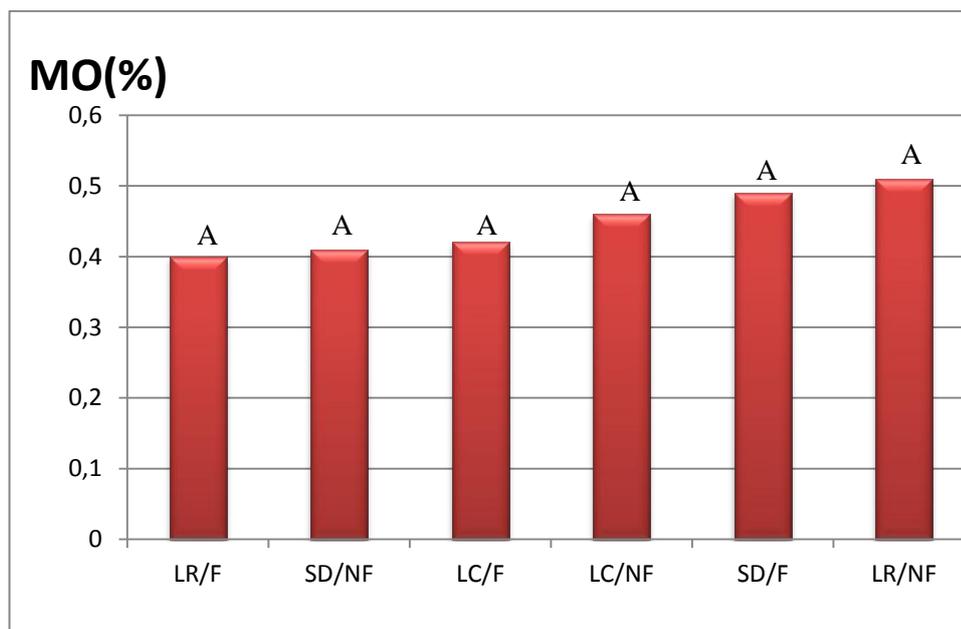


Figura 10: Gráfico del contenido de materia orgánica “media” en profundidad de 0-10 cm de profundidad, interaccionando labranzas y tratamientos de fertilización.

c. Gráficos de la Materia Orgánica Gruesa de suelo.

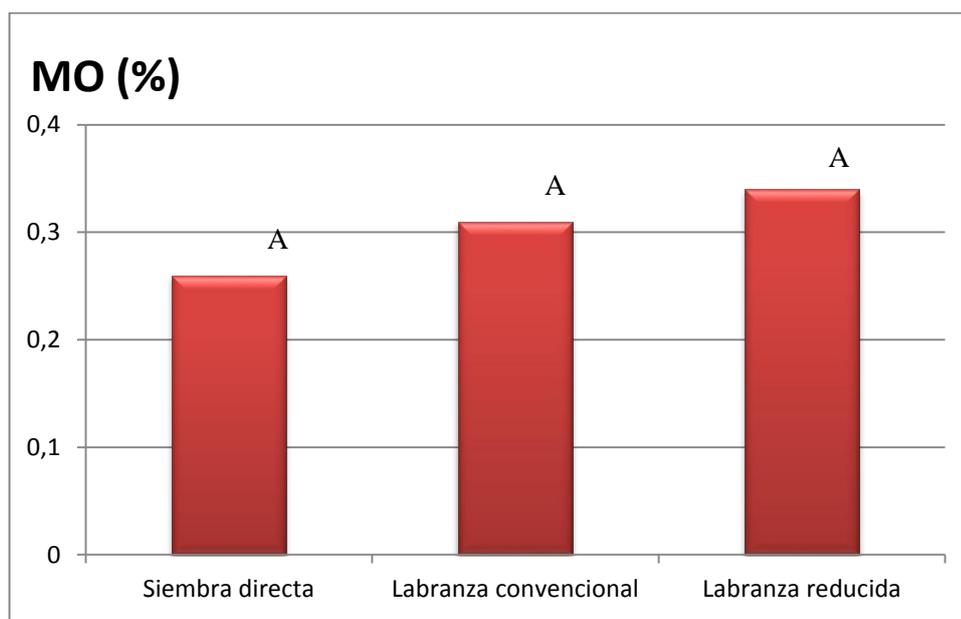


Figura 11: Gráfico del contenido de Materia Orgánica de la fracción “gruesa” en la profundidad de 0-10 cm de suelo para diferentes labranzas.

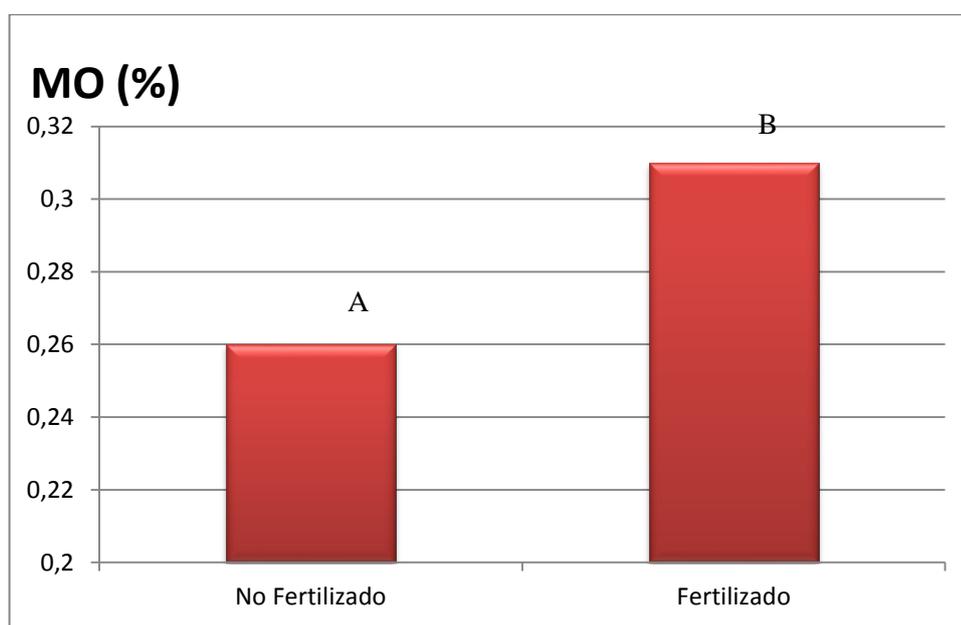


Figura 12: Gráfico del contenido de Materia Orgánica para la fracción “gruesa” en la profundidad de 0 -10 cm de suelo para diferentes tratamientos de fertilización.

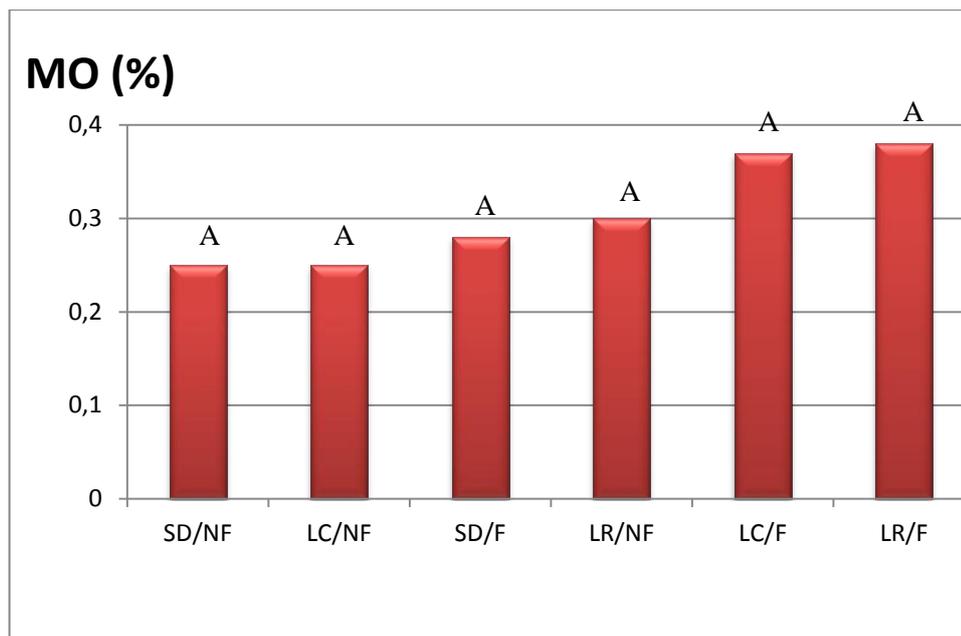


Figura 13: Gráfico del contenido de materia orgánica “gruesa” en profundidad de 0-10 cm de profundidad, interaccionando labranzas y tratamientos de fertilización.

Comparación con situación de mínimo disturbio (MD)

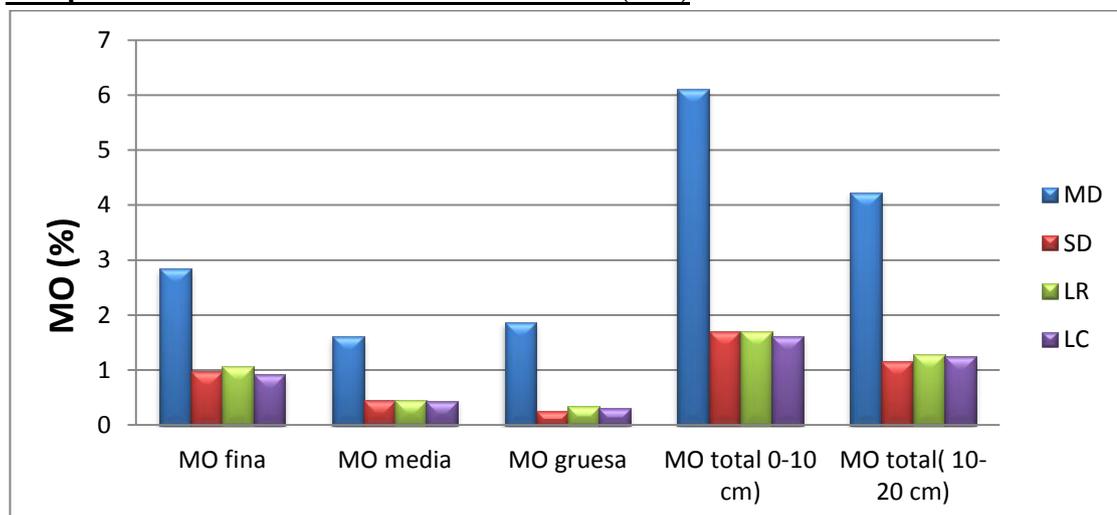


Figura 14. Comparación del contenido de MOT y sus fracciones fina, media y gruesa de cada tratamiento de labranza respecto a una situación de mínimo disturbio (MD).

3. TABLAS ROTACION AGRICOLA vs ROTACION AGRICOLA - GANADERA

Tabla 13. *Contenido de materia orgánica total de las capas superficiales del suelo para combinaciones de usos y tratamientos.*

Materia Orgánica total (%)		
Uso/Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm
RA SD F	1,94 a	1,08 a
RAG LR F	1,91 a	1,21 a
RAG SD F	1,87 a	1,19 a
RAG LR NF	1,79 a	1,04 a
RA LR NF	1,72 a	1,26 a
RA LC F	1,71 a	1,19 a
RA LR F	1,71 a	1,30 a
RAG LC F	1,57 b	1,22 a
RA LC NF	1,53 b	1,30 a
RAG LC NF	1,47 b	1,24 a
RA SD NF	1,46 b	1,24 a
RAG SD NF	1,28 c	1,30 a

En columnas, letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p>0,05$).

Tabla 14. *Contenido de materia orgánica fina de la capa superficial del suelo para diferentes combinaciones de usos y tratamientos.*

Materia Orgánica fina 0-10 cm (%)	
Tratamiento	0- 53 μ
RA LR F	1,14 a
RAG LR F	1,06 a
RA SD F	1,06 a
RAG LR NF	1,00 b
RA LR NF	0,97 b
RAG SD F	0,97 b
RAG SD NF	0,95 b
RA LC F	0,93 b
RA LC NF	0,92 b
RA SD NF	0,89 b
RAG LC NF	0,82 c
RAG LC F	0,80 c

En columnas, letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p>0,05$).

Tabla 15. *Contenido de materia orgánica media de la capa superficial del suelo para diferentes combinaciones de usos y tratamientos.*

Materia Orgánica media 0-10 cm (%)	
Tratamiento	53 - 100 μ
RA LR NF	0,51 a
RA SD F	0,49 a
RAG LR F	0,47 a
RA LC NF	0,46 a
RA LC F	0,42 a
RAG SD F	0,42 a
RAG LC F	0,42 a
RAG LR NF	0,41 a
RA SD NF	0,41 a
RA LR F	0,40 a
RAG SD NF	0,37 a
RAG LC NF	0,25 b

En columnas, letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p>0,05$).

Tabla 16. *Contenido de materia orgánica gruesa de la capa superficial del suelo para diferentes combinaciones de usos y tratamientos.*

Materia Orgánica gruesa 0-10 cm (%)	
Tratamiento	100 - 2000 μ
RA LR F	0,38 a
RA LC F	0,37 a
RAG LC NF	0,33 b
RAG SD F	0,31 b
RA LR NF	0,30 b
RA SD F	0,28 b
RAG LR F	0,28 b
RAG LC F	0,27 b
RA LC NF	0,25 b
RA SD NF	0,25 b
RAG LR NF	0,24 b
RAG SD NF	0,20 b

En columnas, letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGS ($p>0,05$).

Tabla 17. Carbono orgánico (CO) aportado por los residuos de cada cultivo, incluyendo parte aérea y radical.

		SIEMBRA DIRECTA				LABRANZA REDUCIDA				LABRANZA CONVENCIONAL			
		F		NF		F		NF		F		NF	
Años	Cul	Resid	CO	Resid	CO	Resid	CO	Resid	CO	Resid	CO	Resid	CO
94/95	M	7342	3283	5417	2422	5652	2527	4387	1962	5456	2440	3883	1736
95/96	M	8362	3740	3940	1762	6286	2811	3109	1390	4911	2196	2381	1065
96/97	G	6194	2770	6449	2884	5357	2396	5719	2558	4067	1819	3893	1741
97/98	M	8468	3787	3107	1389	6952	3109	6073	2716	6126	2739	5132	2295
98/99	G	3925	1755	2568	1149	4128	1846	3364	1504	3467	1550	2852	1276
99/00	M	9367	4189	3217	1439	9653	4317	4728	2114	9425	4215	4723	2112
00/01	G	5075	2270	3158	1412	4965	2220	3836	1716	4740	2120	3158	1412
01/02	M	8688	3885	395	177	8180	3658	3216	1438	6516	2914	4147	1855
02/03	M	8471	3788	983	439	8184	3660	3328	1488	7258	3246	2837	1269
03/04	S	4672	2089	4068	1819	4400	1968	4606	2060	3649	1632	4347	1944
04/05	M	10644	4760	3700	1654	9887	4421	5197	2324	11357	5079	7365	3294
05/06	S	5728	2562	4308	1926	5306	2373	4304	1925	5861	2621	4832	2161
06/07	M	6994	3128	2757	1233	6244	2792	3024	1352	6869	3072	3764	1683
07/08	S	4000	1789	4000	1789	4000	1789	4000	1789	4000	1789	4000	1789
08/09	M	6000	2683	6000	2683	6000	2683	6000	2683	6000	2683	6000	2683
09/10	S	4000	1789	4000	1789	4000	1789	4000	1789	4000	1789	4000	1789
10/11	M	9737	4355	6866	3071	9363	4187	7365	3294	8988	4020	7740	3461
11/12	S	3855	1724	3363	1504	3548	1587	3969	1775	3845	1719	3065	1371
12/13	M	9216	4121	5138	2298	9128	4082	5590	2500	9132	4084	5725	2560
13/14	S	6455	2887	4335	1939	6748	3018	3955	1769	5864	2622	3189	1426

M: Maíz, G: Girasol, S: Soja, Cul: Cultivos, Resid: Residuos (Kg MS/ha), CO: Carbono Orgánico (Kg CO/ha).