

**Diez años de labranza cero en un Hapludol con diferentes condiciones
iniciales de uso**

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,
Área Ciencias del Suelo*

Jorge Luis Zanettini

Ingeniero Agrónomo - Universidad Nacional de Cuyo - Año de egreso 2005

Lugar de trabajo: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Martín Díaz-Zorita

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de La Pampa)
Magister en Ciencias Agrarias (Universidad Nacional del Sur)
Doctor of Philosophy (University of Kentucky)

Consejero de Estudios

Daniel Eduardo Buschiazzo

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional del Sur)
Magister en Ciencias del Suelo (Universidad Nacional del Sur)
Doctor en Ciencias Agrarias (Universität Hohenheim)
Posdoctorado en Wind Erosion Research Unit (United States Department of
Agriculture)

JURADO DE TESIS

Director de tesis

Martín Díaz-Zorita

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de La Pampa)
Magister en Ciencias Agrarias (Universidad Nacional del Sur)
Doctor of Philosophy (University of Kentucky)

JURADO

Carina Rosa Álvarez

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)
Magister en Ciencias del Suelo (Universidad de Buenos Aires)
Doctora en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

Sergio Montico

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Rosario)
Doctor en Ingeniería (Universidad Nacional de Rosario)

Fecha de defensa de la tesis: 30 de junio de 2015

Agradecimientos

A mis consejeros de tesis Dres. Martín Díaz-Zorita y Daniel Buschiazzo y a mi asesora de tesis Ing. Agr. M. Sc. Miriam Barraco, por su apoyo y orientación que hicieron posible la realización de este trabajo de tesis.

A la Ing. Agr. Catalina Amendola, por sus sugerencias y colaboración en el análisis estadístico de la información.

Al personal de la E.E.A. I.N.T.A. General Villegas, por su colaboración en los trabajos de campo y laboratorio.

Al I.N.T.A., por la financiación de los estudios.

A la Escuela para graduados Ing. Agr. Alberto Soriano, a su personal administrativo y docente.

Declaración jurada

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente la contribución de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otro institución.

Jorge L. Zanettini

ÍNDICE GENERAL

Abreviaturas	xii
Resumen	xiii
Capítulo 1: Introducción	1
Hipótesis.....	4
Objetivos.....	5
Capítulo 2: Materiales y métodos	
2.1) Ubicación y caracterización de la región.....	6
2.2) Ubicación y caracterización del sitio de estudio.....	8
2.3) Descripción del manejo de los cultivos.....	8
2.4) Caracterización del estudio de las propiedades edáficas.....	9
2.5) Descripción de la evaluación del rendimiento de los cultivos.....	11
2.6) Análisis de los resultados.....	12
Capítulo 3: Resultados y discusión	
3.1) Materia orgánica.....	14
3.2) Acidez.....	20
3.3) Fósforo extractable.....	23
3.4) Densidad aparente.....	28
3.5) Resistencia a la penetración.....	31
3.6) Infiltración.....	33
3.7) Estructura del suelo.....	34
3.8) Análisis combinado de las propiedades edáficas.....	38
3.9) Producción de maíz y de soja.....	39
Capítulo 4: Conclusiones	43
Bibliografía	45
Apéndice	55

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2: Materiales y métodos

Tabla 2.4.1: Relaciones entre resultados de carbono orgánico total (COT), fósforo extractable (Pe) y pH en agua de análisis del año 2001 (x) y del 2011 (y) sobre muestras del año 2001.....11

Tabla 2.5.1: Precipitaciones mensuales (mm mes⁻¹) en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA “General Villegas” en el ciclo productivo de maíz y de soja durante las diez campañas del estudio.....12

Capítulo 3: Resultados y discusión

Tabla 3.1.1: Concentración de la materia orgánica (g kg⁻¹) de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero en cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para cada uso previo del suelo y momentos de evaluación.....15

Tabla 3.1.2: Cantidad total de materia orgánica (Mg ha⁻¹) de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero en cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para cada uso previo del suelo y momentos de evaluación.....16

Tabla 3.1.3: Concentración de materia orgánica particulada (g kg⁻¹) de un Hapludol Típico luego de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas según los usos previos del suelo en cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades según cada uso previo del suelo.....17

Tabla 3.2.1: Valores de pH en agua medios en un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para un mismo uso previo del suelo y momento de evaluación.....21

Tabla 3.3.1: Contenido de fósforo extractable (mg kg^{-1}) de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para cada momento de evaluación.....24

Tabla 3.4.1: Densidad aparente media (Mg m^{-3}) de un Hapludol Típico antes (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para un mismo uso previo y profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para un mismo uso previo del suelo y momento de evaluación.....28

Tabla 3.5.1: Resistencia a la penetración (Mpa) de un Hapludol Típico antes (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para cada momento de evaluación.....31

Tabla 4.1: Resumen del efecto de 10 años de labranza cero sobre las propiedades en las capas superficiales y profundas de un Hapludol Típico, dependiendo del nivel de degradación previa por remoción (No = no hay dependencia de la degradación previa del suelo). MO = materia orgánica, Pe = fósforo extractable, DA = densidad aparente, RP = resistencia a la penetración.....44

Apéndice

Tabla 1: Propiedades químicas al inicio (año 2001) y luego (año 2011) de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y profundidades. MO = concentración de materia orgánica total, MOT = cantidad total de materia orgánica, IE_{MO} = índice de estratificación de MO, Pe = contenido de fósforo extractable, IE_{Pe} = índice de estratificación de Pe.....55

Tabla 2: Densidad aparente (DA) al inicio (año 2001) y luego (año 2011) de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y profundidades.....58

Tabla 3: Resistencia a la penetración (RP) al inicio (año 2001) y luego (año 2011) de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y profundidades...61

Tabla 4: Sortividad (S) y conductividad hidráulica saturada (K) luego de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).....	65
Tabla 5: Diámetro medio ponderado (DMP) y tasa de reducción (TR-DMP) ante niveles crecientes de energía al inicio (año 2001) y luego (año 2011) de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).....	65
Tabla 6: Estabilidad en húmedo de distintos tamaños de fragmentos obtenidos por tamizado en seco luego de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).....	69
Tabla 7: Rendimientos de maíz durante 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).....	71
Tabla 8: Rendimientos de soja durante 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2: Materiales y métodos

Figura 2.1.1: Región semiárida – subhúmeda de la pampa arenosa. Las líneas completas muestran los límites entre provincias y las discontinuas los límites entre partidos y entre departamentos dentro de la provincia de Buenos Aires y de La Pampa, respectivamente.....6

Capítulo 3: Resultados y discusión

Figura 3.1.1: Índice de Estratificación medio de la materia orgánica (IE_{MO}) de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para un mismo uso previo. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre usos previos según momentos de evaluación.....15

Figura 3.1.2: Concentración de la materia orgánica ($g\ kg^{-1}$) entre 0 y 5 cm de profundidad de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero en cada uso previo del suelo. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre usos previos del suelo en cada momento de evaluación.....18

Figura 3.2.1: Relación del pH en agua (promedio de 0 a 20 cm de profundidad) y el índice de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) en un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.....22

Figura 3.3.1: Índice de Estratificación medio del fósforo extractable (IE_{Pe}) de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para un mismo uso previo.....24

Figura 3.3.2: Relación del índice de estratificación de fósforo extractable (IE_{Pe}) y el índice de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) en un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.....25

Figura 3.3.3: Relación del índice de estratificación de fósforo extractable (IE_{Pe}) y el pH en agua (promedio de 0 a 10 cm de profundidad) en un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.....26

Figura 3.4.1: Relación de la densidad aparente (DA) de 0 a 10 cm de profundidad y el índice de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) de un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.....29

- Figura 3.6.1: Sortividad (S) de un Hapludol Típico luego de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras en común muestran diferencias no significativas.....33
- Figura 3.6.2: Conductividad hidráulica saturada (K) de un Hapludol Típico luego de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras en común muestran diferencias no significativas.....33
- Figura 3.7.1: Diámetro medio ponderado (DMP) según niveles de energía en un Hapludol Típico antes (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero. Promedio de distintos usos previos del suelo (labranza cero o sin remoción, pastura de festuca, labranza con remoción). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero sin aplicación de energía de fragmentado por caída. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre niveles de energía de fragmentado por caída para cada momento de evaluación..35
- Figura 3.7.2: Relación del diámetro medio ponderado (DMP) sin la aplicación de energía de ruptura por caída (nivel $0,00 \text{ J g}^{-1}$) y los índices de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) en un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.....36
- Figura 3.7.3: Relación de la tasa de reducción del diámetro medio ponderado (TR-DMP) y los índices de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) en un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.....37
- Figura 3.8.1: Relación combinada de las propiedades (MO = materia orgánica, pH, Pe = fósforo extractable, DA = densidad aparente, RP = resistencia a la penetración, DMP = diámetro medio ponderado sin la aplicación de energía de ruptura por caída, TR-DMP = tasa de reducción del diámetro medio ponderado ante niveles crecientes de energía de ruptura por caída) en la superficie de un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.....39
- Figura 3.9.1: Rendimientos de maíz en un Hapludol Típico durante 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).....39
- Figura 3.9.2: Rendimientos (Rto) de soja en un Hapludol Típico durante 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).....40
- Figura 3.9.3: Relación entre el rendimiento (Rto) de soja y las precipitaciones de febrero (Pf) en un Hapludol Típico durante 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).....41

Figura 3.9.4: Rendimiento de soja en un Hapludol Típico durante 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras distintas muestran diferencias significativas entre usos previos del suelo en cada campaña ($p < 0,05$).....42

Abreviaturas

AAPRESID: Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa.

COT: Carbono orgánico total.

COP: Carbono orgánico particulado.

DA: Densidad aparente.

DMP: Diámetro medio ponderado.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

IE_{MO}: Índice de estratificación de la materia orgánica.

IE_{Pe}: Índice de estratificación del fósforo extractable.

K: Conductividad hidráulica.

LCR: Labranza con remoción.

LSR: Labranza sin remoción o labranza cero.

MO: Concentración de materia orgánica total.

MOP: Concentración de materia orgánica particulada.

MOT: Cantidad total de materia orgánica.

PF: Pastura de festuca.

Pe: Fósforo extractable.

RP: Resistencia a la penetración.

S: Sortividad.

SAGYP: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.

TR-DMP: Tasa de reducción del diámetro medio ponderado.

Diez años de labranza cero en un Hapludol con diferentes condiciones iniciales de uso

RESUMEN

Abundantes estudios muestran diferencias edáficas y de producción entre sistemas de labranzas luego de instalados en condiciones uniformes de uso del suelo. Estos muestran procesos relativos de degradación o de recuperación de algunas propiedades, generados por la labranza cero en comparación con prácticas de remoción. Sin embargo, son escasos los estudios que analizan la contribución absoluta de la labranza cero a la evolución de propiedades edáficas y la producción de cultivos a partir de su implementación bajo diferentes condiciones de uso del suelo. El objetivo es cuantificar cambios en un Hapludol Típico y en los rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) y de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] en rotación luego de 10 años de labranza cero a partir de diferentes condiciones iniciales de uso del suelo. El estudio se desarrolló en secano en un sitio representativo de la región semiárida-subhúmeda aledaño a General Villegas (Buenos Aires, Argentina). Luego de 10 años de aplicación continua de labranza cero se observó que, independientemente del uso inicial de los suelos, los contenidos superficiales (0 a 5 cm) de materia orgánica, de acidez, de fósforo extractable y de agregación se incrementaron 10; 5; 43 y 35 %, respectivamente. En cambio, se redujo 4 % la compactación y 39 % la resistencia a la penetración. En la profundidad de 5 a 20 cm se mantuvieron los niveles iniciales de materia orgánica, de fósforo extractable, de resistencia a la penetración y se incrementó 5 % la acidez. Sólo bajo condiciones iniciales de prácticas agrícolas sin remoción se describieron aumentos en la compactación, siendo éstos del 4 %. Durante los 10 años en labranza cero, los rendimientos de maíz fueron independientes de la condición inicial de uso del suelo. En cambio, al inicio del estudio, los rendimientos de soja fueron mayores bajo condiciones iniciales de uso del suelo con prácticas de remoción. Se concluye que en un Hapludol Típico, representativo de la pampa arenosa, la instalación durante 10 años de agricultura en labranza cero generan cambios principalmente en la superficie del suelo e independientemente del uso inicial del mismo.

Palabras claves: labranzas, agricultura de secano, fertilidad del suelo.

Ten years of zero tillage practices in a Hapludoll with different initial levels of use

ABSTRACT

Abundant studies show soil and crop productivity differences between tillage systems installed under uniform conditions of land use. In these studies, the application of zero tillage related to tillage resulted in both degradation or recovery of some properties. However, few studies analyze the absolute contribution of zero tillage in the changes on soil properties and crop production from its implementation under different conditions land use. The objective was to quantify changes in a Typic Hapludoll and in the yields of maize (*Zea mays*) and soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] in rotation after 10 years of zero tillage from different conditions of land use. The study was performed under dryland conditions on a site representative of the semiarid-subhumed pampas region near General Villegas (Buenos Aires, Argentina). After 10 years of continuous application of zero tillage noted that, regardless of the initial use of the soil, the surface (0 to 5 cm) levels of organic matter, acidity, extractable phosphorus and aggregation increased 10; 5; 43 and 35 %, respectively. On the other hand, the compaction dropped 4 % and 39 % the penetration resistance. In the 5 to 20 cm depth remained the initial levels of organic matter, extractable phosphorus, of resistance to penetration and increased 5 % acidity. Only under the initial conditions of agricultural practices without removal, compaction increased 4 %. During the 10 years under zero tillage the corn yields were independent of the initial condition of land use. But, only at the beginning of the study, the soybean yields were higher when the land use was under tillage practices. In the Typical Hapludoll, representative sandy pampa, the continuous application of zero tillage practices during 10 years generate changes mainly on the surface properties of the soil and regardless of its initial use.

Key words: tillage practices, dryland agriculture, soil fertility.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Las labranzas conservacionistas son un conjunto de operaciones de laboreo que efectúan el mínimo disturbio del suelo para la siembra del cultivo, manteniendo al menos un 30 % del suelo cubierto por rastrojos (FAO, 1993). En general, son tres grupos de sistemas de labranzas que se consideran conservacionistas: labranza reducida, labranza mínima y labranza cero o siembra directa. La primera es la reducción del número de operaciones de laboreo respecto a la labranza convencional con remoción, lo que permite mantener una mayor cantidad de rastrojos sobre la superficie que la convencional. La labranza mínima comprende el mínimo laboreo indispensable para lograr una correcta implantación de los cultivos. El caso más extremo de labranza mínima es la labranza cero donde la siembra es directa sin remover el suelo. Las ventajas de los sistemas de labranzas conservacionistas se asocian a los residuos de cosecha que dejan sobre la superficie del suelo. Históricamente las labranzas conservacionistas surgieron en respuesta a la erosión de los suelos en Estados Unidos, Argentina, Brasil y Australia (Kassam *et al.*, 2009). En estos países la adopción de las labranzas conservacionistas es generalizada y actualmente se extienden en más de 106 millones de hectáreas. Por ejemplo, en América del Sur se encuentra la mayor proporción de tierras bajo estos sistemas de labranza ocupando el 46,6 % de la superficie cultivada, seguida por América del Norte con el 37,5 %, Oceanía con el 11,4 %, Asia con el 2,3 %, Europa con el 1,4 % y África con el 0,4 % (Kassam *et al.*, 2009). En Argentina particularmente, el 78,5 % de la superficie agrícola actual se encuentra bajo sistemas de labranza cero (AAPRESID, 2012).

Durante la mayor parte del siglo XX, en la región pampeana los sistemas de producción agropecuaria incluían, en proporciones equitativas, rotaciones de cultivos anuales con pasturas perennes bajo pastoreo directo. No obstante, hacia finales del siglo se redujo la superficie cultivada con pasturas y se incrementó el área destinada a la siembra de cultivos agrícolas, siendo los principales los de cosecha gruesa tales como maíz (*Zea mays L.*) y soja [*Glycine max (L.) Merrill*]. Estos sistemas basados en una agricultura continuada e intensiva bajo prácticas con laboreo, se exponían a riesgos de pérdida de la producción al deteriorarse la calidad de los suelos (Pizarro *et al.*, 1992). La posible disminución de rendimientos no se visualizó con claridad dada la creciente adopción de tecnologías tales como el uso de agroquímicos, de fertilizantes y el mejoramiento genético (Pecorari, 1988). Sin embargo, paralelamente a estos cambios también ocurrió una variación en los sistemas de labranza de los suelos, pasándose de prácticas agrícolas bajo laboreo a la generalización de la labranza cero (García *et al.*, 2000; Hall *et al.*, 1992). A partir de ello, se realizaron varios estudios donde se compararon los efectos de la labranza cero y los de labranza convencional con remoción sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos. En general hay coincidencias en los resultados de diferentes estudios, por ejemplo, el no laboreo del suelo incrementa los contenidos de materia orgánica, aumenta el tamaño y estabilidad de los agregados, mejora la captación y uso del agua por parte de los cultivos en comparación con sistemas bajo prácticas de remoción de suelos (Buschiazzo *et al.*, 1998; Chagas *et al.*, 1994; Dardanelli, 1998; Díaz Zorita *et al.*, 2002; Hevia *et al.*, 2007; Mahboubi *et al.*, 1993). Pero en algunos casos, la información es variada e inconsistente como por ejemplo, en los resultados de densidad aparente (Elissondo *et al.*, 2001; Ferreras *et al.*, 2000; Kruger, 1996; Sánchez *et al.*, 1998), en los niveles de fósforo extractable (Giuffré *et al.*, 1995; Holanda *et al.*, 1998; Lal *et al.*, 1990), y en los rendimientos de los cultivos (Alvarez, 2006; Blevins *et al.*, 1971; Díaz-Zorita *et al.*, 2004; Lindstrom *et al.*, 1974).

Estos resultados variados sobre los cambios en algunas propiedades edáficas y en la producción de los cultivos, hacen pensar que uno de los factores responsables y parcialmente evaluado, podría ser el uso del suelo al momento de instalarse el sistema de labranza cero. El uso previo del suelo determina distintos grados de remoción, partiendo de un nivel nulo como lo es una condición pristina hasta un nivel mayor como la agricultura con laboreo. La mayoría de los estudios no son concluyentes en definir si los cambios aparentes que generan las prácticas de labranza cero se atribuyen a modificaciones inducidas por sí misma o resultan de la interacción con la condición inicial de uso del suelo. Por ejemplo, al compararse sistemas con diferentes prácticas de labranzas, el aumento aparente de la concentración de MO en labranza cero podría ser, i) el resultado de una contribución efectiva de esta práctica o ii) el resultado de la conservación frente a sistemas bajo laboreo, en ambos casos independientemente del uso previo del suelo, o bien, iii) ser el resultado de una de ambas situaciones según el uso inicial del suelo. Este comportamiento, conduce al interrogante si la labranza cero contribuye exclusivamente a la conservación de los suelos independientemente de su condición original de uso, o de su implementación se pueden esperar procesos de mejora en aquellos ambientes laboreados previamente. Cuando la labranza convencional con remoción y la labranza cero son comparadas en términos de almacenamiento de materia orgánica, las diferencias entre los tratamientos dependen en primer lugar de la historia del suelo, y en segundo lugar, de la duración de ambos sistemas de labranza (Balesdent *et al.*, 2000). Estas diferencias son mayores en suelos previamente laboreados por prácticas agrícolas, con respecto a suelos originalmente en condiciones nativas. Este comportamiento sugiere que según el uso de los suelos previo a la implementación de prácticas de labranza cero, en un ambiente definido por el tipo de suelo y condiciones climáticas, se generan cambios diferentes en las propiedades edáficas. Rice *et al.* (1986) en Kansas (Estados Unidos), concluyeron que cuando las prácticas agrícolas en labranza cero son instaladas en suelos nativos o pastizales, la tendencia era hacia una preservación del nitrógeno lábil del suelo. Pero, cuando la labranza cero es implementada en suelos sometidos previamente a prácticas agrícolas con remoción, la tendencia era hacia un incremento del nitrógeno lábil. Esto fue ilustrado por Staley *et al.* (1988) en Virginia (Estados Unidos), quienes mostraron que el cambio de labranza con remoción a labranza cero resultó en una estratificación de algunas propiedades edáficas parecida a la de los pastizales. Estos resultados sugerirían que el sistema de labranza cero podría tener un efecto conservacionista o mejorador de las propiedades del suelo según el nivel de remoción al momento de implementarse esta práctica. Las condiciones en que se encuentra la estructura en el momento de iniciar la labranza cero, son un factor determinante en la evolución de la misma en el tiempo (De Battista *et al.*, 1992; Ferreras *et al.*, 2000). De Battista *et al.* (1992) trabajando en suelos de Pergamino (Argentina), observaron que en lotes de labranza cero luego de prácticas con remoción, al menos en el corto y mediano plazo, no se mejoran las condiciones estructurales de los suelos. Sin embargo, en lotes provenientes de pradera la labranza cero mostró mayor porosidad y abundantes poros biológicos. Estos resultados sugieren que el uso previo de los suelos define la evolución de las condiciones físicas iniciales al momento de la implementación del sistema de labranza cero.

Estudios recientes mostraron similares tendencias, por ejemplo, García *et al.* (2010) al comparar el uso continuo de labranza cero en una secuencia anual soja-trigo (*Triticum aestivum*) de entre 15 y 19 años sobre Haplustoles de la región del noroeste de Argentina sometidos previamente a laboreos de entre 24 y 40 años y sobre suelos

desmontados, obtuvieron respuestas diferentes. Entre ellas, se observaron valores medios de densidad aparente de $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ cuando el uso del suelo previo a la labranza cero era con laboreo y de $1,21 \text{ Mg m}^{-3}$ cuando el uso previo era el monte. También describieron diferencias en la velocidad de infiltración con valores promedio de $1,40$ y $5,45 \text{ cm h}^{-1}$, y en la conductividad hidráulica media de $0,94$ y $5,11 \text{ cm h}^{-1}$, con sistemas provenientes de laboreo y de monte, respectivamente. El cambio del diámetro medio ponderado de los fragmentos del suelo también mostró diferencias en los primeros 10 cm de profundidad con valores medios de $1,41 \text{ mm}$ cuando el uso previo del suelo era con laboreo y $0,48 \text{ mm}$ cuando el uso previo era el monte. Las concentraciones de carbono orgánico total de 0 a 20 cm de profundidad mostraron valores de $24,8$ y $34,9 \text{ g kg}^{-1}$ con uso previo bajo laboreo y de monte, respectivamente. Mientras que las concentraciones de carbono orgánico particulado entre 0 y 5 cm de profundidad mostraron valores de $0,93$ y $1,25 \text{ g kg}^{-1}$ con antecedentes de uso del suelo bajo laboreo y de monte, respectivamente. La productividad de los cultivos fue afectada por los cambios en el uso de los suelos. En las últimas nueve campañas del estudio se describieron rendimientos medios de soja de 2997 kg ha^{-1} cuando el uso previo era con laboreo y de 3863 kg ha^{-1} cuando era un monte, mientras que en trigo los rendimientos fueron de 1640 y de 2228 kg ha^{-1} , respectivamente. Estos autores concluyeron que la degradación física alcanzada con el uso de labranza convencional con remoción durante 24 a 40 años limitó el crecimiento de las raíces afectando negativamente los rendimientos de soja y de trigo. Esta condición no fue modificada luego de la implementación durante 15 a 19 años de labranza cero. Este mismo estudio mostró que las propiedades de los suelos no se habrían modificado al aplicar prácticas de labranza cero durante 15 a 19 años desde el desmonte. Sin embargo, y a diferencia de lo observado cuando el manejo previo de los suelos fue bajo prácticas con laboreo, los rendimientos de soja y de trigo fueron mayores dado que con uso previo de monte no se describieron limitantes físicas para la normal producción de los cultivos. Lafond *et al.* (2011), estudiaron los efectos de 2 años de uso continuo de este sistema de labranza en una rotación trigo – colza (*Brassica napus*) sobre un Hapocriol Típico de Canadá. Los usos previos comparados fueron labranza convencional con remoción durante 16 años y labranza cero durante 22 años. En los primeros 15 cm de profundidad encontraron mayores contenidos medios de materia orgánica con antecedentes de uso del suelo bajo labranza cero, conservando las diferencias originales entre usos previos del suelo. En el mismo estudio se observó que las producciones de grano de trigo y de colza fueron entre 11 y 26% superiores en sistemas de uso previo en labranza cero con respecto a prácticas bajo laboreo, respectivamente. Follett *et al.* (2009) en un Argialbol de Nebraska (Estados Unidos), evaluaron el efecto de 6 años continuos de monocultivo de maíz bajo labranza cero sobre los contenidos de carbono orgánico en suelos provenientes de una pastura de *Bromus inermis* Leyss. Concluyeron que durante el período de aplicación de la labranza cero no se modificaron significativamente los contenidos originales de carbono de los suelos.

La estratificación de la materia orgánica es frecuentemente descripta en muchos ecosistemas naturales (Prescott *et al.*, 1995). Bajo prácticas continuas en labranza cero los contenidos de fósforo extractable y de materia orgánica se estratifican (Guertal *et al.*, 1991). En Boigneville (Francia), Balesdent *et al.* (1990) luego de 17 años de este sistema de labranza con monocultivo de maíz, observaron que más del 50% del carbono aportado por el cultivo se ubicó en los 4 cm superficiales, mientras que sólo el 20% por debajo de los 25 cm de profundidad. Este resultado sugiere que la labranza

cero generaría cambios en las propiedades edáficas considerando estratos de pocos centímetros y principalmente en los superficiales, dando consecuentemente una estratificación de las propiedades. Según Melero *et al.* (2012), el grado de estratificación expresado como un índice, podría ser usado como un indicador de la calidad de los suelos debido a que la presencia de materia orgánica superficial en suelos minerales es esencial para el control de la erosión y conservación de nutrientes, entre otros. Además, según Franzluebbers (2003), bajo condiciones de manejo sin laboreo, pueden considerarse como estabilizados aquellos ambientes con índices de estratificación superiores a 2. Díaz-Zorita y Grove (2002) en un estudio realizado sobre un suelo Alfisol Típico de Kentucky (Estados Unidos), compararon los efectos de la labranza cero continua con monocultivo de maíz durante 2, 8 y 29 años sobre algunas propiedades químicas. Además de describir la estratificación de las concentraciones de MO, mostraron que ésta tendía a incrementarse con el tiempo.

Los estudios de larga duración son de gran utilidad para analizar estos cambios en las propiedades edáficas y en la producción de los cultivos, dado que las modificaciones químicas y físicas a corto plazo son usualmente difíciles de detectar (Abril *et al.*, 2005). En Argentina, en la región pampeana subhúmeda y semiárida, son escasos los estudios de largo plazo en sistemas bajo labranza cero (Schmidt *et al.*, 2010). Menos frecuentes aún, son las evaluaciones de los cambios de la labranza cero asociados a diferentes usos previos de los suelos (Álvarez *et al.*, 2010).

Hipótesis

Hipótesis general

- La labranza cero en un Hapludol Típico previamente laboreado mostraría cambios en sus propiedades con respecto a su condición inicial, y en la producción de los cultivos. Estas modificaciones serían de mayor magnitud en las capas superficiales. Sin embargo, en un Hapludol Típico sin previa remoción, la labranza cero no generaría cambios relevantes en sus propiedades con respecto a su condición inicial, ni en la producción de los cultivos.

Hipótesis específicas

- La labranza cero en un Hapludol Típico previamente laboreado, incrementaría la concentración de la materia orgánica, el fósforo extractable, el tamaño medio de los fragmentos y la estabilidad de la estructura, contrariamente reduciría el pH, la densidad aparente y la resistencia a la penetración del suelo. Estos cambios serían de mayor magnitud en las capas superficiales. Mientras que en un Hapludol Típico sin remoción, la labranza cero no generaría cambios relevantes de estas propiedades con respecto a su condición inicial.
- La labranza cero en un Hapludol Típico previamente laboreado, incrementaría la producción de los cultivos de maíz y de soja, mientras que sin previa remoción de este suelo, la producción no mostraría cambios relevantes.

Objetivos

Objetivo general

- Determinar si el sistema de labranza cero es una práctica conservacionista o mejoradora de las propiedades de un Hapludol Típico y de la producción de los cultivos, a partir de diferentes niveles de remoción previa del suelo.

Objetivos específicos

- Analizar la evolución de algunas propiedades físicas y químicas en las capas de un Hapludol Típico durante la implementación del sistema de labranza cero a partir de distintos niveles iniciales de remoción.
- Evaluar cambios en la estratificación de la materia orgánica y del fósforo extractable durante la aplicación del sistema de labranza cero continua en un Hapludol Típico con diferentes estados previos de remoción.
- Evaluar la producción de los cultivos de maíz y de soja durante la aplicación de la labranza cero en un Hapludol Típico con diferentes estados de remoción previa.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1) Caracterización de la región

La región semiárida – subhúmeda de la pampa arenosa abarca el sector noroeste de la provincia de Buenos Aires, sudeste de la provincia de Córdoba, sur de la provincia de Santa Fe y noreste de provincia de La Pampa, Argentina (Figura 2.1.1). Cubre aproximadamente una superficie de 54.980 km², delimitada por los paralelos 34°20' y 36°45' de latitud sur y por los meridianos 61°33' y 63°25' de longitud oeste (Barraco *et al.*, 2009).

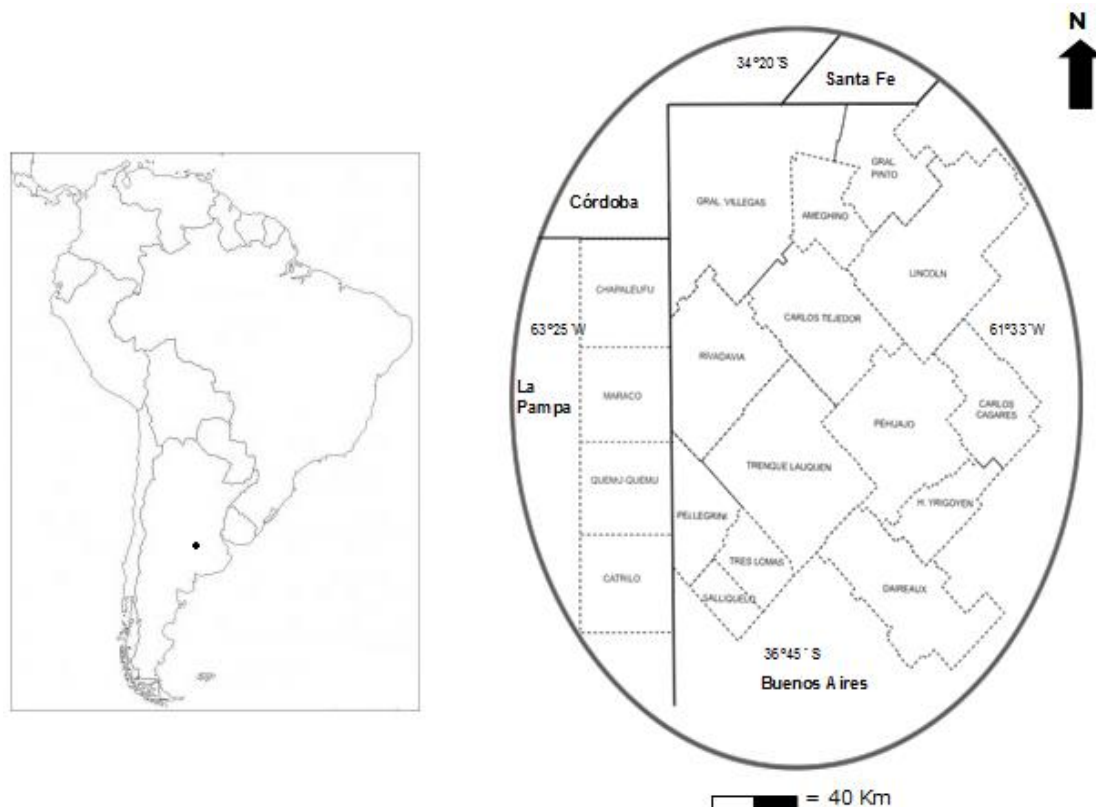


Figura 2.1.1: Región semiárida – subhúmeda de la pampa arenosa. Las líneas completas muestran los límites entre provincias y las discontinuas los límites entre partidos y entre departamentos dentro de la provincia de Buenos Aires y de La Pampa, respectivamente.

El clima de la región de la pampa arenosa es templado con moderadas condiciones continentales hacia el oeste, sin manifestarse grandes amplitudes térmicas diarias ni anuales. La temperatura media anual es de 16,2°C, con medias máximas durante el mes de enero de 33,0°C y medias mínimas durante el mes de julio de 1,6°C. En el semestre de primavera-verano se observa una mayor frecuencia e intensidad de vientos, que junto a las mayores temperaturas inducen a altas tasas de evapotranspiración potencial y afectan negativamente los balances hídricos de los cultivos. Las lluvias son variables entre años, condición típica de ambientes semiáridos - subhúmedos, con una distribución en los meses de primavera, de verano y de otoño. Las precipitaciones medias disminuyen aproximadamente unos 50 a 75 mm por grado de longitud en sentido este a oeste. Los valores medios anuales desde el año 1900 hasta el año 1999 fueron de 968 mm en el partido de Lincoln (Buenos Aires) y de 738 mm en el departamento de Catriló (La Pampa), en el este y oeste de la región, respectivamente (Sian, 2002). Los balances hídricos de los cultivos primavero-estivales, considerando el

nivel de evapotranspiración potencial según el método de FAO Penman- Monteih (Allen *et al.*, 1994), son en general negativos. Por ello el crecimiento de los cultivos depende en gran medida del agua acumulada en el suelo. El déficit hídrico es mayor en los meses de diciembre y de enero, mientras que la recarga del perfil se concentra entre los meses de febrero y abril.

Morfológicamente, la región de la pampa arenosa es una llanura con pendiente de oeste a este con un gradiente medio de 0,025 %. El paisaje muestra lomas, planicies y cordones medanosos cubiertos por sedimentos de origen eólico de más de 10 m de espesor en el sector oeste, que constituyen obstáculos naturales para el normal escurrimiento de las aguas superficiales. En el norte de la región se ubican médanos longitudinales con orientación sudoeste-noreste y en el sur médanos parabólicos. Estos médanos poseen una disposición transversal, generando un tipo de drenaje arreico. Los excedentes hídricos no se organizan en cursos superficiales, por lo que se observan abundantes lagunas donde el agua es eliminada por drenaje o evaporación (Barraco, 2009).

Los suelos de la región evolucionaron sobre materiales de sedimentos arenosos de origen eólico (loess), bajo regímenes de humedad subhúmedos (údicos) en el este y semiáridos (ústicos) hacia el oeste. Se encuentran asentados sobre sedimentos de texturas más finas, poco permeables que hacen de apoyo a la capa de agua freática. La profundidad a la que se encuentra esta capa depende del espesor de manto arenoso. El agua se mantiene distante a más de 3 m de la superficie en suelos profundos, donde el relieve es ondulado, pero se aproxima a la misma en la medida que disminuye el espesor del manto arenoso. Las texturas superficiales son arenosas a franco arenosas con contenidos de arena entre 500 y 700 g kg⁻¹, bien drenados, con bajas a medias concentraciones de materia orgánica (18 a 25 g kg⁻¹ en el horizonte superior) y con moderada capacidad de almacenaje de agua (Díaz-Zorita y Buschiazzo, 2006). Considerando la posición que ocupan en el relieve, es posible distinguir diferentes tipos de suelos con aptitud de uso agropecuario (ganadero-agrícola o agrícola). Hacia el noroeste del área, donde el relieve es suavemente ondulado disminuye el espesor de la cobertura arenosa y se encuentran suelos clasificados como Hapludoles Thapto-Árgicos. Estos suelos son poligenéticos, y en promedio, hasta aproximadamente los 45 cm de profundidad, de textura franca, pH débilmente ácido y con bajas concentraciones de materia orgánica, apoyados en forma abrupta sobre depósitos de materiales finos (horizonte IIB), franco arcillo limosos, moderadamente alcalinos. Estos suelos están clasificados con clase de aptitud de uso III, IV o V, con moderada capacidad de producción agrícola. En épocas húmedas, la ausencia de una red de drenaje natural y la presencia de capas freáticas altas determinan una limitación a la productividad por hidromorfismo. En épocas de escasas precipitaciones, la principal limitante de estos suelos es la baja retención hídrica de la capa superficial y la elevada resistencia a la penetración de las raíces de la capa subsuperficial con mayor contenido de arcillas. En las áreas donde el relieve es ondulado y el espesor del manto arenoso es profundo se han desarrollado suelos Hapludoles Énticos de textura arenosa, con reacción ácida a neutra, moderada a excesivamente drenados y con baja retención de humedad. En la posición de media loma o en sectores planos se encuentran suelos Hapludoles Típicos con mayor capacidad de retención de humedad debido a la presencia de mayor proporción de materiales finos (arcilla y limo), con texturas franco-arcillo-arenosas, reacción ligeramente ácida o neutra y bien drenados (SAGYP- INTA 1989). Los suelos Hapludoles Énticos y los Hapludoles Típicos en general presentan aptitud de uso II y

III, siendo los contenidos de materia orgánica de la capa superficial la propiedad edáfica que mejor describe las variaciones en la producción de los cultivos en la región (ej. trigo, Díaz-Zorita et al., 1999a). Las principales limitantes de estos suelos son la baja retención hídrica y la susceptibilidad a la erosión eólica, principalmente en épocas de sequía. Ambas limitantes son de mayor magnitud en los Hapludoles Énticos que en los Hapludoles Típicos. En el este de la provincia de La Pampa se encuentran los Hapludoles de similares características a los Hapludoles pero bajo un régimen de humedad ústico. En menor proporción y en áreas con lomas más pronunciadas, predominan suelos Ustipsamientos Típicos, caracterizados por contenidos de arena mayores a 700 g kg^{-1} , excesivamente drenados y con contenidos de materia orgánica menores que en los Hapludoles Énticos y los Hapludoles Típicos (Díaz-Zorita y Buschiazzo, 2006).

2.2) Ubicación y caracterización del sitio de estudio

El estudio se estableció en el campo experimental de la Estación Experimental Agropecuaria "General Villegas" del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en Drabble, ($34^{\circ}54'S$, $62^{\circ}44'O$; provincia de Buenos Aires, Argentina). El suelo predominante es un Hapludol Típico serie Blaquier, compuesto por los horizontes A (0 a 20 cm), AB (20 a 28 cm), Bw (28 a 57 cm), B (57 a 89 cm) y C ($> 89 \text{ cm}$). El horizonte A es de textura franco-arenosa con $61,5 \text{ g kg}^{-1}$ de arena, $26,1 \text{ g kg}^{-1}$ de limo y $12,4 \text{ g kg}^{-1}$ de arcilla (Mapa de suelos de la Estación Experimental Agropecuaria "General Villegas").

En la primavera del año 2001 se instalaron 3 tratamientos de rotación continua de maíz - soja bajo prácticas de labranza cero, a partir de 3 condiciones contrastantes de uso previo del suelo: *i*) Pastura de festuca de 14 años de implantada y sin pastoreo (PF), *ii*) Agricultura (rotación maíz/soja) en labranza cero o sin remoción de 10 años de duración (LSR) y *iii*) Agricultura (rotación maíz/soja) en labranza con remoción de 10 años de duración (LCR). El nivel de remoción es nulo con uso previo del suelo bajo PF y agricultura en LSR, mientras que es mayor que éstos bajo agricultura en LCR. El testigo se encuentra implícitamente considerado para cada tratamiento en el tiempo cero, es decir al inicio de la labranza cero en el año 2001. Las diferencias entre usos previos del suelo se analizaron en relación a las diferencias entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero en cada tratamiento.

2.3) Descripción del manejo de los cultivos

Anualmente y en los tres tratamientos, los cultivos de maíz se sembraron durante la primera quincena de octubre con una distancia entre hileras de 52 cm y una densidad objetivo de 8 plantas m^{-2} . Durante la siembra se incorporó fosfato monoamónico (9-52-0) por debajo y al costado de la línea de siembra aportando 17 kg ha^{-1} de fósforo. En el estadio de v6 los cultivos fueron fertilizados superficialmente con urea (0-46-0) a razón de 100 kg ha^{-1} de nitrógeno. Los cultivos de soja fueron sembrados durante la primera quincena del mes de noviembre con una distancia entre hileras de 52 cm y una densidad objetivo de 42 plantas m^{-2} . Se emplearon semillas tratadas con fungicidas e inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum* utilizando fungicidas e inoculantes comerciales. Además se fertilizó con fosfato monoamónico (9-52-0) por debajo y al costado de la línea de siembra suministrando 11 kg ha^{-1} de fósforo. En ambos se realizó control químico de malezas durante el barbecho y en post emergencia de los cultivos, además de la aplicación de insecticidas y fungicidas para la normal protección y producción. Los

genotipos seleccionados variaron anualmente y fueron de altos potenciales de rendimientos y adaptados a las condiciones productivas de la región.

2.4) Caracterización del estudio de las propiedades edáficas

Luego de 10 años de labranza cero, en el año 2011, durante el otoño y con posterioridad a la cosecha de los cultivos, se tomaron muestras compuestas y disturbadas de los entresurcos con un barreno de 2,5 cm de diámetro y en las profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 y 15 a 20 cm. En cada una se determinó la concentración de Pe (Bray Kurtz 1, 1945), el pH en agua por potenciometría y la concentración de COT a través del método de digestión por vía húmeda (Walkley y Black, 1934). Las concentraciones (MO) y cantidades totales (MOT) de materia orgánica fueron estimadas según las ecuaciones 2.4.1 y 2.4.2, respectivamente. Donde, COT es el carbono orgánico total, 1,724 es el factor de corrección de Van Bemmelen considerando que la materia orgánica contiene 58 % de carbono, DA es la densidad aparente, E es el espesor de suelo y 10000 es la superficie de una hectárea.

$$MO (g kg^{-1}) = COT (g kg^{-1}) \times 1,724 \quad (2.4.1)$$

$$MOT (Mg ha^{-1}) = MO (\%) \times DA (Mg m^{-3}) \times E (m) \times 10000 (m^2 ha^{-1}) \quad (2.4.2)$$

También se cuantificó la concentración de COP en la fracción mayor a 106 μm , previo fraccionamiento físico (Cambardella y Elliot, 1992) con el agregado de 5 g L⁻¹ de hexametáfosfato de sodio para obtener una mejor dispersión de las partículas. Posteriormente se realizó el análisis mediante el método de digestión por vía húmeda (Walkley y Black, 1934). La concentración de materia orgánica particulada (MOP) se estimó a partir de la ecuación 2.4.3 donde, COP es el carbono orgánico particulado y 1,724 es el factor de corrección de Van Bemmelen considerando que la materia orgánica contiene 58 % de carbono en su composición.

$$MOP (g kg^{-1}) = COP (g kg^{-1}) \times 1,724 \quad (2.4.3)$$

En cada parcela se calculó el índice de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) y del fósforo extractable (IE_{Pe}). Para ello se relacionaron las concentraciones de materia orgánica (MO) o fósforo extractable (Pe) de las capas de 0 a 5 cm de profundidad y las capas de 15 a 20 cm de profundidad mediante las ecuaciones 2.4.4 y 2.4.5, respectivamente.

$$IE_{MO} = MO_{0-5 cm} (MO_{15-20 cm})^{-1} \quad (2.4.4)$$

$$IE_{Pe} = Pe_{0-5 cm} (Pe_{15-20 cm})^{-1} \quad (2.4.5)$$

Para el análisis de las propiedades físicas en el año 2011, durante el otoño y con posterioridad a la cosecha de los cultivos de soja y maíz, se tomaron muestras por duplicado de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad para la determinación de la DA según el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986).

Para el estudio de la RP se utilizó el método del penetrómetro de impactos (O'Sullivan *et al.*, 1987) con una pesa de 2 kg que se desplaza 50 cm por golpe en caída libre, un cono de 1,25 cm de radio y 3,7 cm de altura y con un ángulo de penetración de 30°. En cada parcela se cuantificó el número de golpes en 6 capas continuas (0 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20, 20 a 25, 25 a 30 cm de profundidad), en 8 puntos equidistantes a 20 cm, transversales a la línea de siembra. Para su evaluación, paralelamente se realizaron

determinaciones de humedad gravimétrica por duplicado de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad. Para comparar bajo condiciones uniformes de humedad se corrigieron los valores de RP por el contenido hídrico mediante una relación exponencial.

En cada una de las parcelas se determinó la infiltración con permeámetros de disco (Perroux y White, 1989). Se estimó la sortividad a partir de la pendiente de la relación lineal entre la lectura de la infiltración acumulada y la raíz cuadrada del tiempo en horas, a los 0; 1 y 2 minutos de iniciada la infiltración y la K según la pendiente de la relación lineal entre la lectura de la infiltración acumulada y el tiempo en horas, a los 100; 110 y 120 minutos de iniciada la infiltración.

Para evaluar su estado estructural se plantearon dos metodologías de determinación. En una se cuantificó la distribución de fragmentos separados bajo condiciones uniformes de energía de fraccionamiento (Díaz-Zorita *et al.*, 2002a). En cada parcela se tomaron 12 muestras sin disturbar con cilindros de 6 cm de diámetro de la capa de 0 a 10 cm de profundidad. Estas muestras, luego de secas al aire hasta aproximadamente 40 g kg^{-1} de humedad gravimétrica fueron fragmentadas empleando el método de caída-ruptura desde 1,7 m de altura sobre una bandeja 0, 1, 2, 4, 8 y 16 veces produciendo equivalentes de energía específica de 0,0; 0,017; 0,034; 0,068; 0,136 y $0,272 \text{ J g}^{-1}$, respectivamente. Cada una de las muestras se colocó sobre una batería de tamices de 16; 8; 4; 2 y 1 mm de diámetro de abertura y fueron tamizadas durante 30 segundos con una vibración de aproximadamente 50 Hz. Con el peso de los fragmentos retenidos en cada tamiz se calculó la distribución de fragmentos y el DMP de cada muestra. El bajo nivel de estrés mecánico causado por este tamizado, permite separar los tamaños de fragmentos sin modificar la distribución originada por la energía de ruptura por caída. Por ello, sin la aplicación de esta energía (nivel $0,0 \text{ J g}^{-1}$), se obtiene el DMP similar al existente en el suelo. Esto muestra el tamaño medio de fragmentos. Además, se estimó la TR-DMP a través de la pendiente de la relación exponencial entre los niveles de energía de ruptura por caída y los DMP. Esto muestra la estabilidad de la estructura. Con la segunda metodología se evaluó la estabilidad de los fragmentos frente a la disrupción en agua. Para ello, en cada parcela se tomaron muestras sin disturbar con cilindros de 6 cm de diámetro por duplicado de la capa de 0 a 10 cm de profundidad. Estas muestras fueron fragmentadas empleando el método de caída-ruptura desde 1,7 m de altura sobre una bandeja con una energía específica media de $0,017 \text{ J g}^{-1}$. Luego de secas al aire hasta aproximadamente 40 g kg^{-1} de humedad gravimétrica, se colocaron sobre una serie de tamices de 16; 8; 4; 2 y 1 mm de diámetro de abertura y fueron tamizadas durante 30 segundos con una vibración de aproximadamente 50 Hz. Cincuenta gramos de fragmentos correspondientes a cada clase de tamaño de fragmentos, fueron cuidadosamente sumergidos en agua destilada sobre un tamiz de malla de 1 mm de diámetro durante 20 segundos. Los fragmentos retenidos fueron secados hasta peso constante a 100°C . A partir de la diferencia relativa entre las masas iniciales y remanentes luego del estallido en el agua, se estimó la estabilidad de los fragmentos según cada fracción.

Sobre muestras recolectadas al inicio de 10 años de labranza cero, en el otoño del año 2001, en profundidades de suelo similares a las del año 2011, se determinó la concentración de COT, la concentración de Pe y el valor de pH en agua. Para ello se analizaron, mediante las mismas metodologías que las utilizadas con las muestras del año 2011, dos muestras de cada uso previo con sus respectivas profundidades. Se

calculó un factor de corrección obtenido a partir de la relación lineal de los resultados del análisis realizado en el año 2001 y el del 2011, sobre las mismas muestras (Tabla 2.4.1). Este factor fue aplicado sobre todas las determinaciones del año 2001 para limitar posibles diferencias durante los análisis entre momentos de medición.

Tabla 2.4.1: Relaciones entre resultados de carbono orgánico total (COT), fósforo extractable (Pe) y pH en agua de análisis del año 2001 (x) y del 2011 (y) sobre muestras del año 2001.

	COT	Pe	pH
Modelo	$y = 1,06 x - 2,60$	$y = 1,02 x + 0,67$	$y = 0,56 x + 2,85$
R²	0,92	0,67	0,37
Valor p	<0,0001	<0,0001	0,002

Las concentraciones (MO) y cantidades totales (MOT) de materia orgánica del año 2001 fueron estimadas según las ecuaciones 2.4.1 y 2.4.2, respectivamente. No se determinó la concentración de COP en las muestras de este año. En cada parcela, se calculó el índice de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) y del fósforo extractable (IE_{Pe}) mediante las ecuaciones 2.4.4 y 2.4.5, respectivamente.

Además, se utilizaron los resultados de evaluaciones de la DA, RP y distribución de fragmentos separados bajo condiciones uniformes de energía de fraccionamiento por caída, realizadas al inicio del estudio, en el otoño del 2001. No se dispuso de evaluaciones de infiltración y estabilidad de fragmentos frente a la disrupción en agua, realizadas en el año 2001.

2.5) Descripción de la evaluación del rendimiento de los cultivos

Para el estudio de la producción de los cultivos de maíz y de soja, todos los años se realizó la cosecha y trilla manual sobre 10 m² de cada parcela experimental en la etapa de madurez fisiológica de ambos cultivos. Las estimaciones de los rendimientos fueron expresadas con contenidos de humedad de los granos de 140 g kg⁻¹. En el período estudiado (2001 al 2011), sólo en la campaña 2002-2003 no fueron cosechadas las parcelas de maíz por la pérdida de los cultivos por inundación y en la campaña 2006-2007 no se cosecharon las de soja porque los cultivos fueron dañados por granizo en el estadio de R6. Se registraron las precipitaciones diarias ocurridas durante el ciclo de los cultivos en una estación meteorológica situada a unos 3000 m del sitio experimental (Tabla 2.5.1).

Tabla 2.5.1: Precipitaciones mensuales (mm mes⁻¹) en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA “General Villegas” en el ciclo productivo de maíz y de soja durante las diez campañas del estudio.

Ciclo	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Total
2001-02	129,3	138,0	119,6	76,0	218,0	24,0	121,8	826,7
2002-03	28,0	208,0	140,0	207,0	42,5	124,5	90,5	840,5
2003-04	11,5	36,3	89,5	33,7	266,8	28,2	35,5	501,5
2004-05	0,0	132,5	111,9	109,8	199,0	54,5	253,5	861,2
2005-06	37,5	38,4	164,6	37,8	210,2	66,2	148,2	702,9
2006-07	10,8	184,0	88,2	156,2	113,2	151,4	228,0	931,8
2007-08	85,8	48,8	29,2	92,3	92,8	68,2	54,2	471,3
2008-09	30,0	96,2	140,0	28,2	25,0	110,8	42,0	472,2
2009-10	79,6	9,6	121,0	310,6	216,6	147,2	26,6	911,2
2010-11	106,8	64,2	18,6	25,6	127,2	83,2	55,8	481,4

2.6) Análisis de los resultados

El diseño experimental del estudio fue en 6 bloques completos aleatorizados con parcelas de 400 m². Los resultados de MO, Pe, pH en agua, DA y RP, se evaluaron mediante análisis de medidas repetidas en el espacio empleando modelos mixtos para comparar los datos en el 2001 y en el 2011. Luego se realizó un análisis de la varianza mediante un modelo de parcelas divididas en el espacio, para comparar los cambios del 2001 al 2011, siendo la parcela principal el uso previo del suelo y la subparcela los años. Las cantidades totales de MOT de 0 a 20 cm de profundidad y los IE_{MO} e IE_{Pe} se evaluaron mediante análisis de la varianza empleando un modelo en parcela dividida, donde en la parcela principal se contemplaron los usos previos del suelo y en la subparcela los años. Sólo en el año 2011 se evaluó la MOP mediante análisis de medidas repetidas en el espacio empleando modelos mixtos. Sólo en el año 2011 se evaluó la S y la K mediante un análisis de la varianza donde se consideró al uso del suelo previo a la labranza cero como único tratamiento. La estructura, estudiada según el DMP sin aplicación de energía de ruptura por caída y la TR-DMP por unidad de energía de ruptura, se evaluó mediante análisis de la varianza utilizando un modelo de parcela dividida. La parcela principal estuvo constituida por el uso del suelo previo a la labranza cero, la subparcela por el año y la sub-subparcela estuvo conformada por la energía de ruptura. También sólo en el año 2011, se estudió la estabilidad de los fragmentos frente a la disrupción en agua mediante análisis de la varianza utilizando un modelo de parcela dividida. La parcela principal fue conformada por el uso del suelo previo al inicio del estudio y la subparcela constituida por los tamaños de los fragmentos. Los años, los usos del suelo previo al inicio del estudio, las profundidades de muestreo, la energía de ruptura por caída y el tamaño de los fragmentos, fueron considerados efectos fijos. En todos los casos la comparación múltiple de medias de las propiedades edáficas se realizó mediante la prueba de Tukey y en algunos de ellos se utilizó un nivel de significancia de hasta el 15 %. El empleo de niveles de significancia entre el 5 y 15 % en determinados casos, se atribuye a que los datos mostraron diferencias que se deben considerar dada la magnitud de las mismas. Si se es estricto (niveles del 5 % o menos), tales diferencias no se describirían pero tampoco se podría

afirmar una igualdad. Además y mediante técnicas de análisis multivariado discriminante, se estudiaron en conjunto los cambios de las propiedades del suelo. Para la evaluación de las concentraciones de MO, la acidez en términos de valores de pH en agua, los contenidos de Pe y la RP, se consideró la profundidad entre 0 y 5 cm. Para la DA, el tamaño medio de fragmentos en términos de DMP sin aplicación de energía de ruptura por caída y la estabilidad estructural en términos de TR-DMP ante niveles crecientes de energía de ruptura por caída, se consideró la profundidad entre 0 y 10 cm. Se emplearon las capas superficiales para el análisis combinado de las propiedades, debido a que en su estudio individual mostraron los principales cambios en estas profundidades. No se tuvieron en cuenta los usos previos del suelo, debido a que los efectos de 10 años de labranza cero fueron independientes de éstos. Por ello este análisis no se relaciona con las hipótesis, es sólo información adicional. Se consideraron dos grupos, el primero constituido por los datos del 2001 y el segundo por los datos del 2011 (Balzarini *et al.*, 2008).

En la campaña 2001-2002, en los bloques 1; 2 y 3 se sembraron los cultivos de maíz, mientras que en los bloques 4; 5 y 6 los cultivos de soja. En la campaña 2002-2003 se rotaron sembrando en los bloques 1; 2 y 3 los cultivos de soja y en los bloques 4; 5 y 6 los cultivos de maíz. De esta forma, en las siguientes campañas se fueron rotando los cultivos a través de los bloques. Por lo tanto, las observaciones de los rendimientos en cada campaña fueron analizadas por 3 repeticiones. Se efectuó un análisis de regresión simple entre los rendimientos y las campañas. Además, los rendimientos se evaluaron mediante análisis de la varianza utilizando un modelo de parcelas divididas en serie de experimentos. Las parcelas principales estuvieron constituidas por las campañas con los bloques anidados y las subparcelas fueron los usos del suelo previo al inicio del estudio. Tanto las campañas como los usos del suelo previo al inicio del estudio, fueron considerados efectos fijos. La comparación múltiple de medias de los rendimientos según los usos previos del suelo, se realizó mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de hasta el 15 % en el caso de los residuos de cosecha. Además se efectuaron análisis de regresión simple para cada uso previo del suelo entre los rendimientos y las precipitaciones. En los casos que fueron necesarios, las comparaciones de las pendientes se efectuaron mediante el empleo de variables auxiliares “dummy” (Balzarini *et al.*, 2008). Para todos los análisis se empleó el programa estadístico InfoStat versión 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1) *Materia Orgánica*

Al inicio del estudio, previo a los 10 años de labranza cero, la condición original de los diversos usos del suelo presentó concentraciones medias de MO que variaron entre 19 g kg^{-1} en la capa más profunda del horizonte A y 35 g kg^{-1} en la capa superficial (Tabla 3.1.1). Se observaron diferencias entre los usos del suelo que dependieron de la profundidad ($p < 0,0001$). Entre 0 y 5 cm de profundidad los usos de LSR y PF mostraron una concentración media de MO 21 % superior al uso de LCR ($p < 0,01$). Entre los 5 y 20 cm de profundidad la información disponible fue insuficiente para detectar diferencias según las prácticas de uso del suelo ($p < 0,19$). En los tres usos del suelo la concentración de MO se redujo en profundidad ($p < 0,0001$). Los IE_{MO} medios variaron entre 1,44 y 1,70 mostrando diferencias según las prácticas de uso del suelo ($p < 0,002$; Fig. 3.1.1). En promedio la LSR y la PF mostraron un índice de estratificación 18 % superior a la LCR. Estos resultados mostraron que, en la condición inicial del estudio, los usos del suelo diferían en la concentración superficial de MO y en su estratificación.

Luego de 10 años de labranza cero, las concentraciones de MO mostraron valores medios entre 18 y 38 g kg^{-1} en la capa de 15 a 20 y 0 a 5 cm de profundidad, respectivamente (Tabla 3.1.1). Las diferencias de concentraciones de MO según los usos previos del suelo dependieron de las profundidades de muestreo ($p < 0,002$). En los 5 cm superficiales, con usos previos de LSR y PF se observaron concentraciones superiores que con LCR ($p < 0,002$), siendo la magnitud media de la diferencia del 18 %. Similar diferencia entre usos previos fue observada entre 5 y 10 cm de profundidad ($p < 0,01$), con una magnitud media del 12 %. La información disponible entre los 10 y 20 cm de profundidad no fue suficiente para mostrar diferencias en las concentraciones según los usos previos de los suelos ($p < 0,16$). Independientemente del uso previo del suelo, las concentraciones de MO disminuyeron con el aumento de la profundidad ($p < 0,0001$). Los IE_{MO} variaron en promedio entre 1,73 y 1,93 con diferencias según las prácticas de uso previo del suelo ($p < 0,002$; Fig. 3.1.1). Cuando el suelo provenía de LSR o PF, la MO mostró en promedio un 10 % mayor estratificación que con uso previo agrícola en LCR. Estos resultados mostraron que luego de 10 años de prácticas agrícolas de labranza cero la MO presentó un comportamiento similar al descrito al inicio del estudio, con mayor estratificación superficial, principalmente en suelos sin remoción previa, LSR y PF.

Tabla 3.1.1: Concentración de la materia orgánica (g kg^{-1}) de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero en cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para cada uso previo del suelo y momentos de evaluación ($p < 0,005$).

Profundidad (cm)	LSR		PF		LCR		Promedio	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0 a 5	33 a	36 a	35 a	38 a	28 a	31 a	32 A	35 B
5 a 10	24 b	25 b	26 b	27 b	24 b	23 b	25 A	25 A
10 a 15	21 c	21 c	21 c	23 c	22 c	21 c	21 A	22 A
15 a 20	19 c	19 c	21 c	20 c	20 d	18 d	20 A	19 A

Entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero, la diferencia de concentración de MO en cada capa, fue independiente del uso previo del suelo ($p < 0,48$; Tabla 3.1.1). De 0 a 5 cm de profundidad se observaron incrementos medios en la concentración de MO del 10 %, equivalente a 3 g kg^{-1} ($p < 0,005$). Entre 5 y 20 cm de profundidad la información disponible no fue suficiente para mostrar diferencias entre ambos momentos de evaluación ($p < 0,52$). Las diferencias entre los IE_{MO} de la condición inicial y luego de los 10 años de labranza cero no dependieron del uso previo del suelo ($p < 0,57$; Fig. 3.1.1). La estratificación de la MO mostró un incremento medio del 16 % ($p < 0,0001$) entre ambos momentos de evaluación.

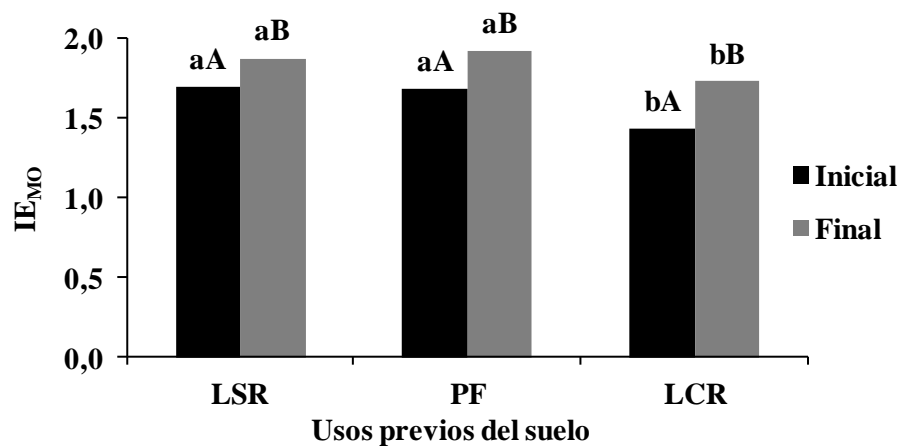


Figura 3.1.1: Índice de estratificación medio de la materia orgánica (IE_{MO}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para un mismo uso previo. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre usos previos según momentos de evaluación ($p < 0,002$).

Al comienzo del estudio, previo a los 10 años de labranza cero, las cantidades totales medias de MOT en los 20 cm superficiales, variaron entre 63 y 69 Mg ha^{-1} , mostrando diferencias entre usos del suelo ($p < 0,002$; Tabla 3.1.2). Los sistemas de LSR y PF en promedio presentaron un 6 % de MOT superior al sistema de LCR. Este comportamiento es explicado por las mayores concentraciones de MO que la LSR y la

PF presentaron en las capas de 0 a 5 y 5 a 10 cm, con respecto a la LCR (Tabla 3.1.1), dado que no se observaron diferencias en los valores de densidad aparente entre usos de los suelos (Tabla 3.4.1).

Luego de 10 años de labranza cero, las cantidades totales de MOT en la capa de 0 a 20 cm de profundidad mostraron valores medios entre 62 y 68 Mg ha⁻¹, detectándose diferencias según los usos previos del suelo ($p < 0,002$; Tabla 3.1.2). Con antecedentes de uso del suelo bajo LSR y PF se observó un contenido medio de MOT 10 % mayor con respecto al uso previo de LCR. Esta diferencia se atribuye a una mayor concentración de MO entre 0 y 10 cm de profundidad con antecedentes de LSR y PF (Tabla 3.1.1), y a densidades aparentes superiores entre 10 y 20 cm de profundidad con uso previo de LSR (Tabla 3.4.1).

La información obtenida antes y luego de 10 años de labranza cero en la capa de 0 a 20 cm de profundidad, fue insuficiente para mostrar cambios en las cantidades totales de MOT entre momentos de evaluación independientemente de los usos previos del suelo ($p < 0,86$; Tabla 3.1.2).

Tabla 3.1.2: Cantidad total de materia orgánica (Mg ha⁻¹) de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero en cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para cada uso previo del suelo y momentos de evaluación ($p < 0,10$).

Profundidad (cm)	LSR		PF		LCR		Promedio	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0 a 5	21 a	23 a	23 a	23 a	18 a	20 a	21 A	22 A
5 a 10	16 b	16 b	17 b	16 b	16 b	15 b	16 A	16 A
10 a 15	14 bc	15 b	15 c	16 b	15 b	14 b	15 A	15 A
15 a 20	13 c	14 c	14 c	14 c	14 c	13 c	14 A	13 A
0 a 20	64	68	69	68	63	62	66 A	66 A

Luego de 10 años de labranza cero, las concentraciones medias de MOP variaron entre 0,3 y 6,1 g kg⁻¹ en la capa más profunda y superficial, respectivamente (Tabla 3.1.3). Las diferencias entre los usos previos del suelo dependieron de las profundidades ($p < 0,15$). La principal diferencia en la concentración de MOP según las prácticas de uso previo del suelo, se observó en los 5 cm superficiales. Cuando el uso anterior fue bajo PF, se observó una concentración 56 % superior de MOP con respecto a los usos previos con agricultura, LSR y LCR ($p < 0,14$). En el resto del perfil no se observaron diferencias en la concentración de MOP según los usos iniciales del suelo ($p < 0,28$). Independientemente de los usos previos del suelo, se describieron diferencias en la concentración de MOP entre 0 y 5 cm de profundidad y el resto de las capas del perfil, observándose una concentración 8,7 veces superior en superficie ($p < 0,0001$).

Tabla 3.1.3: Concentración de materia orgánica particulada (g kg^{-1}) de un Hapludol Típico luego de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas según los usos previos del suelo en cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades según cada uso previo del suelo ($p < 0,15$).

Profundidad (cm)	LSR	PF	LCR
0 a 5	3,6 aA	6,1 aB	4,2 aA
5 a 10	0,9 bA	1,0 bA	0,7 bA
10 a 15	0,4 bA	0,5 bA	0,3 bA
15 a 20	0,3 bA	0,4 bA	0,3 bA

Los resultados observados sugieren que el efecto de 10 años continuos del sistema de labranza cero en un Hapludol Típico sobre las concentraciones y cantidades totales de materia orgánica, son independientes del uso previo del suelo. Los efectos sobre la concentración de la MO dependen de la profundidad considerada. En la superficie del horizonte A, entre 0 y 5 cm de profundidad, se observa un incremento en la concentración de MO, mientras que en las capas restantes el efecto es de conservación de la condición inicial. Al considerar el espesor del suelo de 0 a 20 cm, la masa del mismo contribuye a conservar la cantidad total de MOT. El incremento en la concentración de la MO observado en los primeros 5 cm se atribuiría a la permanencia de los residuos de cosecha en superficie y a la ausencia de disturbios o remoción de los suelos, resultando en una menor tasa de mineralización (Beare *et al.*, 1992; Franzluebbers, 2002a). Aunque no se observaron cambios entre 5 y 20 cm de profundidad, puede hipotetizarse que las concentraciones de MO podrían incrementarse con más de 10 años en labranza cero por la acumulación de raíces, que favorecería el enriquecimiento subsuperficial con materiales orgánicos (Dalal *et al.*, 2011; Díaz-Zorita y Grove, 2002; Sandeep *et al.*, 2010), y por un crecimiento de poblaciones de lombrices y otros organismos, que contribuirían a la distribución vertical de los materiales orgánicos acumulados en la superficie (Shuster *et al.*, 2000).

Dado que el efecto de la labranza cero es independiente del uso previo, las diferencias superficiales de concentración de MO entre tratamientos al inicio del estudio, se mantuvieron en magnitudes similares luego de los 10 años de prácticas continuas de labranza cero. Esto sugiere que la labranza cero incrementa la concentración de MO en superficie independientemente del nivel de remoción, dando luego de 10 años una concentración superior en suelos con menor remoción inicial (Fig. 3.1.2).

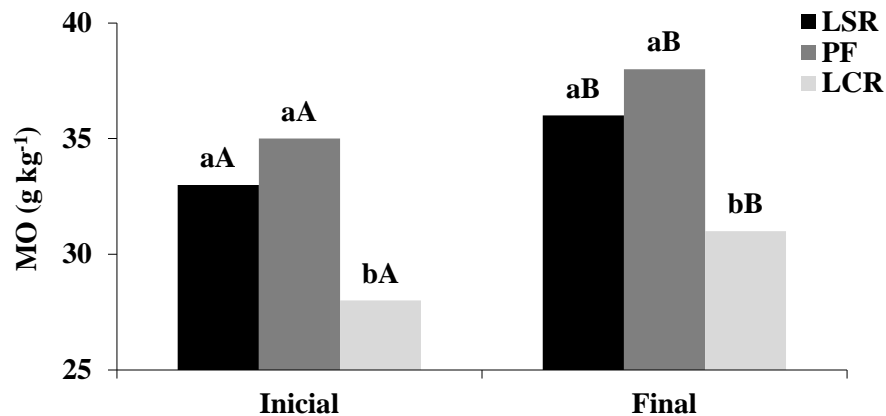


Figura 3.1.2: Concentración de la materia orgánica (g kg^{-1}) entre 0 y 5 cm de profundidad de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero en cada uso previo del suelo. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre usos previos del suelo en cada momento de evaluación ($p < 0,01$).

La concentración de la MOP entre 0 y 5 cm de profundidad luego de la adopción de la labranza cero durante 10 años también varió según el nivel de remoción del suelo por uso previo, mostrando mayor concentración con antecedentes conservacionistas de PF. Por lo tanto, los niveles de MOP, luego de aplicar la labranza cero durante 10 años continuos, son dependientes del uso previo del suelo.

El indicador de estratificación mostró que 10 años de labranza cero contribuyen a mejorar la calidad de un Hapludol Típico dado el incremento observado en este índice, en aproximadamente un 16 %, y además estuvo próximo a la estabilización (índice 2). Luego de 10 años de labranza cero, el mayor IE_{MO} con antecedentes de uso del suelo bajo LSR con respecto a LCR, mostró que este índice es dependiente del tiempo de implementación del sistema de labranza cero. Además, luego de 10 años de este sistema de labranza, el mayor IE_{MO} con uso previo del suelo bajo PF con respecto a LCR, mostró que este índice también es dependiente del nivel de remoción previa. Esto implica que sobre suelos no laboreados, la labranza cero produciría una rápida estabilización del IE_{MO} , es decir, mejoraría su calidad en poco tiempo de implementación de este sistema de labranza.

Abundantes estudios han descripto mayores concentraciones superficiales de MO en labranza cero con respecto a sistemas de labranza con remoción (Díaz-Zorita *et al.*, 2004; Díaz-Zorita *et al.*, 2002b; Franzluebbbers *et al.*, 1999; Franzluebbbers *et al.*, 1994; Melero *et al.*, 2011). Esta diferencia se atribuye, en parte, a una menor acumulación de MO en los sistemas con remoción dado por mayores tasas de mineralización, producto de aumentos en la aireación y en el fragmentado de los residuos de cosecha. Según este estudio, la diferencia observada por estos autores en superficie, también podría atribuirse a una contribución efectiva en el aumento de MO que induce la labranza cero por sí misma al acumular residuos de cosecha en superficie. Por otra parte, estos autores observaron bajo prácticas de labranza con remoción mayores concentraciones de MO con respecto a la labranza cero en capas más profundas del perfil. Esta diferencia entre ambos sistemas de labranzas, según lo descripto en este estudio, podría ser el resultado de una conservación efectiva de MO en labranza cero frente a las operaciones de

remoción que incorporan la materia orgánica superficial en capas más profundas y con mayor proporción de partículas minerales.

Los resultados observados en este estudio coinciden con lo descrito en evaluaciones similares en otras regiones. Por ejemplo, en Alberta (Canadá) Soon y Lupwayi (2012) evaluaron 3 años de labranza cero en un suelo Crioboralf Mólico. Los autores observaron incrementos en las concentraciones de MO entre 0 y 15 cm de profundidad del 60 % con respecto a la condición original. Además, en la misma profundidad la concentración de MOP luego de los 3 años de labranza cero fue 2,4 veces superior a la inicial. El menor cambio en la concentración de MO observado en este estudio (10 % entre 0 y 5 cm) puede atribuirse a las mayores temperaturas medias anuales máximas y mínimas de Gral. Villegas (16 y 2 °C, respectivamente), con respecto a las de Alberta (14 y -9 °C, respectivamente). Las mayores temperaturas en Gral. Villegas inducirían una mayor mineralización durante la labranza cero con respecto a Alberta. En Passo Fundo (Brasil), Santos y Tomm (2003) estudiaron 8 años de labranza cero en suelos provenientes de 10 años de labranza con remoción. Los autores detectaron incrementos de MO entre 0 y 5 cm de profundidad del 12 % con respecto a la condición inicial. Sin embargo, luego de los 8 años de labranza cero obtuvieron un IE_{MO} de 1,35. El mayor índice observado en las condiciones de este estudio (1,73), se atribuye a las menores concentraciones de MO entre 15 y 20 cm de profundidad en un Hapludol Típico con respecto a los Oxisoles en Passo Fundo. En Toledo (España), López-Fando y Pardo (2012) estudiaron los efectos de 19 años de labranza cero en suelos con más de 80 años en labranza con remoción. Los autores observaron concentraciones de nitrógeno total en las capas de 0 a 5 y 5 a 10 cm de profundidad 2,1 y 1,7 veces superior, respectivamente, a la concentración inicial del estudio. Este comportamiento se atribuyó al incremento en las concentraciones de MO. Además, luego de los 19 años de labranza cero, el índice de estratificación del nitrógeno total fue 3,5 veces superior con respecto a la condición inicial. En Saskatchewan (Canadá), Lafond *et al.* (2011), luego de 2 años con sistema de labranza cero, mostraron cantidades totales de MOT entre 0 y 15 cm de profundidad 21 % superiores con antecedentes de 22 años de labranza cero con respecto a 16 años de labranza con remoción. García *et al.* (2010) en Tucumán (Argentina), luego de 15 a 19 años de labranza cero mostraron concentraciones de MO 51 y 28 % superiores con antecedentes de monte con respecto a 24 - 40 años de labranza con remoción, en profundidades de 0 a 5 y 5 a 10 cm, respectivamente. Las menores diferencias observadas en las condiciones de este estudio con antecedentes de PF y LCR (18 y 12 % de 0 a 5 y 5 a 10 cm, respectivamente), podrían atribuirse a las menores temperaturas medias anuales máximas y mínimas con respecto a las de Tucumán (25 y 13 °C, respectivamente). Las menores temperaturas en Gral. Villegas comparadas con las de Tucumán probablemente conducirían a menores tasas de mineralización durante la labranza con remoción realizada previamente (Franzluebbers, 2002a; Roldán *et al.*, 2005). Además, los montes naturales entre 0 y 15 cm de profundidad poseen el doble de concentración de COT y actividad microbiana que una pastura (Liao y Boutton, 2008). Luego de los 15 a 19 años de labranza cero, en Tucumán observaron que el IE_{MO} en los suelos usados inicialmente con monte natural fue 25 % superior con respecto a los usados previamente bajo labranza con remoción. La menor diferencia detectada en las condiciones de este estudio (10 %), también podría ser explicada por las menores temperaturas medias anuales de Gral. Villegas con respecto a Tucumán. Además, posteriormente a los 15 a 19 años de labranza cero en Tucumán, describieron en los 5 cm superficiales concentraciones de MOP 34 % superior en los sistemas productivos

bajo antecedentes de monte con respecto a labranza con remoción. En Zaragoza (España), López *et al.* (2012) evaluaron los IE_{MO} de sistemas productivos que comprendían entre 5 y 19 años de labranza cero considerando la relación entre las capas de 0 a 5 y 5 a 20 cm de profundidad. Los autores observaron una relación positiva entre la duración de la labranza cero y el IE_{MO} . Ninguno de los sistemas productivos evaluados alcanzó el valor umbral de 2, posiblemente debido a la proximidad y continuidad de las dos capas consideradas. Deubel *et al.* (2011) en un estudio realizado en Bernburg (Alemania), compararon los IE_{MO} de la labranza cero continua durante 5 y 16 años considerando las capas de 0 a 15 y 15 a 30 cm de profundidad. Además de describir la estratificación de la materia orgánica, mostraron que ésta tendía a incrementarse con el tiempo del sistema de labranza cero. En Kentucky (Estados Unidos), Díaz-Zorita y Grove (2002) también estudiaron sistemas productivos con labranza cero de distinta duración. Además de describir el incremento del IE_{MO} con el tiempo de este sistema de labranza, observaron que después de 8 años de su implementación el índice fue de 1,80; coincidiendo con los valores observados en este estudio. Contrariamente se describieron diferencias con los resultados de Follet *et al.* (2009) en un estudio realizado en Nebraska (Estados Unidos). Luego de 6 años de labranza cero con monocultura de maíz y con antecedentes de uso del suelo con pasturas, los autores no observaron cambios en la concentración de la MO en profundidades de 0 a 5 y 10 a 30 cm con respecto a la condición original. Este comportamiento se atribuyó a las condiciones de sequía ocurridas durante el estudio que resultaron en bajas acumulaciones de biomasa del cultivo.

3.2) Acidez

Al comienzo del estudio, los valores medios de pH en agua variaron entre 6,1 y 6,3 (Tabla 3.2.1). La información disponible en cada profundidad fue insuficiente para mostrar diferencias entre los usos del suelo ($p < 0,35$). En sentido vertical, las diferencias dependieron del uso del suelo ($p < 0,01$), bajo LSR y PF se observó una reducción de la acidez con la profundidad ($p < 0,02$), mientras que los suelos bajo LCR no mostraron diferencias ($p < 0,16$).

Luego de 10 años de labranza cero, los valores promedio de pH en agua variaron entre 5,8 y 6,1 en la capa superficial y de 15 a 20 cm de profundidad, respectivamente (Tabla 3.2.1). En cada profundidad, la información disponible fue insuficiente para mostrar diferencias según usos previos del suelo ($p < 0,30$). En los tres tratamientos, el análisis vertical mostró reducciones de la acidez con el aumento de la profundidad ($p < 0,02$).

Entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero, la diferencia de pH en agua en cada capa fue independiente del uso previo del suelo ($p < 0,51$), observándose en todas las capas incrementos medios de la acidez del 5 % ($p < 0,0001$; Tabla 3.2.1).

Tabla 3.2.1: Valores de pH en agua medios en un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para un mismo uso previo del suelo y momento de evaluación ($p < 0,0001$).

Profundidad (cm)	LSR		PF		LCR		Promedio	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0 a 5	6,2 a	5,9 ab	6,1 a	5,8 a	6,3 a	5,9 ab	6,2 A	5,9 B
5 a 10	6,2 a	5,8 a	6,1 ab	5,8 a	6,2 a	5,8 a	6,2 A	5,8 B
10 a 15	6,2 ab	5,9 ab	6,2 ab	5,9 b	6,2 a	5,8 a	6,2 A	5,9 B
15 a 20	6,3 b	6,0 b	6,3 b	6,1 c	6,3 a	6,0 b	6,3 A	6,0 B

Los resultados sugieren que la implementación de 10 años continuos del sistema de labranza cero en un Hapludol Típico genera cambios en el pH, independientemente de la profundidad y del uso inicial del suelo. Los 10 años de labranza cero mostraron incrementos de la acidez entre 0 y 20 cm de profundidad. Por lo tanto, las similitudes de acidez entre los usos del suelo observadas al inicio del estudio, se mantuvieron luego de 10 años de labranza cero. El incremento de la acidez puede ser atribuido a la interacción de varios factores. Evidencias empíricas indican que los suelos agrícolas de la Argentina tienden a la acidificación y que la lixiviación de las bases intercambiables por la infiltración del agua es la principal causa natural de este proceso (Iturri *et al.*, 2011), fundamentalmente en suelos de texturas franco-arenosas. El incremento de la acidez por la intervención antropogénica se inicia al implantar los cultivos debido a la pérdida de cationes (potasio, calcio, magnesio, sodio), por la acción de las raíces. La planta, al absorber estos cationes, libera protones para mantener el equilibrio en su interior, lo que contribuye a la reducción del pH del suelo (Espinosa y Molina, 1999). Buschiazzo *et al.* (1996) en La Pampa (Argentina), observaron que el aumento de la acidez bajo sistemas de labranza cero se produce como resultado de incrementos en las concentraciones de MO. La actividad microbiana, a través de la descomposición de materiales orgánicos y la producción de metabolitos, genera constantemente ácidos orgánicos que no se neutralizan y provocan la acidificación de la solución del suelo. Este estudio realizado en Gral. Villegas mostró una relación lineal y negativa entre los valores de pH en agua y el IE_{MO} . Esto sugiere que las variaciones en los niveles de acidez entre 0 y 20 cm de profundidad son explicadas en parte por los aumentos en la concentración de la MO superficial (Fig. 3.2.1).

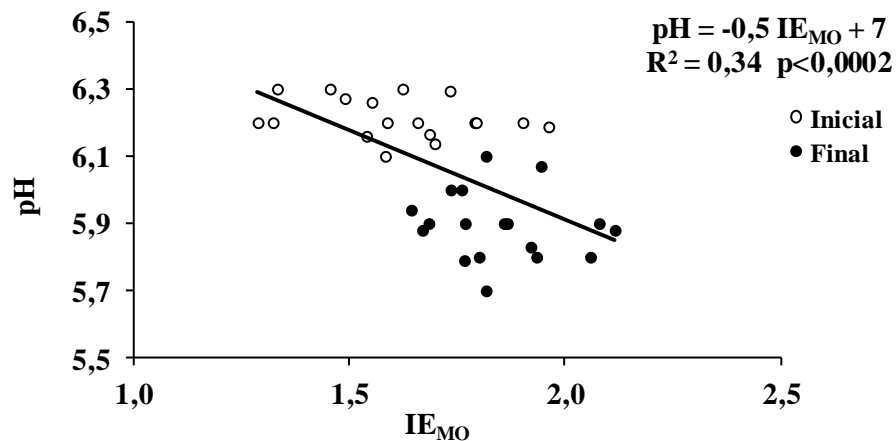


Figura 3.2.1: Relación del pH en agua (promedio de 0 a 20 cm de profundidad) y el índice de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad en un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.

Los cambios de acidez por efecto de la labranza cero también han sido frecuentemente atribuidos a las sucesivas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados (Blevins *et al.*, 1983; Huggins *et al.*, 2007). El efecto principal de los iones amonio aportados por la urea, se ejerce cuando éstos son transformados en nitratos por la oxidación, produciendo acidez por formación de ácido nítrico. En este estudio las fertilizaciones anuales de los cultivos de maíz con urea a razón de 100 kg ha^{-1} de nitrógeno podrían constituir otro de los factores causantes del incremento de la acidez. Iturri *et al.* (2011) analizaron el estado de acidez en suelos representativos de la región agrícola argentina. Bajo sistemas productivos en labranza cero de distinta duración con y sin fertilización nitrogenada, concluyeron que la acidificación tendría un origen ligado a la fertilización con este elemento. Sin embargo, este efecto de los fertilizantes nitrogenados no ocurre solamente en labranza cero, en estudios de otros sistemas de labranza también se han descripto similares comportamientos. Por ejemplo Fabrizzi *et al.* (1998) luego de estudiar 7 años de labranza con remoción en Balcarce (Argentina), observaron mayor acidez en suelos bajo fertilización nitrogenada con respecto a suelos no fertilizados. Sin embargo, Alijani *et al.* (2012) compararon 2 años de labranza mínima y labranza con remoción con 75 y 150 kg ha^{-1} de nitrógeno en Shiraz (Irán) y atribuyeron la falta de cambios significativos de la acidez a los altos contenidos de carbonato de calcio en el suelo. Los cationes hidrógeno provenientes de la nitrificación del amonio son inmediatamente neutralizados por los aniones carbonatos evitando la acidificación. El comportamiento observado por estos autores muestra que la acidificación no sería dependiente del sistema de labranza empleado, sino de la fertilización nitrogenada aplicada, junto con los cambios en MO. No obstante, algunas características propias de la labranza cero podrían contribuir al incremento de la acidez. Por ejemplo, según Jangid *et al.* (2008) la implementación del sistema de labranza cero induce un crecimiento de la población microbiana del suelo. Por ello en la rizosfera se produce más dióxido de carbono debido a una actividad biológica más intensa (respiración microbiana y de raíces). Este dióxido de carbono libera cationes hidrógeno al suelo pudiendo contribuir a la acidificación del perfil en labranza cero. Otra característica propia de este estudio que contribuye a la acidificación es la textura. Según González *et al.* (2000) un suelo con mayor cantidad de partículas de arcilla, está caracterizado por una mayor resistencia a variar su pH (capacidad buffer), ante el incremento de iones hidrógeno. En este estudio realizado en un suelo Hapludol Típico

de textura franco-arenosa, la baja capacidad buffer favorecería la acidificación del suelo luego de 10 años de labranza cero.

Resultados de investigaciones realizadas en otras regiones coinciden con los de este estudio, por ejemplo en Kansas (Estados Unidos), Matowo *et al.* (1999) luego de analizar 10 años de labranza cero con aplicaciones de $67 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de nitrógeno, observaron los mayores incrementos de acidez entre 0 y 2,5 cm de profundidad, siendo su magnitud media del 8 %. Los autores atribuyen la acidificación a la no remoción del suelo y acumulación del fertilizante en superficie. En otros estudios se realizó un encalado del suelo con dolomita, compuesta químicamente por carbonato de calcio y magnesio, para evitar la acidificación. Por ejemplo, en Paraná (Brasil), Tiecher *et al.* (2012) luego de 23 años de labranza cero en suelos provenientes de montes, además de no observar la acidificación del suelo, mostraron reducciones de ésta del 23, 25 y 21 % con respecto a la condición inicial en capas de 0 a 5, 5 a 10 y 10 a 20 cm de profundidad, respectivamente. En Río Grande del Sur (Brasil), Santos y Tomm (2003) sobre suelos provenientes de sistemas agrícolas de 10 años en labranza con remoción, evaluaron 8 años de labranza cero. Los autores observaron reducciones de la acidez del 12; 10; 10 y 10 % en la capa de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 y 15 a 20 cm de profundidad con respecto al inicio del estudio, respectivamente. Este comportamiento también fue atribuido a los aportes de dolomita. Los resultados de otras investigaciones no son coincidentes con la de este estudio en Gral. Villegas. Por ejemplo, en Méjico, Fuentes *et al.* (2009) luego de 14 años de labranza cero no detectaron cambios de acidez con respecto a la condición inicial. Las diferencias de textura (franco-arcillosa) y de precipitación media anual (600 mm) de Méjico con respecto a las del sitio de este estudio (Gral. Villegas) con textura franco-arenosa y 845 mm de precipitación media anual, probablemente causaron una menor lixiviación de bases. Además, y atribuido a la textura, el suelo de Méjico tiene mayor capacidad buffer con respecto al Hapludol Típico predominante en este estudio.

3.3) Fósforo extractable

Al inicio del estudio, los contenidos medios de Pe variaron entre 9 y 22 mg kg^{-1} en la capa más profunda (15 a 20 cm) y superficial (0 a 5 cm), respectivamente (Tabla 3.3.1). En ese momento, la información disponible de los contenidos de Pe fue insuficiente para mostrar diferencias entre los usos del suelo ($p < 0,23$), independientemente de las profundidades estudiadas ($p < 0,25$). El contenido de Pe disminuyó con el aumento de la profundidad en los tres usos del suelo ($p < 0,0001$). Además, no se observaron diferencias en los índices de estratificación cuyo valor medio entre usos del suelo fue 1,96 ($p < 0,75$; Fig. 3.3.1).

Luego de 10 años de labranza cero, los contenidos de Pe, en promedio, variaron entre 8 y 28 mg kg^{-1} en la capa más profunda y superficial, respectivamente (Tabla 3.3.1). La información disponible no fue suficiente para mostrar diferencias según los usos previos del suelo ($p < 0,74$), independientemente de las profundidades evaluadas ($p < 0,88$). En los tres tratamientos se observó menores contenidos de Pe con el incremento de la profundidad ($p < 0,0001$). Al comparar los índices de estratificación de este elemento según las prácticas de uso realizadas previamente en el suelo, la información fue insuficiente para mostrar diferencias ($p < 0,75$; Fig 3.3.1). El índice de estratificación medio fue de 3,18. Estos resultados sugieren que luego de 10 años de labranza cero el

suelo no mostró diferencias en los contenidos de Pe y estratificación según sus usos previos.

Las diferencias entre los contenidos iniciales y finales de Pe en cada capa, fueron independientes del uso previo del suelo ($p < 0,63$; Tabla 3.3.1). Entre ambos momentos de evaluación, se detectaron aumentos promedio en el contenido de Pe del 43 y 23 %, equivalentes a 8 y 3 mg kg^{-1} , en las profundidades de 0 a 5 y 5 a 10 cm, respectivamente ($p < 0,03$). Entre 10 y 20 cm de profundidad, la información disponible fue insuficiente para mostrar diferencias entre la condición inicial y final ($p < 0,23$). Las diferencias en los índices de estratificación entre ambos momentos de evaluación no dependieron del uso previo del suelo ($p < 0,19$) y mostraron incrementos medios del 69 % ($p < 0,0001$; Fig. 3.3.1).

Tabla 3.3.1: Contenido de fósforo extractable (mg kg^{-1}) de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para cada momento de evaluación ($p < 0,06$).

Profundidad (cm)	LSR		PF		LCR		Promedio	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0 a 5	16	26	19	28	22	28	19 aA	27 aB
5 a 10	12	14	10	14	15	16	12 bA	15 bB
10 a 15	9	10	9	10	12	14	10 cA	11 cA
15 a 20	9	8	9	9	12	12	10 cA	9 cA

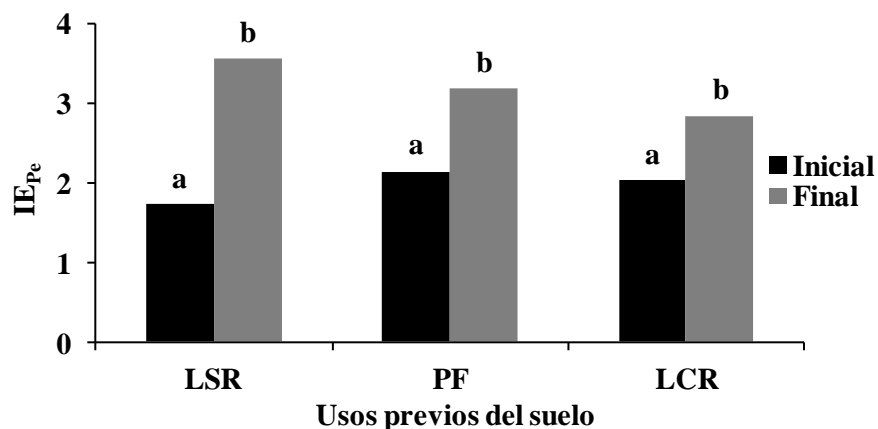


Figura 3.3.1: Índice de estratificación medio del fósforo extractable (IE_{Pe}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad de un Hapludol Típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para un mismo uso previo ($p < 0,0001$).

Los resultados observados sugieren que en un Hapludol Típico el efecto de 10 años del sistema de labranza cero sobre el contenido de Pe, es independiente del uso del suelo al momento de instalarse este sistema. Los efectos dependen fundamentalmente de la

profundidad considerada, observándose un incremento en la acumulación de Pe entre 0 y 10 cm de profundidad y un efecto de conservación de la condición original entre 10 y 20 cm de profundidad. Por ello, luego de 10 años en labranza cero se mantuvieron las condiciones de similitud detectadas entre los usos iniciales del suelo.

Se observó una relación lineal y positiva entre el IE_{Pe} y el IE_{MO} (Fig.3.3.2). De allí se deduce que los incrementos de MO superficial explicarían en parte el aumento del Pe acumulado en superficie al final de los 10 años de labranza cero.

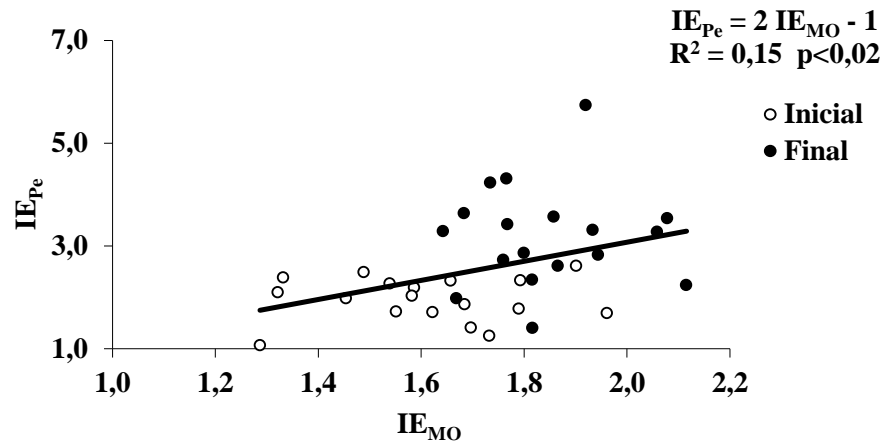


Figura 3.3.2: Relación del índice de estratificación de fósforo extractable (IE_{Pe}) y el índice de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad en un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.

Esto es coincidente con lo descrito por Costa *et al.* (2009); Deubel *et al.* (2011); Díaz-Zorita y Grove (2002); Santos y Tomm (2003); Souza Nunes *et al.* (2011); Ulén (1997), quienes observaron que los residuos de los cultivos y su sistema radical dejados por la labranza cero son descompuestos por factores bióticos y abióticos, constituyendo una fuente de fósforo que se acumula en la superficie del suelo. De este modo, el aumento de Pe observado podría atribuirse al ciclado desde capas situadas a profundidades mayores a 20 cm y posterior acumulación en la superficie a partir de los residuos de cosecha. Deubel *et al.* (2011) en un estudio con cultivos de maíz, trigo, cebada y colza, detectaron que una gran proporción del fósforo absorbido por las plantas provenía de profundidades entre 30 y 60 cm. Similar proceso podría haber ocurrido en este estudio. En profundidades entre 28 y 57 cm se encuentra el horizonte Bw de donde los cultivos podrían haber absorbido gran proporción del fósforo y depositarlo en superficie a través de los residuos de cosecha. Suponiendo un aporte de fósforo a través de los rastrojos y raíces de 1 kg por tonelada de grano (Ciampitti y García, 2007), se estimó una acumulación media a partir de éstos de $6,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. También se observó una relación lineal e inversa entre los IE_{Pe} y la acidez del suelo (Fig. 3.3.3). Esta relación se atribuye a que los incrementos en la concentración de la MO superficial indujeron a la acidificación del suelo (Fig. 3.2.1) junto con aumentos en el contenido de Pe en superficie (Fig. 3.3.2).

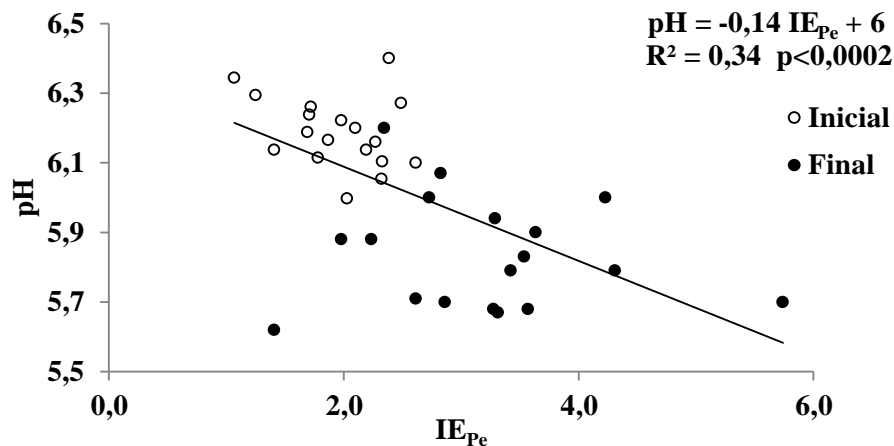


Figura 3.3.3: Relación del índice de estratificación de fósforo extractable (IE_{Pe}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad y el pH en agua (promedio de 0 a 10 cm de profundidad) en un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.

Otros factores podrían haber intervenido en la acumulación de Pe en superficie, por ejemplo, el incremento de MO observado en los 5 cm superficiales pudo actuar aumentando la disponibilidad de fósforo al reducir la adsorción de éste en las partículas minerales (Goedert y Oliveira, 2007; Santos y Tomm, 2003). La no remoción del suelo durante 10 años y la baja movilidad del fósforo también podrían haber favorecido su acumulación en los 10 cm superficiales (Wiethölter, 2000). Algunos estudios muestran acumulaciones de Pe en superficie atribuido a las fertilizaciones fosfatadas, además de la deposición y acumulación de materiales orgánicos (Holanda *et al.*, 1998; Lal *et al.*, 1990; Sharpley, 2003). Según estudios realizados en el INTA Gral. Villegas por Barraco *et al.* (2009), las estrategias de fertilización de enriquecimiento y mantenimiento utilizan dosis de 27 y 20 $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ de fósforo en maíz y soja, respectivamente. Esto permite suponer que, en las condiciones de este estudio, las dosis de fósforo aplicadas durante los 10 años (17 y 11 $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ en maíz y soja, respectivamente), no serían suficientes para lograr balances positivos que justifiquen la acumulación de Pe en superficie.

Abundantes estudios que comparan sistemas de labranzas han descripto contenidos de Pe superiores en labranza cero con respecto a labranza bajo remoción (Muukkonen *et al.*, 2007; Saavedra *et al.*, 2007). Los resultados de este estudio muestran que estas diferencias podrían atribuirse a una contribución efectiva en el aumento de los contenidos de Pe que induce la labranza cero por sí misma, en relación a la acumulación de residuos de cosecha en superficie.

Dados los cambios observados en los contenidos de Pe, se observó un IE_{Pe} superior luego de 10 años de labranza cero con respecto a la condición inicial, indicando que este sistema de labranza contribuye a mejorar la calidad de un Hapludol Típico. Contrariamente a lo ocurrido con el IE_{MO} , el IE_{Pe} fue independiente del tiempo de implementación del sistema de labranza cero, dado que luego de 10 años de su adopción con antecedentes de LSR, el IE_{Pe} no fue significativamente superior con respecto al uso previo de LCR ó PF. También fue independiente del nivel de degradación por remoción inicial del suelo, dado que luego de 10 años de labranza cero con antecedentes de PF, el IE_{Pe} no fue significativamente mayor con respecto al uso previo de LCR. Estudios realizados en otras regiones muestran que, similarmente al IE_{MO} , el IE_{Pe} es superior cuanto mayor es la duración del sistema de labranza cero. Por ejemplo, Deubel *et al.*

(2011) en su trabajo realizado en Bernburg (Alemania) y considerando las capas de 0 a 15 y 15 a 30 cm de profundidad, observaron un IE_{Pe} 6 % mayor luego de 16 años con respecto a 5 años de labranza cero. En Kentucky (Estados Unidos), Díaz-Zorita y Grove (2002) considerando las capas de 0 a 2,5 y 17,5 a 20 cm de profundidad, mostraron un IE_{Pe} 81 % mayor luego de 29 años con respecto a 8 años de labranza cero, y 5 % superior luego de 8 años con respecto a 2 años de labranza cero. Luego de 10 años de labranza cero la ausencia de diferencia significativa de los IE_{Pe} según los usos previos del suelo, posiblemente se debió a la variabilidad entre los resultados. No obstante, se observó una tendencia a un mayor IE_{Pe} con antecedentes de LSR con respecto a PF ó LCR.

Los resultados observados en este estudio de Gral. Villegas fueron concordantes con estudios realizados en otras regiones. Por ejemplo, en Paraná (Brasil), Tiecher *et al.* (2012) luego de 23 años de labranza cero en Oxisoles provenientes de montes, observaron contenidos de Pe 8,6 y 6,1 veces superior a la condición inicial en capas de 0 a 5 y 5 a 10 cm de profundidad, respectivamente. Además, el IE_{Pe} considerando las capas de 0 a 5 y 10 a 20 cm se incrementó 3,6 veces con respecto a la condición original. Los menores incrementos observados en las condiciones de este estudio (43 y 23 % de 0 a 5 y 5 a 10 cm, respectivamente, y 69 % en el IE_{Pe}), podrían atribuirse a la baja capacidad de adsorción dado por un menor contenido de arcillas que muestra un Hapludol Típico con respecto a un Oxisol. Además, los Hapludoles Típicos presentan arcillas silicatadas con menor capacidad de adsorción de fosfatos que las arcillas de óxido de hierro y aluminio de los Oxisoles. En Goiás (Brasil), Souza Nunes *et al.* (2011) luego de 14 años de labranza cero con antecedentes de vegetación espontánea durante 6 años, mostraron contenidos de Pe 4,3 y 2,9 veces superior a la condición inicial en profundidades entre 0 – 5 y 5 – 10 cm, respectivamente. Además, el IE_{Pe} considerando las capas de 0 a 5 y 10 a 20 cm de profundidad se incrementó 3,4 veces con respecto a la condición original. Los menores incrementos observados en las condiciones del estudio en Gral. Villegas, además de poder atribuirse a los diferentes contenidos y tipos de arcillas entre un Hapludol Típico y un Oxisol, también se debería al fósforo residual proveniente de fertilizaciones fosfatadas superiores a los requerimientos de los cultivos en Goiás. En Río Grande del Sur (Brasil) y en sistemas provenientes de vegetación espontánea durante 3 años, Costa *et al.* (2009) evaluaron el efecto de 18 años del sistema agrícola en labranza cero. Los autores detectaron contenidos 8,4 veces mayores con respecto a la condición inicial entre 0 y 15 cm de profundidad. Los menores incrementos observados en las condiciones de este estudio, también se atribuirían a los diferentes contenidos y tipos de arcillas entre un Hapludol Típico y un Oxisol, y al fósforo residual proveniente de fertilizaciones fosfatadas superiores a los requerimientos de los cultivos. También en Río Grande del Sur, Santos y Tomm (2003) evaluaron 8 años de labranza cero en suelos provenientes de sistemas agrícolas de 10 años en labranza con remoción. Los autores observaron incrementos de Pe del 50 % en la capa de 0 a 5 cm con respecto al inicio del estudio. El aumento detectado en este estudio entre 0 y 5 cm de profundidad (43 %), es coincidente con el aumento observado por estos autores probablemente debido a la similitud en el tiempo de duración de la labranza cero (10 años). En Tucumán (Argentina), García *et al.* (2010) luego de 15 a 19 años de labranza cero sobre suelos provenientes de 24 a 40 años de labranza con remoción y otros con montes naturales, no mostraron diferencias en los contenidos de Pe. Además, debido a las fertilizaciones fosfatadas efectuadas

anualmente, se alcanzó a una reposición superior a 20 mg kg^{-1} (0 a 20 cm) luego de los 15 – 19 años de labranza cero.

3.4) Densidad aparente

Al inicio del estudio, previo a los 10 años de labranza cero, los valores medios de DA variaron entre 1,30 y $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ (Tabla 3.4.1). Independientemente de las capas analizadas, la información disponible fue insuficiente para mostrar diferencias de DA entre los usos del suelo ($p < 0,17$). Independientemente de estos usos, los 10 cm superficiales fueron menos densos que el perfil evaluado restante ($p < 0,0001$). En promedio, los valores de DA fueron de 1,32; 1,38 y $1,36 \text{ Mg m}^{-3}$ para las capas de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad, respectivamente.

Luego de 10 años de labranza cero la DA media varió entre 1,21 y $1,42 \text{ Mg m}^{-3}$ (Tabla 3.4.1). Se observó que las diferencias según los usos previos del suelo dependieron de las profundidades muestreadas ($p < 0,05$). Entre 10 y 20 cm de profundidad los valores de DA fueron un 3 % mayores con uso previo de LSR que con antecedentes de uso del suelo bajo PF y LCR ($p < 0,11$). Mientras que de 0 a 10 y de 20 a 30 cm de profundidad la información disponible fue insuficiente para mostrar diferencias según los usos previos del suelo ($p < 0,26$). Independientemente de los antecedentes de uso del suelo, la capa entre 0 y 10 cm de profundidad mostró una densificación media menor que el espesor de suelo comprendido entre 10 y 30 cm de profundidad ($p < 0,002$).

Entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero, los cambios en los valores de DA en los 10 cm superficiales fueron independientes del uso previo del suelo ($p < 0,19$). En esta profundidad y entre ambos momentos de evaluación se observó una reducción media del 4 % ($p < 0,02$; Tabla 3.4.1). Contrariamente, de 10 a 20 y de 20 a 30 cm de profundidad se observaron diferencias entre ambos momentos de evaluación dependientes del uso previo del suelo ($p < 0,07$). Bajo antecedentes de uso con LSR se detectaron incrementos en la DA del 4 % en cada una de estas capas ($p < 0,11$). Mientras que en similares profundidades y con usos previos del suelo de PF y LCR la información disponible fue insuficiente para mostrar diferencias entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero ($p < 0,80$ y $0,29$; respectivamente).

Tabla 3.4.1: Densidad aparente media (Mg m^{-3}) de un Hapludol Típico antes (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para un mismo uso previo y profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para un mismo uso previo del suelo y momento de evaluación ($p < 0,11$).

Profundidad (cm)	LSR		PF		LCR	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0 a 10	1,30 aA	1,28 aB	1,35 aA	1,21 aB	1,31 aA	1,30 aB
10 a 20	1,36 bA	1,42 bB	1,39 bA	1,38 bA	1,40 bA	1,37 bA
20 a 30	1,34 bA	1,40 bB	1,37 bA	1,37 bA	1,36 bA	1,34 bA

Los resultados de este estudio sugieren que la adopción del sistema de labranza cero durante 10 años en un Hapludol Típico tiene efectos distintos sobre la DA, dependiendo

del uso inicial del suelo y de la profundidad. En los 10 cm superficiales se describieron reducciones en la DA independientemente del uso previo del suelo. Mientras que entre 10 y 30 cm de profundidad se incrementaron los valores de DA bajo antecedentes de LSR y se conservó la condición inicial con usos previos de PF y LCR. La reducción de la DA entre 0 y 10 cm de profundidad se atribuyó en parte a los incrementos en la concentración de la MO superficial. En este espesor de suelo se observó una relación inversa entre la DA y el IE_{MO} (Fig. 3.4.1). Este comportamiento es coincidente con lo observado por Barzegar *et al.* (2000) y Díaz-Zorita y Grosso (2000), quienes concluyeron que la acumulación de residuos de los cultivos y los consecuentes aumentos en las concentraciones de MO, reducen la DA de los suelos. Además, en 10 años de labranza cero se podría inducir aumentos en la distribución y densidad del sistema radicular entre 0 y 10 cm de profundidad (Ballcoelho *et al.*, 1998; Frye y Blevins, 1997), contribuyendo en la reducción de la DA superficial (Soon y Lupwayi, 2012). La disminución de la DA descrita en este estudio de Gral. Villegas podría estar relacionada con la textura franco-arenosa. Quizás no se observaría similar comportamiento en suelos de texturas finas dado que son más susceptibles a la compactación (Díaz-Zorita y Grosso, 2000). Por ejemplo, en Santa Catarina (Brasil), Bertol *et al.* (2004) luego de 6 años de labranza cero en suelos de textura arcillo-limosa, describieron valores medios de DA entre 0 y 10 cm de profundidad 16 % superiores con respecto a la condición nativa. En Olite (España), Bescansa *et al.* (2006) luego de 5 años de labranza cero en suelos de textura franco-arcillosa observaron valores de DA medias entre 0 y 15 cm de profundidad 9 % superiores con respecto a la condición nativa.

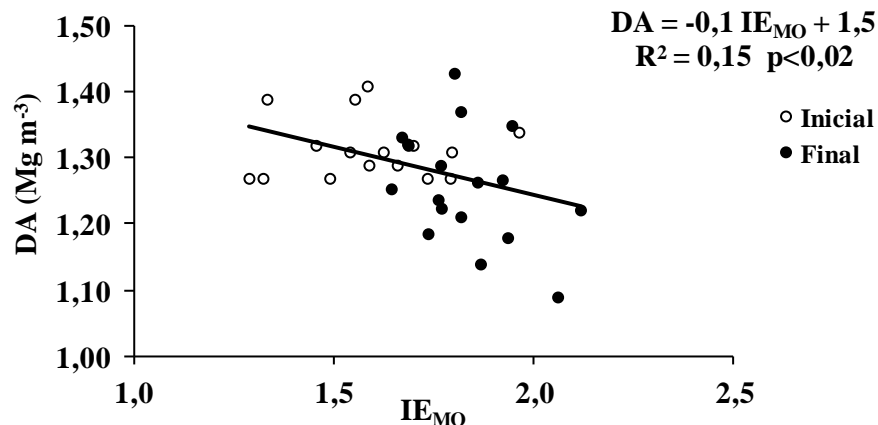


Figura 3.4.1: Relación de la densidad aparente (DA) de 0 a 10 cm de profundidad y el índice de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad de un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.

Estudios que comparan sistemas de labranzas en suelos de textura franco-arenosa han descrito en la superficie valores de DA superiores en labranza cero con respecto a labranza con remoción (Díaz-Zorita, 1996; López-Fando y Pardo, 2012). La diferencia fue atribuida a incrementos en la DA causados por la labranza cero, conjuntamente con las reducciones de esta propiedad debidas a la labranza con remoción. Sin embargo, las reducciones superficiales en los valores de DA observadas en este estudio de Gral. Villegas, hacen pensar que la diferencia descrita por estos autores podría atribuirse a una menor reducción de esta propiedad bajo sistema de labranza cero con respecto a labranza con remoción.

El incremento de la DA entre 10 y 30 cm de profundidad, en los tratamientos con antecedentes de LSR, mostró un efecto de compactación con la implementación durante

10 a 20 años de la labranza cero. El aumento de la DA podría atribuirse a un mayor número de años con agricultura sin remoción (Bertol *et al.*, 2001) con respecto a usos previos de PF y LCR, complementado con el tránsito de maquinarias (Botta *et al.*, 2003) que produjo la reducción del volumen de poros. El incremento de la DA es una característica que podría limitar la porosidad y consecuentemente el crecimiento y desarrollo radical (Franzluebbbers, 2002a). Sin embargo, luego de 10 años de labranza cero con antecedentes de LSR, los valores de DA se encuentran dentro del rango normal de texturas franco-arenosas (1,2 a 1,6 Mg m⁻³; Lamas y Moreno, 2000), sin afectar negativamente la productividad de los cultivos. Además, considerando una densidad media de partículas de 2,65 Mg m⁻³ (Danielson y Sutherland, 1986), los valores alcanzados de DA con usos previos de LSR sugieren contenidos medios de porosidad total del 46 y 47 % en las capas de 10 a 20 y de 20 a 30 cm de profundidad, respectivamente. El estudio realizado en la región pampeana argentina por Díaz-Zorita y Grosso (2000) concluye que los suelos de textura franco-arenosa no alcanzarían la DA máxima dado que los contenidos de agua críticos son 48 % superiores a la capacidad de campo. El aumento de la DA en estos suelos podría ser sólo temporal dado que con el tiempo de labranza cero se induciría el desarrollo de poros a partir de la actividad biológica, fundamentalmente de las lombrices y sistemas radiculares de los cultivos (Bescansa *et al.*, 2006). Un análisis de la evolución del crecimiento poblacional de estos anélidos y su distribución en el perfil, permitiría estimar el tiempo para que se inicie el proceso de reducción de la DA. Además, el hipotético incremento subsuperficial de la concentración de MO, atribuido a la acumulación de raíces (Sandeep *et al.*, 2010) y la distribución vertical de los materiales orgánicos desde la superficie por acción de las lombrices (Shuster *et al.*, 2000), contribuiría a una menor DA.

Abundantes estudios realizados en otras regiones han sido coincidentes con los resultados aquí observados. Por ejemplo Soon y Lupwayi (2012) evaluaron 3 años de labranza cero en un suelo Crioboralf Mólico de textura franco-limosa en Alberta (Canadá). Los autores describieron entre 0 y 15 cm de profundidad reducciones de la DA del 13 % con respecto a la condición inicial del suelo. Aunque se trata de textura fina, la reducción de la DA se atribuyó a las condiciones de bajas temperaturas en las que se desarrollan estos suelos, lo que favorece un incremento del 60 % en la concentración de la MO. Lafond *et al.* (2011) compararon en Saskatchewan (Canadá) 2 años en sistema de labranza cero con usos previos del suelo bajo labranza con remoción durante 16 años y labranza cero durante 22 años. Sus resultados describieron valores de DA similares entre 0 y 15 cm de profundidad según los usos previos del suelo. En Buenos Aires (Argentina) Sasal *et al.* (2006) luego de 13 a 20 años de labranza cero implementados sobre sistemas productivos con pasturas de 6 años y labranza con remoción de más de 10 años, no observaron diferencias de DA entre 0 y 15 cm de profundidad. Contrariamente, los resultados observados en este estudio en Gral. Villegas difieren con otras investigaciones, por ejemplo en Tucumán (Argentina), García *et al.* (2010) compararon de 15 a 19 años de labranza cero sobre suelos usados previamente con montes naturales y otros bajo 24 a 40 años de labranza con remoción. Luego de este período de labranza cero y en 0 a 10 y en 10 a 20 cm de profundidad, describieron valores de DA entre 9 y 10 % menores, respectivamente, con antecedentes de montes comparado con labranza bajo remoción. La no detección de diferencias observadas en este estudio con usos previos de PF y LCR, podría atribuirse a las mayores concentraciones de MO durante la labranza bajo remoción previa con respecto a Tucumán. Esta mayor concentración de MO induciría a una menor densificación

durante la aplicación de prácticas de labranza con remoción previa en comparación a lo descrito en Tucumán, donde las concentraciones de MO fueron inferiores.

3.5) Resistencia a la penetración

Al inicio del estudio, previo a los 10 años de labranza cero, los valores de RP medios en condiciones uniformes de humedad variaron entre 0,51 y 0,92 Mpa (Tabla 3.5.1). Independientemente del uso del suelo ($p < 0,34$), se observaron valores de RP 22 % superiores en superficie que en las capas más profundas ($p < 0,0001$). Los datos disponibles no fueron suficientes para mostrar diferencias de RP entre los usos del suelo en ninguna de las capas ($p < 0,68$).

Luego de 10 años de labranza cero, la RP media en condiciones uniformes de humedad del suelo varió entre 0,50 y 0,99 Mpa (Tabla 3.5.1). Independientemente del uso previo del suelo ($p < 0,16$), la RP fue mayor entre 10 y 20 cm de profundidad con respecto al resto del perfil ($p < 0,0001$). Tal como en el inicio del estudio, en todas las capas la información disponible fue insuficiente para mostrar diferencias de RP según los usos previos del suelo ($p < 0,87$).

Las diferencias de RP en los 5 cm superficiales entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero fue independiente de los usos previos del suelo ($p < 0,57$) y mostró una reducción media del 39 % ($p < 0,0004$; Tabla 3.5.1). En el resto de las capas, entre 5 y 30 cm de profundidad, la información disponible fue insuficiente para detectar diferencias entre ambos momentos de evaluación ($p < 0,40$).

Tabla 3.5.1: Resistencia a la penetración (Mpa) de un Hapludol Típico antes (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero con distintos usos previos (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades (cm). Datos bajo condiciones uniformes de humedad corregidos por el contenido hídrico mediante una relación exponencial. Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero para cada profundidad. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre profundidades para cada momento de evaluación ($p < 0,0004$).

Profundidad (cm)	LSR		PF		LCR		Promedio	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0 a 5	0,92	0,59	0,92	0,50	0,81	0,52	0,88 aA	0,54 aB
5 a 10	0,78	0,85	0,78	0,78	0,73	0,70	0,76 abA	0,78 bA
10 a 15	0,72	0,99	0,72	0,91	0,78	0,91	0,74 bcA	0,94 cA
15 a 20	0,68	0,89	0,70	0,81	0,73	0,88	0,70 bcdA	0,86 bcA
20 a 25	0,60	0,78	0,69	0,83	0,64	0,78	0,64 cdA	0,80 bA
25 a 30	0,72	0,58	0,62	0,66	0,51	0,60	0,62 dA	0,61 aA
Promedio	0,74	0,78	0,74	0,75	0,70	0,73	0,73 A	0,75 A

Este estudio sugiere que la implementación durante 10 años de labranza cero sobre un Hapludol Típico induce cambios en la RP que son independientes del uso previo del suelo y dependientes de la profundidad. Se observó reducción de la RP en los 5 cm superficiales del suelo, mientras que en las capas más profundas se conservó la condición inicial del estudio. Las reducciones superficiales de la RP se relacionaron con

los cambios en la estratificación de la MO. Además, la RP de los suelos es un indicador de su estado de compactación por lo que en parte está relacionada con su DA (Fasinmirin y Reichert, 2011). Los valores de RP mostraron una relación lineal y negativa con los IE_{MO} , mientras que mostraron una relación lineal y positiva con los valores de DA [$RP \text{ (Mpa)} = -0,4 IE_{MO} + 1,1 DA \text{ (Mg m}^{-3}) - 0,2$; $R^2 = 0,30$; $p < 0,07$]. Esta relación mostró que el incremento en la concentración de la MO y la reducción de la DA superficial, explicaron en parte la disminución de la RP. Este comportamiento es coincidente con lo mostrado en Méjico por Fuentes *et al.* (2009), quienes compararon sistemas de labranza cero con y sin acumulación de residuos de cosecha en la superficie, y concluyeron que éstos inducen menores RP. En Mar del Plata (Argentina), Álvarez *et al.* (2012) también atribuyeron menores RP superficiales a mayores concentraciones de MO en sistemas de labranza cero, sistemas con remoción y pasturas naturales sometidas a pastoreo. Lo mismo fue observado en Estados Unidos por Blanco-Canqui *et al.* (2006), quienes detectaron que las labranzas conservacionistas mejoran la habilidad de los suelos para reducir la compactación, atribuido a los aumentos en las concentraciones de la MO.

Los cambios de RP observados en superficie y el mantenimiento de los valores originales de esta propiedad en capas más profundas, pueden estar relacionadas con la textura franco-arenosa de un Hapludol Típico. Quizás este estudio no mostraría similar comportamiento en suelos de texturas finas dado que el efecto de compactación está relacionado con el tipo de suelo (Botta *et al.*, 2006). Por ejemplo, en la región pampeana argentina sobre suelos Argiudoles Típicos, Tolon-Becerra *et al.* (2011) luego de 3 años de labranza cero observaron incrementos en la RP de entre 4 y 7 % con respecto a la condición inicial, en 5 capas de 0 - 5 a 20 - 25 cm de profundidad.

Los aumentos descriptos en la DA entre 10 y 30 cm de profundidad luego de 10 años de labranza cero con usos previos del suelo bajo LSR, no indujeron a incrementos en la RP del suelo. Además, en este estudio se observó que luego del período de labranza cero evaluado e independientemente del uso previo del suelo, los valores medios de RP fueron inferiores a 2 Mpa hasta los 30 cm de profundidad. A partir de este valor se considera que el suelo presenta una RP limitante para el normal crecimiento del sistema radical de los cultivos reduciendo la normal producción de granos (Blanco-Canqui y Lal, 2007; Micucci y Taboada, 2006). Estos resultados podrían ser atribuidos a la textura franco-arenosa, dado que Tolon-Becerra *et al.* (2011) luego de 11 años de labranza cero en Argiudoles Típicos de la región pampeana argentina, detectaron valores medios de RP de 2,68 a 3,02 Mpa entre 0 y 30 cm de profundidad.

Estudios realizados en otras regiones son coincidentes con los resultados observados en este estudio. Por ejemplo, en Mfou (Camerún), Tueche y Hauser (2011) luego de 1 año de labranza cero sobre sistemas provenientes de 4 años de labranza con remoción y otros con 8 años de pastizal natural, no observaron diferencias de RP entre 0 y 30 cm de profundidad según los usos previos del suelo. Esto sugeriría que luego de la adopción de prácticas de labranza cero, los valores de RP no son afectados por los antecedentes de uso del suelo.

3.6) Infiltración

Luego de 10 años de labranza cero a partir de 3 usos diferentes del suelo, la S media varió entre 22 y 27 $\text{mm h}^{-1/2}$ y la información disponible fue insuficiente para mostrar diferencias según los usos previos del suelo ($p < 0,57$; Fig. 3.6.1).

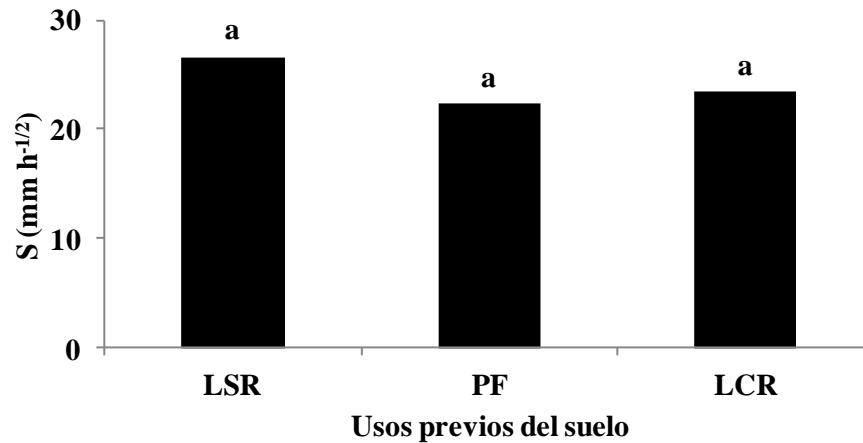


Figura 3.6.1: Sortividad (S) de un Hapludol Típico luego de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras en común muestran diferencias no significativas ($p < 0,57$).

El mismo comportamiento se observó en la K . Los valores variaron entre 45 y 51 mm h^{-1} y la información disponible no fue suficiente para mostrar diferencias según los antecedentes de uso del suelo ($p < 0,46$; Fig. 3.6.2).

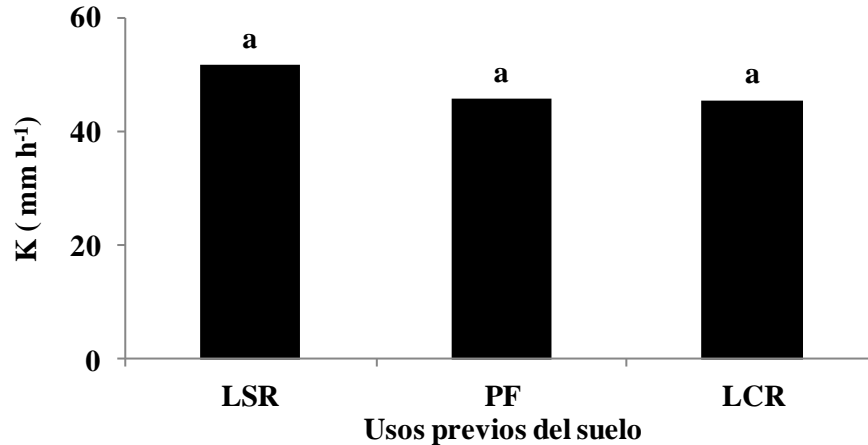


Figura 3.6.2: Conductividad hidráulica saturada (K) de un Hapludol Típico luego de 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras en común muestran diferencias no significativas ($p < 0,46$).

Los resultados de este estudio sugieren que posteriormente a la adopción del sistema de labranza cero durante 10 años en un suelo Hapludol Típico, la S y la K no difieren según el uso anterior del suelo. En Watkinsville (Estados Unidos), Franzluebbbers (2002b) mostró una relación positiva entre la infiltración de los suelos y el IE_{MO} considerando las capas de 0 a 3 y 6 a 12 cm de profundidad. Este comportamiento se atribuyó a que la MO tiene capacidad de aumentar la porosidad y la estabilidad de ésta, y por lo tanto se produce una mayor infiltración. Además, con mayor concentración de MO superficial se induce la formación de bioporos por la mayor actividad de macrofauna, principalmente de lombrices (Singh *et al.*, 1996). Sin embargo, en este estudio y

luego de 10 años de labranza cero no se relacionaron los IE_{MO} con la S y la K ($p < 0,66$ y $0,42$; respectivamente). La ausencia de esta relación podría atribuirse al pequeño rango de estudio del IE_{MO} , entre 1,64 y 2,12, con respecto al de Franzluebbers (2002b), entre 1,50 y 8,0. Esto sugiere que luego de 10 años de labranza cero las diferencias en las concentraciones de MO superficial según los usos previos del suelo, no son suficientes para inducir diferencias significativas en el movimiento del agua. Las propiedades hidráulicas del suelo son altamente dependientes de su DA (Bhattacharyya *et al.*, 2006), altos valores de DA y la consecuente baja porosidad son considerados un atributo negativo del suelo dado que limitan el movimiento del agua. Filgueira *et al.* (2006) en Berisso (Argentina), detectaron una relación lineal y negativa entre la K y la DA de los suelos. Sin embargo, en este estudio y luego de 10 años de labranza cero la S y la K no se relacionaron con la DA del suelo ($p < 0,77$ y $0,56$; respectivamente). Este resultado sugeriría que los incrementos de DA descriptos en profundidades entre 10 y 30 cm y con antecedentes de uso del suelo bajo LSR (Tabla 3.4.1), no fueron suficientes para afectar negativamente los movimientos del agua en el suelo. Además, independientemente de su uso previo, luego de 10 años de labranza cero los valores de K observados en este estudio se ubicaron dentro del rango normal de los suelos de texturas franco-arenosas, entre 42 y 127 mm h⁻¹ (Leij *et al.*, 1996). La no detección de relación entre la DA y las propiedades hidráulicas podría atribuirse al estrecho rango en el que ésta varió luego de 10 años de labranza cero, el promedio de los perfiles fue entre 1,25 y 1,43 Mg m⁻³. En cambio, Filgueira *et al.* (2006) describieron relación directa entre la K y la DA en un amplio rango de DA, entre 0,77 y 1,50 Mg m⁻³.

En Ohio (Estados Unidos), Lal (1992) en un estudio realizado sobre suelos de texturas finas, luego de 4 años de labranza cero observó reducciones en la tasa de infiltración con respecto a la condición inicial. Sin embargo, en Carolina del Norte (Estados Unidos), sobre suelos de texturas franco-arenosas y arenosa-francas, Raczkowski *et al.* (2012) luego de 8 años de labranza cero no observaron cambios en la K con respecto a la condición original. Los diferentes resultados entre ambos estudios podrían atribuirse a los distintos comportamientos de la DA según las texturas de los suelos.

Los resultados observados en este estudio no son coincidentes con el de García *et al.* (2010) realizado en Tucumán (Argentina). Sobre suelos franco-limosos y luego de 15 a 19 años de labranza cero, observaron una K 4,4 veces superior bajo antecedentes de montes con respecto a usos previos del suelo bajo labranza con remoción durante 24 a 40 años. Este comportamiento se atribuyó a la menor DA bajo antecedentes de montes con respecto a labranza con remoción. Esto sugeriría que a mayor intensidad de degradación física del suelo por remoción previa se afectaría el resultado de la labranza cero causando mayores valores de DA y consecuentemente menores K.

3.7) Estructura del suelo

Al comienzo del estudio, previo a 10 años de labranza cero, la distribución de los fragmentos separados bajo condiciones crecientes de energía por caída mostraron DMP que variaron de 12 a 35 mm correspondiendo a los máximos y mínimos niveles de energía uniformemente aplicada, respectivamente. Sin la aplicación de la energía de ruptura por caída (nivel 0,0 J g⁻¹) no se detectaron diferencias en los DMP según los usos del suelo ($p < 0,56$). Esto sugiere que el tamaño medio de agregados, al inicio del estudio, es similar entre los usos del suelo. La TR-DMP ante niveles crecientes de energía de ruptura por caída fue similar entre los usos del suelo ($p < 0,32$) y mostró un

valor promedio de $5,5 \text{ mm J}^{-1} \text{ g}^{-1}$. Este resultado sugiere que, previo a los 10 años de labranza cero, la estabilidad de la estructura es similar entre los usos del suelo.

Luego de 10 años de labranza cero la distribución de los fragmentos separados bajo condiciones crecientes de energía de ruptura por caída mostró DMP que variaron entre 12 y 46 mm correspondientes con el mayor y el menor nivel de energía uniformemente aplicada, respectivamente. Sin la aplicación de energía de ruptura por caída no se detectaron diferencias en el DMP según los antecedentes de usos del suelo ($p < 0,18$). La TR-DMP fue similar según los usos previos del suelo ($p < 0,32$) y mostró una reducción media de $4,1 \text{ mm J}^{-1} \text{ g}^{-1}$. Los resultados luego de 10 años de prácticas agrícolas en labranza cero, sugieren un tamaño medio de agregados y una estabilidad estructural similar según los usos previos del suelo.

Entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero la diferencia de DMP sin la aplicación de energía de ruptura por caída, fue independiente del uso previo del suelo ($p < 0,95$) y mostró un incremento medio del 35 % ($p < 0,06$; Fig. 3.7.1). Entre ambos momentos de evaluación, e independientemente de los antecedentes de uso del suelo ($p < 0,20$), no se observaron diferencias en la TR-DMP con niveles de energía crecientes ($p < 0,27$).

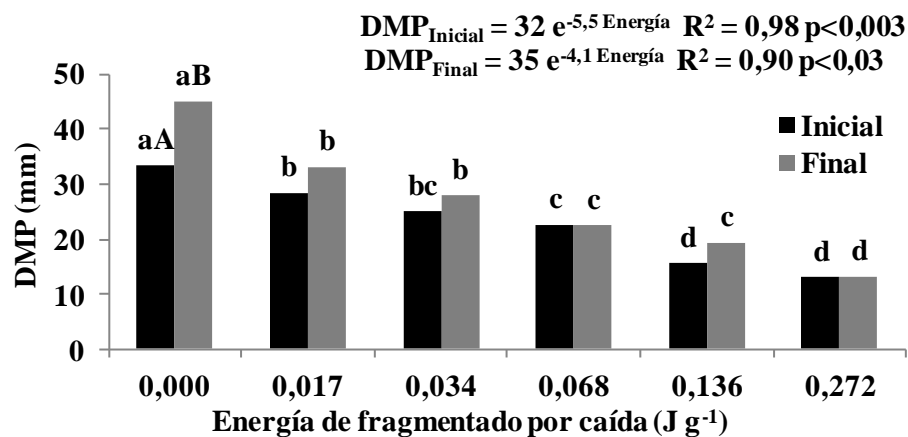


Figura 3.7.1: Diámetro medio ponderado (DMP) según niveles de energía en un Hapludol Típico antes (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero. Promedio de distintos usos previos del suelo (labranza cero o sin remoción, pastura de festuca, labranza con remoción). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero sin aplicación de energía de fragmentado por caída (nivel $0,000 \text{ J g}^{-1}$). Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre niveles de energía de fragmentado por caída para cada momento de evaluación ($p < 0,0001$).

La distribución de los fragmentos separados bajo condiciones crecientes de energía de ruptura por caída, sugiere que el efecto de 10 años de labranza cero sobre la estructura de un Hapludol Típico es independiente de su condición de uso original. Los resultados sugirieron que 10 años de labranza cero incrementan el tamaño medio de los agregados y conservan la estabilidad estructural. Se observó una relación lineal y positiva entre los IE_{MO} y el DMP sin la aplicación de energía de ruptura por caída (Fig. 3.7.2). La relación sugiere que la agregación superficial del suelo depende en parte de los residuos de cosecha acumulados en superficie y de los incrementos en la concentración de la MO superficial. Esta agregación se atribuiría a la no remoción de los suelos y a la presencia de agentes cementantes como polisacáridos, mucílagos y otros compuestos microbianos que se producen durante la descomposición de los

residuos de cosecha (Andrade *et al.*, 1998; Degens, 1997; Zhang *et al.*, 2012). Además, en la rizosfera las raíces de los cultivos secretan compuestos lábiles de carbono que ejercen acciones de pegado (Six *et al.*, 2004).

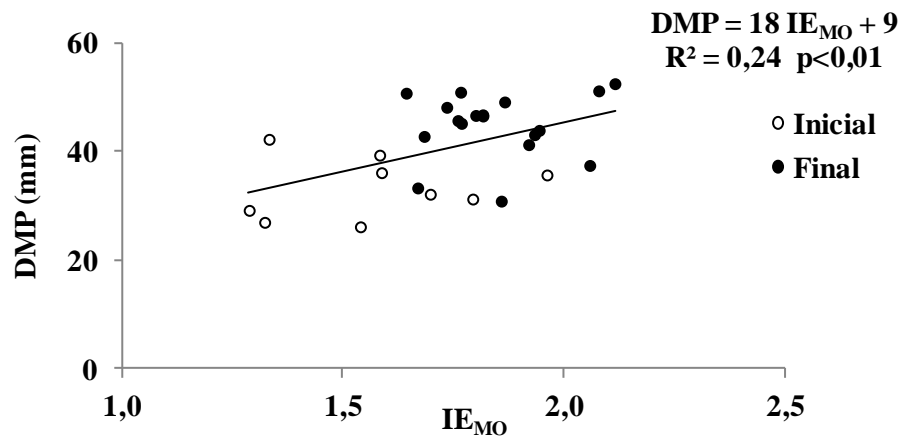


Figura 3.7.2: Relación del diámetro medio ponderado (DMP) sin la aplicación de energía de ruptura por caída (nivel 0,00 J g⁻¹) y los índices de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad en un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.

Franzluebbbers (2002b) en Watkinsville (Estados Unidos), evaluó la estabilidad de la estructura del suelo a partir de la diferencia relativa entre el DMP por tamizado en húmedo y en seco. Además, cuantificó la estratificación de la MO empleando las capas de 0 a 3 y 6 a 12 cm de profundidad. Observó una relación positiva entre los IE_{MO} y la estabilidad de la estructura. Similarmente, en este estudio se detectó una relación lineal e inversa entre los IE_{MO} y las TR-DMP ante niveles crecientes de energía de ruptura por caída (Fig. 3.7.3). Si bien no se observaron cambios en las TR-DMP entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero, esta relación sugiere que los incrementos en la concentración de la MO superficial tienden a disminuir las TR-DMP. Esto implica que con más de 10 años de implementación de la labranza cero podría detectarse un aumento en la estabilidad de la estructura. Una estructura estable en superficie es importante para facilitar una rápida infiltración del agua y controlar la erosión del suelo (Franzluebbbers, 2002b). Las correlaciones positivas entre la estabilidad de la estructura y las concentraciones de MO fueron descritas en numerosos estudios (Álvarez, 2009; Ayoubi *et al.*, 2012; Caravaca *et al.*, 2004; Chagas *et al.*, 1994; Conceição *et al.*, 2013; Deneff *et al.*, 2007; Galantini y Suñer, 2008; Haynes y Swift 1990; Six *et al.*, 2000a y b; Tisdall y Oades, 1982). Estos autores concluyeron que el mantenimiento del sistema de labranza cero contribuye a la consolidación del estado estructural de los suelos, facilitado por la mayor acumulación de MO y condiciones para la cohesión entre partículas minerales. En estudios que no incluyen sistemas productivos en labranza cero también fue observada la relación entre la estabilidad estructural y las concentraciones de MO, por ejemplo, en el estudio de Ayoubi *et al.* (2012) en Isfahan (Irán) al comparar suelos bajo labranza con remoción y montes forestales naturales.

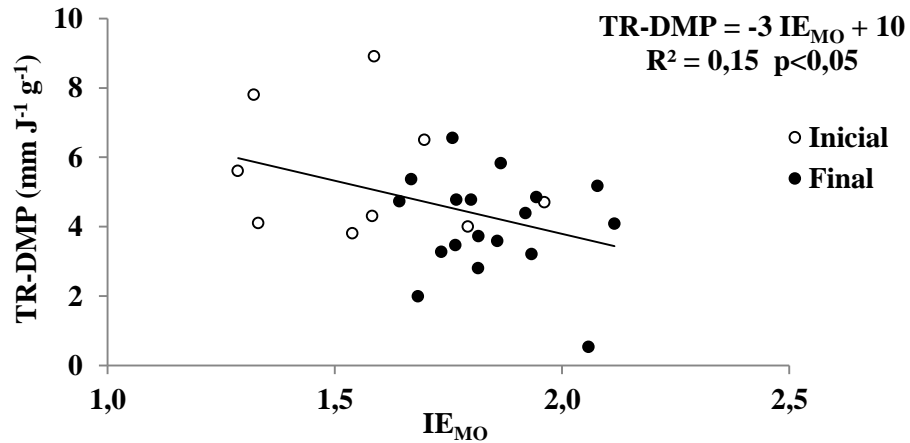


Figura 3.7.3: Relación de la tasa de reducción del diámetro medio ponderado (TR-DMP) y los índices de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad en un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.

Luego de 10 años de labranza cero la estabilidad frente a la disrupción en agua de los fragmentos de entre 1 y > 16 mm de diámetro varió entre 96,3 y 97,7 %, respectivamente. Independientemente de los tamaños de fragmentos ($p < 0,95$), la información disponible fue insuficiente para mostrar diferencias de estabilidad en húmedo según los usos previos del suelo ($p < 0,92$), detectándose un valor medio de 97,2 %. Esto implica que, en un Hapludol Típico y posteriormente a 10 años de labranza cero, la estabilidad frente a la acción del agua de los agregados mayores a 1 mm de diámetro, no depende de los antecedentes de uso del suelo. La alta estabilidad de los fragmentos frente a la disrupción en agua, podría atribuirse a la no remoción de los suelos, a la baja tasa de mineralización de la MO en comparación con sistemas de remoción (Schick *et al.*, 2000) y a la hidrofobicidad de la MO (Abiven *et al.*, 2009). Además, las raíces de los cultivos e hifas de hongos pueden realizar una acción de enredado que mejora la estabilidad ante la disrupción en agua (Taboada, 2008).

Algunos estudios que comparan sistemas de labranzas han descripto mayor estabilidad de la estructura bajo sistemas de labranza cero con respecto a sistemas de labranza con remoción (Cannell y Hawes, 1994; Fuentes *et al.*, 2009; Malhi y Lemke, 2007; Oleschko *et al.*, 1992; Reeves, 1997). Según los resultados de este estudio en Gral. Villegas, la diferencia descripta entre sistemas de labranza por estos autores, podría atribuirse a una conservación de la estabilidad estructural inducida por la labranza cero frente a procesos de fragmentado promovido por la remoción de los suelos.

Los resultados sobre la estabilidad estructural observados en este estudio fueron coincidentes con investigaciones realizadas en otras regiones. Por ejemplo, Soon y Lupwayi (2012) en Alberta (Canadá), evaluaron la estructura del suelo mediante tamizado en húmedo y obtención del DMP por el método de Kemper y Roseneau (1986). Luego de 3 años de labranza cero los autores no observaron cambios en la estabilidad estructural con respecto al inicio del estudio. En Santa Catarina (Brasil), Bertol *et al.*, (2004) evaluaron la estabilidad estructural empleando el método de Yoder (1936) modificado por Kemper y Chepil (1965). Luego de 6 años de labranza cero con antecedentes de uso del suelo con pasturas, no observaron cambios de esta propiedad edáfica con respecto a la condición inicial. En Buenos Aires (Argentina), Sasal *et al.* (2006) analizaron la estructura basándose en el método propuesto por Douglas y Goss

(1982). Luego de 13 a 20 años de labranza cero no detectaron diferencias de estabilidad estructural con usos previos del suelo bajo pasturas con respecto a usos previos de más de 10 años de labranza con remoción. Los resultados obtenidos en este estudio de Gral. Villegas no fueron coincidentes con otras investigaciones. Por ejemplo, en Carolina del Norte (Estados Unidos), Raczkowski *et al.* (2012) sobre texturas franco-arenosas y arenosa-francas evaluaron la estructura del suelo mediante el procedimiento descrito por Nimmo y Perkins (2002). Luego de 8 años de labranza cero y en fragmentos entre 2 y 4,75 mm de diámetro, mostraron un incremento en la estabilidad del 44 % con respecto al inicio del estudio. En este estudio de Gral. Villegas, la ausencia de incrementos en la estabilidad podría atribuirse a la diferente metodología empleada en la evaluación. El método de distribución de fragmentos separados bajo condiciones crecientes de energía de ruptura por caída, evalúa la estabilidad de la estructura, la cual normalmente es menor que la estabilidad de los fragmentos (Horn, 1990). En Tucumán (Argentina), García *et al.* (2010) evaluaron la estructura por el método De Leenheer y De Boodt (1959). Luego de 15 a 19 años de labranza cero observaron una estabilidad estructural 3 veces mayor con usos previos del suelo bajo montes naturales con respecto a usos previos de 24 a 40 años de labranza con remoción. La ausencia de diferencias en las TR-DMP luego de 10 años de labranza cero con usos previos del suelo bajo PF y LCR, podría atribuirse a la menor diferencia de MO (18 % de 0 a 5 cm y 12 % de 5 a 10 cm de profundidad) con respecto a la descrita en Tucumán con antecedentes de montes y labranza con remoción (51 % de 0 a 5 cm y 28 % de 5 a 10 cm de profundidad).

3.8) *Análisis combinado de las propiedades edáficas*

En las condiciones de este estudio y a través de métodos discriminantes, el análisis combinado de las propiedades del suelo permite comparar los cambios relativos de éstas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero. Esto determina el subconjunto de propiedades de un Hapludol Típico que son mayormente modificadas por 10 años de labranza cero.

La TR-DMP ante niveles crecientes de energía de ruptura por caída, no mostró variaciones absolutas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero, sin embargo fue incluido en el análisis combinado dado que tendió a reducirse con los incrementos del IE_{MO} (Fig. 3.7.3).

En la ecuación lineal discriminante (ED) representada en el eje canónico 1 (Fig. 3.8.1), se observó que luego de 10 años de labranza cero con respecto a la condición inicial del estudio, las propiedades del suelo con coeficientes positivos y aquellas con coeficientes negativos, muestran mayor y menor magnitud absoluta, respectivamente. Conjuntamente, la RP, el DMP sin aplicación de energía de ruptura por caída y la TR-DMP fueron los que mostraron el mayor cambio relativo entre ambos momentos de evaluación. El resultado de la TR-DMP muestra que ésta tiende a reducirse, sugiriendo que la adopción de labranza cero por más de 10 años podría incrementar la estabilidad estructural con respecto a la condición inicial del estudio. Los resultados descriptos en este análisis sugieren que la no remoción de un Hapludol Típico y la continua acumulación de residuos de cosecha en su superficie durante 10 años, afecta mayormente su fertilidad física contribuyendo a reducir la RP y aumentar la agregación del suelo.

$$ED = 12 + 0,2 MO - 0,3 pH + 0,1 Pe - 0,1 DA - 0,8 RP + 0,7 DMP (\text{nivel } 0,0 J g^{-1}) - 0,5 TR-DMP$$

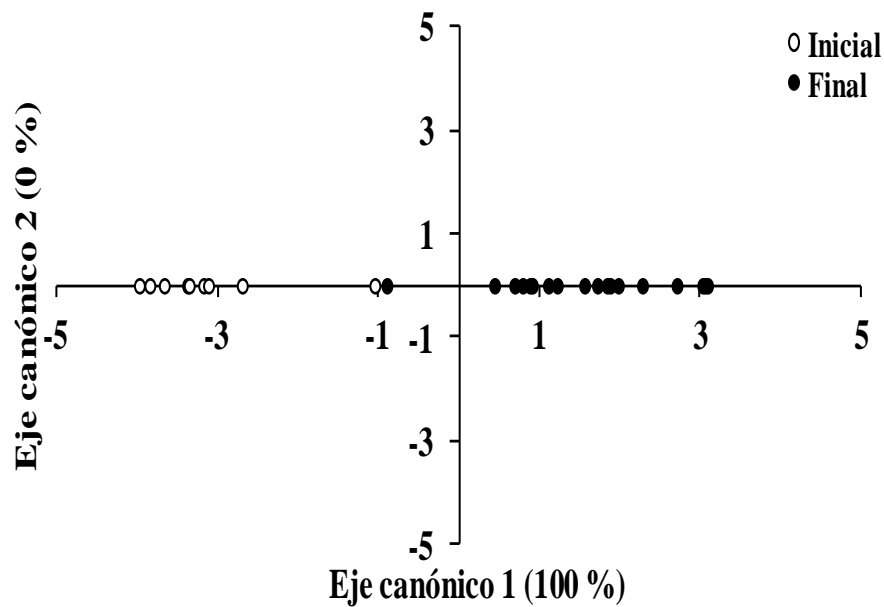


Figura 3.8.1: Relación combinada de las propiedades (MO = materia orgánica, pH, Pe = fósforo extractable, DA = densidad aparente, RP = resistencia a la penetración, DMP = diámetro medio ponderado sin la aplicación de energía de ruptura por caída, TR-DMP = tasa de reducción del diámetro medio ponderado ante niveles crecientes de energía de ruptura por caída) en la superficie de un Hapludol Típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de labranza cero.

3.9) Producción de maíz y de soja

En los 10 años de labranza cero los rendimientos medios de los cultivos de maíz variaron entre 8.731 y 13.492 kg ha⁻¹. En este período e independientemente de los usos previos del suelo, la evolución de los rendimientos de maíz no mostraron tendencias temporales significativas ($p < 0,78$; Fig. 3.9.1). Este resultado sugiere que, independientemente de la condición de uso original de un Hapludol Típico, el sistema de labranza cero continuo durante 10 años no genera cambios sobre la producción de este cultivo. Además, no se observaron diferencias de rendimiento atribuidos a los diferentes usos iniciales del suelo.

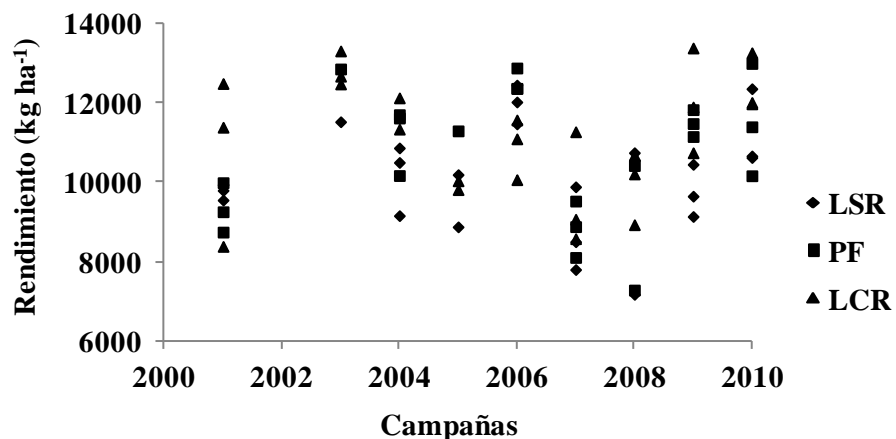


Figura 3.9.1: Rendimientos de maíz en un Hapludol Típico durante 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).

Investigaciones realizadas en otras regiones también detectaron que los rendimientos de los cultivos de maíz no mostraron cambios relevantes durante el período de labranza cero estudiado. Por ejemplo, Franchini *et al.* (2012) durante 23 años de labranza cero en Paraná (Brasil), Chen *et al.* (2011) durante 7 años de labranza cero en Heilongjiang (China) y Fuentes *et al.* (2009) durante 14 años de labranza cero en Méjico. En Mfou (Camerún), Tueche y Hauser (2011) evaluaron los rendimientos de maíz luego de 1 año de labranza cero sobre sistemas provenientes de 4 años de labranza con remoción y otros con 8 años de pastizal natural. Estos autores no observaron diferencias en los rendimientos de maíz según los usos previos del suelo.

Durante 10 años de labranza cero los rendimientos medios de cultivos de soja variaron entre 2.675 y 5.593 kg ha⁻¹. En este período e independientemente de la condición de uso previo del suelo, la tendencia temporal de la producción de la soja mostró una reducción de los rendimientos (Fig. 3.9.2). La información disponible fue insuficiente para mostrar diferencias en las tasas de reducción del rendimiento por campaña según los usos previos del suelo ($p < 0,49$), siendo la tasa media de 134 kg ha⁻¹ campaña⁻¹.

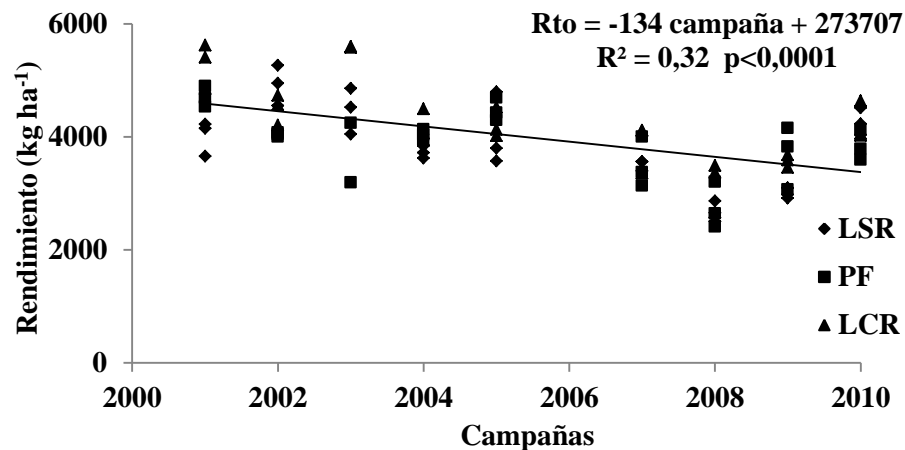


Figura 3.9.2: Rendimientos (Rto) de soja en un Hapludol Típico durante 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).

La reducción de la producción de los cultivos de soja se atribuyó en parte a las precipitaciones en los meses de febrero. Se detectó una relación lineal e inversa entre los rendimientos de este cultivo y las lluvias de ese mes, independientemente de la condición de uso inicial (Fig. 3.9.3). Dado que las precipitaciones de febrero tendieron a aumentar en los 10 años de labranza cero ($R^2 = 0,24$; $p < 0,15$), éstas explicaron en promedio un 20 % de las reducciones en los rendimientos. No se observaron diferencias en las tasas de reducción del rendimiento por milímetro de lluvia según los usos previos del suelo ($p < 0,39$), detectándose una tasa media de 8 kg ha⁻¹ mm⁻¹. En todas las campañas, los cultivos de soja se sembraron en la primera quincena de noviembre, por ello durante febrero se encontraron en el período crítico de definición de rendimientos, comprendido entre R4 (una vaina de 2 cm en uno de los cuatro nudos superiores) y poco después de R6 (una vaina que contiene una semilla que ocupa toda la cavidad de la misma, en uno de los cuatro nudos superiores), (Baigorri *et al.*, 1997). Cualquier estrés biótico o abiótico en este período del cultivo causa pérdidas de rendimiento por disminución del número de vainas por planta, del número de granos por vaina y, en menor medida, del peso de los granos. El aumento de precipitaciones podría estar

relacionado con mayor tiempo de nubosidad causando un estrés abiótico al disminuir la radiación (Baigorri *et al.*, 1997).

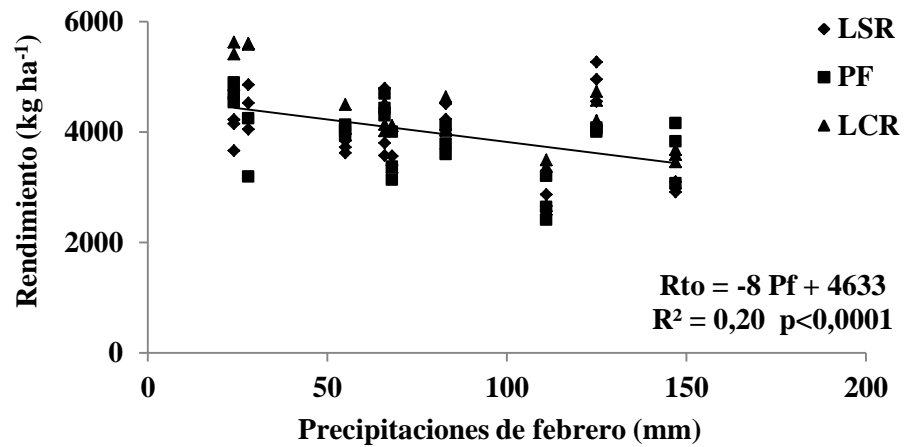


Figura 3.9.3: Relación entre el rendimiento (Rto) de soja y las precipitaciones de febrero (Pf) en un Hapludol Típico durante 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).

Si bien se observaron similares reducciones en la producción de la soja según los antecedentes de uso inicial del suelo, en general en las 4 primeras campañas se detectaron rendimientos promedio con usos previos del suelo bajo LCR 16 % superiores con respecto a LSR y PF ($p < 0,05$). En las campañas restantes la información disponible fue insuficiente para mostrar diferencias según los usos previos del suelo ($p < 0,34$; Fig. 3.9.4). Esto sugiere que, remover el suelo antes de iniciar prácticas de labranza cero, permite obtener mayores rendimientos en las 4 primeras campañas con cultivos de soja. Esta observación no se atribuye a las diferencias descritas en las propiedades edáficas entre usos del suelo al inicio del estudio. Dado que este comportamiento no se detectó en maíz, se hipotetiza que los mayores rendimientos de soja en las 4 primeras campañas de labranza cero con antecedentes de LCR respecto de LSR y PF, se atribuye a mejoras en el proceso de nodulación y fijación de nitrógeno inducidas por la remoción previa. Es probable que estas mejoras se relacionen con una diferente disponibilidad de nutrientes y poblaciones microbianas en comparación con los suelos no removidos previamente.

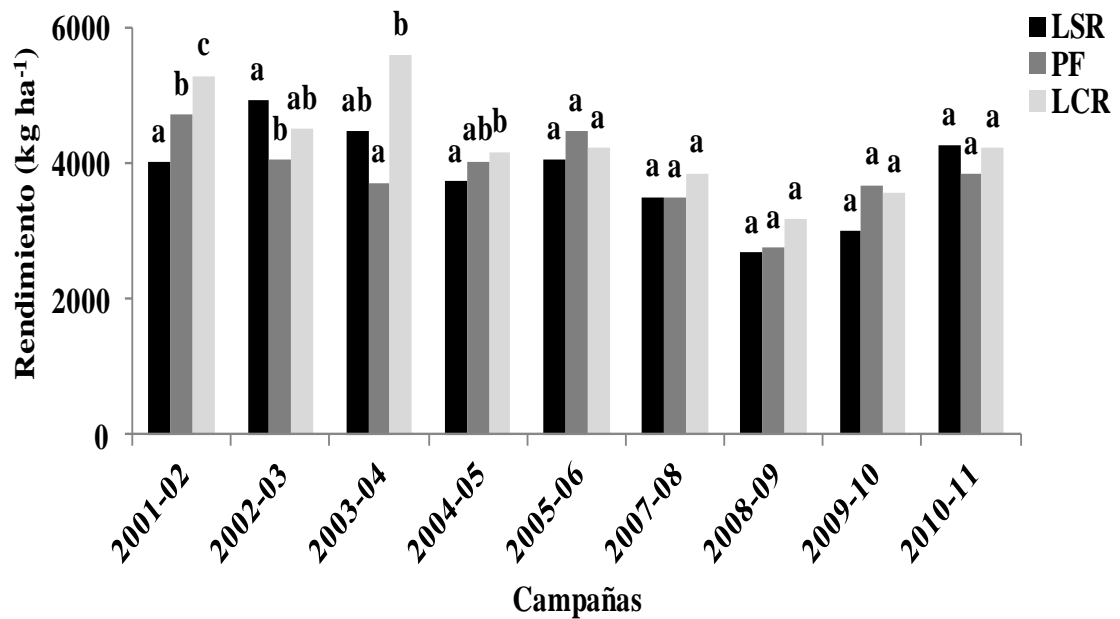


Figura 3.9.4: Rendimiento de soja en un Hapludol Típico durante 10 años de labranza cero con distintos usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras distintas muestran diferencias significativas entre usos previos del suelo en cada campaña ($p < 0,05$).

Considerando la producción de granos de ambos cultivos, se estimó la cantidad de residuos (rastrajos más raíces) aportados en 10 años de labranza cero a partir de los diferentes usos previos del suelo. Según lo descrito en Álvarez y Steinbach (2006), se considera una relación rastrojo:rendimiento promedio de 0,86 para los cultivos de maíz y de 1,42 para los de soja. Mientras que el aporte de las raíces, considerando una profundidad entre 0 y 20 cm, es equivalente al 13 % del rastrojo en los cultivos de maíz y al 20 % en los de soja. La adopción de 10 años de labranza cero con rotaciones de maíz-soja en un Hapludol Típico, mostraron un aporte total aparente de residuos 13 % mayor con uso previo del suelo bajo LCR (78 t ha^{-1}) en comparación con PF (69 t ha^{-1} ; $p < 0,14$), mientras que se detectaron valores intermedios con uso previo de LSR (71 t ha^{-1}). Sin embargo, entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero, y en los 5 cm superficiales, se detectaron similares incrementos en la concentración de MO entre los tres usos previos del suelo (Tabla 3.1.1). Esto conduce a hipotetizar mayores tasas de mineralización de los residuos durante 10 años de labranza cero, con usos previos de LSR y PF con respecto a LCR. Estas tasas diferenciales de mineralización según los usos previos del suelo se atribuirían, en parte, a diferentes poblaciones microbianas con distinta capacidad de degradación del residuo de los cultivos. Un estudio microbiológico sería necesario para confirmar esta hipótesis. Además, a pesar de los diferentes aportes de residuos según los usos previos del suelo, los cambios superficiales de las propiedades químicas y físicas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero fueron independientes del uso anterior del suelo. Esto sugiere que las diferencias descritas en las propiedades edáficas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero, dependen mayormente de factores intrínsecos del suelo que de las diferencias de producción de los cultivos y sus aportes de residuos.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

En un Hapludol Típico representativo de la región semiárida–subhúmeda de la pampa arenosa, los efectos del sistema de labranza cero durante 10 años continuos sobre las concentraciones de la materia orgánica, fueron independientes del uso inicial del suelo y dependientes de la profundidad. Atribuido a la no remoción y a la acumulación de los residuos de cosecha de los cultivos de maíz y de soja, 10 años de labranza cero incrementaron las concentraciones de materia orgánica entre 0 y 5 cm de profundidad, mientras que conservaron la concentración inicial entre 5 y 20 cm de profundidad. Atribuido en parte a los aumentos en la concentración de la materia orgánica superficial e independientemente del uso original, 10 años de labranza cero causaron los siguientes efectos en el suelo (Tabla 4.1):

- Reducción de los valores de pH en agua entre 0 y 20 cm de profundidad.
- Incremento de los contenidos de fósforo extractable entre 0 y 10 cm de profundidad y conservación del contenido inicial entre 10 y 20 cm de profundidad.
- Reducción de la resistencia a la penetración entre 0 y 5 cm de profundidad y conservación de los valores iniciales entre 5 y 30 cm de profundidad.
- Aumento del tamaño medio de fragmentos y conservación de la estabilidad estructural entre 0 y 10 cm de profundidad.

Contrariamente, los cambios en la densidad aparente dependieron de la condición inicial de uso del suelo, además de mostrar diferencias entre profundidades de evaluación. Entre 0 y 10 cm de profundidad e independientemente del uso previo del suelo, 10 años de labranza cero redujeron la densidad aparente. Entre 10 y 30 cm de profundidad, bajo sistema inicial de agricultura sin remoción, 10 años de labranza cero incrementaron la densidad aparente. Las magnitudes detectadas no fueron limitantes para la normal producción de los cultivos de maíz y de soja. En la misma profundidad, bajo sistema original de pastura o prácticas agrícolas con remoción, 10 años de labranza cero conservaron la densidad aparente inicial.

Tabla 4.1: Resumen del efecto de 10 años de labranza cero sobre las propiedades en las capas superficiales y profundas de un Hapludol Típico, dependiendo del uso previo del suelo (No = no hay dependencia del uso previo del suelo). MO = materia orgánica, Pe = fósforo extractable, DA = densidad aparente, RP = resistencia a la penetración.

Propiedad edáfica	Dependencia del uso previo del suelo	Efecto en superficie	Efecto en profundidad
MO	No	Aumento	Conservación
pH	No	Reducción	Reducción
Pe	No	Aumento	Conservación
DA	Agricultura sin remoción	Reducción	Aumento
	Pastura	Reducción	Conservación
	Agricultura con remoción	Reducción	Conservación
RP	No	Reducción	Conservación
Tamaño medio de fragmentos	No	Aumento	-
Estabilidad estructural	No	Conservación	-

La producción de los cultivos de maíz en 10 años de labranza cero sobre un Hapludol Típico fue independiente tanto de la condición original de uso del suelo como del tiempo de implementación de labranza cero. Mientras que en los cultivos de soja y en los cuatro primeros años de labranza cero, se observó mayores rendimientos en suelos previamente removidos con respecto a suelos sin remoción previa. Además, independientemente del uso previo, se detectó una reducción de la producción de los cultivos de soja en 10 años de labranza cero, atribuido en parte, a incrementos de las precipitaciones en febrero, coincidentes con el período crítico del cultivo.

Los resultados descriptos sobre un Hapludol Típico representativo de la región de la pampa arenosa, sugieren que la adopción de prácticas continuas de labranza cero durante 10 años con producciones de maíz y soja en rotación, generan cambios principalmente en la superficie del suelo sin depender de su condición inicial de uso.

BIBLIOGRAFÍA

AAPRESID. 2012. www.aapresid.org.ar/superficie. 2013

Abiven, S; S Menasseri & C Chenu. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – a literature analysis. *Soil Biol. Biochem.* 41:1–12.

Abril, A; P Salas; E Lovera & N Casado Murillo. 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de Argentina. *Ciencia del Suelo* 23:179-188.

Alijani, K; M Bahrani & S Kazemeini. 2012. Short-term responses of soil and wheat yield to tillage, corn residue management and nitrogen fertilization. *Soil Till. Res.* 124:78–82.

Álvarez, C. 2006. Efecto del sistema de labranza sobre propiedades de un Hapludol Típico y un Hapludol Éntico de la pampa arenosa. Tesis de maestría. U.N. del Sur. Bahía Blanca, Argentina.

Álvarez, C; M Barraco; M Díaz-Zorita & C Scianca. 2010. Producción de maíz y de soja bajo cero labranza en Hapludoles con diferencias en su manejo de origen. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. En DC. Rosario, Argentina.

Álvarez, F; M Osterrieth & J Del Río. 2012. Changes on aggregates morphology and roughness induced by different uses of Typical Argiudolls, Buenos Aires province, Argentina. *Soil Till. Res.* 119:38– 49.

Álvarez, M. 2009. Efecto de las prácticas agrícolas y forestales sobre las fracciones coloidales en Argiudoles Típicos del sudeste bonaerense. Tesis doctoral, U.N. de Mar del Plata. Balcarce, Argentina.

Álvares, R & H Steinbach. 2006. Balance de carbono en suelos cultivados. En: Álvarez, R. (Ed.). *Materia orgánica: valor agronómico en suelos pampeanos*. Pp. 55-67. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina.

Allen, R; M Smith; A Perrier & A Pereira. 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. *ICID Bull.* 43:34-92.

Andrade, G; K Mihara; R Linderman & G Bethlenfalvay. 1998. Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. *Plant Soil* 202(1):89–96.

Ayoubi, S; P Karchegani; M Mosaddeghi & N Honarjoo. 2012. Soil aggregation and organic carbon as affected by topography and land use change in western Iran. *Soil Till. Res.* 121:18–26.

Baigorri, H; M Bodrero; E Morandi; R Martignone; F Andrade; S Meira & E Guevara. 1997. Ecofisiología del cultivo. En: Giorda, L & H Baigorri. (Eds.). *El cultivo de la soja en Argentina*. Pp. 29-52. Editorial Editar. Manfredi, Argentina.

Balesdent, J; A Mariotti & D Boisgontier. 1990. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ¹³C abundance in maize fields. *J. Soil Sci.* 41:587-596.

Balesdent, J; C Chenu & M Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* 53:215–230.

- Balzarini, M; L Gonzalez; M Tablada; F Casanoves; J Di Rienzo & C Robledo. 2008. InfoStat. Manual del usuario. Editorial Brujas. Córdoba, Argentina.
- Ballcoelho, B; R Roy & C Swanton. 1998. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. *Soil Till. Res.* 45:237–249.
- Barraco, M. 2009. Productividad de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) según propiedades edáficas de Hapludoles de la región de la pampa arenosa. Tesis de maestría. U. de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Barraco, M; M Díaz-Zorita; C Álvarez & C Scianca. 2009. Estrategia de fertilización fosfatada en una secuencia agrícola bajo labranza cero en la pampa arenosa: I. Evaluación agronómica. En Simposio Fertilidad. Instituto internacional de nutrición de plantas (IPNI). Pp. 139.
- Barzegar, A; M Asoodar; & M Ansari. 2000. Effectiveness of sugar cane residue incorporation at different water contents and the proctor compaction loads in reducing soil compactibility. *Soil Till. Res.* 57:167-172.
- Beare, M; R Parmelee; P Hendrix & W Cheng. 1992. Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems. *Ecol. Monogr.* 62:569–591.
- Bertol, I; J Beutler; D Leite & O Batistela. 2001. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Sci. Agric.* 58:555-560.
- Bertol, I; J Albuquerque; D Leite; A Amaral & W Zoldan Junior. 2004. Manejo e conservação do solo e da água. *R. Bras. Ci. Solo* 28:155–163.
- Bescansa, P; M Imaz; I Virto; A Enrique & W Hoogmoed. 2006. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil Till. Res.* 87:19–27.
- Bhattacharyya, R; S Prakash; S Kundu & H Gupta. 2006. Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil Till. Res.* 86:129–140.
- Blake, G & K Hartge. 1986. Bulk density. En Klute, A (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* 2da edn. Pp 363-376. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, Estados Unidos.
- Blanco-Canqui, H; R Lal; W Post & L Owens. 2006. Changes in Long-term no-till corn growth and yield under different rates of stover mulch. *Agr. J.* 98:1128–1136.
- Blanco-Canqui, H & R Lal. 2007. Regional assessment of soil compaction and structural properties under no-tillage farming. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:1770–1778.
- Blevins, R; D Cook; S Phillips & R Phillips. 1971. Influence of no-tillage on soil moisture. *Agr. J.* 63:593-596.
- Blevins, R; M Smith; G Thomas & W Frye. 1983. Influence of conservation tillage on soil properties. *J. Soil Water Conserv.* 38:301-305.
- Botta, G; R Balbuena; L Draghi; J Claverie; H Rosatto & F Carlos. 2003. Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistemas de labranza convencional. *Agro Ciencia* 19(1):96–106.

- Botta, G; D Jorajuria; H Rosatto. 2006. Light tractor frequency on soil compaction in the rolling Pampa region of Argentina. *Soil Till. Res.* 86:9–14.
- Bray, R & L Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Buschiazzo, D; J Panigatti & F Babinec. 1996. Labranza en la Región Semiárida Argentina. Consideraciones finales. En: Buschiazzo, D; J Panigatti & F Babinec (Eds.). *Labranzas en la Región Semiárida Argentina*. Pp 147-156. Editorial Hemisferio Sur. Santa Rosa, Argentina.
- Buschiazzo, D; J Panigatti & P Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49:105-116.
- Cannell, R & J Hawes. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil Till. Res.* 30:245–282.
- Caravaca, F; A Lax & J Albaladejo. 2004. Aggregate stability and carbon characteristics of particle-size fractions in cultivated and forested soils of semiarid Spain. *Soil Till. Res.* 78:83–90.
- Chagas, C; H Marelli & O Santanatoglia. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol Típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 12:11-16.
- Ciampitti, I & F García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y micronutrientes secundarios. Cereales, oleaginosos e industriales. *Información Agronómica* N° 11. Instituto internacional de nutrición de plantas (IPNI).
- Conceição, P; J Dieckow & C Bayer. 2013. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. *Soil Till. Res.* 129:40 – 47.
- Dalal, R; D Allen; W Wanj; S Reeves & I Gibson. 2011. Organic carbon and total nitrogen stocks in a Vertisol following 40 years. *Soil Till. Res.* 112:133–139.
- Danielson, R & P Sutherland. 1986. Porosity. En: Klute, A (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2da edn. Pp 443-461. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Estados Unidos.
- Dardanelli, J. 1998. Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranzas. En Panigatti, J; H Marelli; D Buschiazzo & R Gil (Eds.). *Siembra Directa*. Pp 107-115. Editorial Hemisferio Sur. Argentina.
- De Battista, J; A Andriulo & C Pecorari. 1992. El perfil cultural: un método para la evaluación de sistemas de cultivos. *Ciencia del Suelo* 10/11:88-93.
- Degens, B. 1997. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. *Australian J. Soils Res.* 35:431–459.
- De Leenheer, L & M De Boodt. 1959. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *Proceedings of the international symposium on soil structure medelinge van de landbouhogeschool, Ghent*. Pp 290 – 300.

- Denef, K; L Zotarelli; R Boddey & J Six. 2007. Microaggregate associated carbon as a diagnostic fraction for management induced changes in soil organic carbon in two oxisols. *Soil Biol Biochem* 39:1165–1172.
- Deubel, A; B Hofmann & D Orzessek. 2011. Long-term effects of tillage on stratification and plant availability of phosphate and potassium in a loess chernozem. *Soil Till. Res.* 117:85-92.
- Díaz-Zorita, M. 1996. Labranzas en la Región Semiárida y Subhúmeda Bonaerense Noroeste. En: Buschiazzo, D; J Panigatti & F Babinec (Eds.). *Labranzas en la Región Semiárida Argentina*. Pp 39-48. Editorial Hemisferio Sur. Santa Rosa, Argentina.
- Díaz-Zorita, M & G Grosso. 2000. Effect of soil texture organic carbon and water retention on the compactability of soils from the argentinean pampas. *Soil Till. Res.* 54:121–126.
- Díaz-Zorita, M; E Perfect & J Grove. 2002a. Disruptive methods for assessing soil structure: A review. *Soil Till. Res.* 64:3–22.
- Díaz-Zorita, M; G Duarte & J Grove. 2002b. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65:1-18.
- Díaz-Zorita, M & J Grove. 2002. Duration of tillage management affects carbon and phosphorus stratification in phosphatic Paleudalfs. *Soil Till. Res.* 66:165–174.
- Díaz-Zorita, M; M Barraco & C Álvarez. 2004. Efecto de doce años de labranzas sobre un Hapludol del noroeste bonaerense. *Ciencia del suelo* 22:11-18.
- Díaz-Zorita, M & D Buschiazzo. 2006. Soils of the Pampas. *Enciclopedia of Soil Science* DOI: 10.1081:1653-1657.
- Di Rienzo, J; F Casanoves; M Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & C Robledo. 2008. InfoStat versión 2012. U.N. de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Elisondo, E; J Costa; E Suero; K Fabrizzi & F García. 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 19:11-19.
- Espinosa, J & E Molina. 1999. La acidez del suelo. En: Espinosa, J & E Molina (Eds.). *Acidez y encalado de los suelos*. 1ra. edn. Pp 3. Instituto internacional de nutrición de plantas.
- Fabrizzi, K; L Picone; A Berardo & F García. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en las propiedades químicas de un Argiudol Típico. *Ciencias del Suelo* 16:71–76.
- FAO, 1993. *Soil Tillage in Africa: Needs and challenges*. Boletín N° 69. Roma, Italia.
- Farooq, M; K Flowe; K Jabran; A Wahid & H Kadambot Siddique. 2011. Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. *Soil Till. Res.* 117:172-183.
- Fasinmirin, J & J Reichert. 2011. Conservation tillage for cassava (*Manihot esculenta* crantz) production in the tropics. *Soil Till. Res.* 113:1–10.
- Ferreras, L; J Costa; F García & C Pecorari. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern “Pampas” of Argentina. *Soil Till. Res.* 54:31-39.

- Filgueira, R; C Soracco; G Sarli & L Fournier. 2006. Estimación de propiedades hidráulicas de suelos por mediciones a campo y el uso de modelos de flujo estacionario y transitorio. *Ciencias del Suelo* 24(1):39-48.
- Follett, R; G Varvel; J Kimble & K Vogel. 2009. No-till corn after brome grass: Effect on soil carbon and soil aggregates. *Agro. J.* 101:261–268.
- Franzluebbers, A; F Hons & D Zuberer. 1994. Long-term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1639–1645.
- Franzluebbers, A; G Langdale; H Schomberg. 1999. Soil carbon, nitrogen and aggregation in response to type and frequency of tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:349–355.
- Franzluebbers, A. 2002 a. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66:95–106.
- Franzluebbers, A. 2002 b. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Till. Res.* 66:197–205.
- Franzluebbers, A. 2003. Conservation tillage and stratification on soil properties: a summary of the special issue in *Soil and Tillage Research* (2002). ISTRO 16th Conference. Brisbane, Australia. En DC.
- Frye, W & R Blevins. 1997. Soil organic matter under long-term no-tillage and conventional tillage corn production in Kentucky. En: Paul, E; K Paustian; E Elliott & C Vernon Cole (Eds.). *Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in north-america*. Pp. 343-351. Editorial Boca Raton. Florida, Estados Unidos.
- Fuentes, M; B Govaerts; F de León; C Hidalgo; L Dendooven; K Sayre & J Etchevers. 2009. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. *Eur. J. Agr.* 30:228–237.
- Galantini, J & L Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 25(1):41–55.
- García, F; M Ambroggio & V Trucco. 2000. No-tillage in the Pampas of Argentina: A success story. *Better Crops Int.* 14:24-27.
- García, J; R Corbella; A Plasencia; G Sanzano; E Ceballos & J Fernández de Ullivarri. 2010. Dinámica del agua del suelo en la producción de granos en Tucumán. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. En DC. Rosario, Argentina.
- Giuffré, L; O Heredia; N Arrigo; M Conti & J Storti. 1995. Variación espacial y temporal del fósforo extractable en un ciclo de maíz sembrado bajo dos sistemas de labranza: convencional y directa. *Agron. Costarricense* 19:57-60.
- Goedert, W & S Oliveira. 2007. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. En: Novais, R; V Álvarez; N Barros; R Fontes; R Cantarutti & J Neves (Eds.). *Fertilidade do solo*. Vol.1. Pp. 991-1017. Soc. Bras. Ci. Solo. Viçosa, Brasil.

- Gonzalez, M; A Segat & M Conti. 2000. Reacción del suelo. En: Conti, M; L López Camelo; D Cosentino; A Costantini; C Pascale; M Palma; G Moreno; M Lamas; N Arrigo; M González; A Segat; S Ratto; O Heredia; L Berasategui; I Puentes & G Moscatelli (Eds.). Principios de edafología con énfasis en suelos argentinos. 2da edn. Pp 213-228. Editorial Facultad Agronomía. Buenos Aires, Argentina.
- Guertal, E; D Eckert; S Traina & T Logan. 1991. Differential phosphorus retention in soil profiles under no-till crop production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:410–413.
- Hall, A; C Rebella; C Ghersa & J Culot. 1992. Field crop systems of the Pampas. En: Pearson, C (Ed.). *Field crop ecosystems*. Pp. 413-450. Editorial Elsevier. Amsterdam, Holanda.
- Haynes, R & R Swift. 1990. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *J. Soil Sci.* 41:73–83.
- Hevia, G; M Mendez & D Buschiazzo. 2007. Tillage affects soil aggregation parameters linked with wind erosion. *Geoderma* 140:90–96.
- Holanda, F; D Mengel; M Paula; J Carvaho & J Bertoni. 1998. Influence of crop rotations and tillage systems on phosphorus and potassium stratification and root distribution in the soil profile. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 29:2383-2394.
- Horn, R. 1990. Aggregate characterization as compared to soil bulk properties. *Soil Till. Res.* 17:265–289.
- Huggins, D; R Allmaras; J Lamb & G Randall. 2007. Corn-soybean sequence and tillage effects on soil carbon dynamics and storage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:145–154.
- Iturri, L; D Buschiazzo & M Diaz-Zorita. 2011. Evidencias de acidificación de suelos de la región central de la Argentina bajo siembra directa. *Ciencias del Suelo* 29(1):13–19.
- Jangid, K; M Williams; A Franzluebbers; J Sanderlin; J Reeves; M Jenkins; D Endale; D Coleman & W Whitman. 2008. Relative impacts of land-use, management intensity and fertilization upon soil microbial community structure in agricultural systems. *Soil Biol. Biochem.* 40:2843–2853.
- Kassam, A; T Friedrich; F Shaxson & J Pretty. 2009. The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.* 7:292–320.
- Kemper, W & W Chepil. 1965. Size distribution of aggregation. En: Black, C (Ed.). *Methods of soil analysis*. Vol. 1. Pp. 499-510. Am. Soc. Agr. Madison, Estados Unidos.
- Kemper, W & R Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. En: Klute, A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2da edn Pp. 425-442. Madison, Estados Unidos.
- Kruger, H. 1996. Compactación en Haplustoles del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 14:104-106.
- Lafond, G; F Walley; W May & C Holzappel. 2011. Long term impact of no-till on soil properties and crop productivity on the canadian prairies. *Soil Till. Res.* 117:110–123.
- Lal, R; T Logan & N Fausey. 1990. Long-term tillage effects on Mollic Ochraqualf ikn north-west Ohio. Soil nutrient profile. *Soil Till. Res.* 15:371-382.

- Lal, R. 1992. Tropical agricultural hydrology and sustainability of agricultural systems. Universidad Estatal de Ohio. Columbus, Estados Unidos.
- Lamas, M & G Moreno. 2000. Densidad del suelo. En: Conti, M; L López Camelo; D Cosentino; A Costantini; C Pascale; M Palma; G Moreno; M Lamas; N Arrigo; M González; A Segat; S Ratto; O Heredia; L Berasategui; I Puentes & G Moscatelli (Eds.). Principios de edafología con énfasis en suelos argentinos. 2da edn. Pp 159-165. Editorial Facultad Agronomía. Buenos Aires, Argentina.
- Leij, F; W Alves; M Van Genuchten & J Williams. 1996. The UNSODA unsaturated soil hydraulic database. Version 1. Report IAG-DW 12933934. National Risk Management Research Laboratory. Office of Research and Developments, USEPA. Cincinnati, Estados Unidos.
- Liao, J & T Boutton. 2008. Soil microbial biomass response to woody plant invasion of grasslands. *Soil Biol. Biochem.* 40:1207-1216.
- Lindstrom, M; F Koehler & R Papendick. 1974. Tillage effects on fallow water storage in the eastern Washington dryland region. *Agr. J.* 66:312-316.
- López, M; N Blanco-Moure; M Limón & R Gracia. 2012. No tillage in rainfed Aragon (NE Spain): Effect on organic carbon in the soil surface horizon. *Soil Till. Res.* 118:61-65.
- López-Fando, C & M Pardo. 2012. Use of a partial-width tillage system maintains benefits of no-tillage in increasing total soil nitrogen. *Soil Till. Res.* 118:32-39.
- Mahboubi, A; R Lal & N Faussey. 1993. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:506-512.
- Malhi, S & R Lemke. 2007. Tillage, crop residue and N fertilizer effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality and nitrous oxide gas emissions in a second 4-yr rotation cycle. *Soil Till. Res.* 96:269-283.
- Matowo, P; G Pierzynski; D Whitney & R Lamond. 1999. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. *Soil Till. Res.* 50:11-19.
- Melero, S; R López-Bellido; L López-Bellido; V Muñoz-Romero; F Moreno & J Murillo. 2011. Long-term effect of tillage, rotation, and nitrogen fertiliser on soil quality in a mediterranean Vertisol. *Soil Till. Res.* 114:97-107.
- Melero, S; R López-Bellido; L López-Bellido; V Muñoz-Romero; F Moreno; J Murillo & A Franzluebbers. 2012. Stratification ratios in a rainfed mediterranean Vertisol in wheat under different tillage, rotation and fertilisation rates. *Soil Till. Res.* 119:7-12.
- Micucci, F; & M Taboada. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, L. Merrill) root abundance in conventionally and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 86:152-162.
- Muukkonen, P; H Hartikainen; K Lahti; A Sarkela; M Puustinen & L Alakukku. 2007. Influence of no-tillage on the distribution and lability of phosphorus in finnish clay soils. *Agr. Eco. Env.* 120:299-306.

- Nimmo, J & K Perkins. 2002. Aggregate stability and size distribution. En: Klute, A (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 4. Physical and Mineralogical Methods*. 2da edn. Pp 317-327. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, Estados Unidos.
- Oleschko, K; A Arias & R Cabrera. 1992. Unified index of soil structure stability (example of two soils of México). *Terra* 10:151-165.
- O'Sullivan, M; J Dickson & O Campbell. 1987. Interpretation and presentation of cone resistance data in tillage and traffic studies. *J. Soil Sci.* 38:137-148.
- Pecorari, C. 1988. Inestabilidad estructural de los suelos de la Pampa Ondulada. Informe Técnico 216. Pp 16. INTA. Pergamino, Argentina.
- Perroux, K & I White. 1989. Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1205-1215.
- Pizarro, J; M Tort; S Bearzotti & M Cacciamani. 1992. Nuevas estrategias de producción y su relación con el recurso suelo. Informe Técnico 268. Pp 20. INTA. Pergamino, Argentina.
- Prescott, C; G Weetman; L DeMontigny; C Preston & R Keenan. 1995. Carbon chemistry and nutrient supply in cedar-hemlock and hemlock-amabilis for forest floors. En: W McFee & J Kelley (Eds.). *Carbon forms and functions in forest soils*. Pp. 377-396. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Estados Unidos.
- Reeves, D. 1997. The role of organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43:131-167.
- Rice, C; M Smith & R Blevins. 1986. Soil N availability after long term continuous no tillage and conventional tillage corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1206-1210.
- Roldán, A; J Salinas-García; M Alguacil; E Díaz & F Caravaca. 2005. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. *Geoderma* 129:178-185.
- Saavedra, C; J Velasco; P Pajuelo; F Perea & A Delgado. 2007. Effects of tillage on phosphorus release potential in a Spanish Vertisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:56-63.
- SAGYP-INTA. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500000. Proyecto PNUD ARG 85/019. Pp. 472. Editado por Secretaría de agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. CIRN. Instituto de Evaluación de Tierras.
- Sanchez, A & J García. 1998. Efecto del laboreo en algunas propiedades físicas de un Haplustol típico y en el rendimiento de la soja. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Carlos Paz, Argentina.
- Sandeep, K; U Ranjith & A Stephen. 2010. Root length density and carbon content of agroforestry and grass buffers under grazed pasture systems in Hapludalf agroforest. *Syst.* 80:85-96.
- Santos, H & G Tomm. 2003. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. *Ci. Rural* 33:477-486.

- Sasal, C; A Andriulo & M Taboada. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in argentinian pampas. *Soil Till. Res.* 87:9–18.
- Schick, J; I Bertol; O Batistela & A Balbinot Junior. 2000. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: Perdas de solo e água. *R. Bras. Ci. Solo* 24:427-436.
- Schmidt, E; N Amiotti; O Bravo & I Irastorza. 2010. Suelos y siembra directa en la región pampeana austral: Efectos de la rotación de cultivos y la textura. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. En DC. Rosario, Argentina.
- Shuster, W; S Subler & E McCoy. 2000. Foraging by deep burrowing earthworms degrades surface soil structure of a fluventic Hapludoll in Ohio. *Soil Till. Res.* 54:179–189.
- Sian, B. 2002. Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida pampeana, Argentina. *Geoacta* 27:30-50.
- Singh, B; D Chanasyk & W McGill. 1996. Soil hydraulic properties of an Orthic Black Chernozem under long-term tillage and residue management. *Can. J. Soil Sci.* 76:63–71.
- Six, J; E Elliot & K Paustian. 2000a. Soil macroaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem* 32:2099–2103.
- Six, J; E Elliott & K Paustian. 2000b. Soil structure and soil organic matter: A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1042-1049.
- Six, J; H Bossuyt; S De Gryze & K Denef. 2004. A history of research on the link between microaggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79:7–31.
- Soon, Y & N Lupwayi. 2012. Straw management in a cold semi-arid region: Impact on soil quality and crop productivity. *Field Crops Res.* 139:39–46.
- Souza Nunes, R; D Gomes; W Goedert & L Vivaldi. 2011. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. *R. Bras. Ci. Solo* 35:877-888.
- Staley, T; W Edwards; C Scott & L Owens. 1988. Soil microbial biomass and organic component alterations in a no-tillage chronosequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:998-1005.
- Taboada, M. 2008. Influencia de la textura y la estructura de los suelos sobre la fertilidad física. En: Taboada, M & C Álvarez. (Eds.) *Fertilidad física de los suelos*. 2da. edn. Pp. 9-30. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina.
- Tiecher, T; D Rheinheimer dos Santos & A Calegari. 2012. Soil organic phosphorus forms under different soils management systems and winter crops in a long term experiment. *Soil Till. Res.* 124:57-67.
- Tisdall, J & J Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141–163.
- Tolon-Becerra, A; M Tourn; G Botta & X Lastra-Bravo. 2011. Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize (*Zea mays* L.) seedling. *Soil Till. Res.* 117:184-190.

Tueche, J & S Hauser. 2011. Maize (*Zea mays* L.) yield and soil physical properties as affected by the previous plantain cropping systems, tillage and nitrogen application. *Soil Till. Res.* 115-116:88–93.

Ulén, B. 1997. Nutrient losses by surface run-off from soils with winter cover crops and spring-ploughed soils in the south of Sweden. *Soil Till. Res.* 44:165–177.

Walkley, A & I Black. 1934. An examination of method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29–38.

Wiethölter, S. 2000. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Reunião Brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas. DC. Santa Maria, Brasil.

Yoder, R. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Agr.* 28:337-351.

Zhang, S; Q Li; X Zhang; K Wei; L Chen & W Liang. 2012. Effects of conservation tillage on soil aggregation and aggregate binding agents in black soil of northeast China. *Soil Till. Res.* 124:196–202.

APÉNDICE

Tabla 1: Propiedades químicas al inicio (año 2001) y luego (año 2011) de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y profundidades. MO = concentración de materia orgánica total, MOT = cantidad total de materia orgánica, IE_{MO} = índice de estratificación de MO, Pe = contenido de fósforo extractable, IE_{Pe} = índice de estratificación de Pe.

Año	Uso Previo	Profundidad (cm)	MO (g kg ⁻¹)	MOT (Mg ha ⁻¹)	IE _{MO}	pH	Pe (mg kg ⁻¹)	IE _{Pe}
2001	LSR	0 a 5	29,9	19,3	1,59	6,1	15,8	2,19
		5 a 10	22,9	14,8		6,1	10,9	
		10 a 15	18,5	12,8		6,2	7,2	
		15 a 20	18,9	13,0		6,3	7,2	
2001	LSR	0 a 5	34,3	22,6	1,70	6,1	12,6	1,41
		5 a 10	25,6	16,9		6,1	9,7	
		10 a 15	20,5	14,3		6,2	7,3	
		15 a 20	20,2	14,0		6,2	9,0	
2001	LSR	0 a 5	38,3	25,7	1,96	6,2	16,3	1,69
		5 a 10	24,2	16,2		6,1	17,3	
		10 a 15	19,9	13,4		6,2	7,8	
		15 a 20	19,5	13,2		6,2	9,6	
2001	LSR	0 a 5	35,0	22,2	1,79	6,1	28,0	1,78
		5 a 10	26,2	16,7		6,2	21,3	
		10 a 15	24,2	15,9		6,2	19,1	
		15 a 20	19,5	12,8		6,3	15,7	
2001	LSR	0 a 5	27,9	18,4	1,45	6,2	12,4	1,98
		5 a 10	22,9	15,1		6,3	7,4	
		10 a 15	20,5	14,3		6,3	5,7	
		15 a 20	19,2	13,3		6,3	6,3	
2001	LSR	0 a 5	30,9	19,6	1,73	6,3	10,9	1,25
		5 a 10	23,6	15,0		6,3	6,0	
		10 a 15	19,5	12,8		6,3	7,6	
		15 a 20	17,9	11,7		6,3	8,7	
2001	PF	0 a 5	35,6	23,3	1,7	6,1	13,5	2,33
		5 a 10	25,9	17,0		6,0	10,0	
		10 a 15	19,5	13,7		6,2	8,4	
		15 a 20	19,9	13,9		6,3	5,8	
2001	PF	0 a 5	31,6	20,7	1,54	6,2	16,4	2,27
		5 a 10	24,6	16,1		6,2	8,8	
		10 a 15	20,5	14,1		6,2	6,7	
		15 a 20	20,5	14,1		6,2	7,2	
2001	PF	0 a 5	34,6	24,4	1,58	6,0	17,0	2,03
		5 a 10	26,9	19,0		6,0	10,1	
		10 a 15	20,2	14,1		6,2	8,4	
		15 a 20	21,9	15,3		6,2	8,4	
2001	PF	0 a 5	36,3	24,0	1,68	6,2	25,2	1,87
		5 a 10	27,3	18,0		6,2	15,2	
		10 a 15	22,9	15,9		6,2	12,4	
		15 a 20	21,5	15,0		6,1	13,5	

Continuación Tabla 1

Año	Uso Previo	Profundidad (cm)	MO (g kg ⁻¹)	MOT (Mg ha ⁻¹)	IE _{MO}	pH	Pe (mg kg ⁻¹)	IE _{Pe}
2001	PF	0 a 5	35,0	22,9	1,62	6,2	14,0	1,71
		5 a 10	23,9	15,7		6,2	6,4	
		10 a 15	21,2	14,5		6,3	7,1	
		15 a 20	21,5	14,8		6,3	8,2	
2001	PF	0 a 5	34,0	23,9	1,90	6,0	25,7	2,62
		5 a 10	26,2	18,5		6,2	11,4	
		10 a 15	20,5	14,4		6,3	9,3	
		15 a 20	17,9	12,5		6,4	9,8	
2001	LCR	0 a 5	28,6	18,2	1,29	6,3	28,8	1,07
		5 a 10	24,6	15,6		6,2	25,1	
		10 a 15	22,2	14,6		5,9	22,7	
		15 a 20	22,2	14,6		6,2	26,9	
2001	LCR	0 a 5	28,9	18,4	1,32	6,3	24,1	2,10
		5 a 10	25,9	16,5		6,1	15,8	
		10 a 15	24,6	17,6		6,2	10,9	
		15 a 20	21,9	15,6		6,2	11,5	
2001	LCR	0 a 5	24,2	16,8	1,33	6,5	21,4	2,39
		5 a 10	22,6	15,7		6,3	12,6	
		10 a 15	20,5	14,5		6,2	8,4	
		15 a 20	18,2	12,8		6,2	9,0	
2001	LCR	0 a 5	29,6	19,1	1,66	6,1	31,3	2,32
		5 a 10	24,6	15,8		6,2	20,2	
		10 a 15	21,9	15,1		6,2	16,3	
		15 a 20	17,9	12,3		6,3	13,5	
2001	LCR	0 a 5	27,6	17,5	1,49	6,3	16,9	2,49
		5 a 10	23,2	14,7		6,3	8,7	
		10 a 15	21,9	15,6		6,3	7,9	
		15 a 20	18,5	13,2		6,3	6,8	
2001	LCR	0 a 5	29,3	20,3	1,55	6,3	12,0	1,72
		5 a 10	24,9	17,3		6,2	7,6	
		10 a 15	20,2	14,2		6,2	6,4	
		15 a 20	18,9	13,3		6,3	7,0	
2011	LSR	0 a 5	36,0	25,7	1,80	5,6	19,4	2,86
		5 a 10	26,9	19,2		5,7	13,1	
		10 a 15	23,0	15,9		5,9	8,2	
		15 a 20	20,0	13,8		6,0	6,8	
2011	LSR	0 a 5	35,0	21,4	1,77	5,8	20,8	3,42
		5 a 10	24,2	14,8		5,8	9,6	
		10 a 15	22,5	15,7		5,9	7,5	
		15 a 20	19,8	13,8		6,1	6,1	
2011	LSR	0 a 5	33,6	21,3	1,92	5,8	36,9	5,74
		5 a 10	22,9	14,5		5,6	14,5	
		10 a 15	18,0	12,7		5,8	8,2	
		15 a 20	17,5	12,3		5,9	6,4	

Continuación Tabla 1

Año	Uso Previo	Profundidad (cm)	MO (g kg ⁻¹)	MOT (Mg ha ⁻¹)	IE _{MO}	pH	Pe (mg kg ⁻¹)	IE _{Pe}
2011	LSR	0 a 5	44,0	26,9	2,12	5,9	35,5	2,24
		5 a 10	29,4	17,9		5,8	27,1	
		10 a 15	24,2	16,7		5,9	20,1	
		15 a 20	20,8	14,4		5,9	15,9	
2011	LSR	0 a 5	33,3	19,7	1,73	6,1	25,7	4,23
		5 a 10	23,9	14,2		6,0	11,7	
		10 a 15	20,2	14,6		6,0	8,9	
		15 a 20	19,2	13,9		6,0	6,1	
2011	LSR	0 a 5	34,6	23,4	1,94	6,1	15,2	2,83
		5 a 10	23,0	15,5		6,0	6,8	
		10 a 15	19,0	14,2		6,1	6,1	
		15 a 20	17,8	13,3		6,1	5,4	
2011	PF	0 a 5	37,7	22,2	1,93	5,7	27,1	3,31
		5 a 10	28,2	16,7		5,7	13,1	
		10 a 15	23,2	15,3		5,9	6,1	
		15 a 20	19,5	12,9		6,1	8,2	
2011	PF	0 a 5	37,0	24,9	2,08	5,8	21,5	3,54
		5 a 10	25,5	17,2		5,8	8,9	
		10 a 15	22,2	16,0		6,0	6,8	
		15 a 20	17,8	12,9		6,1	6,1	
2011	PF	0 a 5	31,9	18,2	1,87	5,7	15,9	2,61
		5 a 10	22,9	13,0		5,8	7,5	
		10 a 15	18,3	12,8		5,9	6,8	
		15 a 20	17,1	12,0		6,0	6,1	
2011	PF	0 a 5	49,4	26,9	2,06	5,7	42,9	3,28
		5 a 10	29,9	16,3		5,8	28,5	
		10 a 15	28,1	18,9		5,9	15,5	
		15 a 20	24,0	16,2		6,0	13,1	
2011	PF	0 a 5	35,3	22,3	1,86	5,7	20,4	3,57
		5 a 10	24,2	15,2		5,8	8,9	
		10 a 15	20,0	13,8		5,9	7,5	
		15 a 20	19,0	13,1		6,1	5,7	
2011	PF	0 a 5	36,6	22,7	1,76	5,9	37,6	2,73
		5 a 10	28,1	17,4		6,0	18,7	
		10 a 15	23,0	16,1		6,0	14,5	
		15 a 20	20,8	14,6		6,1	13,8	
2011	LCR	0 a 5	33,6	20,4	1,82	5,6	46,0	1,41
		5 a 10	25,5	15,5		5,6	36,9	
		10 a 15	22,5	14,3		5,7	36,2	
		15 a 20	18,5	11,7		5,8	32,7	
2011	LCR	0 a 5	34,0	21,3	1,64	5,9	29,2	3,29
		5 a 10	24,7	15,4		5,8	14,5	
		10 a 15	21,5	15,0		5,8	10,3	
		15 a 20	20,7	14,4		5,9	8,9	

Continuación Tabla 1

Año	Uso Previo	Profundidad (cm)	MO (g kg ⁻¹)	MOT (Mg ha ⁻¹)	IE _{MO}	pH	Pe (mg kg ⁻¹)	IE _{Pe}
2011	LCR	0 a 5	27,9	18,0	1,77	5,8	29,2	4,31
		5 a 10	20,2	13,0		5,7	10,3	
		10 a 15	19,2	12,9		5,7	7,5	
		15 a 20	15,8	10,7		6,0	6,8	
2011	LCR	0 a 5	34,0	22,4	1,68	5,8	34,8	3,63
		5 a 10	25,5	16,9		5,9	17,3	
		10 a 15	22,9	16,1		5,9	13,1	
		15 a 20	20,2	14,2		6,0	9,6	
2011	LCR	0 a 5	29,2	19,5	1,67	5,9	12,0	1,98
		5 a 10	22,0	14,6		5,9	8,9	
		10 a 15	19,3	13,2		5,9	9,6	
		15 a 20	17,5	12,0		6,0	6,1	
2011	LCR	0 a 5	29,6	20,3	1,82	6,3	15,9	2,34
		5 a 10	20,2	13,8		6,1	9,6	
		10 a 15	19,2	13,7		6,0	8,2	
		15 a 20	16,3	11,7		6,1	6,8	

Tabla 2: Densidad aparente (DA) al inicio (año 2001) y luego (año 2011) de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y profundidades.

Año	Uso Previo	Profundidad (cm)	DA (Mg m ⁻³)
2001	LSR	0 a 10	1,29
		10 a 20	1,38
		20 a 30	1,36
2001	LSR	0 a 10	1,32
		10 a 20	1,39
		20 a 30	1,38
2001	LSR	0 a 10	1,34
		10 a 20	1,35
		20 a 30	1,31
2001	LSR	0 a 10	1,27
		10 a 20	1,31
		20 a 30	1,30
2001	LSR	0 a 10	1,32
		10 a 20	1,39
		20 a 30	1,38
2001	LSR	0 a 10	1,27
		10 a 20	1,31
		20 a 30	1,30
2001	PF	0 a 10	1,31
		10 a 20	1,40
		20 a 30	1,38
2001	PF	0 a 10	1,31
		10 a 20	1,37
		20 a 30	1,38

Continuación Tabla 2

Año	Uso Previo	Profundidad (cm)	DA (Mg m ⁻³)
2001	PF	0 a 10	1,41
		10 a 20	1,40
		20 a 30	1,35
2001	PF	0 a 10	1,32
		10 a 20	1,39
		20 a 30	1,38
2001	PF	0 a 10	1,31
		10 a 20	1,37
		20 a 30	1,38
2001	PF	0 a 10	1,41
		10 a 20	1,40
		20 a 30	1,35
2001	LCR	0 a 10	1,27
		10 a 20	1,31
		20 a 30	1,30
2001	LCR	0 a 10	1,27
		10 a 20	1,43
		20 a 30	1,37
2001	LCR	0 a 10	1,39
		10 a 20	1,41
		20 a 30	1,37
2001	LCR	0 a 10	1,29
		10 a 20	1,38
		20 a 30	1,36
2001	LCR	0 a 10	1,27
		10 a 20	1,43
		20 a 30	1,37
2001	LCR	0 a 10	1,39
		10 a 20	1,41
		20 a 30	1,37
2011	LSR	0 a 10	1,43
		10 a 20	1,38
		20 a 30	1,45
2011	LSR	0 a 10	1,22
		10 a 20	1,39
		20 a 30	1,31
2011	LSR	0 a 10	1,27
		10 a 20	1,41
		20 a 30	1,32
2011	LSR	0 a 10	1,22
		10 a 20	1,38
		20 a 30	1,43
2011	LSR	0 a 10	1,19
		10 a 20	1,45
		20 a 30	1,41

Continuación Tabla 2

Año	Uso Previo	Profundidad (cm)	DA (Mg m⁻³)
2011	LSR	0 a 10	1,35
		10 a 20	1,49
		20 a 30	1,45
2011	PF	0 a 10	1,18
		10 a 20	1,32
		20 a 30	1,35
2011	PF	0 a 10	1,35
		10 a 20	1,44
		20 a 30	1,44
2011	PF	0 a 10	1,14
		10 a 20	1,40
		20 a 30	1,34
2011	PF	0 a 10	1,09
		10 a 20	1,35
		20 a 30	1,42
2011	PF	0 a 10	1,26
		10 a 20	1,38
		20 a 30	1,35
2011	PF	0 a 10	1,24
		10 a 20	1,40
		20 a 30	1,34
2011	LCR	0 a 10	1,21
		10 a 20	1,27
		20 a 30	1,26
2011	LCR	0 a 10	1,25
		10 a 20	1,39
		20 a 30	1,30
2011	LCR	0 a 10	1,29
		10 a 20	1,35
		20 a 30	1,32
2011	LCR	0 a 10	1,32
		10 a 20	1,41
		20 a 30	1,42
2011	LCR	0 a 10	1,33
		10 a 20	1,37
		20 a 30	1,34
2011	LCR	0 a 10	1,37
		10 a 20	1,43
		20 a 30	1,39

Tabla 3: Resistencia a la penetración (RP) al inicio (año 2001) y luego (año 2011) de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y profundidades.

Año	Uso Previo	Profundidad (cm)	RP (Mpa)
2001	LSR	0 a 5	0,84
		5 a 10	0,80
		10 a 15	0,69
		15 a 20	0,65
		20 a 25	0,55
		25 a 30	0,57
		0 a 5	0,96
2001	LSR	5 a 10	0,71
		10 a 15	0,63
		15 a 20	0,65
		20 a 25	0,56
		25 a 30	0,58
		0 a 5	0,95
		5 a 10	0,84
2001	LSR	10 a 15	0,85
		15 a 20	0,74
		20 a 25	0,70
		25 a 30	1,00
		0 a 5	1,13
		5 a 10	0,83
		10 a 15	0,67
2001	PF	15 a 20	0,56
		20 a 25	0,65
		25 a 30	0,65
		0 a 5	0,87
		5 a 10	0,69
		10 a 15	0,73
		15 a 20	0,83
2001	PF	20 a 25	0,74
		25 a 30	0,59
		0 a 5	0,77
		5 a 10	0,83
		10 a 15	0,77
		15 a 20	0,70
		20 a 25	0,68
2001	PF	25 a 30	0,62
		0 a 5	0,75
		5 a 10	0,71
		10 a 15	0,79
		15 a 20	0,64
		20 a 25	0,59
		25 a 30	0,49
2001	LCR		

Continuación Tabla 3

Año	Uso Previo	Profundidad (cm)	RP (Mpa)
2001	LCR	0 a 5	0,72
		5 a 10	0,75
		10 a 15	0,77
		15 a 20	0,83
		20 a 25	0,72
		25 a 30	0,56
		0 a 5	0,95
2001	LCR	5 a 10	0,72
		10 a 15	0,79
		15 a 20	0,72
		20 a 25	0,62
		25 a 30	0,49
		0 a 5	0,52
		5 a 10	0,93
2011	LSR	10 a 15	1,02
		15 a 20	0,83
		20 a 25	0,75
		25 a 30	0,62
		0 a 5	0,30
		5 a 10	0,43
		10 a 15	0,43
2011	LSR	15 a 20	0,54
		20 a 25	0,48
		25 a 30	0,35
		0 a 5	0,56
		5 a 10	0,69
		10 a 15	0,95
		15 a 20	0,94
2011	LSR	20 a 25	0,92
		25 a 30	0,62
		0 a 5	0,93
		5 a 10	1,30
		10 a 15	1,31
		15 a 20	1,09
		20 a 25	0,88
2011	LSR	25 a 30	0,71
		0 a 5	0,69
		5 a 10	0,94
		10 a 15	1,22
		15 a 20	1,05
2011	LSR	20 a 25	0,92
		25 a 30	0,67
		0 a 5	0,67

Continuación Tabla 3

Año	Uso Previo	Profundidad (cm)	RP (Mpa)
		0 a 5	0,54
		5 a 10	0,82
2011	LSR	10 a 15	0,99
		15 a 20	0,87
		20 a 25	0,70
		25 a 30	0,53
		0 a 5	0,39
		5 a 10	0,53
2011	PF	10 a 15	0,58
		15 a 20	0,58
		20 a 25	0,63
		25 a 30	0,48
		0 a 5	0,57
		5 a 10	0,91
2011	PF	10 a 15	1,07
		15 a 20	0,91
		20 a 25	0,92
		25 a 30	0,73
		0 a 5	0,42
		5 a 10	0,90
2011	PF	10 a 15	1,00
		15 a 20	0,79
		20 a 25	0,96
		25 a 30	0,82
		0 a 5	0,69
		5 a 10	1,00
2011	PF	10 a 15	1,02
		15 a 20	0,92
		20 a 25	0,83
		25 a 30	0,67
		0 a 5	0,45
		5 a 10	0,70
2011	PF	10 a 15	0,80
		15 a 20	0,70
		20 a 25	0,74
		25 a 30	0,55
		0 a 5	0,49
		5 a 10	0,66
2011	PF	10 a 15	0,98
		15 a 20	0,93
		20 a 25	0,91
		25 a 30	0,69

Continuación Tabla 3

Año	Uso Previo	Profundidad (cm)	RP (Mpa)
		0 a 5	0,38
		5 a 10	0,49
2011	LCR	10 a 15	0,49
		15 a 20	0,43
		20 a 25	0,35
		25 a 30	0,34
		0 a 5	0,48
		5 a 10	0,73
2011	LCR	10 a 15	1,02
		15 a 20	1,00
		20 a 25	0,87
		25 a 30	0,67
		0 a 5	0,60
		5 a 10	0,78
2011	LCR	10 a 15	1,10
		15 a 20	1,16
		20 a 25	1,03
		25 a 30	0,77
		0 a 5	0,57
		5 a 10	0,93
2011	LCR	10 a 15	1,16
		15 a 20	0,99
		20 a 25	0,79
		25 a 30	0,63
		0 a 5	0,59
		5 a 10	0,69
2011	LCR	10 a 15	0,75
		15 a 20	0,79
		20 a 25	0,84
		25 a 30	0,65
		0 a 5	0,50
		5 a 10	0,59
2011	LCR	10 a 15	0,96
		15 a 20	0,92
		20 a 25	0,77
		25 a 30	0,55

Tabla 4: Sortividad (S) y conductividad hidráulica saturada (K) luego de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).

Uso Previo	S ($\text{m h}^{-1/2}$)	K (mm h^{-1})
LSR	2,53	5,42
LSR	1,79	5,40
LSR	2,24	4,63
LSR	3,11	3,83
LSR	2,68	5,09
LSR	3,58	6,50
PF	2,39	4,57
PF	1,71	4,32
PF	1,57	3,30
PF	3,35	4,85
PF	1,95	5,93
PF	2,40	4,34
LCR	3,12	4,67
LCR	2,63	5,61
LCR	1,85	4,28
LCR	2,88	4,70
LCR	2,78	5,10
LCR	0,75	2,82

Tabla 5: Diámetro medio ponderado (DMP) y tasa de reducción (TR-DMP) ante niveles crecientes de energía al inicio (año 2001) y luego (año 2011) de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).

Año	Uso Previo	Energía (J g^{-1})	DMP (mm)	TR-DMP ($\text{mm J}^{-1} \text{g}^{-1}$)
		0,000	36,2	
		0,017	29,5	
2001	LSR	0,034	25,8	8,9
		0,068	18,6	
		0,136	10,6	
		0,272	9,4	
		0,000	32,2	
		0,017	27,6	
2001	LSR	0,034	22,2	6,5
		0,068	23,9	
		0,136	12,4	
		0,272	12,7	
		0,000	35,7	
		0,017	33,8	
2001	LSR	0,034	31,1	4,7
		0,068	28,3	
		0,136	18,8	
		0,272	14,9	

Continuación Tabla 5

Año	Uso Previo	Energía (J g ⁻¹)	DMP (mm)	TR-DMP (mm J ⁻¹ g ⁻¹)
2001	PF	0,000	31,3	4,0
		0,017	30,0	
		0,034	29,9	
		0,068	22,5	
		0,136	18,8	
		0,272	18,6	
		0,000	26,2	
2001	PF	0,017	22,4	3,8
		0,034	22,0	
		0,068	21,8	
		0,136	14,7	
		0,272	13,7	
		0,000	39,4	
		0,017	33,7	
2001	PF	0,034	30,6	4,3
		0,068	23,3	
		0,136	21,7	
		0,272	12,2	
		0,000	29,2	
		0,017	22,0	
		0,034	16,0	
2001	LCR	0,068	17,7	5,6
		0,136	12,0	
		0,272	13,1	
		0,000	27,0	
		0,017	22,7	
		0,034	17,8	
		0,068	14,9	
2001	LCR	0,136	9,1	7,8
		0,272	6,6	
		0,000	42,3	
		0,017	34,3	
		0,034	29,6	
		0,068	32,2	
		0,136	21,8	
2001	LCR	0,272	15,9	4,1
		0,000	46,7	
		0,017	26,9	
		0,034	33,7	
		0,068	18,9	
		0,136	18,0	
		0,272	10,3	
2011	LSR			4,8

Continuación Tabla 5

Año	Uso Previo	Energía (J g ⁻¹)	DMP (mm)	TR-DMP (mm J ⁻¹ g ⁻¹)
2011	LSR	0,000	45,2	4,8
		0,017	41,0	
		0,034	29,2	
		0,068	30,1	
		0,136	18,4	
		0,272	12,0	
		0,000	41,3	
2011	LSR	0,017	43,2	4,4
		0,034	29,3	
		0,068	27,2	
		0,136	20,5	
		0,272	12,6	
		0,000	52,5	
		0,017	34,8	
2011	LSR	0,034	27,8	4,1
		0,068	21,1	
		0,136	19,2	
		0,272	13,8	
		0,000	48,2	
		0,017	36,2	
		0,034	35,9	
2011	LSR	0,068	23,9	3,3
		0,136	18,6	
		0,272	18,6	
		0,000	43,9	
		0,017	29,6	
		0,034	30,8	
		0,068	16,1	
2011	LSR	0,136	23,6	4,8
		0,272	9,1	
		0,000	43,2	
		0,017	32,5	
		0,034	24,4	
		0,068	15,2	
		0,136	12,5	
2011	PF	0,272	16,3	3,2
		0,000	51,2	
		0,017	44,0	
		0,034	33,7	
		0,068	28,4	
		0,136	19,9	
		0,272	11,9	
2011	PF	0,034	33,7	5,2
		0,068	28,4	
		0,136	19,9	
		0,272	11,9	

Continuación Tabla 5

Año	Uso Previo	Energía (J g ⁻¹)	DMP (mm)	TR-DMP (mm J ⁻¹ g ⁻¹)
2011	PF	0,000	49,2	5,8
		0,017	33,0	
		0,034	22,0	
		0,068	12,1	
		0,136	13,4	
		0,272	7,7	
2011	PF	0,000	37,5	0,5
		0,017	10,8	
		0,034	21,8	
		0,068	24,7	
		0,136	14,4	
		0,272	21,0	
2011	PF	0,000	30,9	3,6
		0,017	17,3	
		0,034	16,5	
		0,068	28,1	
		0,136	19,4	
		0,272	8,3	
2011	PF	0,000	45,7	6,6
		0,017	27,1	
		0,034	20,2	
		0,068	15,3	
		0,136	21,2	
		0,272	5,0	
2011	LCR	0,000	46,6	3,7
		0,017	28,0	
		0,034	22,0	
		0,068	18,2	
		0,136	24,7	
		0,272	11,4	
2011	LCR	0,000	50,8	4,7
		0,017	44,2	
		0,034	35,9	
		0,068	24,9	
		0,136	31,0	
		0,272	12,0	
2011	LCR	0,000	51,0	3,5
		0,017	40,5	
		0,034	33,4	
		0,068	26,9	
		0,136	26,2	
		0,272	17,2	

Continuación Tabla 5

Año	Uso Previo	Energía (J g ⁻¹)	DMP (mm)	TR-DMP (mm J ⁻¹ g ⁻¹)
2011	LCR	0,000	42,8	2,0
		0,017	28,1	
		0,034	24,1	
		0,068	28,9	
		0,136	20,5	
		0,272	20,4	
		0,000	33,3	
2011	LCR	0,017	36,5	5,4
		0,034	24,7	
		0,068	25,7	
		0,136	12,7	
		0,272	8,7	
		0,000	46,8	
		0,017	39,7	
2011	LCR	0,034	34,9	2,8
		0,068	18,3	
		0,136	15,5	
		0,272	22,0	

Tabla 6: Estabilidad en húmedo de distintos tamaños de fragmentos obtenidos por tamizado en seco luego de 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).

Uso Previo	Fragmentos (mm)	Estabilidad (%)
LSR	1	97,9
	2	97,3
	4	97,0
	8	97,0
	16	98,1
LSR	1	97,1
	2	97,4
	4	98,1
	8	98,0
	16	97,3
LSR	1	96,2
	2	97,2
	4	97,7
	8	97,3
	16	97,8
LSR	1	95,8
	2	96,3
	4	97,4
	8	97,2
	16	97,1

Continuación Tabla 6

Uso Previo	Fragmentos (mm)	Estabilidad (%)
	1	96,3
	2	96,8
LSR	4	97,3
	8	97,5
	16	97,3
	1	95,6
	2	96,7
LSR	4	98,0
	8	97,0
	16	97,4
	1	96,5
	2	97,9
PF	4	97,1
	8	97,2
	16	97,7
	1	96,0
	2	96,9
PF	4	97,0
	8	97,7
	16	97,6
	1	96,8
	2	97,3
PF	4	98,1
	8	97,8
	16	98,1
	1	95,4
	2	96,9
PF	4	97,9
	8	96,8
	16	97,2
	1	96,1
	2	96,9
PF	4	98,1
	8	97,6
	16	97,5
	1	96,9
	2	97,0
PF	4	96,7
	8	97,9
	16	97,8
	1	95,8
	2	96,6
LCR	4	97,9
	8	97,1
	16	97,4

Continuación Tabla 6

Uso Previo	Fragmentos (mm)	Estabilidad (%)
LCR	1	96,6
	2	96,9
	4	97,6
	8	97,1
	16	98,1
LCR	1	96,8
	2	97,0
	4	97,1
	8	97,9
	16	97,7
LCR	1	97,1
	2	97,3
	4	96,7
	8	97,3
	16	97,9
LCR	1	96,5
	2	97,5
	4	98,2
	8	96,9
	16	97,9
LCR	1	96,0
	2	97,6
	4	97,1
	8	97,8
	16	97,3

Tabla 7: Rendimientos de maíz durante 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).

Campana	Uso Previo	Maíz (kg ha ⁻¹)
2001-02	LSR	9946
2001-02	LSR	9556
2001-02	LSR	9801
2003-04	LSR	14156
2003-04	LSR	11535
2004-05	LSR	9162
2004-05	LSR	10507
2004-05	LSR	10873
2005-06	LSR	10199
2005-06	LSR	8879
2006-07	LSR	11481
2006-07	LSR	12462
2006-07	LSR	12035
2007-08	LSR	7800
2007-08	LSR	9891
2007-08	LSR	8503
2008-09	LSR	10753
2008-09	LSR	10563

Continuación Tabla 7

Campaña	Uso Previo	Maíz (kg ha⁻¹)
2008-09	LSR	7173
2009-10	LSR	10458
2009-10	LSR	9654
2009-10	LSR	9141
2010-11	LSR	10631
2010-11	LSR	10671
2010-11	LSR	12370
2001-02	PF	9261
2001-02	PF	9996
2001-02	PF	8747
2003-04	PF	14115
2003-04	PF	12869
2004-05	PF	11715
2004-05	PF	11630
2004-05	PF	10176
2005-06	PF	11305
2006-07	PF	12376
2006-07	PF	12381
2006-07	PF	12894
2007-08	PF	8885
2007-08	PF	9531
2007-08	PF	8106
2008-09	PF	10429
2008-09	PF	7282
2009-10	PF	11842
2009-10	PF	11162
2009-10	PF	11490
2010-11	PF	11408
2010-11	PF	10171
2010-11	PF	13009
2001-02	LCR	11396
2001-02	LCR	12501
2001-02	LCR	8385
2003-04	LCR	13324
2003-04	LCR	12490
2003-04	LCR	12686
2004-05	LCR	11348
2004-05	LCR	12138
2004-05	LCR	11662
2005-06	LCR	10043
2005-06	LCR	9820
2006-07	LCR	11580
2006-07	LCR	11103
2006-07	LCR	10071
2007-08	LCR	11282
2007-08	LCR	9071
2007-08	LCR	8580
2008-09	LCR	10216

Continuación Tabla 7

Campaña	Uso Previo	Maíz (kg ha⁻¹)
2008-09	LCR	10691
2008-09	LCR	8933
2009-10	LCR	13399
2009-10	LCR	11908
2009-10	LCR	10751
2010-11	LCR	11987
2010-11	LCR	12023
2010-11	LCR	13278

Tabla 8: Rendimientos de soja durante 10 años de labranza cero según usos previos del suelo (LSR = labranza cero o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción).

Campaña	Uso Previo	Soja (kg ha⁻¹)
2001-02	LSR	4149
2001-02	LSR	3660
2001-02	LSR	4222
2002-03	LSR	5266
2002-03	LSR	4951
2002-03	LSR	4555
2003-04	LSR	4857
2003-04	LSR	4526
2003-04	LSR	4048
2004-05	LSR	3723
2004-05	LSR	3840
2004-05	LSR	3622
2005-06	LSR	4794
2005-06	LSR	3802
2005-06	LSR	3575
2007-08	LSR	3562
2007-08	LSR	3400
2007-08	LSR	3562
2008-09	LSR	2867
2008-09	LSR	2502
2008-09	LSR	2657
2009-10	LSR	2976
2009-10	LSR	2915
2009-10	LSR	3098
2010-11	LSR	4514
2010-11	LSR	4037
2010-11	LSR	4231
2001-02	PF	4691
2001-02	PF	4536
2001-02	PF	4896
2002-03	PF	4002
2002-03	PF	4048
2002-03	PF	4077
2003-04	PF	4246
2003-04	PF	3192

Continuación Tabla 8

Campaña	Uso Previo	Soja (kg ha⁻¹)
2004-05	PF	4036
2004-05	PF	4131
2004-05	PF	3947
2005-06	PF	4430
2005-06	PF	4300
2005-06	PF	4695
2007-08	PF	3136
2007-08	PF	4002
2007-08	PF	3373
2008-09	PF	2643
2008-09	PF	3205
2008-09	PF	2410
2009-10	PF	4157
2009-10	PF	3828
2009-10	PF	3069
2010-11	PF	3596
2010-11	PF	4114
2010-11	PF	3790
2001-02	LCR	5409
2001-02	LCR	4853
2001-02	LCR	5625
2002-03	LCR	4734
2002-03	LCR	4205
2002-03	LCR	4570
2003-04	LCR	5585
2003-04	LCR	5600
2004-05	LCR	4495
2004-05	LCR	3948
2004-05	LCR	4064
2005-06	LCR	4523
2005-06	LCR	4134
2005-06	LCR	4020
2007-08	LCR	3357
2007-08	LCR	4110
2007-08	LCR	4116
2008-09	LCR	3371
2008-09	LCR	2667
2008-09	LCR	3495
2009-10	LCR	3459
2009-10	LCR	3591
2009-10	LCR	3681
2010-11	LCR	4637
2010-11	LCR	4062
2010-11	LCR	4026