
Diez años de siembra directa en un Hapludol de la Pampa Arenosa con diferentes condiciones iniciales de uso

Jorge Zanettini¹, Mirian Barraco², Martín Díaz-Zorita³

¹ INTA AER 25 de Mayo; ² INTA EEA General Villegas; ³ Desarrollo de tecnologías en Monsanto

PROBLEMÁTICA DE ESTUDIO

En la región de la pampa arenosa, junto a la expansión de sistemas agrícolas descritos en el capítulo 11 de esta publicación, fue creciente a partir de la década del 90 la adopción de prácticas de siembra directa (SD). Aproximadamente el 90 % de la superficie cultivada en esta región actualmente se realiza bajo prácticas continuas en SD.

En 1990, y con el objetivo de determinar los efectos de largo plazo de la incorporación de prácticas agrícolas en SD, se estableció un ensayo de larga duración en el campo experimental de la EEA del INTA en General Villegas. El estudio se instaló sobre una pastura de festuca (*Festuca arundinacea*) establecida en 1987 y se desarrolló en una secuencia continua de soja y de maíz en rotación. Inicialmente se evaluaron tres sistemas de manejo de los suelos: i) labranza con arado de rejas y repaso con discos de doble acción, ii) labranza con arado de cinceles y repaso con discos de doble acción y iii) SD con control químico de malezas. Además, se mantuvo, como control sin agricultura, la pastura de festuca sin pastoreo y bajo cortes.

La implementación de prácticas continuas de SD mostró mayor acumulación de contenidos de materia orgánica (MO), la formación de agregados de mayor tamaño y estabilidad de fragmentos de los suelos que bajo sistemas con laboreo (Díaz-Zorita *et al.*, 2004). Estos resultados coinciden con los descritos para estudios similares realizados en otras regiones de la región pampeana (Buschiazzo *et al.*, 1996) validando la contribución de la implementación de la SD para la conservación de la calidad de los suelos. Sin embargo, las observaciones sobre la porosidad de los suelos evaluada a partir de mediciones de densidad aparente (DA), de pH y los niveles extractables de fósforo (Pe) fueron variados y no coincidieron con lo descrito en estudios similares (Sanchez & García, 1998; Ferreras *et al.*, 2000; Lal *et al.*, 1990; Giuffré *et al.*, 1995). Estos resultados variados se atribuyeron, entre otros factores, al estado inicial del suelo en el momento de instalarse el sistema de SD entre los diferentes estudios comparados. Solo algunos estudios se iniciaron a partir de condiciones prístinas sin

antecedentes de prácticas agrícolas y en general su implementación se realizó en sitios bajo prácticas agrícolas con variada intensificación y nivel de degradación. Es así que los estudios comparativos de labranzas no son concluyentes en definir si los cambios aparentes que generan las prácticas de SD 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 MO en SD, independientemente del uso previo del suelo podría resultar de su contribución efectiva, de la conservación comparada con el deterioro producido en sistemas bajo laboreo, (en ambos casos), o bien, consecuencia de una de las anteriores situaciones en interacción con el uso inicial del suelo. Este comportamiento, conduce al interrogante si la SD 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.

En todos los casos, se observa que en ausencia de remoción (sistemas de labranza cero o SD) los contenidos de MO y Pe se estratifican acumulándose en la superficie de los suelos. La mayor concentración de MO en los estratos superficiales de suelos minerales es esencial para el control de la erosión y la conservación de nutrientes. Según Franzluebbbers (2003), se consideran estabilizados aquellos ambientes con índices de estratificación superiores a 2. Es así que el grado de estratificación expresado como un índice relativo es considerado como un indicador de la calidad de los suelos para analizar la evolución aparente de sistemas bajo diversas condiciones de uso (ej. prácticas de laboreo, uso previo, etc.).

Se hipotetiza que la implementación de prácticas agrícolas en SD en un Hapludol típico previamente laboreado, incrementaría los contenidos de MO, de Pe, el tamaño de fragmentos y la estabilidad de la estructura, y contrariamente reduciría el pH y la DA. Estos cambios serían de mayor magnitud en las capas superficiales. En cambio, en el mismo suelo pero a partir de condiciones de manejo sin remoción (ej. pastura o agricultura sin labranza), la conducción de prácticas agrícolas bajo SD no generaría cambios relevantes de estas propiedades con respecto a su condición inicial.

El objetivo de nuestro estudio fue determinar si el sistema de SD para la producción agrícola continua es una práctica conservacionista o mejoradora de las propiedades de un suelo clasificado como Hapludol típico representativo de la región semiárida-subhúmeda de la pampa arenosa, a partir de diferentes niveles de remoción previa del suelo.

CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

El estudio se realizó en la EEA del INTA en General Villegas (Drabble, provincia de Buenos Aires) a partir de un estudio comparativo de labranzas iniciado en 1991 y descrito en la introducción de este capítulo. El clima y condiciones generales de relieve de la región fueron descritos en el Capítulo 11. El suelo predominante en el ensayo 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 cm). El horizonte A es de textura franco-arenosa con 61,5 g kg⁻¹ de arena, 26,1 g kg⁻¹ de limo y 12,4 g kg⁻¹ de arcilla.

En la primavera del 2001 se instalaron tres tratamientos de rotación continua de maíz-soja bajo prácticas de SD diferenciados según tres condiciones contrastantes de uso previo del suelo:

- i) Pastura de festuca de 14 años de implantada y sin pastoreo (PF),
- ii) Agricultura en SD o sin remoción durante 10 años (LSR), y,
- iii) Agricultura con labranzas o bajo prácticas de remoción durante 10 años (LCR).

Durante el otoño del 2001 y del 2011, se tomaron muestras compuestas y disturbadas de los suelos 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 MO (Walkley & Black, 1934), de Pe (Bray & Kurtz, 1945) y el pH en agua por potenciometría. Se calculó el índice de estratificación de MO (IE_{MO}) y del Pe (IE_{Pe}), como el cociente entre los valores de la capa superficial y las capas de 15 a 20 cm de profundidad. Además, 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 (Blake & Hartge, 1986). Para evaluar la estructura y su estabilidad se cuantificó la distribución de fragmentos separados bajo condiciones uniformes de energía de fraccionamiento (Díaz-Zorita *et al.*, 2002a), donde sin la aplicación de esta energía se calcula el diámetro medio ponderado (DMP) considerado equivalente al existente en el suelo en el momento de la evaluación. La tasa de reducción del DMP (TR-DMP), se estimó según la pendiente de la relación exponencial entre los niveles de energía de ruptura por caída y los valores de DMP.

Las diferencias entre usos previos del suelo se analizaron en relación a las diferencias entre el inicio y luego de 10 años de SD en cada tratamiento.

El diseño experimental fue en seis bloques completos aleatorizados con parcelas de 400 m². Los resultados de MO, Pe, pH en agua y DA se evaluaron mediante análisis de la varianza empleando un modelo de parcelas divididas en el espacio. Los IE_{MO} , IE_{Pe} , DMP y la TR-DMP se evaluaron mediante

análisis de la varianza empleando un modelo en parcela dividida. En todos los casos la comparación múltiple de medias de las propiedades edáficas se realizó mediante la prueba de Tukey ($p < 0,15$).

RESULTADOS

Materia orgánica

Luego de 10 años de SD, la diferencia de MO en cada capa fue independiente del uso previo del suelo ($p < 0,48$; Tabla 1). De 0 a 5 cm de profundidad se observaron incrementos medios del 10 % ($p < 0,005$), mientras que entre 5 y 20 cm de profundidad no se observaron diferencias entre momentos de evaluación ($p < 0,52$). Las diferencias entre los $I E_{MO}$ de la condición inicial y luego de los 10 años de SD no dependieron del uso previo del suelo ($p < 0,57$; Figura 1). La estratificación de la MO mostró un incremento medio del 16 % ($p < 0,0001$) entre ambos momentos de evaluación.

Tabla 1: Concentración de la materia orgánica ($g\ kg^{-1}$) de un Hapludol típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa con distintos usos previos del suelo (LSR = siembra directa o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción) y diferentes profundidades. Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de siembra directa 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

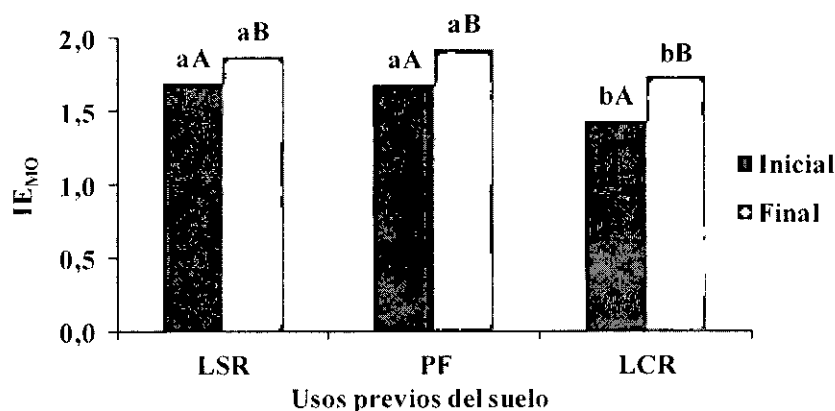


Figura 1: Índice de estratificación medio de la materia orgánica (IE_{MO}) de un Hapludol típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa con distintos usos previos (LSR = siembra directa o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de siembra directa para un mismo uso previo. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre usos previos según momentos de evaluación ($p < 0,002$).

El incremento en 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 remoción, resultando en una menor tasa de mineralización.

Dado que el efecto de la SD es independiente del uso previo, las diferencias superficiales de MO entre tratamientos al inicio del estudio, se mantuvieron en magnitudes similares luego de los 10 años de SD. Esto sugiere que la SD incrementa la MO en superficie independientemente del nivel de remoción, sin embargo la concentración luego de 10 años es dependiente del uso previo del suelo siendo superior en aquellos con menor remoción inicial (Figura 2).

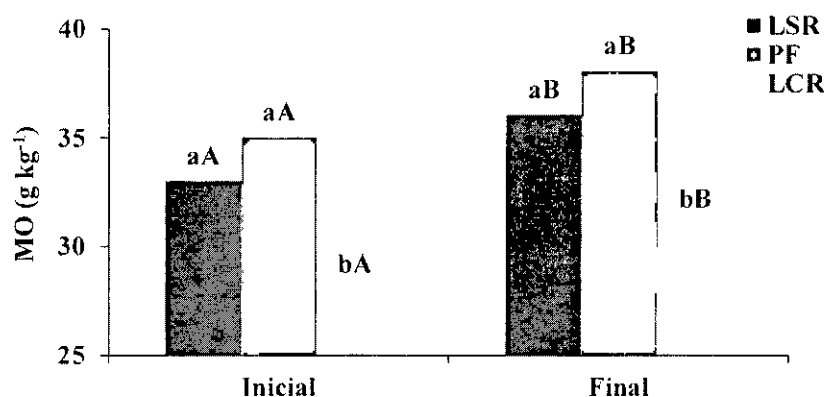


Figura 2: Concentración de la materia orgánica (g kg^{-1}) entre 0 y 5 cm de profundidad de un Hapludol típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa con distintos usos previos del suelo (LSR = siembra directa o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de siembra directa en cada uso previo del suelo. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre usos previos del suelo en cada momento de evaluación ($p < 0,01$).

El IE_{MO} mostró que 10 años de SD 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 SD, 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 SD. Los resultados sugieren un índice superior cuanto mayor es el tiempo. 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 SD produciría una rápida estabilización del IE_{MO} , es decir, mejoraría su calidad en poco tiempo de implementación de este sistema de labranza.

Existen estudios que han descripto mayores concentraciones superficiales de MO en SD con respecto a sistemas de labranza con remoción (Díaz-Zorita *et al.*, 2002b). Esta diferencia se atribuye, en parte, a una menor acumulación de MO en los sistemas con remoción dado por mayores tasas de mineralización. Según nuestro estudio, la diferencia observada por estos autores en superficie, también podría atribuirse a una contribución efectiva en el aumento de MO que induce la SD 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 SD en capas más profundas del perfil. Esta diferencia entre ambos sistemas de labranzas, según lo descripto en nuestro estudio, podría ser el resultado de una conservación efectiva de MO en SD frente a las operaciones de remoción que incorporan la MO superficial en capas más profundas y con mayor proporción de partículas minerales.

Acidez

Luego de 10 años de SD, 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 2). Además se observó una relación lineal y negativa entre los valores de pH en agua y el IE_{MO} , lo que sugiere que las variaciones en los niveles de acidez son explicadas en parte por los aumentos de MO superficial (Figura 3).

Tabla 2: Valores de pH en agua medios en un Hapludol típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa con distintos usos previos (LSR = siembra directa 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 siembra directa 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

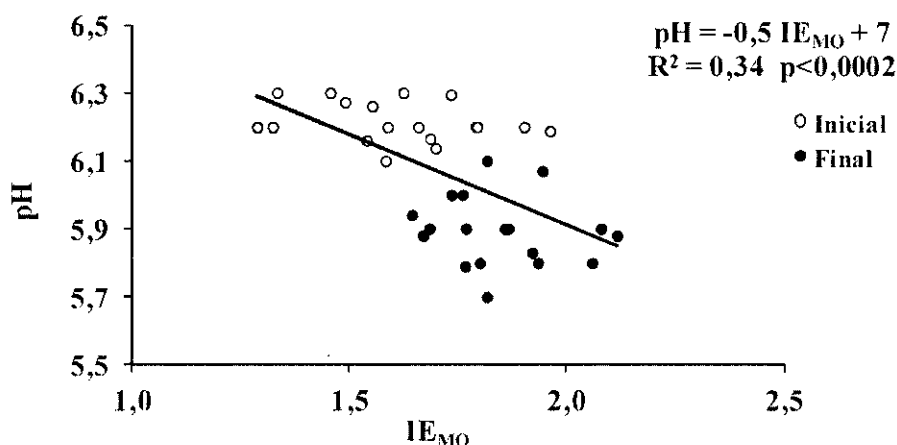


Figura 3: Relación del pH en agua (promedio de 0 a 20 cm de profundidad) y el índice de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad en un Hapludol típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa.

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. La implementación del sistema de SD induce un crecimiento de la población microbiana del suelo, lo que produce más dióxido de carbono y contribuye a la acidificación del perfil. Otra característica propia de este estudio que ayuda a la acidificación es la textura franco-arenosa, la baja capacidad buffer favorecería la acidificación luego de 10 años de SD.

Fósforo extractable

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). Entre ambos momentos de evaluación, se detectaron aumentos promedio del 43 y 23 %, en las profundidades de 0 a 5 y 5 a 10 cm, respectivamente ($p < 0,03$). Entre 10 y 20 cm de profundidad, la disponibilidad de Pe no varió entre momentos de evaluación ($p < 0,23$). Las diferencias en los IE_{Pe} entre ambos momentos de evaluación no dependieron del uso previo del suelo ($p < 0,19$) y mostraron incrementos medios del 69 % ($p < 0,0001$; Figura 4). Se observó una relación lineal y positiva entre el IE_{Pe} y el IE_{MO} (Figura 5). 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 SD.

Tabla 3: Contenido de fósforo extractable ($mg\ kg^{-1}$) de un Hapludol típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa con distintos usos previos (LSR = siembra directa 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 siembra directa 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

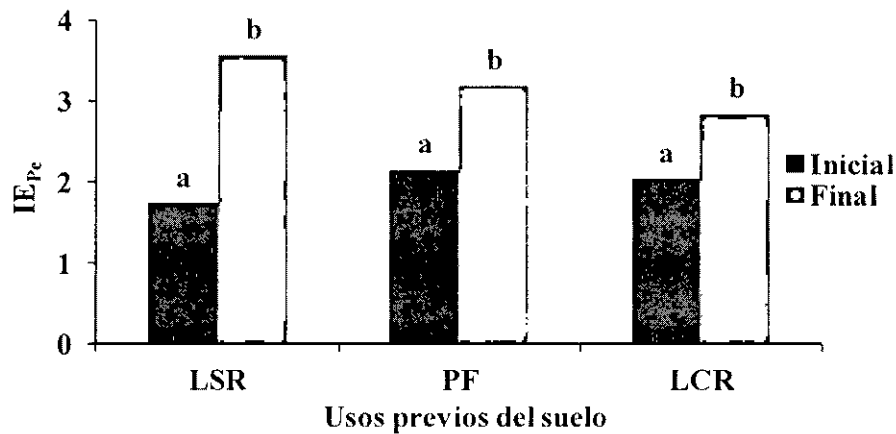


Figura 4: Índice de estratificación medio del fósforo extractable (IE_{Pe}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad de un Hapludol típico al inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa con distintos usos previos (LSR = siembra directa o sin remoción, PF = pastura de festuca, LCR = labranza con remoción). Letras distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de siembra directa para un mismo uso previo ($p < 0,0001$).

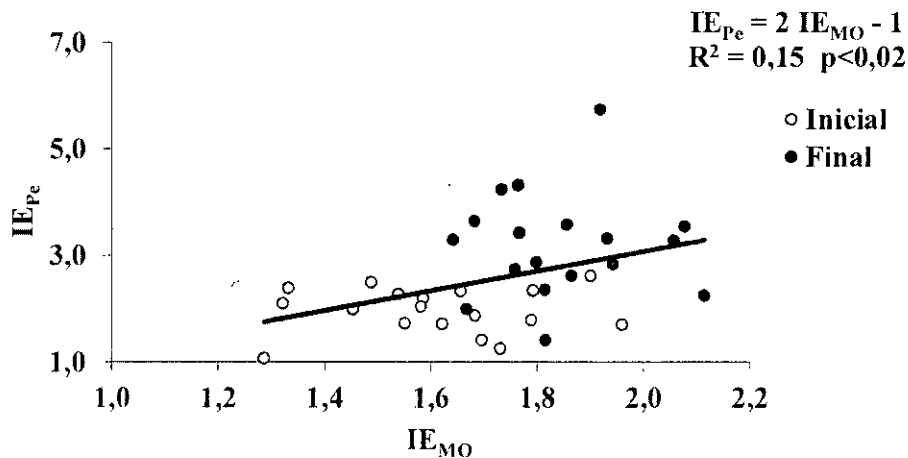


Figura 5: Relación del índice de estratificación de fósforo extractable (IE_{Pe}) y el índice de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad en un Hapludol típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa.

Los residuos de los cultivos y su sistema radical dejados por la SD son descompuestos, constituyendo una fuente de fósforo (P) que se acumula en la superficie del suelo (Díaz-Zorita *et al.*, 2002b). 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). También el incremento de MO observado en los 5 cm superficiales pudo actuar

umentando la disponibilidad de Pe al reducir la adsorción de éste en las partículas minerales. La no remoción del suelo durante 10 años y la baja movilidad del P también podrían haber favorecido su acumulación en los 10 cm superficiales. Las estrategias de fertilización de enriquecimiento y mantenimiento utilizan dosis de 27 y 20 kg ha⁻¹ año⁻¹ de P en maíz y soja, respectivamente (Barraco *et al.*, 2009). Esto permite suponer que, en las condiciones de nuestro estudio, las fertilizaciones de P 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. Algunos estudios que comparan sistemas de labranzas han descripto mayores contenidos de Pe luego de implementar prácticas de SD que bajo labranzas con remoción (Saavedra *et al.*, 2007). Los resultados de este estudio muestran que estas diferencias podrían atribuirse a una contribución efectiva en el aumento de Pe que induce la SD por sí misma, en relación a la acumulación de residuos de cosecha en superficie.

Se observó un IE_{Pe} superior luego de 10 años de SD 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 SD, 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 o PF. También fue independiente del nivel de degradación por remoción inicial del suelo, dado que luego de 10 años de SD con antecedentes de PF, el IE_{Pe} no fue significativamente mayor con respecto al uso previo de LCR.

Densidad aparente

Luego de 10 años de SD, los cambios 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 4). 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 PF y LCR no se detectaron diferencias entre ambos momentos ($p < 0,80$ y $0,29$; respectivamente). La reducción de la DA entre 0 y 10 cm de profundidad se atribuyó en parte a los incrementos de MO superficial, ya que se observó una relación inversa entre la DA y el IE_{MO} (Figura 6). Además, en 10 años de SD se podría inducir

aumentos en la distribución y densidad del sistema radicular entre 0 y 10 cm de profundidad contribuyendo en la reducción de la DA superficial.

Tabla 4: Densidad aparente media (Mg m^{-3}) de un Hapludol típico antes (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa con distintos usos previos (LSR = siembra directa 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 siembra directa 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 bB	1,42 bA	1,39 bA	1,38 bA	1,40 bA	1,37 bA
20 a 30	1,34 bB	1,40 bA	1,37 bA	1,37 bA	1,36 bA	1,34 bA

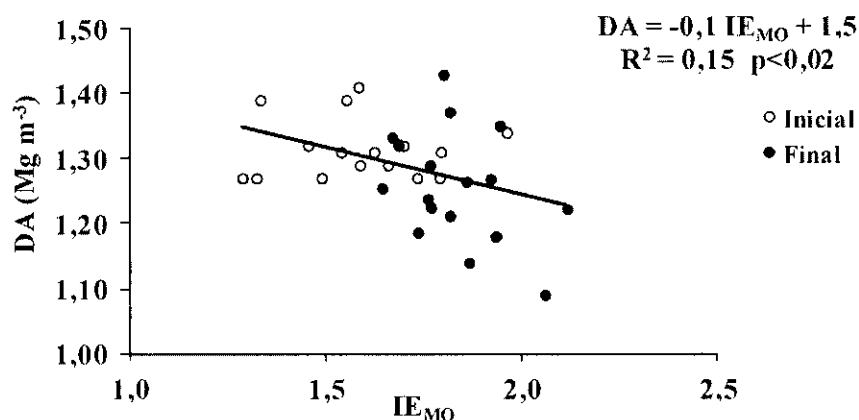


Figura 6: Relación de la densidad aparente (DA) de 0 a 10 cm de profundidad y el índice de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad de un Hapludol típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa.

Estudios que comparan sistemas de labranzas en suelos de textura franco-arenosa han descripto en la superficie valores de DA superiores en SD con respecto a labranza con remoción (Díaz-Zorita, 1996). La diferencia fue atribuida a incrementos en la DA causados por la SD, conjuntamente con las reducciones de esta propiedad debidas a la remoción por labranza. Sin embargo, las reducciones superficiales en los valores de DA observadas en este estudio hacen pensar que la diferencia descripta por estos autores podría atribuirse a una menor reducción de esta propiedad bajo sistema de SD 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 SD. El aumento de la DA podría atribuirse a un mayor número de años con agricultura sin remoción con respecto a usos previos de PF y LCR, complementado con el tránsito de maquinarias. Sin embargo, luego de 10 años de SD 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).

Estructura de los suelos

Luego de 10 años de SD 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 % ($p < 0,06$). 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 ante niveles crecientes de energía de ruptura por caída ($p < 0,27$; Tabla 5).

Tabla 5: Diámetro medio ponderado (DMP) y tasa de reducción del diámetro medio ponderado ante niveles crecientes de energía de fragmentado por caída 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 distintas muestran diferencias significativas entre el inicio y luego de 10 años de labranza cero ($p < 0,06$).

	Inicial	Final
DMP (mm)	33 a	45 b
Tasa de reducción del DMP (mm J ⁻¹ g ⁻¹)	5,5 a	4,1 a

Se observó una relación lineal y positiva entre los IE_{MO} y el DMP (Figura 7), sugiriendo que la agregación superficial del suelo depende en parte de los contenidos de MO acumulados en superficie.

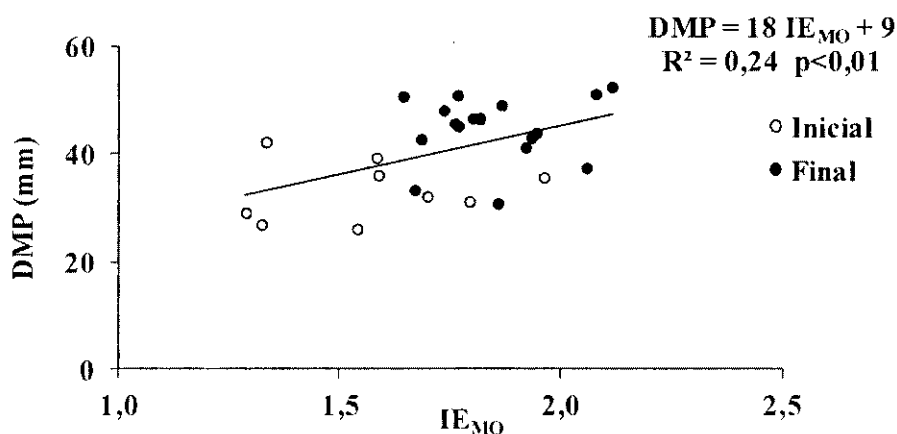


Figura 7: Relación del diámetro medio ponderado (DMP) sin la aplicación de energía de ruptura por caída (nivel 0,00 J g⁻¹) y los índices de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad en un Hapludol típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa.

Se detectó una relación lineal e inversa entre los IE_{MO} y las TR-DMP (Figura 8). Si bien no se observaron cambios en las TR-DMP entre el inicio y luego de 10 años de SD, esta relación sugiere que los incrementos de MO superficial tienden a disminuir las TR-DMP. Esto implica que con más de 10 años de implementación de SD podría detectarse un aumento en la estabilidad de la estructura.

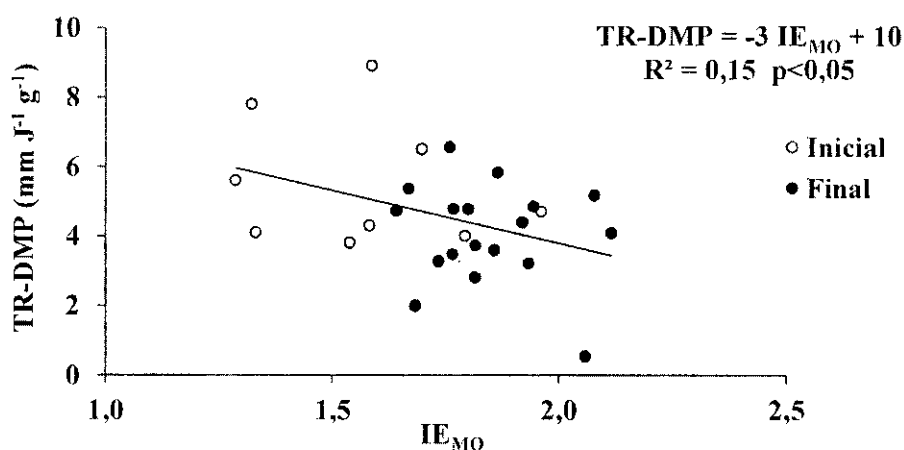


Figura 8: Relación de la tasa de reducción del diámetro medio ponderado (TR-DMP) y los índices de estratificación de la materia orgánica (IE_{MO}) considerando capas de 0 a 5 y 15 a 20 cm de profundidad en un Hapludol típico entre el inicio (Inicial) y luego (Final) de 10 años de siembra directa.

Algunos estudios han descripto mayor estabilidad de la estructura bajo sistemas de SD con respecto a sistemas de labranza con remoción (Fuentes et al., 2009). Según los resultados de este estudio la

diferencia descrita entre sistemas de labranza podría atribuirse a una conservación de la estabilidad estructural inducida por la SD frente a procesos de fragmentado promovido por la remoción de los suelos.

RECOMENDACIONES SURGIDAS DE LOS RESULTADOS

En un Hapludol típico representativo de la región semiárida–subhúmeda de la pampa arenosa, los efectos de la conducción de prácticas agrícolas en un sistema continuo en SD durante 10 años fueron independientes del uso inicial del suelo y causaron los siguientes efectos:

- Incremento en los contenidos de MO superficiales (0 a 5 cm de profundidad) y conservación del contenido inicial entre 5 y 20 cm de profundidad.
- Reducción de los valores de pH en agua entre 0 y 20 cm de profundidad.
- Aumento del Pe entre 0 y 10 cm de profundidad y conservación del contenido inicial entre 10 y 20 cm de profundidad.
- Mayores tamaños medios de los fragmentos de suelo y conservación de la estabilidad estructural entre 0 y 10 cm de profundidad.

Los cambios que se observan en la porosidad total evaluada a partir de la medición de la DA dependieron de la condición inicial de uso del suelo y variaron según las profundidades consideradas. Entre 0 y 10 cm de profundidad, e independientemente del uso previo del suelo, 10 años de SD redujeron la DA. En cambio, entre 10 y 30 cm de profundidad, bajo sistema inicial de LSR, 10 años de SD incrementaron la DA. En la misma profundidad, bajo sistema original de PF o LCR, 10 años de SD conservaron la DA inicial.

En las condiciones de este estudio, donde los suelos en su condición original no presentaron niveles de degradación intensiva, los resultados descriptos sugieren que la adopción de prácticas continuas de SD 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. En situaciones originales con degradación intensiva, especialmente con presencia de capas compactadas, es recomendable el acondicionamiento del suelo con laboreo para eliminar estas impedancias antes de la instalación de sistemas continuos de conservación sin laboreo.

Bibliografía

- 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.
- 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.
- 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.
- 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; Barraco, M; Álvarez, C. 2004. Efecto de doce años de labranzas sobre un hapludol del noroeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 22: 11-18.
- 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; 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Lal, R; T Logan & N Fausey. 1990. Long-term tillage effects on Mollic Ochraqualf in north-west Ohio. Soil nutrient profile. *Soil Till. Res.* 15:371-382.
- 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.

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.

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.