

FAITA, E.C.
Calidad del Suelo en

2007

64003



64003

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

**MAESTRIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
MENCION MANEJO DE TIERRAS**

TESIS:

**“CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE LABOREO BAJO
CUBIERTA EN ARGUDOLES TÍPICOS REPRESENTATIVOS DE LA
PAMPA ONDULADA”**

TESISTA: Ing. Agr. Elida Cristina Faita

64003

DIRECTOR: Ing. Agr. Ms. Sc. José Manuel Cisneros

Mayo 2007

2003

64003

MFN:
Clasif:
T.473

DEDICATORIA

A mi padre, que con su actitud contemplativa y su amor por la naturaleza, me acercó a la agronomía... y a las cosas hermosas de la vida.

A mi profesor y amigo, el Ing. Juan Carlos Ceriani, que con su firmeza y su estima, me ayudó a entender el funcionamiento de los agrosistemas...y a superar mis propios límites.

AGRADECIMIENTOS

A mi Director, Ms. Sc. Ing. Agr. José Manuel Cisneros, por todo lo que me enseñó a aprender en Río Cuarto, Luján... y en el ciberespacio... pero sobre todo, por su especial manera de alentarme.

A mi compañero de trabajo, Ms. Sc. Ing. Agr. José Luís Torella, por su permanente disposición para prestar atención a mis dudas y cuestionamientos.

A mis hijos, María Lucía y Joaquín Santiago, por sentirse tan orgullosos de este logro que obtuve en una época tan cambiante de nuestras vidas.

INDICE GENERAL

Capítulo N°	Tema	Pág. N°
	INDICE DE TABLAS	7
	INDICE DE FIGURAS	12
1	INTRODUCCIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	15
	1.1. Aspectos generales de la pérdida de calidad de los suelos	16
	1.2. Antecedentes en la región bajo estudio	21
2	HIPOTESIS Y OBJETIVOS	25
	2.1. Hipótesis de trabajo	25
	2.2. Objetivos	26
	2.2.1. General	26
	2.2.2. Específicos	26
3	MATERIALES Y MÉTODOS	28
	3.1. Localización del área de estudio	28
	3.2. Caracterización climática	28
	3.3. Caracterización edáfica	30
	3.4. Descripción del ensayo	31
	3.5. Propiedades evaluadas	33
	3.5.1. Densidad aparente actual (DAP)	35
	3.5.2. Densidad aparente máxima (DAP _{máx})	35
	3.5.3. Compactación relativa (CR)	36
	3.5.4. Resistencia a la penetración (RP)	36

Capítulo N°	Tema	Pág. N°
	3.5.5. Índice anisotrópico (IA)	37
	3.5.6. Distribución de tamaño de agregados (DTA)	38
	3.5.7. Diámetro ponderal medio de agregados (DPM)	38
	3.5.8. Estabilidad de agregados (EA)	39
	3.5.9. Materia orgánica (MOt , MOv y MOj)	40
	3.5.10. Infiltración y escurrimiento (IN-ES)	41
	3.5.11. Cobertura del suelo (COB)	43
	3.5.12. Rendimiento del cultivo	44
	3.5.13. Índices de degradación relativa (IDR)	44
	3.5.14. Humedad gravimétrica (HG)	45
	3.6. Análisis y síntesis de resultados	46
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
	4.1. Densidad aparente actual (DAP)	48
	4.2. Densidad aparente máxima (DAPmáx)	54
	4.3. Compactación relativa (CR)	59
	4.4. Resistencia a la penetración (RP)	63
	4.4.1. Siembra-emergencia	63
	4.4.2. Post-cosecha	66
	4.3. Índice anisotrópico (IA)	73
	4.4. Distribución de tamaño de agregados (DTA)	76
	4.5. Diámetro ponderal medio de agregados (DPM)	82
	4.6. Estabilidad de agregados (EA)	83
	4.7. Materia orgánica (MOt , MOv y MOj)	86

Capítulo N°	Tema	Pág. N°
	4.8. Infiltración y escurrimiento (IN-ES)	90
	4.9. Cobertura (COB)	95
	4.10. Rendimiento del cultivo	97
	4.11. Índices de degradación relativa	98
	4.11.1. Índice de degradación relativa para densidad aparente actual (IDR _{DAP})	98
	4.11.2. Índice de degradación relativa para índice anisotrópico (IDR _{IA})	100
	4.11.3. Índice de degradación relativa para estabilidad de agregados (IDR _{EA})	101
	4.11.4. Índice de degradación relativa para materia orgánica (IDR _{MO})	102
	4.11.5. Índice de degradación relativa para infiltración acumulada (IDR _{IN})	102
	4.11.6. Índice de degradación relativa para cobertura (IDR _{COB})	103
	4.12. Correlación entre propiedades	104
	4.13. Evaluación de la degradación	106
5	CONCLUSIONES	110
	ANEXO I	114
	ANEXO II	119
	BIBLIOGRAFÍA	120

INDICE DE TABLAS

Tabla N°	Contenido	Pág. N°
1	Temperaturas y precipitaciones medias mensuales para Baradero (Buenos Aires)	29
2	Historial de uso de los lotes empleados para los ensayos de labranza	32
3	Propiedades evaluadas, momentos y profundidades de muestreo en ensayos de labranza en un suelo Argiudol típico de la pampa ondulada	34
4	Selección de Curva Número para los tratamientos de labranza	43
5	Densidad aparente actual (Mg. m^{-3}) según profundidad y momento de muestreo para diferentes sistemas de laboreo	49
6	Densidad aparente máxima (Mg. m^{-3}) para diferentes contenidos hídricos en un Argiudol típico de la pampa ondulada	55
7	Resistencia a la penetración (Mpa) en función de la profundidad del perfil en siembra-emergencia, para diferentes sistemas de laboreo y condición de un Argiudol típico de la pampa ondulada	65
8	Resistencia a la penetración (Mpa) en función de la profundidad del perfil en post-cosecha, para diferentes sistemas de laboreo y condición de un Argiudol típico de la pampa ondulada	68

Tabla N°	Contenido	Pág. N°
9	Coeficientes de correlación entre resistencia a la penetración y humedad gravimétrica, según tratamiento y condición del suelo, en los horizontes superficial y subsuperficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada	71
10	Ecuaciones de ajuste entre resistencia a la penetración y humedad gravimétrica en el horizonte superficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada	71
11	Índice Anisotrópico (Mpa) en función de los tratamientos de labranza y estado del suelo, para dos épocas de determinación en un Argiudol típico de la pampa ondulada	74
12	Valores extremos (Mpa) y diferencia de resistencia a la penetración en función de los tratamientos de labranza y estado del suelo, para dos épocas de determinación en un Argiudol típico de la pampa ondulada	75
13	Distribución de tamaño de agregados en el horizonte superficial según tratamiento, en siembra-emergencia para un Argiudol típico de la pampa ondulada	76
14	Distribución de tamaño de agregados en el horizonte superficial según tratamiento, en post-cosecha para un Argiudol típico de la pampa ondulada	78
15	Distribución de tamaño de agregados en el horizonte subsuperficial (20-40 cm) según tratamiento, en siembra-emergencia para un Argiudol típico de la pampa ondulada	79

Tabla N°	Contenido	Pág. N°
16	Distribución de tamaño de agregados en el horizonte subsuperficial (20-40 cm) según tratamiento, en post-cosecha para un Argiudol típico de la pampa ondulada	80
17	Distribución de tamaño de agregados entre 40 y 60 cm de profundidad según tratamiento, en siembra-emergencia para un Argiudol típico de la pampa ondulada	81
18	Distribución de tamaño de agregados entre 40 y 60 cm de profundidad según tratamiento, en post-cosecha para un Argiudol típico de la pampa ondulada	81
19	Diámetro ponderal medio (mm) de agregados, en siembra-emergencia para tres profundidades de un Argiudol típico de la pampa ondulada	82
20	Diámetro ponderal medio de agregados (mm), en post-cosecha para tres profundidades de un Argiudol típico de la pampa ondulada	83
21	Índice de estabilidad de agregados del horizonte superficial, para diferentes tratamientos de labranza y grado de disturbación de un Argiudol típico de la pampa ondulada	84
22	Fracciones de materia orgánica según sistema de laboreo y estado de disturbación en un Argiudol típico de la pampa ondulada	87

Tabla N°	Contenido	Pág. N°
23	Escurrimiento acumulado medido y capacidad de escurrimiento estimada por Curva Número para un Argiudol típico de la pampa ondulada (grupo hidrológico C)	93
24	Escurrimiento acumulado y capacidad de escurrimiento estimada por Curva Número para los grupos hidrológicos B y A	94
25	Cobertura del suelo según época de determinación y tratamiento	95
26	Disminución porcentual de cobertura por descomposición y subsolado	96
27	Rendimiento del cultivo del maíz para diferentes sistemas de laboreo en un Argiudol típico de la pampa ondulada	98
28	Índices de degradación relativa para densidad aparente actual, en siembra-emergencia en un Argiudol típico de la pampa ondulada	99
29	Índices de degradación relativa para densidad aparente actual, en post-cosecha en un Argiudol típico de la pampa ondulada	100
30	Índices de degradación relativa para el índice anisotrópico en un Argiudol típico de la pampa ondulada	101
31	Índices de degradación relativa para estabilidad de agregados en un Argiudol típico de la pampa ondulada	101
32	Índices de degradación relativa para materia orgánica en un Argiudol típico de la pampa ondulada	102

Tabla Nº	Contenido	Pág. Nº
33	Índices de degradación relativa para índice infiltración acumulada en un Argiudol típico de la pampa ondulada	103
34	Índices de degradación relativa para cobertura del suelo en un Argiudol típico de la pampa ondulada	103
35	Coeficientes de correlación (R) entre diferentes variables del suelo y la infiltración acumulada para un Argiudol típico de la pampa ondulada	105
36	Índice de degradación relativa para los tratamientos cultivados durante el ensayo y situaciones de referencia en un Argiudol típico de la pampa ondulada	107
37	Datos analíticos de la Serie Portela	118
38	Determinación de humedad gravimétrica en siembra-emergencia	119
39	Determinación de humedad gravimétrica en post-cosecha	119

INDICE DE FIGURAS

Figura N°	Contenido	Pág. N°
1	Precipitaciones ocurridas durante el ensayo de labranzas en la localidad de Baradero (Buenos Aires)	29
2	Perfil de densidad aparente en siembra-emergencia, bajo diferentes sistemas de labranza en un Argiudol típico de la pampa ondulada	51
3	Perfil de densidad aparente en post-cosecha, bajo diferentes sistemas de labranza en un Argiudol típico de la pampa ondulada	52
4	Variación de densidad aparente en el horizonte superficial (0-20 cm) en función de la humedad gravimétrica, para los dos momentos de muestreo	52
5	Variación de densidad aparente en el horizonte subsuperficial (20-40 cm) en función de la humedad gravimétrica, para los dos momentos de muestreo	53
6	Variación de densidad aparente entre 40 y 60 cm de profundidad en función de la humedad gravimétrica, para los dos momentos de muestreo	53
7	Variación de la DAP máxima entre 0 y 20 cm, en función de la humedad, para diferentes tratamientos de labranza y estados de disturbación en un Argiudol típico de la pampa ondulada	56
8	Variación de la DAP máxima entre 20 y 40 cm, en función de la humedad, para diferentes tratamientos de labranza y estados de disturbación en un Argiudol típico de la pampa ondulada	57

Figura N°	Contenido	Pág. N°
9	Variación de la DAP máxima entre 40 y 60 cm, en función de la humedad, para un tratamiento de labranza en un Argiudol típico de la pampa ondulada	57
10	Variación de DAP _{máx} en función del contenido de materia orgánica total, en el horizonte superficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada	58
11	Compactación relativa en siembra-emergencia, en el horizonte superficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada	59
12	Compactación relativa en siembra-emergencia, en el horizonte subsuperficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada	60
13	Compactación relativa en siembra-emergencia, entre los 40 y 60 cm de profundidad de un Argiudol típico de la pampa ondulada	61
14	Compactación relativa en post-cosecha, en el horizonte superficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada	61
15	Compactación relativa en post-cosecha, en el horizonte subsuperficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada	62
16	Compactación relativa en post-cosecha, entre los 40 y 60 cm de profundidad de un Argiudol típico de la pampa ondulada	63
17	Perfil de resistencia a la penetración según tratamiento, en siembra-emergencia para un Argiudol típico de la pampa ondulada	66

Figura N°	Contenido	Pág. N°
18	Perfil de resistencia a la penetración según tratamiento, en post-cosecha para un Argiudol típico de la pampa ondulada	69
19	Variación de resistencia a la penetración en el horizonte superficial, en función del contenido hídrico de un Argiudol típico de la pampa ondulada	73
20	Variación de estabilidad de agregados, en función de la proporción de agregados con diámetro superior a 50 mm presentes en post-cosecha, en el horizonte superficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada	86
21	Contenido de materia orgánica vieja y joven, según sistema de laboreo y profundidad en un Argiudol típico de la pampa ondulada	88
22	Variación de la estabilidad de agregados, en función del porcentaje de materia orgánica total presente en los primeros 5 cm del horizonte superficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada	89
23	Infiltración acumulada según tratamiento, en un Argiudol típico de la pampa ondulada	91
24	Velocidad de infiltración durante el ensayo según tratamiento, en un Argiudol típico de la pampa ondulada	92
25	Coeficientes de escurrimiento para diferentes tratamientos de laboreo, en un Argiudol típico de la pampa ondulada	93
26	Variación del rendimiento en función del índice de degradación relativa de los tratamientos cultivados durante el ensayo	108

CAPÍTULO 1



INTRODUCCION Y ANALISIS DE ANTECEDENTES

La agricultura argentina ha sufrido profundas transformaciones en las últimas décadas, caracterizadas por un incremento importante en la superficie dedicada a soja, girasol, maíz y trigo, la cual aumentó un 30 % (4.7 millones de hectáreas) en el período 1990-1998, cuya mayor parte se destinó a la soja.

En el mismo período la superficie bajo siembra directa varió de 500.000 a 7.5 millones de hectáreas, alcanzando en la actualidad más de 10.000.000 ha, hecho altamente correlacionado con el consumo de glifosato, que pasó de 1 a 60 millones de litros (Chudnovsky et al., 1999; Pengue, 2001), y el consumo de fertilizantes que ascendió de 11 kg. ha⁻¹ a más de 60 kg. ha⁻¹.

Estas transformaciones están substituyendo el sistema mixto de producción de la pampa central por un sistema más especializado en cultivos agrícolas (Viglizo et. al., 1997), con relaciones maíz: soja entre 4:1 a 7:1, según las regiones.

También operaron importantes cambios en la tenencia de la tierra, con la aparición de nuevos actores económicos en el ámbito rural (contratistas, pooles de siembra, fideicomisos, etc.), que establecen nuevos marcos de relación entre el propietario y el decisor del uso del suelo, con consecuencias muchas veces negativas en cuanto a los impactos sociales y ambientales (Manuel-Navarrete et al., 2005).

En Argentina, las posiciones sobre la sustentabilidad de este modelo no son unánimes. Visiones optimistas sobre la adopción del modelo, aluden a una relación virtuosa donde todos ganan o "win-win" (Chudnovsky et al., 1999, op. cit.), tanto desde el punto ambiental como productivo. Diversas entidades asumen también una posición optimista frente a la profundización del modelo que tiene como base tecnológica a la técnica de la siembra directa (Trucco, 2003) y a la utilización de cultivos transgénicos (Peiretti, 2004). Entre las instituciones, el INTA ha realizado una fuerte promoción del uso de la siembra directa (Panigatti et al., 1998).

Uno de los logros más destacados, es posiblemente el incremento de 35 millones de Mg en la producción, desde 32 a más de 80 millones de Mg de granos entre las campañas 1990/91 y 2004/05 (Estadísticas de la SAGP y A, 2004). Sin embargo, las virtudes mencionadas de la siembra directa en Argentina no han considerado adecuadamente el fenómeno del cambio en el uso de la tierra y el impacto de la alta especialización en la conservación del suelo y del agua.

En contraposición existen posturas críticas sobre la sustentabilidad del modelo, especialmente a partir de cuestionamientos sobre su aplicación en ecosistemas frágiles y la consecuente degradación de los suelos (Chidiak y Murmis, 2002; INTA, 2003), a su sustentabilidad socioeconómica debido a la expulsión de fuerza de trabajo y la desaparición de empresas agropecuarias (van Dam, 1999), sobre las consecuencias ecológicas de la liberación de transgénicos al medio (Pengue, 2001, op. cit.) y sobre el aumento de los riesgos ecológicos y económicos del monocultivo.

En este marco de cambios de sistemas de labranza, asociados a intensificación de la presión de uso del suelo, se abren interrogantes nuevos sobre las consecuencias de esta nueva interacción de factores, en la calidad del suelo en particular y sobre la sustentabilidad económica, ecológica y social, en términos más amplios.

Este trabajo tiene como finalidad aportar conocimientos sobre los efectos de diferentes sistemas de labranza, algunos actualmente en uso, y con variantes de subsolado, sobre la calidad de suelos y la productividad de maíz en Argiudoles representativos de la Pampa ondulada, evaluada a través de propiedades físicas y biológicas.

1.1 Aspectos generales de la pérdida de calidad de los suelos

La pérdida de calidad de los suelos es un fenómeno de naturaleza socio-económico-ambiental, con consecuencias que exceden

ampliamente los aspectos estrictamente edáficos y cuya cabal estimación resulta sumamente difícil.

El deterioro de las tierras se expresa de múltiples maneras y varía según la naturaleza morfogénica de los suelos, el nivel de ajuste entre su capacidad y el impacto de las producciones que sostienen, el grado de alternancia entre las distintas producciones agropecuarias, la intensidad con que éstas se realizan y el sistema de manejo utilizado.

Uno de los síntomas del deterioro de la calidad del suelo es la formación de capas densificadas. Esta densificación se ve favorecida por la elevada proporción de limos y arenas finos, así como de arcilla, especialmente si esta es illita. Un efecto similar tiene el alto porcentaje de sodio intercambiable, la baja proporción de agregados estables y el escaso contenido de materia orgánica (Cerana y Nicolier, 1969).

Una marcada compactación subsuperficial fue detectada por Rollán et al. (2004) en suelos Molisoles conducidos bajo siembra directa.

Otras señales del deterioro son la disminución de la estabilidad de los agregados y el contenido de materia orgánica de la capa arable, la pérdida de nutrientes y el detrimento de las propiedades biológicas.

Como consecuencia inmediata de estas condiciones inadecuadas, se verifica una disminución de la infiltración, la cual determina a su vez aumentos del escurrimiento superficial y la erosión hídrica, así como una menor disponibilidad de agua y nutrientes para los cultivos.

Posteriormente, se registra desde una gran variabilidad interanual en los rendimientos de los cultivos, hasta la merma de los mismos.

Si se define la degradación del suelo como el resultado de uno o más procesos que ocasionan la pérdida parcial o total de su calidad, y consecuentemente de su productividad, se debe tener en cuenta que dicha calidad puede evaluarse a través de diversas propiedades, muchas veces relacionadas entre sí y que resulta conveniente vincular el nivel de calidad de las tierras con su productividad.

Algunas de esas propiedades son la estabilidad de los agregados, la infiltración, la conductividad hidráulica, la densidad aparente, la distribución del tamaño de agregados, la resistencia a la penetración y las

fracciones de materia orgánica (Cannell y Hawes, 1994; Liebig y Doran, 1999; Miller et al, 1998).

Según numerosos autores, esas propiedades indicadoras de la calidad del suelo, se modifican como resultado de la aplicación de distintas combinaciones de sistemas de laboreo.

Por otra parte, los distintos sistemas de laboreo, modifican la velocidad de descomposición de los residuos de cosecha (Griffith et al., 1986, Corbella et al. 2004; Alvarez y Steinbach, 2006; Andriulo et al., 2001).

Bordovsky et al, 1999; Elliott y Efetha, 1999; Cunha Medeiros et al, 1996 y Sie et al, 1999; informaron que el contenido de materia orgánica fue mayor en labranza reducida que en convencional; sistema este último que, según Covacevich y Echeverría (2000), presentó contenidos de materia orgánica inferiores a los detectados en sistemas ganaderos intensivos. Por otra parte, resultados similares fueron reportados por Alvarez y Steinbach (2006, op. cit.) para suelos de la pampa ondulada, aunque en este caso las diferencias sólo fueron significativas en los primeros centímetros del suelo.

Ciarlo et al. (2004) observaron en suelos Vertisoles, que los mayores valores de carbono orgánico total y particulado, así como de macroagregados estables al agua, se asociaban a las situaciones de menor deterioro del suelo. Tendencias similares respecto del carbono orgánico, fueron halladas por Heredia et al. (2006) en Argiudoles y Alfisoles.

Asimismo, los distintos sistemas de laboreo generan diferentes patrones de distribución de la materia orgánica a través del perfil del suelo (Musso et al., 2004).

La distribución del tamaño de agregados del suelo, resultó más conveniente en sistemas de labranza bajo cubierta que en otros de características convencionales (Miller et al, 1999).

Una vinculación similar se registró con la estabilidad de los agregados (Thomas et al, 1994; Unger et al, 1998).

Álvarez et al. (2004) encontraron que el mayor nivel de alteración derivado de las labranzas, se relacionaba con una mayor proporción de agregados pequeños en un Haplustol éntico de la región semiárida pampeana.

Por su parte, Di Leo y Filgueira (2004) mencionan que a medida que aumenta el número de años con uso agrícola, se incrementa la fragmentación en suelos Argiudoles típicos.

También se registraron asociaciones funcionales positivas entre estabilidad de agregados y materia orgánica (Pilatti et al., 2004; Cabria y Culot, 2001).

En cambio, la densidad aparente máxima se correlacionó negativamente con el carbono orgánico total (Bricchi et al. 2004).

Torella et al. (2004) encontraron no sólo, que las tasas de actividad microbiana en Argiudoles asociadas a la siembra directa con subsolado, eran mayores que las correspondientes a labranza convencional, sino que superaban también aquellas verificadas en siembra directa sin subsolado.

En cuanto a la densidad aparente y la resistencia a la penetración, los sistemas de siembra directa y labranza reducida determinaron valores mayores que la labranza convencional (Hussain et al., 1998; Kovac y Zak, 1999; Materechera y Mloza-Banda, 1997), aunque esa compactación disminuyó con la aplicación periódica de laboreos profundos (Lal, 1999; Pikul y Aase, 1999).

Venialgo et al. (2004, a y b) encontraron mayores valores de densidad aparente y resistencia a la penetración en suelos bajo siembra directa que en aquellos sometidos a labranza convencional.

Relacionados con el mayor contenido de materia orgánica, la mejor distribución del tamaño de agregados y de los espacios porosos y el mayor porcentaje de cobertura, se registraron aumentos en la infiltración y conductividad hidráulica (Bordovsky et al., 1999, op. cit.; Miller et al, 1998; Unger, 1992) y disminuciones en los escurrimientos (Elliott y Efetha, 1999, op.cit.).

Estas propiedades, que reflejan el comportamiento hidrológico de los suelos presentan, por otra parte, una asociación funcional positiva con

la cobertura del suelo aun en suelos conducidos con siembra directa durante períodos prolongados (Chagas et al., 2004).

Alvarez et al. (2004) encontraron que en los suelos francos del norte de la provincia de Buenos Aires, la infiltración en las situaciones casi prístinas no difirió de la correspondiente al sistema de siembra directa, pero resultó superior a la de suelos labrados.

La infiltración acumulada en suelos Hapludoles típicos resultó significativamente mayor en condiciones de siembra directa que bajo labranza convencional, aún sin cobertura alguna de residuos de cosecha (Sanzano et al., 2004, b).

Además de lo expuesto, se debe tener en cuenta la diferente capacidad de las propiedades edáficas para discriminar condiciones derivadas de los sistemas de uso y laboreo.

En este sentido Amanda y Bachmeier (2004) encontraron que la materia orgánica y la densidad aparente tenían mayor sensibilidad que otras variables edáficas analizadas, para distinguir las consecuencias de diferentes manejos silvo - pastoriles.

Mandolesi et al. (2004) consideraron que el fraccionamiento de materia orgánica constituye una herramienta útil en la diferenciación del impacto sobre el suelo de distintos sistemas de labranza.

Al respecto, Eiza et al. (2005) encontraron que el carbono orgánico particionado diferenció mejor que el carbono orgánico, la condición de distintos sistemas de cultivo, entre los cuales la siembra directa continua presentó valores semejantes a los obtenidos en rotaciones agrícola-ganaderas cortas.

Por su parte, Sanzano et al. (2004, a) atribuyeron a la estabilidad de agregados, la mayor capacidad de discriminación de las situaciones de degradación según sistemas de manejo en un suelo Hapludol típico.

No puede dejarse de considerar que los distintos sistemas de labranza, al afectar diferencialmente las propiedades edáficas y consecuentemente la calidad de los suelos, determinan variaciones en el rendimiento de los cultivos (Gueçaimburu et al., 2005; Barrios et al., 2004; Ceriani et al., 2000).

Finalmente, con el objeto de evaluar el comportamiento a través del tiempo de diferentes propiedades indicadoras de calidad del suelo, en distintos sistemas de labranza, se han formulado y aplicado modelos que permiten estimar la evolución de las mismas (Apezteguía et al., 2004; Amezketa, 1999; Andriulo et al., 1999; Hussain et al., 1999, a; Chen et al., 1998 a y b).

1.2. Antecedentes en la región bajo estudio

En nuestro país, entre 1960 y 1990 se registró un cambio en los patrones de uso del suelo que afectó a las tierras cultivables en general y a la Región Pampeana en particular.

Esta variación en el uso, consistente en un significativo alargamiento de la fase con cultivos anuales de cosecha en detrimento de las pasturas perennes, determinó, en casos extremos, la instalación de sistemas de agricultura continua, basados fundamentalmente en el doble cultivo trigo-soja.

Una muestra de ello es que en el área central de la pampa húmeda, el uso agrícola de las tierras se acentuó con una tasa anual del 4% entre 1970 y 1985 (INTA - PAC, 1986).

Debido a sus adecuadas condiciones climáticas y edáficas, el proceso de intensificación mencionado, conocido comúnmente como “agriculturización”, se expresó con máxima intensidad en la Subregión Ondulada.

Según Michelena et al. (1989), esta unidad fisiográfica con un total de 4 696 798 ha, se halla integrada por diferentes subcuencas que presentan un relieve suavemente ondulado, recortado en parte por cursos de agua, con pendientes comprendidas principalmente entre el 1 y el 3%, aunque en sectores cercanos a los ríos y arroyos pueden alcanzar el 5 – 6 %. Generalmente, las pendientes superan los 300 – 500 m de longitud.

Los suelos predominantes en esta Subregión, son los Argiudoles típicos ya que la cubren en un 70%. Se trata de suelos profundos, con textura variable que, en el sector oriental de la subregión, presentan

horizontes B fuertemente texturales con espesores superiores a los 50 cm y contenidos de arcilla mayores al 35%.

Según INTA (1986), el uso de la tierra en esta parte de la región pampeana es predominantemente agrícola o agrícola-ganadero, con predominio de los cultivos de trigo, soja, maíz, girasol y sorgo. Durante los últimos años, el reemplazo del cultivo de maíz por soja fue exponencial en la región pampeana, acelerando los procesos degradatorios de la misma (Lavado, 2006).

La superficie de la mayoría de las empresas oscila entre las 50 y 150 ha con un promedio de 75 ha.

Principalmente se caracterizan por realizar un uso intensivo del suelo, basado casi exclusivamente en las diferencias de rentabilidad y que no incluye la adopción de prácticas de producción conservacionistas. Es así que los diferentes cultivos anuales se realizan en forma continuada, sin integrarse en esquemas preestablecidos de rotación con cultivos perennes, ni incorporar sucesiones adecuadas de especies anuales, condiciones todas que determinan el predominio del doble cultivo trigo-soja.

Toda la Subregión presenta degradación física y química en diversos grados, sobre todo en aquellas tierras bajo agricultura continua ubicadas en áreas con pendientes marcadas.

El desequilibrio en el balance de materia orgánica, derivado del mínimo aporte de materia orgánica a través de los rastrojos en los predios con agricultura continua y doble cultivo trigo-soja, así como del mal manejo de las pasturas en la tierras sujetas a rotación, se refleja en el porcentaje de materia orgánica total, el cual presenta disminuciones promedio cercanas al 50% respecto del existente en suelos vírgenes (Casas, 2001; Alvarez y Steinbach, 2006, op. cit.). Este desbalance resulta decisivo en la degradación física y química de las tierras.

La acidificación progresiva del suelo es otro fenómeno asociado a su deterioro (Melgar, 1997). Se origina en el reemplazo paulatino de las bases de cambio por iones de hidrógeno y aluminio y determina una disminución de la actividad microbiana que afecta negativamente el ciclo

del nitrógeno, la mineralización de la materia orgánica y el aporte de nutrientes.

La natural baja permeabilidad de los suelos predominantes, derivada de sus características morfogénicas, se ve además fuertemente reducida en todas las tierras empleadas para la producción agropecuaria en relación a los suelos vírgenes.

El deterioro físico se manifiesta también a través de fenómenos comunes como el encostramiento superficial y la formación de pisos de arado que afectan negativamente las propiedades hidrológicas de las tierras e incrementan su erodabilidad.

Michelena et al. (1989, op. cit.), encontraron que el 35,6 % de la superficie de la Subregión Ondulada (1.660.806 ha) presentaba diversos grados de erosión hídrica.

Dicha situación, consecuencia de la disminución verificada en el contenido de materia orgánica, la estabilidad de estructura y la velocidad de percolación, se refleja en tasas promedio de erosión actual que ubican a las tierras bajo rotación y a aquellas sujetas a agricultura continua, dentro de los grados de erosión ligera y moderada respectivamente. Estas condiciones empeoran notablemente en las unidades cartográficas próximas a los cursos de agua.

Cabe señalar que, en tierras susceptibles como estas, cualquier acción que disminuya drásticamente la vegetación y exponga el suelo desnudo a la lluvia, especialmente y, en menor medida al viento, constituye un factor desencadenante de erosión (FECIC - PROSA, 1988; Zabala et al., 2003; Casas, 2001, op. cit.).

Por ese motivo, las labranzas pueden ser las principales causantes del incremento en las pérdidas de suelo por erosión, no sólo por el tipo de implemento utilizado, aspecto al cual normalmente se le atribuye mayor importancia, sino además por la forma y oportunidad de su aplicación, así como por su integración en el sistema de laboreo y producción.

Todas las condiciones de deterioro expuestas determinan, la disminución del rendimiento de los cultivos, y al mismo tiempo un incremento en sus costos de producción.

Estudios efectuados tanto por FECIC – PROSA (1988, op. cit.) como por SAGyP - CFA (1995) indican que los mayores costos no se originan sólo en que la merma en la calidad del suelo genera mayores dificultades para su laboreo, las cuales a su vez repercuten en un consumo más alto de combustible, sino también en la necesidad de dosis más elevadas de agroquímicos y fertilizantes, para compensar la caída de la producción.

En síntesis, la Subregión Ondulada presenta diversos grados de degradación física y química, los cuales alcanzan proporciones críticas en tierras bajo agricultura continua ubicadas en áreas con pendiente.

Frente a esa situación, derivada de la aplicación de sistemas de agricultura permanente basados en labranza convencional en las condiciones edafo-climáticas de la zona, los sistemas de laboreo bajo cubierta constituyen una herramienta de atenuación de los procesos degradatorios de la calidad del suelo (Panigatti y Viglizzo, 1995).

En este sentido es necesario destacar que la tasa de adopción de los sistemas de labranza sin remoción o siembra directa, ha sido exponencial en los últimos años (INDEC, 2002), incluso a niveles mayores que en Estados Unidos (Chudnovsky, et. al., 1999, op. cit.).

CAPITULO 2

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

En base a la problemática que presenta la región bajo estudio y la revisión bibliográfica presentadas en el capítulo anterior, se consideró importante analizar el comportamiento de un sitio representativo de la Subregión Ondulada susceptible al deterioro de su calidad edáfica, ubicado en la localidad de Lima, partido de Baradero, provincia de Buenos Aires, respecto de algunas propiedades indicadoras de la calidad del suelo.

Este partido bonaerense, al momento del relevamiento considerado (Michelena et al, 1989, op. cit), registraba erosión hídrica moderada o severa en el 53% de sus 112 000 ha totales.

La proporción mencionada, supera tanto la correspondiente a la Subregión Ondulada en su conjunto (35,6%) como a la de la cuenca del Río Arrecifes (48%) en la cual se inserta este partido (SAGyP - CFA, 1995, op. cit.).

Se diseñó y desarrolló un ensayo sobre un Argiudol típico fase ligeramente erosionada en el cual, durante un número importante de años se estuvieron implantando cultivos mediante distintos sistemas de laboreo bajo cubierta.

2.1. HIPOTESIS DE TRABAJO

- La utilización de laboreo profundo en sistemas de labranza bajo cubierta, en Argiudoles típicos franco arcillo limosos, mejora la funcionalidad del suelo en los aspectos hidrofísicos, mecánicos y en su contenido de materia orgánica, así como el rendimiento de los cultivos, aumentando de esa manera su potencialidad para una producción sustentable.



- Las propiedades edáficas mantienen entre ellas asociaciones funcionales de diversa naturaleza que permiten inferir el comportamiento recíproco.
- Los parámetros del suelo poseen diferente capacidad de discriminación entre situaciones extremas de disturbación (máxima y mínima) y sistemas conservacionistas de laboreo.
- La degradación relativa del suelo para las propiedades individuales, y su inclusión en un sistema de valoración integral, permiten evaluar el estado de los diferentes sistemas de laboreo en cuanto al deterioro y recuperación de las propiedades analizadas.

2. 2. OBJETIVOS

2.2.1. General

Evaluar los efectos de diferentes combinaciones de laboreo profundo y manejo de residuos, sobre la homogeneización físico-mecánica de los horizontes del perfil cultural y sus propiedades hidrofísicas, su contenido de materia orgánica, su evolución en el tiempo y el rendimiento del cultivo indicador.

Aportar conocimientos básicos que contribuyan a alcanzar la sustentabilidad de sistemas agrícolas puros, implementados sobre suelos Argiudoles típicos, representativos de la Subregión Ondulada de la Región Pampeana y susceptibles a la degradación física y la erosión.

2.2.2. Específicos

- Determinar en la profundidad del perfil cultural, para las diferentes variantes experimentales y las situaciones de referencia de máxima y mínima disturbación, las siguientes propiedades y

variables del suelo: densidad aparente actual; densidad aparente máxima; resistencia a la penetración; distribución del tamaño de agregados; estabilidad de agregados; materia orgánica total, vieja y joven; infiltración y escurrimiento de agua y cobertura del suelo.

- Cuantificar el grado de deterioro o recuperación relativo de las propiedades en las diferentes variantes experimentales, a través de la comparación con los valores de las mismas en las situaciones de referencia de mínima y máxima disturbación.
- Establecer algunas asociaciones funcionales entre las variables estudiadas, así como entre ellas y el desenvolvimiento agronómico del cultivo, que permitan inferir su comportamiento recíproco.
- Aportar elementos para la definición de indicadores de calidad de suelos o sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuaria.
- Diseñar un sistema de valoración de la calidad del suelo de carácter integrador, que resulte capaz de reflejar las diferencias entre las condiciones edáfico-productivas de los diferentes sistemas de laboreo bajo cubierta.

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área de estudio

Para realizar el ensayo se dispuso de un sitio representativo de las condiciones ambientales de la Región Pampeana, Subregión Pampa Ondulada.

El mismo se encuentra en el establecimiento agropecuario "Don Antonio" (s 34° 1' 43.9"; w 59° 21' 8.5") ubicado sobre la Ruta Nacional N° 9 Km. 114, en la localidad de Lima, partido de Baradero, provincia de Buenos Aires.

3.2. Caracterización climática

Según la descripción de Damario y Pascale (1988) la región se caracteriza por una moderada variación anual de la temperatura, con veranos frescos e inviernos suaves. Las temperaturas mínimas y máximas anuales son relativamente constantes entre los distintos años y el período libre de heladas oscila entre 180 y 340 días en los sectores sudoeste y noreste respectivamente.

La caracterización climática del Partido de Baradero según las "Estadísticas Climatológicas 1981-1990" citadas por Spescha et al. (1996), corresponde a un régimen térmico de tipo templado con temperatura media anual de 17 °C, que oscila entre 22 y 11 °C. Los meses más cálidos son diciembre, enero y febrero (Tabla 1). En los meses más fríos (junio y julio) se registra la mayor probabilidad de ocurrencia de heladas, fenómeno que se presenta también en mayo, agosto y septiembre.

El valor de las precipitaciones ubica a la región en un régimen de transición entre el subtropical atlántico y el subtropical continental, con balances hidrológicos equilibrados y hasta ligeros excesos en la mayor parte de su territorio.

Las estaciones con menores y mayores precipitaciones, son el invierno y la primavera respectivamente y los valores mensuales de lluvia más elevados se presentan en marzo y octubre.

Las estadísticas climatológicas citadas, indican precipitaciones medias anuales de 1087.1 mm, con variación entre 1371,4 y 772,9 mm (Tabla 1). Los mayores valores se observan en febrero, marzo, octubre y noviembre y los menores en junio, julio y agosto. Se presenta déficit hídrico en los meses de diciembre y enero.

Tabla 1. Temperaturas y precipitaciones medias mensuales para Baradero (Buenos Aires)

Parámetro	Mes												Anual
	Ene	Feb	Mzo	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Temperatura (° C)	24,5	22,8	20,3	16,9	13,3	10,1	9,9	11,9	13,7	17,1	20,2	22,6	17,0
Precipitación (mm)	115	133	130	98,9	60,2	36,4	48,7	31,5	61,3	135	135	100	1087,1

En la Figura 1 se observa que el período del ensayo fue muy húmedo ya que se registraron 1812 mm de lluvia entre el barbecho y la cosecha del cultivo, motivo por el cual ésta se retrasó hasta fines de mayo de 2001.

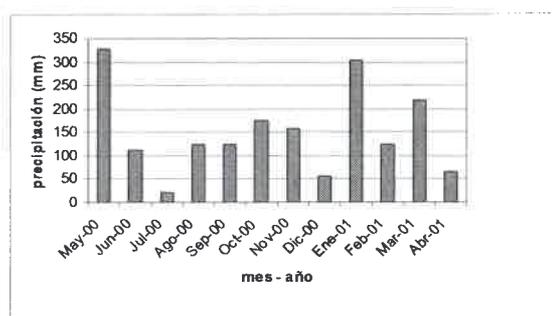


Figura 1. Precipitaciones ocurridas durante el ensayo de labranzas en la localidad de Baradero (Buenos Aires)

3.3. Caracterización edáfica

La Subregión Pampa Ondulada de la Región Pampeana, se halla uniformemente cubierta por un manto loésico de más de dos metros de espesor. Presenta relieve predominantemente ondulado, recortado por cursos de agua. El paisaje se integra con lomas alargadas y planicies suavemente onduladas, seccionadas por vías de drenaje y asociadas a problemas de erosión hídrica.

En las posiciones más elevadas y mejor drenadas se encuentran suelos Argiudoles típicos; en las pendientes Argiudoles típicos-inclinados y en las posiciones planas o algo deprimidas, Argiudoles ácuicos. En los sectores bajos adyacentes a los cursos de agua, se observan Natracuoles típicos y Natracualfes típicos. Se destaca que Iñiguez y Scoppa (1970) mencionan la presencia de arcillas expansibles en suelos de esta Subregión.

Las pendientes casi nunca alcanzan el 3%, aunque excepcionalmente pueden superar el 5%. Según su longitud pueden ser cortas (50 a 100 m) o largas (500 a 1000 m). En las lomas se registra erosión y se encuentran suelos menos profundos, con horizontes superficiales decapitados (Larran, 1994).

Los lotes destinados al ensayo se ubican en una Unidad Cartográfica que se corresponde con la Serie Portela, clasificada taxonómicamente como Argiudol típico fase ligeramente erosionada (INTA, 1989).

Esta Serie se caracteriza por presentar un horizonte superficial de 30 cm de espesor, con buen contenido de materia orgánica y textura franco-limosa o franco-arcillo-limosa. Con un cambio abrupto, aparece el horizonte subsuperficial B2t, de aproximadamente 60 cm de espesor, muy fuertemente textural, arcilloso, pesado, potente y con estructura prismática fuerte.

Este suelo resulta fértil, con buena aptitud agrícola y permeabilidad moderadamente lenta debido al alto tenor de arcilla en el horizonte B2t.

La descripción completa de esta Serie se presenta en el Anexo I.

3.4. Descripción del ensayo

Para alcanzar el objetivo de evaluar los efectos de diferentes combinaciones de manejo de residuos y laboreo profundo sobre algunas propiedades indicadoras de la calidad de los suelos, durante el desarrollo del cultivo de maíz 2000/01, se compararon los seis tratamientos que se detallan a continuación:

- *md Mínima disturbación:* Monte que nunca se utilizó para reparo de hacienda y no se cultivó durante el período de ensayo.
- *MD Máxima disturbación:* Lote con más de diez años de labranza convencional. No fue cultivado durante el período de ensayo. Recibió aplicación periódica de herbicidas.
- *SD Siembra directa:* Implantación del cultivo con empleo exclusivo de la sembradora de siembra directa, el 10 de septiembre de 2000.
- *SDS Siembra directa con subsolado:* Aplicación de subsolador plano con 90 cm de separación entre cuerpos a 40 cm de profundidad, el 9 de agosto de 2000. Implantación del cultivo con sembradora de siembra directa, el 10 de septiembre de 2000.
- *LR Labranza reducida:* Utilización de una pasada de arado de reja y vertedera y otra de disco el 3 de agosto de 2000. Implantación del cultivo con sembradora tradicional, el 10 de setiembre de 2000.
- *LRS Labranza reducida con subsolado:* Utilización de una pasada de arado de reja y vertedera y otra de disco el 3 de agosto de 2000. Aplicación de subsolador plano con 90 cm de separación

entre cuerpos a 40 cm de profundidad, el 9 de agosto de 2000. Implantación del cultivo con sembradora tradicional, el 10 de setiembre de 2000.

Los tratamientos md y MD fueron considerados como situaciones de referencia.

Los tratamientos cultivados durante el ensayo (SD, SDS, LR y LRS) se localizaron en dos lotes de 35 ha cada uno que, hasta cinco años antes del ensayo, se conducían de manera semejante a la que se siguió empleando en la situación de máxima disturbación. A partir de ese momento, los sistemas de labranza experimentados, se utilizaron en forma continua para implantar cultivos idénticos (Tabla 2). Este manejo, difiere del empleado corrientemente por los productores de la zona, respecto de la periodicidad de las labores profundas

Tabla 2. Historial de uso de los lotes empleados para los ensayos de labranza.

Campaña	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01
Cultivo	SOJA	GIRASOL	TRIGO/ SOJA	MAIZ	TRIGO/ SOJA	MAIZ

Los tratamientos culturales comunes a los tratamientos SD, SDS, LR y LRS fueron los siguientes:

- *Barbecho químico*: Glifosato ($2,0 \text{ l. ha}^{-1}$) y 2,4-D ($2,0 \text{ l. ha}^{-1}$).
- *Siembra*: Híbrido Pioner 752 Bt, a 70 cm entre surcos el 10 de septiembre de 2000, que determinó una densidad de siembra uniforme en todos los ensayos.
- *Fertilización*: Localizada en el momento de la siembra, a razón de 150 kg. ha^{-1} de fosfato diamónico (PDA), dosis que equivale aproximadamente a 27 Kg. de nitrógeno y 33 Kg. de fósforo por hectárea.

- *Pulverización de pre-emergencia:* Atrazina ($4,0 \text{ l.ha}^{-1}$) y Acetoclor ($2,0 \text{ l.ha}^{-1}$), que produjo un control total de las malezas en todos los ensayos.

En los tratamientos LR y LRS, la cobertura provista por los residuos superficiales fue de aproximadamente el 60%.

En los casos de SDS y LRS, en los que el suelo se encontraba en condición friable al momento de la labor, se verificó una rotura completa del mismo hasta los 40 cm de profundidad, suficiente para la eliminación de los pisos de labor.

La cosecha de maíz se realizó el 30 de mayo de 2001, en condiciones normales de suelo friable.

Se empleó el diseño estadístico completamente aleatorizado con tres repeticiones por tratamiento. Cada repetición consistió en una parcela de 50 x 100 m. Los valores de las propiedades se sometieron a análisis estadístico de comparación de medias (Snedecor y Cochran, 1984).

3.5. Propiedades evaluadas

Las mediciones directas fueron densidad aparente actual (DAP), densidad aparente máxima (DAP máxima), resistencia a la penetración (RP), estabilidad de agregados (EA), distribución de tamaño de agregados (DTA), humedad gravimétrica (HG), infiltración (IN) y escurrimiento (ES), materia orgánica (MO), cobertura de suelo (COB) y rendimiento en grano del cultivo. Para la mayoría de ellas, las observaciones se realizaron en dos momentos del ciclo del cultivo y en diferentes profundidades del perfil, correspondientes a los horizontes genéticos del mismo (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades evaluadas, momentos y profundidades de muestreo en ensayos de labranza en un suelo Argiudol típico de la pampa ondulada.

Propiedad del suelo evaluada	Momento de muestreo		Profundidad de muestreo (cm)	Repeticiones por determinación
	Siembra-emergencia (1)	Post-cosecha (2)		
Densidad aparente actual	X	X	0-20; 20-40; 40-60	3
DAP máxima	X		0-20; 20-40; 40-60	3
Resistencia a la penetración	X	X	0-25; 26-40; 41-60	3
Distribución de tamaño de agregados	X	X	0-20; 20-40; 40-60	3
Estabilidad de agregados		X	Superficial (0-10 cm)	3
Infiltración-escurrimiento	X			3
Materia orgánica (total, vieja y joven)		X	0-5; 5-20	3
Cobertura	X	X	superficial	3
Humedad gravimétrica	X	X	0-20; 20-40; 40-60	3

(1) 30 de septiembre de 2000

(2) 8 de junio de 2001

El segundo grupo de indicadores utilizados, quedó constituido por diferentes combinaciones de las propiedades anteriores, sintetizadas en los siguientes índices: compactación relativa (CR), índice anisotrópico (IA),

diámetro ponderal medio de agregados (DPM), e índices de degradación relativa (IDR).

Se determinó además el rendimiento en grano del cultivo de maíz al momento de la cosecha para los tratamientos de labranza, a los fines de evaluar un indicador biológico de síntesis de la calidad del suelo.

Las metodologías empleadas en cada una de las determinaciones se detallan a continuación.

3.5.1. Densidad aparente actual (DAP)

Se utilizó el método del cilindro (Blake, 1986), consistente en el empleo de un cilindro de aluminio, que se entierra en forma perpendicular a la superficie del suelo y permite extraer una muestra de suelo de volumen conocido que se seca en estufa a 105 ° C. La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$DAP \text{ (Mg.m}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Peso de muestra seca}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

A cada muestra se le determinó el contenido de humedad (HG), a los fines de verificar la interacción DAP-HG, y la existencia de fenómenos de hinchamiento-contracción, propios de este tipo de texturas (Taboada y Micucci, 2004).

3.5.2. Densidad aparente máxima (DAPmáx)

Se determinó mediante la prueba de compactación Proctor (Árpád, 1980) en laboratorio, sobre muestras por triplicado.

Las muestras se obtuvieron en siembra-emergencia de las profundidades 0 a 20, 20 a 40 y 40 a 60 cm.

Dado que el efecto principal de las labores se registra sobre los horizontes superficial (0-20 cm) y subsuperficial (20-40 cm), el test Proctor se realizó en el primero de ellos para todos los tratamientos, mientras que

en el segundo horizonte se efectuó para SD, md y MD y en el horizonte más profundo (40-60 cm) sólo para LRS, a los fines de verificar la compactabilidad de este horizonte.

3.5.3. Compactación relativa (CR)

Este parámetro contribuye a mejorar el valor de la DAP como indicador de la compactabilidad de los suelos (Kurtay y Reece, 1970; Hakansson, 1990). Expresa la relación entre la DAP, derivada de las condiciones del suelo en un momento determinado y la DAP_{máx}, la cual, dado el método empleado para su obtención, representa el valor de compactación máximo que puede tomarse como un estado de referencia. Se determina mediante el cociente:

$$CR (\%) = \frac{\text{DAP del tratamiento "n"}}{\text{DAP máxima del horizonte}} * 100$$

3.5.4. Resistencia a la penetración (RP)

Esta variable se determinó mediante el empleo de un penetrómetro de impacto con cono de 30° (Norma IRAM 8063).

El método consiste en dejar caer una pesa desde una altura conocida, y registrar el número de golpes necesario para enterrar el penetrómetro a una profundidad determinada.

Los momentos de observación fueron siembra-emergencia y post-cosecha del cultivo, en cada uno de los cuales se efectuaron tres repeticiones por tratamiento entre los 0 y 60 cm de profundidad. Cada uno de los valores obtenidos corresponde a un tramo de 5 cm del perfil.

En las determinaciones de RP se registró la humedad del suelo, a los fines de caracterizar la estrecha relación RP-HG, y poder hacer comparaciones entre distintas humedades del suelo.



3.5.5. Índice anisotrópico (IA)

Como síntesis del estado estructural, se calculó un Índice de Anisotropismo del perfil (IA), que procura valorar numéricamente la homogeneidad físico-mecánica del suelo en los horizontes modificados por la labranza o perfil cultural, lugar en el cual se encuentran las mayores diferencias en RP. El IA tiene la siguiente expresión matemática (Cisneros et al., 1998, a):

$$IA \text{ (Mpa)} = 0.7 * \left(\sum \frac{RP_i * Prof_i}{Prof_{total}} \right) + 0.3(RP_{max} - RP_{min})$$

donde:

IA = índice anisotrópico en Mpa (unidades utilizadas para RP)

RP_i = RP de cada horizonte o capa (cada 5 cm)

Prof_i = espesor de la medición (5 cm)

Prof_{total} = profundidad analizada (40 cm)

RP máx = valor máximo de RP en la profundidad bajo estudio (40 cm)

RP mín = valor mínimo de RP en la profundidad bajo estudio (40 cm)

El primer miembro de la ecuación representa la RP ponderada del perfil cultural, e indica la dureza total a la cual se ven sometidas las raíces. Se aplica un factor de ponderación arbitrario de 0,7 para resaltar la importancia de los valores absolutos de RP sobre el enraizamiento. Obviamente los valores de IA son comparables sólo cuando las humedades de los perfiles son similares.

El segundo miembro expresa la magnitud de las diferencias en RP con que se encuentran las raíces, y es una medida de la heterogeneidad mecánica del perfil. Su ponderación arbitraria se consideró relativamente menor (0,3).

3.5.6. Distribución de tamaño de agregados (DTA)

Esta propiedad se determinó mediante una modificación del método propuesto por De Boodt y De Leenher (1967).

Las muestras se obtuvieron con un marco de 20 x 20 x 10 cm y posteriormente se dejaron secar al aire. La separación de agregados de diferente diámetro, se efectuó mediante el uso de nueve tamices de diferente malla, ubicados en un sistema mecánico de agitación.

Para simplificar la presentación y el tratamiento de la información, los agregados se agruparon en cuatro clases según su diámetro: mayores de 50 mm; entre 11,2 y 50 mm; entre 5 y 11,2 mm y menores de 5 mm.

Los agregados incluidos en las dos últimas clases mencionadas, fueron considerados como los de mayor vinculación con la presión de laboreo.

Las muestras se extrajeron en siembra-emergencia y post-cosecha del cultivo en los tratamientos labreados durante el ensayo y solamente en post-cosecha en md y MD. En todas las situaciones mencionadas y en cada una de las tres profundidades bajo estudio (0 a 20; 20 a 40 y 40 a 60 cm) se efectuaron tres repeticiones.

3.5.7. Diámetro ponderal medio de agregados (DPM)

Esta expresión refleja el peso relativo de las proporciones de agregados de suelo de distinto tamaño, presentes en cada horizonte del perfil, de acuerdo al peso de cada rango de tamaños.

Para calcular el DPM se empleó la siguiente expresión (Kemper y Rosenau, 1986):

$$DPM_h(\text{cm}) = \sum DP_r * PPT_r$$

DPM_h = Diámetro ponderal medio del horizonte "h"

DP_r = Diámetro medio para cada rango de tamaño de agregados

$P_{P_t r}$ = Porcentaje del peso total correspondiente a cada
diámetro medio

En base a las clases establecidas para analizar la distribución de tamaño de agregados, los diámetros medios considerados para el cálculo de DPM fueron 100, 25, 8 y 2 mm.

3.5.8. Estabilidad de agregados (EA)

Para evaluar esta propiedad, se empleó la primer etapa del método de Henin et al (1972).

Según esta metodología, las muestras de suelo se desmenuzan manualmente, se extienden al aire para su secado y luego se tamizan por malla de 2 mm.

Se colocan tres alícuotas de suelo de 5 g en otros tantos erlenmeyers. A una de ellas se le agrega 5 cm³ de alcohol etílico y a otra 5 cm³ de benceno; luego de 5 minutos se agregan 200 cm³ de agua destilada en los tres recipientes.

Se dejan reposar 30 minutos, se enrasan a 300 cm³ y se agitan 20 veces en forma intensa. El contenido se vuelca en un tamiz de 250 micrones ubicado sobre un recipiente cóncavo que permita que el líquido sobrenade ligeramente la malla del tamiz. El conjunto tamiz-recipiente se somete a 20 movimientos helicoidales. Las partículas de suelo retenidas sobre el tamiz, se recogen con la ayuda de una piseta, sobre una bandeja de aluminio tarada, y se llevan a estufa a 105° C, para pesarlas una vez secas.

La fórmula para el cálculo del Índice de Estabilidad es la siguiente:

$$I_s (\text{cm}) = \frac{\text{Peso seco alícuota de benceno}}{\text{PSagua} + \text{PSalcohol} + \text{PSbenceno}} \cdot 3$$

donde:

Is = Índice de Estabilidad de agregados

PS benceno = Peso seco alícuota benceno (g)

PS agua = Peso seco alícuota agua (g)

PS alcohol = Peso seco alícuota alcohol (g)

Al emplear sólo la primera etapa del método, cada índice obtenido debe compararse con el correspondiente a la muestra considerada testigo por su mayor estabilidad a la cual, arbitrariamente, se le asigna el valor 100%. En este caso, esa condición fue asignada a la situación de mínima disturbación (md).

Las observaciones se efectuaron en post-cosecha y en la parte superficial del suelo. Cada medición fue realizada por triplicado.

3.5.9. Materia orgánica (MO)

En este trabajo se determinaron los valores de materia orgánica total y materia orgánica vieja, según el método de fraccionamiento por tamizado propuesto por Andriulo et al. (1991).

Las muestras de suelo secadas al aire se pasan por un tamiz de 2 mm de diámetro. Sobre la fracción no retenida por el tamiz, se determina Carbono Orgánico Total (COT) por el método de Walkley y Black (Jackson, 1975).

Luego se toma una porción de la muestra, se la tamiza suavemente por una malla de 0,1 mm y, con igual método, se determina carbono orgánico en la porción que atravesó el tamiz. Para obtener el Carbono Orgánico Viejo (COV), dicho resultado se relaciona con la misma masa de suelo mineral sobre la que se calculó el carbono orgánico total. Por diferencia entre los valores de Carbono Orgánico total y Carbono Orgánico viejo, se obtiene el Carbono Orgánico Joven (COJ). Al multiplicar por uno con setenta y dos (1,72), cualquiera de los valores de carbono orgánico,

se obtiene el valor de las distintas fracciones de materia orgánica (total, vieja y joven).

Las mediciones se efectuaron en post-cosecha en el horizonte superficial, en las profundidades 0 a 5 y 5 a 20 cm.

Los muestreos se realizaron en ambas situaciones de referencia y en los tratamientos SD y LR ya que, según Díaz-Zorita (2000) resulta poco probable que el subsolado tenga algún efecto sobre el contenido de las fracciones de la materia orgánica. Por otra parte, la mayor parte de los modelos de carbono del suelo plantean que los cambios en la materia orgánica del suelo se dan en el mediano y largo plazo, lo cual excede los alcances del presente trabajo

Para cada tratamiento, situación de referencia y profundidad se realizaron tres repeticiones. Cada repetición consistió en una muestra compuesta por veinte submuestras.

3.5.10. Infiltración y escurrimiento (IN-ES)

Los parámetros de infiltración instantánea, final y coeficientes de escurrimiento se determinaron mediante el empleo de un micro-simulador de lluvia (Irurtia y Mon, 1994).

Este instrumento está integrado por un cubo de 1,5 m de altura; y 0,25 x 0,25 m de base, y un vertedero en el que se recoge el escurrimiento. Sobre la superficie de la base (625 cm²) se hace caer una cantidad conocida de lluvia (120 mm) con intensidad constante (100 mm. h⁻¹) mediante un sistema de picos. Cada 5 minutos se realiza la lectura del volumen que escurre en el vertedero y, por diferencia con la lámina de lluvia aplicada, se calcula la lámina de infiltración.

Se calculó también el coeficiente de escurrimiento (CEsc) (Schwab et al., 1981) como:

$$CEsc (\%) = \frac{\text{Lluvia total} - \text{Infiltración total}}{\text{Lluvia total}}$$

Las mediciones se efectuaron en siembra-emergencia.

Con la finalidad de evaluar la capacidad de control de la erosión hídrica de los distintos tratamientos, los datos de escurrimiento acumulado obtenidos con el simulador de lluvia, se compararon con el potencial de escurrimiento calculado por el método de la curva número de escurrimiento del SCS del USDA (1986):

$$Q \text{ (mm)} = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{(P + 0.8 * S)}$$

Q = capacidad de escurrimiento estimada (mm)

P = precipitación total (120 mm)

S = capacidad máxima de retención de agua,

$$S \text{ (mm)} = \frac{25400}{CN} - 254$$

CN = curva número

Para el cálculo de la capacidad de escurrimiento, se emplearon los valores de curva número correspondientes al "Grupo Hidrológico C" que incluye a los Argiudoles típicos y los usos del suelo considerados más representativos de los tratamientos ensayados, según el detalle de la Tabla 4.

Tabla 4. Selección de Curva Número para los tratamientos de labranza.

Descripción del uso de la tierra	Tratamiento	Curva Número
Barbecho con pobre cobertura.	máxima disturbación	90
Cultivo de escarda no en contorno, con residuos y pobre cobertura.	LR LRS	87
Cultivo de escarda no en contorno, con residuos y buena cobertura.	SD SDS	82
Pastura con buena cobertura.	Mínima disturbación	74

3.5.11. Cobertura del suelo (COB)

Este valor se estableció por el método de la transecta lineal (Lafren et al, 1981). En cada uno de los tratamientos cultivados durante el ensayo, se efectuaron tres repeticiones tanto en siembra-emergencia como en post-cosecha. En el caso de las situaciones de referencia, la cobertura se determinó de igual manera pero sólo en post-cosecha.

Por diferencia entre el valor de cobertura final e inicial de cada tratamiento cultivado durante el ensayo, se calculó la disminución de cobertura originada por descomposición de residuos vegetales. La merma de cobertura debida a la aplicación del subsolado, se determinó en siembra-emergencia, mediante la diferencia de cobertura existente entre los tratamientos que no incluyeron esta labor y la variante en la que estaba incorporada.

3.5.12. Rendimiento del cultivo

Se cosecharon y procesaron manualmente muestras correspondientes a un metro cuadrado de cultivo, a partir de las cuales se calculó el rendimiento en kilogramos por hectárea, en muestras por triplicado.

3.5.13. Índices de degradación relativa (IDR)

Estos índices expresan la relación existente entre el valor de las propiedades evaluadas para los diferentes tratamientos y el correspondiente al de mínima disturbación (md), situación que representa la condición inalterada de los horizontes que integran el perfil.

A los fines de que todos los IDR den valores mayores que la situación de md, es decir que cuanto mayor sea el IDR, más grande sea la degradación relativa, se utilizaron dos métodos de cálculo, según la variable analizada.

En el caso de densidad aparente actual y el índice anisotrópico, en los cuales los valores de la condición inalterada se estima que resultan menores a los tratamientos, la fórmula aplicada para calcular la degradación relativa fue:

$$I.D.R = \frac{VP \text{ "n" }}{VP \text{ md}}$$

Para estabilidad de agregados, materia orgánica, infiltración acumulada y cobertura, en cambio, los índices de degradación relativa se calcularon como:

$$I.D.R = \frac{VP \text{ md}}{VP \text{ "n"}}$$

En ambos casos, cada término de la fórmula tiene el siguiente significado:

IDR = Índice de degradación relativa

VP md = Valor de la propiedad para la situación de mínima
disturbación

VP "n" = Valor de la propiedad para el tratamiento "n"

Dada la naturaleza de los datos usados para calcular estos índices, fue posible establecer la existencia de diferencias significativas en los IDR correspondientes a densidad aparente actual, estabilidad de agregados, materia orgánica y cobertura; pero no así en los casos del índice anisotrópico e infiltración.

3.5.14. Humedad gravimétrica (HG)

Esta variable se calculó a partir de las muestras extraídas para determinar densidad aparente, mediante la siguiente expresión:

$$H.G. = \frac{\text{Peso suelo Húmedo} - \text{Peso suelo Seco}}{\text{Peso suelo Seco}} * 100$$

Las observaciones se efectuaron por triplicado en siembra-emergencia y post-cosecha y en las profundidades 0 a 20; 20 a 40 y 40 a 60 cm, en los momentos de la determinación de DAP y RP.

Dado que el objeto de esta medición no fue utilizarla como indicadora de la calidad del suelo, sino relacionarla con propiedades como DAP y RP, los resultados obtenidos se presentan en el Anexo II.

3.6. Análisis y síntesis de resultados

Durante la presentación de resultados se testearon las principales correlaciones lineales simples o de otro tipo entre propiedades, utilizando los comandos del programa Excel.

Hacia el final de la exposición y con el objeto de organizar y concentrar la información, se testearon las correlaciones entre la propiedad con mayor capacidad de discriminación (infiltración) y las restantes, para los horizontes afectados por el laboreo y para algunos aspectos considerados de mayor influencia en la correlación.

En base a los criterios mencionados, se establecieron las siguientes ecuaciones de edafotransferencia:

- infiltración vs. densidad aparente actual en los horizontes superficial y subsuperficial
- infiltración vs. densidad aparente máxima en el horizonte superficial
- infiltración vs. resistencia a la penetración máxima y mínima en los horizontes superficial y subsuperficial
- infiltración vs. resistencia a la penetración medida cada 5 cm entre la superficie y los 40 cm de profundidad
- infiltración vs. índice anisotrópico
- infiltración vs. porcentaje de agregados con diámetro mayor de 50 mm
- infiltración vs. porcentaje de agregados con diámetro entre 11,2 y 50 mm
- infiltración vs. porcentaje de agregados con diámetro menor de 11,2 mm
- infiltración vs. estabilidad de agregados
- infiltración vs. materia orgánica total entre 0 y 5 cm de profundidad
- infiltración vs. materia orgánica total entre 5 y 20 cm de profundidad

- infiltración vs. materia orgánica vieja entre 0 y 5 cm de profundidad
- infiltración vs. materia orgánica vieja entre 5 y 20 cm de profundidad
- infiltración vs. cobertura

Dada la complejidad del análisis de la información obtenida, derivada de su diversidad espacial y temporal, se diseñó un esquema tentativo de evaluación de la degradación.

Para su elaboración, se utilizaron los índices de degradación relativa correspondientes a los horizontes afectados por las labranzas y los momentos de muestreo en que fueron obtenidos.

Dada la forma de cálculo de los índices de degradación relativa, a la situación de mínima disturbación (md) se le asignó un IDR igual a uno en cada combinación propiedad-horizonte-momento de muestreo.

Para las propiedades en las que hubo determinaciones en siembra-emergencia y post-cosecha, los puntajes de cada momento de muestreo se adicionaron por separado, debido a los diferentes contenidos hídricos de cada uno de ellos.

La suma total de cada tratamiento se dividió por su equivalente para la situación de mínima disturbación, y de esa manera se obtuvo el índice de degradación del tratamiento.

Finalmente, con el objeto de relacionar el índice de degradación de los tratamientos cultivados durante el ensayo con los rendimientos obtenidos, el índice de cada uno de ellos se dividió por el correspondiente al tratamiento cultivado con menor degradación relativa.

Estos últimos IDR se correlacionaron con los rendimientos alcanzados, a los fines de testear su relación con el indicador biológico principal.

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Densidad aparente actual (DAP)

La DAP mostró importantes diferencias dentro de los tratamientos ensayados aunque, como ya fuera mencionado por Tollner et al. (1984), resultó sumamente sensible a los cambios en contenido hídrico (Anexo II), por lo cual se analizarán sus variaciones en estos dos aspectos.

En siembra-emergencia, en el horizonte superficial, md presenta valores significativamente menores que el resto de los tratamientos, entre los cuales no aparecen diferencias significativas (Tabla 5).

Entre 20 y 40 cm, se expresa significativamente la menor DAP del tratamiento SD y la semejanza entre SDS y md. El tratamiento LRS se comportó en forma similar a la situación de máxima disturbación, lo cual indicaría que esta combinación de labores no tendría efectos significativos en la reparación de los valores de DAP.

Dado que para períodos semejantes de aplicación de siembra directa, Cisneros et al (1998, b) no hallaron disminuciones de DAP en el horizonte subsuperficial, mientras que Weisskopf et al (2005) mencionan el efecto favorable de la SD sobre dicho horizonte, los resultados obtenidos podrían señalar tanto un efecto positivo de la siembra directa sobre el horizonte subsuperficial, como la inexistencia de piso de arado al inicio del ensayo, debido a la menor probabilidad de formación de esas estructuras en suelos expansibles que mencionaran Taboada y Micucci (op. cit., 2004).

Entre 40 y 60 cm, no se registraron diferencias significativas entre tratamientos. Esto indicaría que, a semejanza de lo verificado en suelos de textura más gruesa por Abu-Hamdeh (2003) y Cholaky (2003), en este tipo de suelo los efectos de las labores profundas sobre la densidad aparente, tampoco se evidencian más allá de los horizontes sobre los que actúan directamente o a lo sumo un poco por debajo de ellos (Botta et al., 2006).

Tabla 5. Densidad aparente actual (Mg. m^{-3}) según profundidad y momento de muestreo para diferentes sistemas de laboreo

Profundidad (cm)	Siembra - emergencia						Post - cosecha					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
0-20	1.25 (a)	1.28 (a)	1.22 (a)	1.26 (a)	1.01 (b)	1.22 (a)	1.18 (a)	1.09 (ab)	1.15 (a)	1.15 (a)	0.94 (b)	1.15 (a)
20-40	1.20 (c)	1.23 (bc)	1.28 (b)	1.39 (a)	1.26 (bc)	1.37 (a)	1.17 (a)	1.12 (a)	1.16 (a)	1.12 (a)	1.16 (a)	1.22 (a)
40-60	1.15 (a)	1.31 (a)	1.28 (a)	1.34 (a)	1.20 (a)	1.23 (a)	1.16 (ab)	1.09 (b)	1.17 (ab)	1.10 (b)	1.08 (b)	1.21 (a)

Letras diferentes dentro de cada profundidad, indican diferencias significativas al 5% entre tratamientos, en cada momento de muestreo.

En post-cosecha, los valores de DAP resultan inferiores a los de siembra-emergencia. Esta situación puede relacionarse con el mayor valor de humedad gravimétrica promedio presente en este momento de muestreo (35,73%) respecto de siembra-emergencia (29,18%) y al posible efecto de expansión-contracción asociado a los Argiudoles típicos (Taboada y Micucci, 2004, op. cit.) o a otros suelos con elevado contenido de arcilla (Chen et al., 2005).

En la etapa final del ensayo, el horizonte de 0 a 20 cm, en el tratamiento md presenta un valor similar al de SDS y menor que el resto de los tratamientos, lo cual indicaría un bajo nivel de recompactación por tránsito para el lapso de tiempo utilizado.

En el horizonte subsuperficial, los valores de DAP son menores que los de siembra-emergencia, y no muestran diferencias significativas entre tratamientos, probablemente debido al mayor contenido hídrico del perfil en esta etapa de muestreo, el cual provocaría una homogeneización de los valores de DAP.

Entre 40 y 60 cm, MD registró un valor significativamente mayor que md, SDS y LRS y cercano al de los tratamientos sin subsolado.

La información obtenida parece indicar que el efecto positivo del subsolado registrado por Truman et al (2004) no ocurre siempre a la misma profundidad y tiene un efecto de corta duración sobre el horizonte subsuperficial.

Tal como lo informaran Camara y Klein (2005) y Fernández et al (2000), en esta medición, SDS presentó valores similares a md en las tres profundidades y menores que los del resto de los tratamientos.

Por otra parte, los datos correspondientes a los tratamientos con SD resultaron sensiblemente menores que los informados para Argiudoles típicos por Laszlo y Gyuricza (2004).

Es de destacar que aunque Logsdon y Karlen (2004) postulan que la presencia de macroporos continuos podría incrementar los valores críticos de densidad aparente, ninguno de los valores registrados superó aquellos considerados por da Silva et al (2005) como restrictivos para el crecimiento radicular ($1,35 - 1,65 \text{ Mg. m}^{-3}$) ni tampoco los mencionados por Griffith et al. (1977) ($1,4 - 1,5 \text{ Mg. m}^{-3}$), sino que todos quedaron comprendidos entre los valores ideales para esta propiedad (menores a $1,40 \text{ Mg. m}^{-3}$) según las consideraciones de USDA (1998) o bien, casi por completo debajo del límite inferior ($1,35 \text{ Mg. m}^{-3}$) establecido por Roger-Estrade et al. (2000) para las estructuras internas tipo "r" según el método del perfil cultural.

Los resultados expuestos, avalarían la especulación efectuada anteriormente respecto de la inexistencia de un piso de arado al inicio del ensayo.

La expresión gráfica de los resultados (Figuras 2 y 3) permite visualizar las tendencias entre los conjuntos de valores, ya observadas en la Tabla 5.

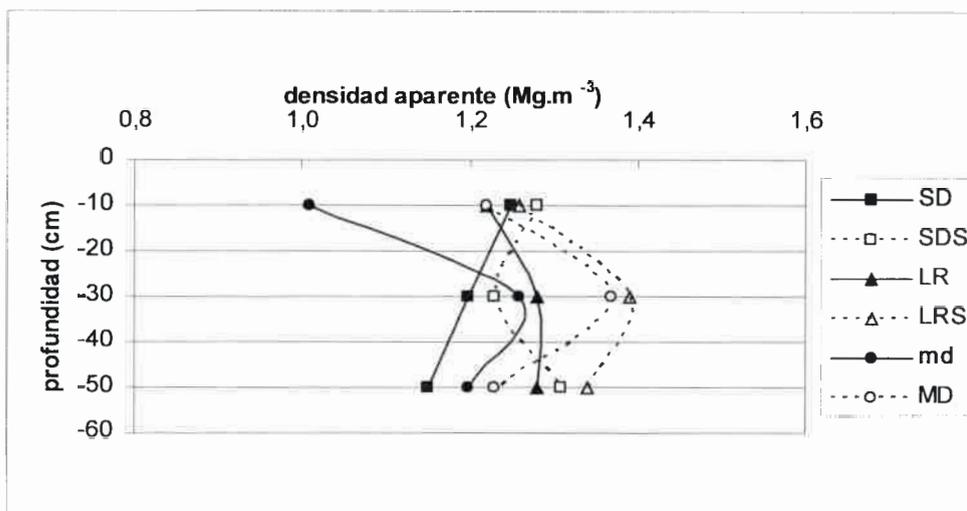


Figura 2. Perfil de densidad aparente en siembra-emergencia, bajo diferentes sistemas de labranza en un Argiudol típico de la pampa ondulada

La similitud entre los perfiles de DAP para md y MD en ambos momentos de muestreo, aunque con valores mayores para MD, expresaría el mayor valor de esta propiedad para el horizonte Bt como consecuencia de su mayor contenido de arcilla. Los perfiles de DAP en MD presentan formas semejantes a las de md pero con valores significativamente más altos. El efecto favorable del subsolado sobre el horizonte subsuperficial se observa solamente en SDS en siembra-emergencia y en LRS en post-cosecha. SD en siembra-emergencia expresa la mayor DAP en superficie, mientras que en post-cosecha casi no registra variaciones a través del perfil.

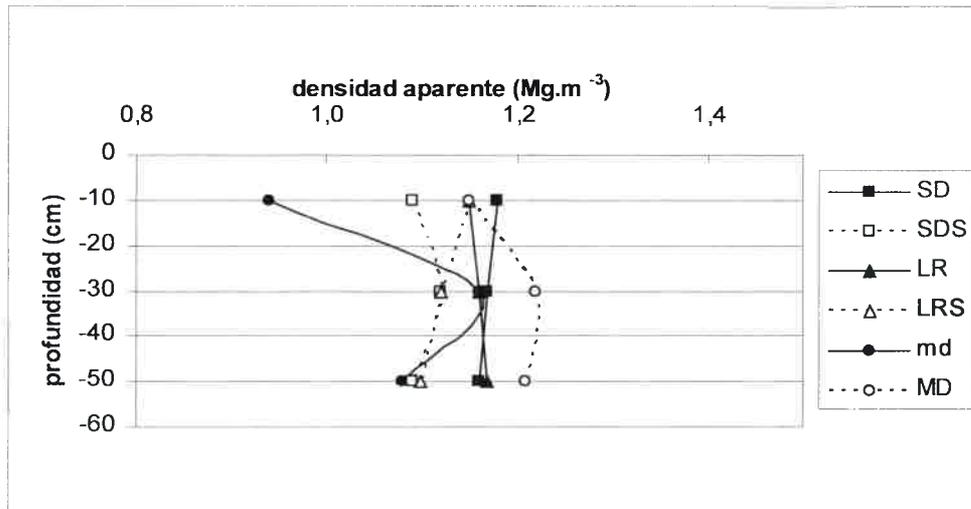


Figura 3. Perfil de densidad aparente en post-cosecha, bajo diferentes sistemas de labranza en un Argiúdol típico de la pampa ondulada

En las Figuras 4 a 6, se observa la asociación funcional entre DAP y humedad gravimétrica para cada uno de los horizontes, mostrando en forma agregada la variación conjunta de ambas propiedades para todos los tratamientos y épocas de determinación.

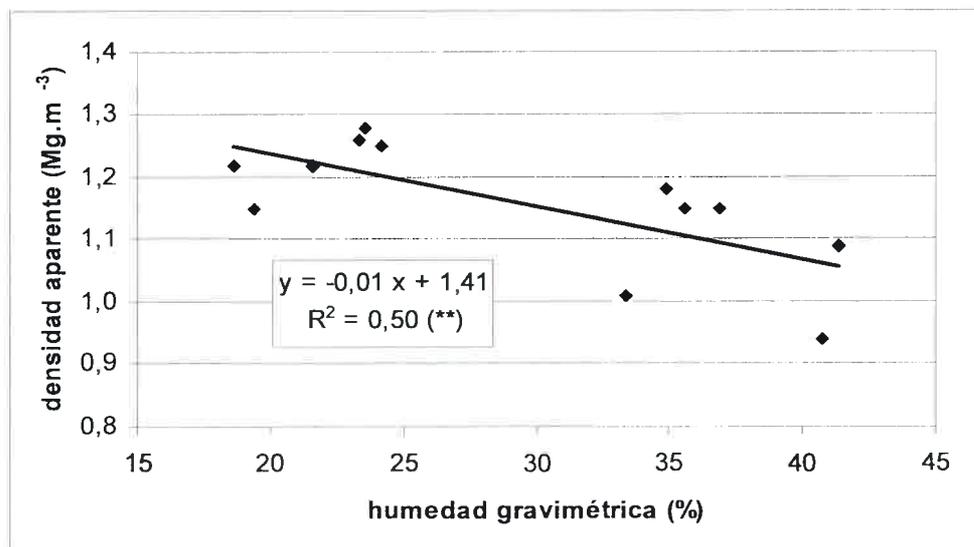


Figura 4. Variación de densidad aparente en el horizonte superficial (0-20 cm) en función de la humedad gravimétrica, para los dos momentos de muestreo

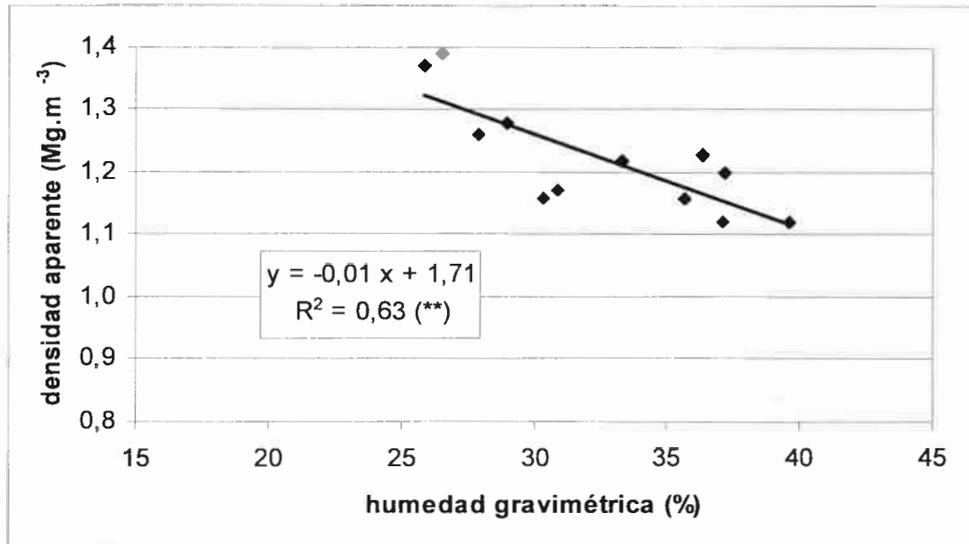


Figura 5. Variación de densidad aparente en el horizonte subsuperficial (20-40 cm) en función de la humedad gravimétrica, para los dos momentos de muestreo

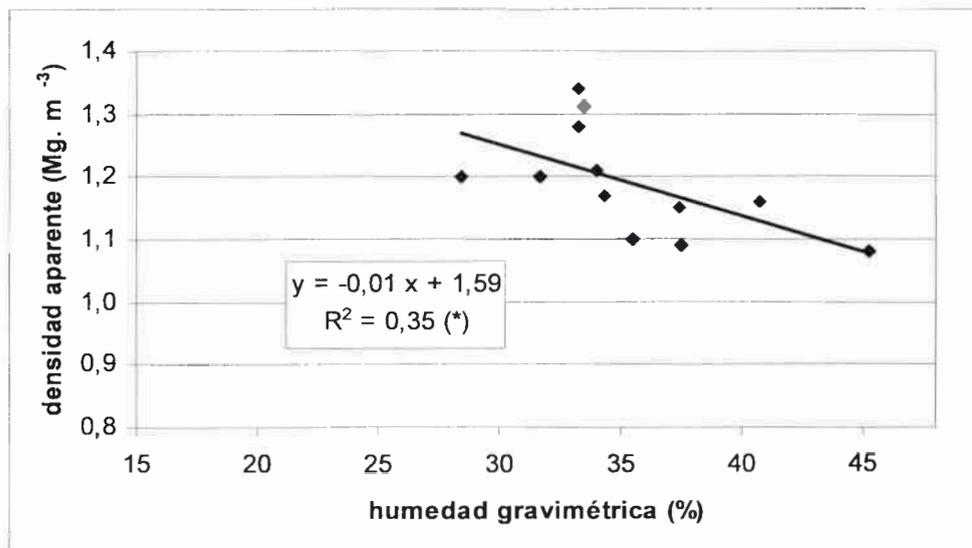


Figura 6. Variación de densidad aparente entre 40 y 60 cm de profundidad en función de la humedad gravimétrica, para los dos momentos de muestreo

Los coeficientes de correlación (R) negativos (0,70644; 0,79213; 0,58724) y significativos al 1% en los horizontes superficial y subsuperficial y al 5% entre los 40 y 60 cm de profundidad. Cada uno de ellos se calculó a partir de doce pares de datos. Esta situación indica una

marcada influencia de la humedad gravimétrica sobre los valores de DAP, que puede llegar a confundir el efecto de los tratamientos.

Esta variación de la DAP con la humedad, es propia de suelos con alto contenido de arcillas, sobre todo expansibles, por lo cual la determinación de esta propiedad requiere un procedimiento muy cuidadoso en cuanto a las condiciones de toma de muestra.

A modo de síntesis de lo hallado para esta propiedad, se destacan las siguientes cuestiones:

a. Todos los tratamientos mostraron mayor compactación superficial que la situación con mínima disturbación, incluso los que tuvieron subsolado previo, lo que indicaría un efecto acumulado de compactación a lo largo de la historia agrícola del suelo, en esta porción del perfil.

b. La siembra directa, tal como informaran Osunbitan et al (2005); Fabrizzi et al (2005); Dobre et al (2004); Gerster et al (1996); Abu-Hamdeh (2003, op. cit.), no sólo no logra revertir la compactación superficial, sino que tendería a mantenerla o incrementarla.

c. El horizonte subsuperficial, no parece haber sufrido un significativo aumento de la DAP por efecto del uso, sólo se observa un incremento significativo de DAP en seco en máxima disturbación.

d. El subsolado sólo ejerció efectos sobre la DAP en siembra directa en el horizonte de 20 a 40 cm.

e. El comportamiento de esta variable es dinámico en función de la humedad, lo que indicaría efectos de expansión-contracción, propios del material plástico del suelo.

4.2. Densidad aparente máxima (DAP_{máx})

Los valores de DAP_{máx} fueron variables en función de los tratamientos de labranza evaluados y el estado de disturbación del suelo.

Se observaron además diferencias en los contenidos de humedad en los que se alcanzaron los registros de DAP_{máx}, considerados como valores de humedad crítica por Taboada et al. (1998), los cuales a su vez,

difirieron marcadamente de los verificados por Elissondo et al. (2001) en un Argiudol típico.

En conjunto, los valores de DAP_{máx} del horizonte superficial resultaron mayores que los del horizonte subsuperficial (Tabla 6). Esta situación podría adjudicarse a la relación entre esta propiedad y el contenido de arcilla encontrada por Nhantumbo y Cambule (2006) según la cual, los mayores registros de DAP_{máx} se relacionan con contenidos de arcilla de alrededor del 20%, mientras que por encima y por debajo del mismo, la DAP_{máx} disminuye.

Tabla 6. Densidad aparente máxima (Mg. m⁻³) para diferentes contenidos hídricos en un Argiudol típico de la pampa ondulada

Profundidad (cm)													
0 - 20							20 - 40				40 - 60		
Hume- dad (%)	SD	SDS	LR	LRS	md	MD	Hume- dad (%)	SD	md	MD	Hume- dad (%)	DAP máx	
6			1.37				8.4			1.33			
7				1.33			9		1.26				
10		1.32	1.32	1.36		1.33	10			1.37	10	1.33	
12	1.32				1.22		12	1.26					
15	1.37	1.36	1.44	1.51	1.25	1.35	15	1.27	1.25	1.43	15	1.24	
20	1.50	1.32	1.50	1.57	1.37	1.50	20	1.33	1.40	1.53	20	1.40	
25	1.47	1.44	1.48	1.47	1.43	1.44	25	1.45	1.42	1.48	25	1.50	
30	1.39	1.39	1.37	1.38	1.38	1.39	30	1.37	1.35	1.41	30	1.42	
35	1.33	1.28	1.29	1.32	1.28	1.31	35	1.31	1.34	1.34	35	1.33	

Los sombreados destacan el mayor valor de DAP máxima para cada horizonte y tratamiento

En el horizonte superficial y subsuperficial para la condición de mínima disturbación, la humedad crítica es del 25% mientras que, en el

caso de máxima disturbación ese contenido es del 20%. Si se considera lo mencionado por Nhantumbo y Cambule (2006, op. cit.) respecto de la asociación positiva entre humedad crítica y contenido de arcilla del suelo, esas diferencias sólo podrían atribuirse a la diferente historia de laboreo de las dos situaciones de referencia.

Por otra parte, en el horizonte superficial (Figura 7), los tratamientos SD, LR y LRS presentan un comportamiento similar a MD, mientras que SDS se asemeja a mínima disturbación.

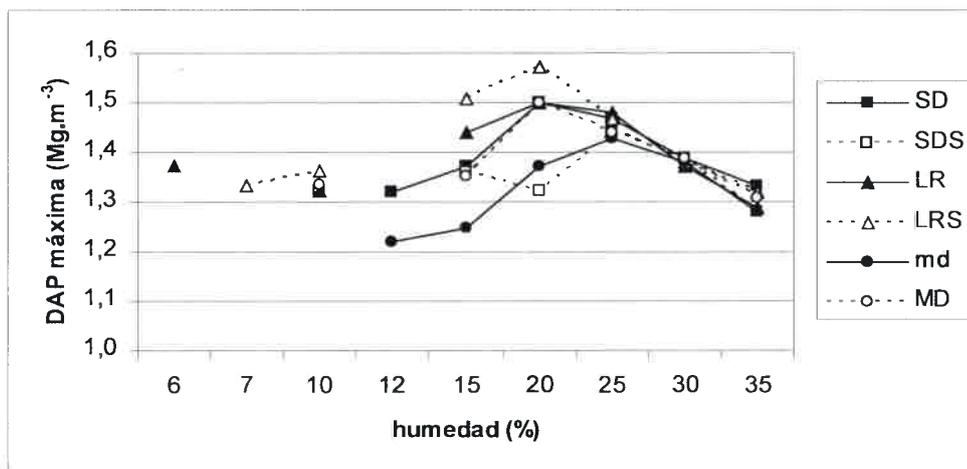


Figura 7. Variación de la DAP máxima entre 0 y 20 cm, en función de la humedad, para diferentes tratamientos de labranza y estados de disturbación en un Argiúdol típico de la pampa ondulada

En el horizonte subsuperficial (Figura 8) SD presenta comportamiento similar a md, probablemente en relación con que la ausencia de disturbio determina que esta propiedad dependa solamente del contenido de arcilla.

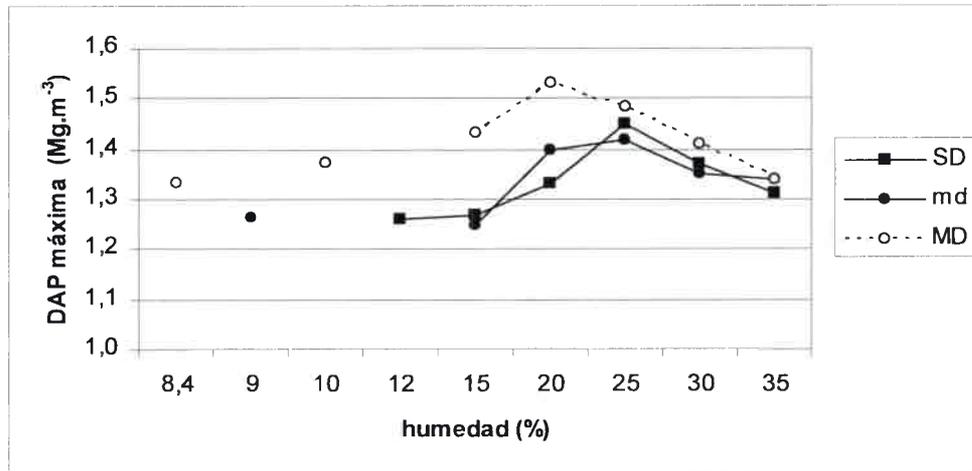


Figura 8. Variación de la DAP máxima entre 20 y 40 cm, en función de la humedad, para diferentes tratamientos de labranza y estados de disturbación en un Argiudol típico de la pampa ondulada

Entre 40 y 60 cm (Figura 9), el único tratamiento evaluado (LRS) expresa el mayor valor de DAP_{máx} con una humedad crítica del 25%.

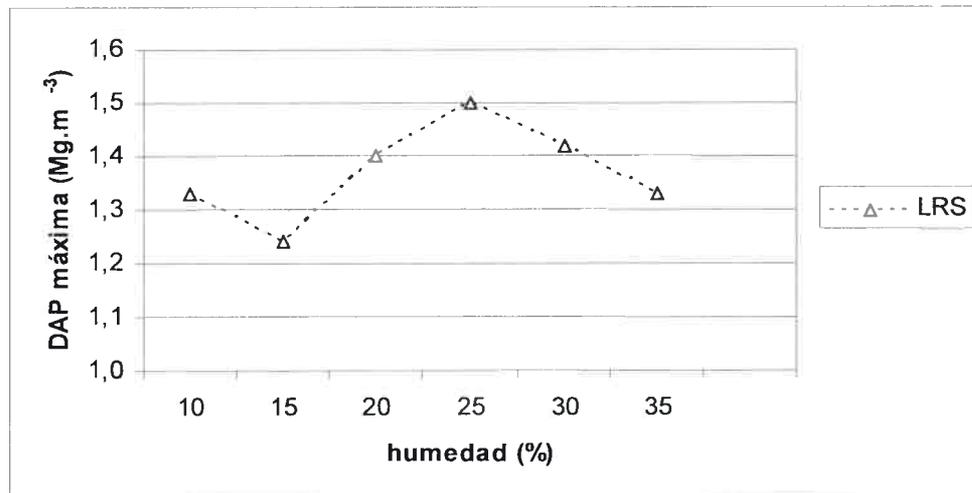


Figura 9. Variación de la DAP máxima entre 40 y 60 cm, en función de la humedad, para un tratamiento de labranza en un Argiudol típico de la pampa ondulada

La información obtenida parece indicar que el subsolado tiende a determinar patrones de comportamiento para DAP_{máx} similares a md,

que disminuyen la susceptibilidad a la compactación e incrementan la probabilidad de encontrar momentos óptimos para el laboreo del suelo.

La asociación entre situaciones de baja disturbación con menores valores de DAP_{máx} registrados a mayores humedades críticas, coincide con lo informado por Taboada et al. (1998, op. cit.) y por Quiroga et al. (1999).

Estos últimos autores verificaron además, en suelos con diferente textura y manejo, asociaciones funcionales negativas entre DAP_{máx} y contenido de materia orgánica total. Una tendencia semejante se expresó en este ensayo en el horizonte superficial (Figura 10) aunque el coeficiente de correlación, calculado a partir de seis pares de datos, no resultó significativo ($R = -0,61428$).

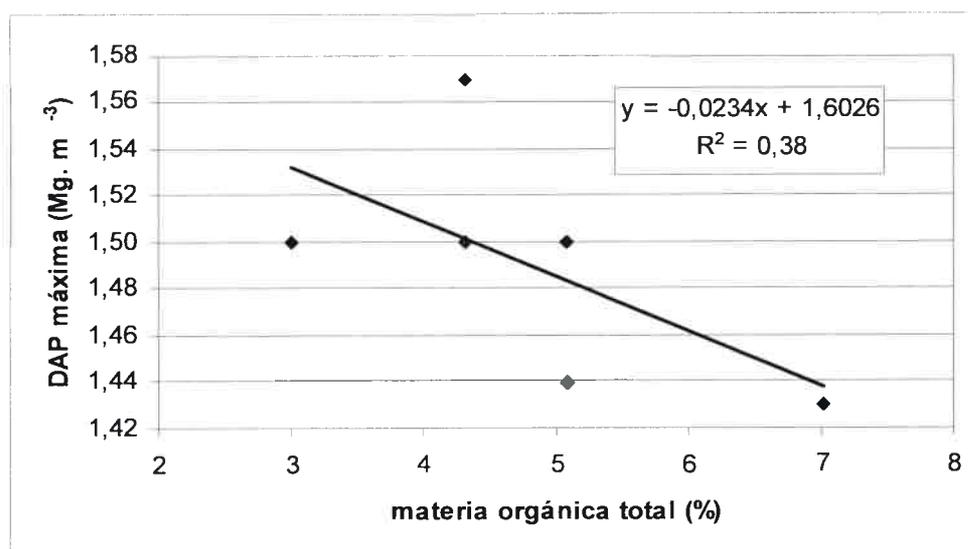


Figura 10. Variación de DAP_{máx} en función del contenido de materia orgánica total, en el horizonte superficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada

Desde otra perspectiva, si se comparan los valores de humedad crítica con los de humedad equivalente correspondientes a los suelos del ensayo (Anexo I) se observa la proximidad entre ambos.

Esa proximidad indica que, al realizar las labranzas en las condiciones acostumbradas de humedad, cercanas a capacidad de campo, el suelo puede expresar su máxima compactación aunque, por

otra parte, el carácter expansivo de su material constitutivo posibilite su autoestructuración.

4.3. Compactación relativa (CR)

Dados los diferentes contenidos hídricos registrados en las dos épocas de determinación (Anexo II) y la significativa correlación negativa hallada entre dichos contenidos y la densidad aparente actual, los valores de CR se analizan en forma independiente para cada momento de muestreo.

En siembra-emergencia, en el horizonte superficial sólo la CR de la situación de mínima disturbación resulta significativamente menor que la de máxima disturbación (Figura 11).

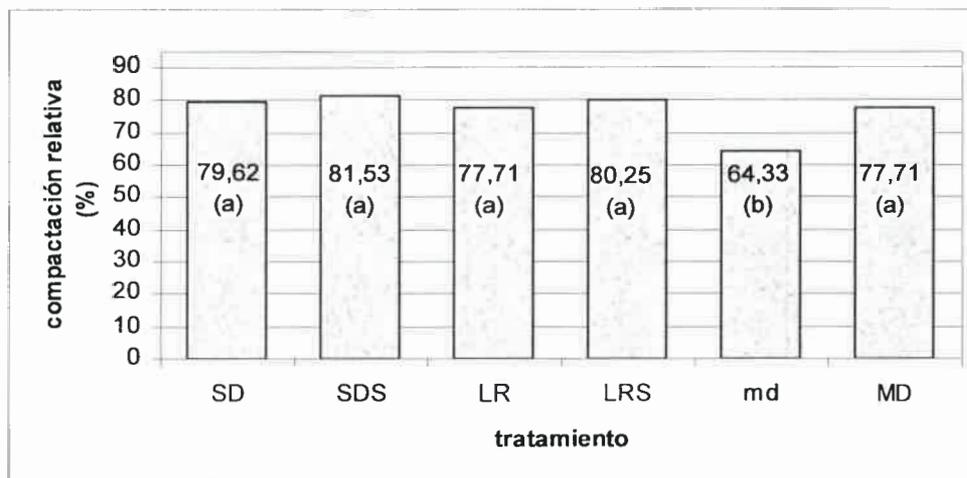


Figura 11. Compactación relativa en siembra-emergencia, en el horizonte superficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada

En el horizonte subsuperficial (Figura 12) el valor menor de CR corresponde a siembra directa, tratamiento que, por lo tanto, sólo muestra compactación en el horizonte superficial. Pareciera entonces que, tal como informaran Taboada y Micucci (2002) para distintos tipos de suelo, el uso reiterado de la siembra directa induciría aumentos marcados de CR.

Por otra parte, se observa que la compactación relativa no disminuyó por efecto del subsolado.

Cabe destacar que estos resultados podrían reflejar una sobreestimación de la CR debido a que en esta profundidad, por no contar con todos los registros, su cálculo se efectuó en base a MD, tratamiento que en el horizonte superficial había presentado un valor de DAPmáx inferior al de LRS.

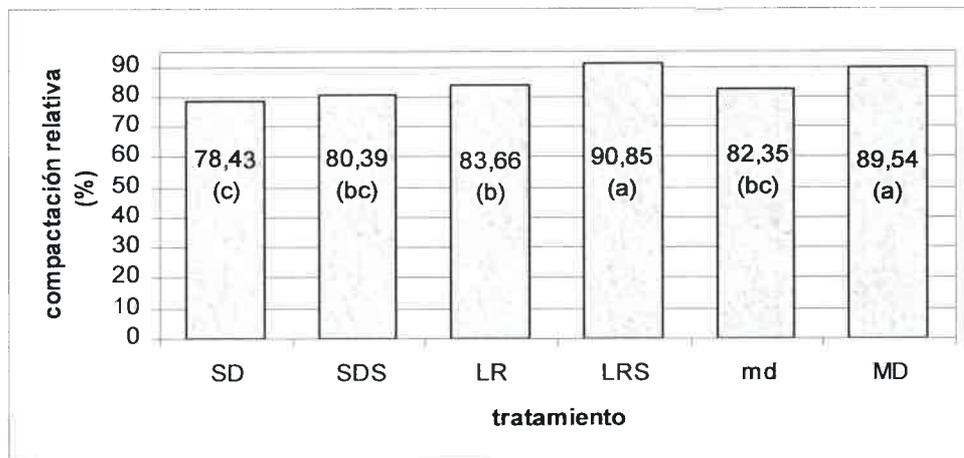


Figura 12. Compactación relativa en siembra-emergencia, en el horizonte subsuperficial de un Argiúdol típico de la pampa ondulada

Entre los 40 y 60 cm de profundidad, la CR no registra diferencias significativas entre tratamientos ni situaciones extremas de disturbación (Figura 13). Esto podría deberse a que, en este horizonte no afectado directamente por el laboreo, y para el contenido hídrico existente en ese momento de muestreo, la compactación relativa derivaría exclusivamente de sus características morfogenéticas.

No obstante todas las consideraciones efectuadas, los resultados obtenidos muestran que el tratamiento LRS es el que se asocia con la mayor compactación relativa a través de todo el perfil en esta época de determinación.

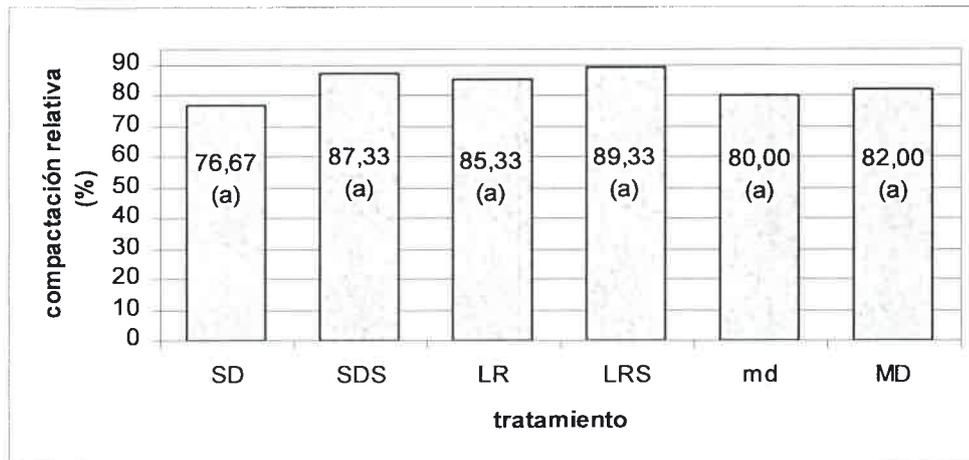


Figura 13. Compactación relativa en siembra-emergencia, entre los 40 y 60 cm de profundidad de un Argiudol típico de la pampa ondulada

En post-cosecha, en el horizonte superficial nuevamente sólo la situación de mínima disturbación, presenta una compactación relativa significativamente menor que MD (Figura 14) mientras que SDS presenta una CR similar a md.

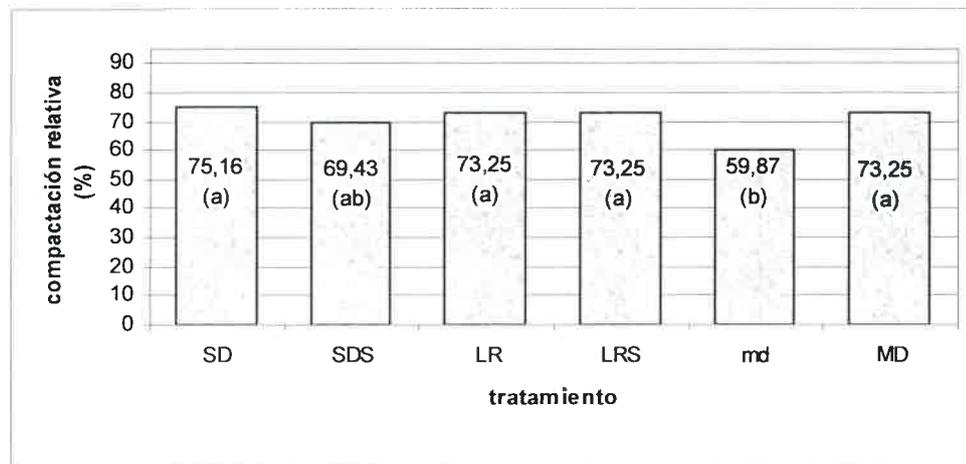


Figura 14. Compactación relativa en post-cosecha, en el horizonte superficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada

En el horizonte subsuperficial en post-cosecha (Figura 15), al igual que en siembra-emergencia, no se verifica un efecto positivo del

subsulado, aunque en esta determinación no surge ninguna diferencia significativa entre los valores de compactación relativa.

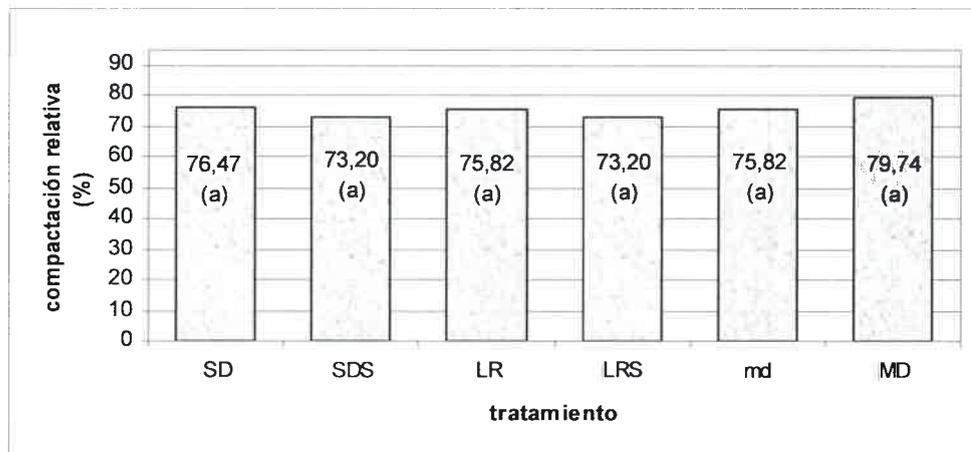


Figura 15. Compactación relativa en post-cosecha, en el horizonte subsuperficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada

Entre los 40 y 60 cm de profundidad en post-cosecha (Figura 16), los dos tratamientos con subsulado presentan valores de compactación relativa, semejantes a los de la situación de mínima disturbación.

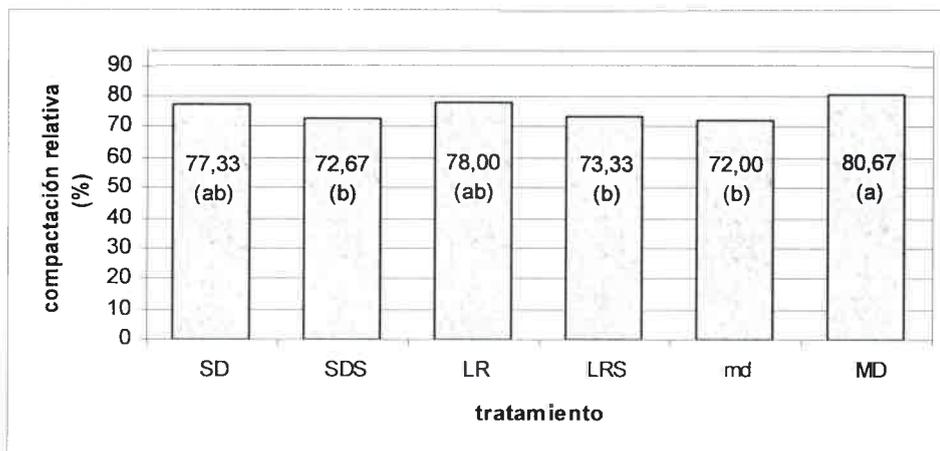


Figura 16. Compactación relativa en post-cosecha, entre los 40 y 60 cm de profundidad de un Argiudol típico de la pampa ondulada

Dado que en los horizontes afectados por las labranzas, la situación de mínima disturbación sólo presenta los menores valores de CR

en el horizonte superficial, mientras que la condición MD no se asocia claramente con los registros significativamente mayores, pareciera que, en suelos expansivos como los del ensayo, la compactación relativa resulta un indicador errático del deterioro del suelo, a diferencia de lo que ocurre en suelos de matriz rígida.

Esta baja capacidad de discriminación entre estados de degradación y sistemas de laboreo de la CR, se vincula seguramente con la significativa correlación negativa hallada entre DAP y humedad gravimétrica a través de todo el perfil y podría mejorar si los valores de DAP se refirieran a un contenido de humedad pre-establecido y se midieran para todos los tratamientos en los tres horizontes.

Desde otra perspectiva, si se tienen en cuenta algunos valores de compactación relativa considerados adecuados para la productividad de una amplia gama de suelos, se pueden citar un límite superior de 85% establecido tanto por Hakansson (1992) como por Liepic et al. (1991) y otro inferior de 77% señalado por Carter (1990).

Al comparar los datos obtenidos en los horizontes superficial y subsuperficial con estos valores de referencia, se observa que para los contenidos hídricos del ensayo, los registros de CR, a diferencia de lo informado por Elissondo et al. (2001, op. cit.), tienden a ser menores que los límites mencionados. Esta condición, más allá de la sensibilidad de esta propiedad como indicadora de calidad edáfica, estaría señalando la ausencia de una compactación importante en el conjunto del perfil.

4.4. Resistencia a la penetración (RP)

4.4.1. Siembra-emergencia

La totalidad de las mediciones efectuadas en la situación de mínima disturbación resultaron significativamente menores que las correspondientes a máxima disturbación.

En el horizonte superficial, entre los tratamientos labreados, la mejor respuesta del suelo para esta variable la tuvo SDS, dado que mostró los valores más cercanos a los de MD y menores que los del resto.

Por otra parte, SDS fue el único tratamiento labreado en el que las cuatro mediciones efectuadas en este horizonte alcanzaron valores significativamente menores que MD, situación que en LRS se registró en tres de las cuatro observaciones.

En los tratamientos restantes, los valores de RP resultaron mayores y más semejantes a los de MD (Tabla 7), sobre todo en el caso de SD en los primeros 5 cm, a semejanza de lo verificado por Uberto et al. (2002).

Estos resultados indicarían un efecto positivo del subsolado en el horizonte superficial, respecto del máximo deterioro.

En el horizonte subsuperficial, la situación de mínima disturbación muestra los menores valores de RP, mientras que los máximos se verifican en tres de las observaciones de MD.

A través de este horizonte, SDS nuevamente expresa la mejor condición ya que presenta el mayor número de valores significativamente menores que los de MD, situación que en el caso de LRS sólo se verifica en una de las mediciones.

Los registros de RP obtenidos en este horizonte, parecieran señalar que el efecto benéfico del subsolado informado por Bonel et al. (2004) y Truman et al. (2005, op cit), sólo se verificaría al aplicar esta labor profunda sobre el sistema de siembra directa.

Entre 41 y 60 cm, las cuatro mediciones de SD expresan valores significativamente menores que los de MD, en oposición a lo que ocurre en LR, tratamiento en el cual todas las observaciones resultan significativamente similares a dicha situación de referencia.

Lo expuesto, indicaría en términos generales, un mejor comportamiento respecto de la resistencia a la penetración en aquellos tratamientos basados en el sistema de siembra directa que en los que incluyen labranza reducida.

Tabla 7. Resistencia a la penetración (Mpa) en función de la profundidad del perfil en siembra-emergencia, para diferentes sistemas de laboreo y condición de un Argiudol típico de la pampa ondulada

Profundidad (cm)	Resistencia a la Penetración (MPa)					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
0-5	8,78 a	3,75 c	6,83 b	3,75 c	0,30 d	6,96 b
6-10	8,16 ab	3,29 c	8,63 a	7,36 b	0,68 d	8,66 a
11-15	6,90 a	1,34 b	7,50 a	6,90 a	0,90 b	7,50 a
16-20	5,02 b	1,57 d	6,17 a	3,49 c	1,14 d	6,23 a
21-25	2,69 bc	1,42 c	2,60 bc	5,60 a	1,41 c	2,95 b
26-30	2,35 ab	2,82 a	2,62 a	2,08 ab	1,17 b	3,16 a
31-35	1,41 c	1,88 b	2,19 b	2,53 a	1,46 c	2,63 a
36-40	1,41 d	1,88 c	2,36 b	1,31 d	2,35 b	2,80 a
41-45	1,41 cd	2,50 a	2,24 b	1,62 c	1,32 d	2,33 ab
46-50	0,96 b	1,88 b	4,17 a	1,18 b	0,99 b	4,29 a
51-55	0,94 c	1,88 ab	2,09 a	1,57 ab	1,31 bc	2,17 a
56-60	0,94 c	1,91 a	1,57 b	0,79 cd	0,63 d	1,65 b

Letras diferentes dentro de cada profundidad, indican diferencias significativas al 5% entre tratamientos. Los sombreados resaltan los valores significativamente inferiores que los de MD.

La expresión gráfica de los resultados de siembra-emergencia (Figura 17) muestra valores bajos y homogéneos de RP a través de todo el perfil para la situación de mínima disturbación.

El tratamiento SDS presenta el comportamiento más parecido al de md aunque con un valor significativamente mayor en los primeros 5 cm que, por otra parte, resulta semejante al de LRS.

Valores elevados de RP en la parte superficial que disminuyen con la profundidad, caracterizan en general al resto de los tratamientos.

Entre ellos, a semejanza de lo mencionado al analizar los valores de densidad aparente, los resultados obtenidos concuerdan con lo informado por Draghi et al (2005) respecto de la tendencia a una compactación superficial del tratamiento siembra directa.

Los valores de RP registrados alrededor de los 30 cm de profundidad, que sólo resultan significativamente distintos de MD en el caso de la situación de mínima disturbación, estarían señalando la existencia de un piso de arado aun en los tratamientos con subsolado.

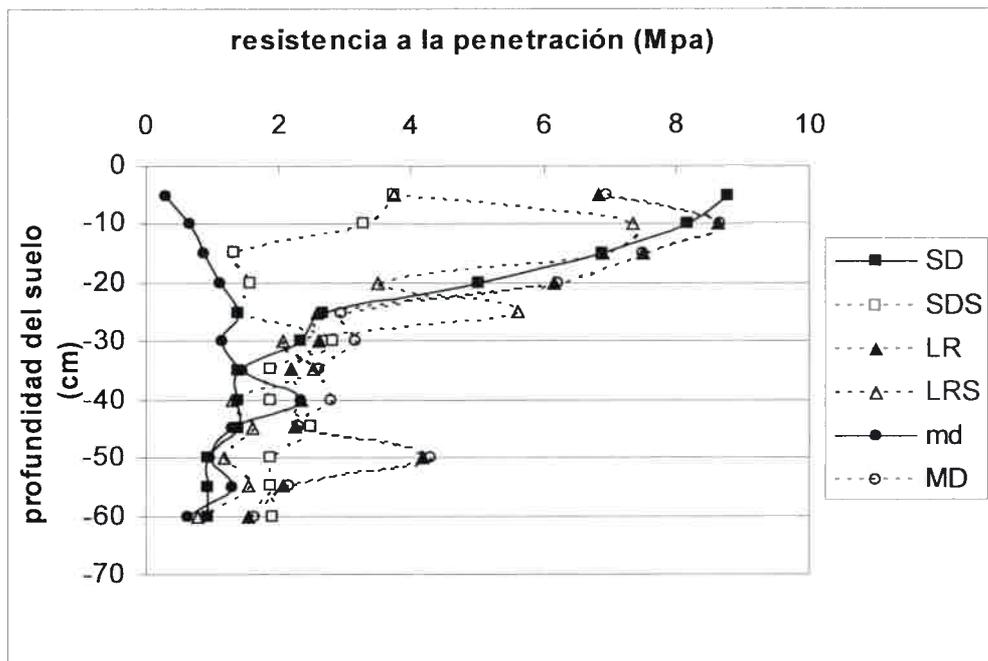


Figura 17. Perfil de resistencia a la penetración según tratamiento, en siembra-emergencia para un Argiudol típico de la pampa ondulada

4.4.2. Post-cosecha

Dada la naturaleza expansiva de los suelos del ensayo, resulta importante señalar que el contenido de humedad gravimétrica en esta determinación resultó superior al de siembra-emergencia (Anexo II). Dicho aumento alcanzó valores de 44, 13 y 15 % en los horizontes superficial, subsuperficial y profundo respectivamente.



Esa condición determina seguramente, los menores registros de RP verificados para el conjunto de los tratamientos desde la superficie hasta los 30 cm de profundidad (Tabla 8). A partir de esa profundidad, probablemente a causa de la influencia del piso de arado evidenciado en la medición de siembra-emergencia, los valores de esta propiedad resultan superiores a los de dicha determinación.

No obstante lo expuesto, para el conjunto del perfil, se verifica una tendencia similar a la encontrada en la determinación de siembra-emergencia, para la condición de mínima disturbación dado que diez de sus doce registros de RP, resultaron significativamente inferiores que los correspondientes a las de máxima disturbación.

Por otra parte, dado que ninguno de los valores de RP obtenidos en el tratamiento SD resulta significativamente inferior que los de máxima disturbación, pareciera que la completa ausencia de labores tendría poca capacidad de atenuación del deterioro respecto de esta propiedad.

En el horizonte superficial, como ya se mencionara, se observan para el conjunto de los tratamientos valores de RP menores que los correspondientes a la determinación de siembra-emergencia.

Los tratamientos LR y LRS presentan valores significativamente inferiores que los de MD en dos de sus cuatro observaciones de RP; situación que en SDS sólo se verifica en una medición.

En el horizonte subsuperficial, el tratamiento SDS muestra tres de sus cuatro registros de RP con valores significativamente inferiores que los de máxima disturbación, uno de ellos por debajo de la zona del piso de arado. Esta condición no se verifica en ninguna de las mediciones de LRS.

Se reitera por lo tanto, lo observado en la determinación de siembra-emergencia, en cuanto a que el efecto favorable del subsolado en este horizonte no se verifica al ser aplicado sobre la labranza reducida.

Entre 41 y 60 cm, de los tratamientos cultivados, solamente LR presentó registros de RP significativamente inferiores que los de máxima disturbación.

Tabla 8. Resistencia a la penetración (Mpa) en función de la profundidad del perfil en post-cosecha, para diferentes sistemas de laboreo y condición de un Argiudol típico de la pampa ondulada

Profundidad (cm)	Resistencia a la Penetración (MPa)					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
0-5	0,35 a	0,31 a	0,16 a	0,31 a	0,23 a	0,34 a
6-10	1,17 ab	0,94 b	0,94 b	0,86 b	0,39 c	1,40 a
11-15	1,76 a	1,41 ab	1,30 b	1,06 bc	0,78 c	1,75 a
16-20	1,80 a	1,37 a	1,17 a	1,57 a	1,25 a	1,60 a
21-25	1,88 a	1,30 bc	1,31 bc	1,56 ab	0,86 c	1,85 a
26-30	3,06 a	1,64 b	1,53 b	2,58 a	1,10 b	3,07 a
31-35	3,37 a	2,12 b	2,35 ab	2,67 ab	0,91 c	3,44 a
36-40	3,92 ab	3,29 ab	2,74 b	4,71 a	1,22 c	3,99 ab
41-45	4,63 a	3,76 ab	3,37 b	4,86 a	1,37 c	4,62 a
46-50	6,42 a	5,02 a	3,14 b	5,57 a	2,00 b	6,39 a
51-55	6,12 ab	5,02 ab	4,08 bc	7,06 a	2,19 c	6,10 ab
56-60	7,84 ab	5,96 bc	5,02 cd	8,62 a	2,98 d	7,86 ab

Letras diferentes dentro de cada profundidad, indican diferencias significativas al 5% entre tratamientos. Los sombreados resaltan los valores significativamente inferiores que los de MD.

La Figura 18 refleja que en post-cosecha todos los tratamientos presentan valores de RP menores en superficie que en profundidad, tendencia semejante a la encontrada por Fabrizzi et al. (2005, op. cit.) en post-cosecha de trigo.

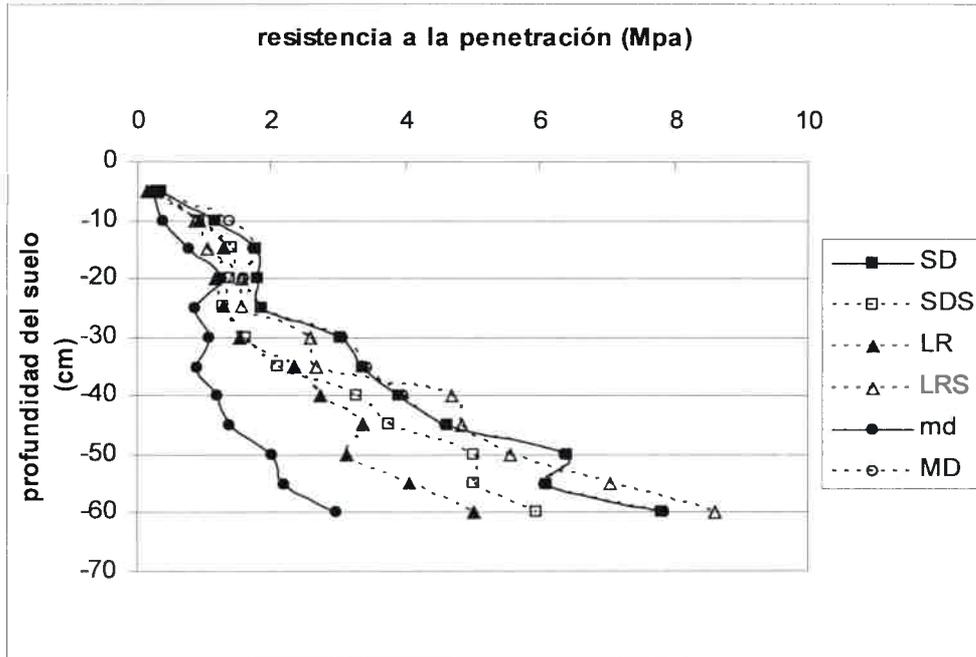


Figura 18. Perfil de resistencia a la penetración según tratamiento, en post-cosecha para un Argiúdol típico de la pampa ondulada

Los menores registros de RP del horizonte superficial respecto de los más profundos, se relacionan muy probablemente con la importante magnitud del aumento de humedad gravimétrica (44%) verificado en el mismo respecto de siembra-emergencia.

Nuevamente, el perfil de RP más homogéneo se asocia con la situación de mínima disturbación, aunque en este muestreo casi no aparecen diferencias entre tratamientos respecto de la forma del mismo.

Para el tratamiento SD, a través de todo el perfil se observan valores significativamente similares a los de MD, situación que nuevamente hace referencia a la compactación que determina este sistema de laboreo.

En el horizonte subsuperficial, entre los tratamientos con subsolado sólo en SDS se observan valores de RP significativamente inferiores que los de MD, hecho que indica una vez más, que el efecto del subsolado varía según el sistema de labranza sobre el cual se aplica y el estado de degradación previa del suelo (Cholaky, 2003, op. cit.).

Dado que el análisis de esta propiedad permitió detectar sectores del perfil con mayor endurecimiento, pareciera que, tal como informaran García-Préchac et al. (2004), Elissondo et al. (2001, op. cit.) y Ferreras et al. (2000) esta propiedad resulta un indicador más sensible de la cohesión del suelo que la densidad aparente actual.

Desde otra perspectiva, es importante destacar que Ehlers et al. (1983) mencionaron límites diferentes de esta propiedad para el crecimiento radicular en el horizonte superficial, según se tratara de suelos labrados (3,6 MPa) o no labrados (4,6-5,1 MPa) y atribuyeron dicha diferencia a que la acción de lombrices y raíces en condiciones de no laboreo, originan un sistema poroso continuo que permite el crecimiento del sistema radicular aún en condiciones de mayor impedancia. Seguramente, por el mismo motivo, las mediciones de estos investigadores efectuadas en laboratorio, mostraron detención del crecimiento radicular con RP entre 2 y 2,5 MPa, valores que resultan semejantes a los informados por Gupta (1987) y Hamza y Anderson (2005), pero difieren del límite superior crítico de 3 MPa mencionado por Boone et al. (1986) y Vepraskas (1994).

Si se toman como referencia los valores mencionados para condiciones de campo por Ehlers et al., en el horizonte superficial se verifica que, mientras en siembra-emergencia, solamente los valores de RP de SDS y mínima disturbación, se encuentran casi totalmente debajo de los límites mencionados; en post-cosecha, todas las mediciones resultan inferiores a dichos valores críticos.

Esta situación, que señala la ausencia de una marcada compactación en el perfil, coincide con la verificada al analizar los datos de compactación relativa.

Las diferencias entre los valores de RP obtenidos en las dos determinaciones, tal como ya se mencionara, se originarían en la relación funcional entre resistencia a la penetración y contenido hídrico citada por Hamza y Anderson (2005, op. cit.); Güçlü Yavuzcan et al. (2005); Wells y Treesuwan (1978) y USDA (1998, op. cit.).

Con el objeto de verificar dicha relación, se calcularon las correlaciones entre resistencia a la penetración y humedad gravimétrica para los diferentes tratamientos y horizontes bajo estudio (Tabla 9), así como las ecuaciones de ajuste para las situaciones en que las correlaciones resultaron significativas (Tabla 10).

Tabla 9. Coeficientes de correlación entre resistencia a la penetración y humedad gravimétrica, según tratamiento y condición del suelo, en los horizontes superficial y subsuperficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada

Profundidad (cm)	Tratamiento					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
0-20	-0,938 (**)	-0,678 (*)	-0,976 (**)	-0,864 (**)	-0,129	-0,971 (**)
20-40	-0,636	-0,067	-0,470	-0,001	-0,651	0,176

(*) nivel de significación del 5%

(**) nivel de significación del 1%

Tabla 10. Ecuaciones de ajuste entre resistencia a la penetración y humedad gravimétrica en el horizonte superficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada

Tratamiento	Ecuación de ajuste
SD	$y = - 0,5551 x + 20,643$
SDS	$y = - 0,0832 x + 4,453$
LR	$y = - 0,4187 x + 16,333$
LRS	$y = - 0,3627 x + 13,852$
MD	$y = - 8,3071 x + 162,510$

Se observa que en el horizonte superficial la correlación resultó negativa y significativa para todos los tratamientos laboreados y el estado de máxima disturbación, hecho que indicaría un comportamiento dinámico de los suelos ante los cambios de humedad en esas condiciones, tal como lo establecen los principios de mecánica de suelos (Baver et al., 1973; McKyes, 1985) y numerosos trabajos que muestran relaciones empíricas (Materechera y Mloza-Banda, 1997; Cholaky, 2003, op. cit.; Bonadeo, 1997).

A diferencia de ello, la falta de correlación significativa entre resistencia a la penetración y humedad gravimétrica para el estado de mínima disturbación, señalaría un funcionamiento con baja RP de carácter permanente e independiente del estado de humedad del suelo, dentro del rango de valores relevado en este trabajo.

Por otra parte, la menor correlación entre RP y humedad gravimétrica verificada en SDS, indicaría que este tratamiento presenta un comportamiento más parecido al de la condición de mínima disturbación que los restantes.

En el horizonte subsuperficial en cambio, ningún coeficiente de correlación resulta significativo y el comportamiento del suelo es diferente según el efecto del subsolado y el estado inicial del suelo.

No obstante ello, la correlación entre resistencia a la penetración y humedad gravimétrica es alta en los tratamientos sin subsolado y muy baja en los tratamientos que incluyen esta labor profunda.

Estos resultados, mostrarían que probablemente el subsolado disminuya el efecto del desecamiento sobre el incremento en la resistencia a la penetración, con lo cual los suelos sometidos a esta labor presentarían un funcionamiento más estable respecto de sus valores de RP ante variaciones de la humedad.

Para el tercer horizonte, debido a que, entre otros, Boizard et al. (2002) y Cholaky (2003, op.cit.) no lo consideran afectado por la labranza, la relación funcional entre resistencia a la penetración y humedad gravimétrica se analizó en forma conjunta para todos los tratamientos.

Se obtuvo así un coeficiente de correlación de 0,18436 que no resultó significativo, pero cuyo valor positivo podría atribuirse al aumento de RP que determinan variables tales como la adhesión y plasticidad excesivas del material edáfico o bien, a los elevados coeficientes de fricción suelo-metal que afectan al instrumento empleado en la medición de la resistencia a la penetración (McKyes, 1985).

Este coeficiente permitiría explicar que los valores de RP verificados en la determinación de siembra-emergencia resulten menores que los de post-cosecha, dada la mayor humedad gravimétrica registrada

en esta última y podría estar afectando las diferencias entre los valores de RP de los diferentes tratamientos en la parte más profunda del perfil bajo estudio.

Los resultados obtenidos evidenciarían que los ciclos de expansión-contracción del material del perfil a los que hacen referencia Cerisola et al. (2005, op. cit.) en suelos con alto contenido de arcilla, así como la correlación negativa y significativa al 1% ($R = 0,6919$) verificada entre cuarenta y ocho pares de datos de resistencia a la penetración y humedad gravimétrica en el horizonte superficial (Figura 19), evitan que se manifieste en este suelo la reconsolidación de capas previamente aflojadas por la labranza, que Cholaky (2003, op.cit.) y Sojka et al (1990) verificaron en condiciones edáficas en las que predominan limos y arenas finas.

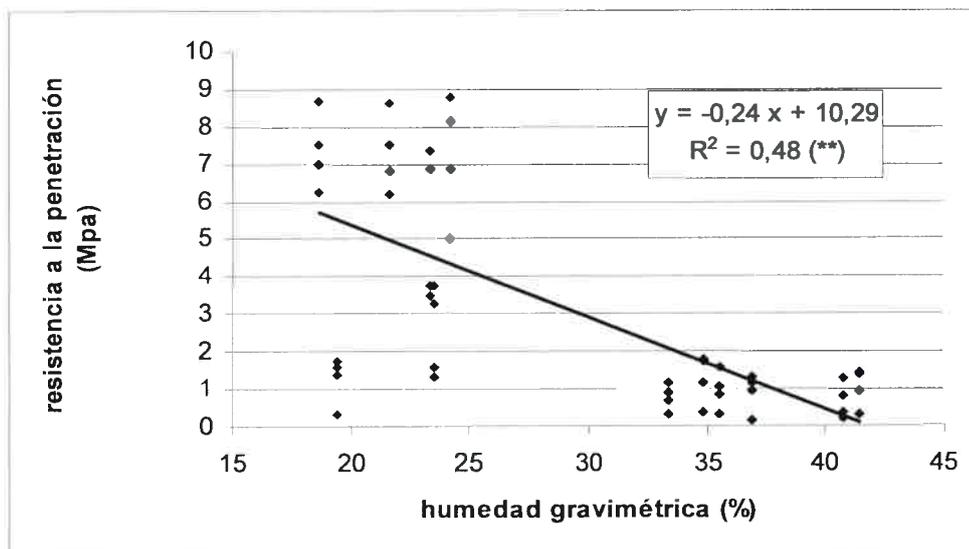


Figura 19. Variación de resistencia a la penetración en el horizonte superficial, en función del contenido hídrico de un Argiudol típico de la pampa ondulada

4.3. Índice anisotrópico (IA)

Este índice se utilizó para sintetizar la información de resistencia a la penetración en los horizontes afectados por la labranza. No se

menciona la existencia de diferencias significativas debido a que, los valores de resistencia a la penetración empleados en su cálculo presentan niveles disímiles de significancia estadística.

En siembra-emergencia, se verifican diferencias importantes entre los IA del conjunto del horizonte superficial+subsuperficial.

Los mayores valores corresponden a máxima disturbación y los tratamientos sin subsolado, mientras que el registro menor se asocia con la situación de mínima disturbación (Tabla 11), en coincidencia con los valores de RP analizados en el apartado anterior.

Tabla 11. Índice Anisotrópico (Mpa) en función de los tratamientos de labranza y estado del suelo, para dos épocas de determinación en un Argiudol típico de la pampa ondulada

Época de determinación	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
Siembra – emergencia	5,42	2,30	5,34	4,70	1,44	5,39
Post – cosecha	2,59	1,98	1,56	2,66	0,90	2,07

Por el contrario, en post-cosecha, las diferencias entre los valores mínimo y máximo aparecen atenuadas.

Aún teniendo presente que la mayor humedad gravimétrica de post-cosecha, determina valores menores de resistencia a la penetración, principalmente en el horizonte superficial, debido a la correlación significativa y negativa expuesta en el apartado anterior, se destaca que la disminución del índice anisotrópico entre el primer y el segundo muestreo, resulta más notable en máxima disturbación y los tratamientos sin subsolado.

Lo expuesto, señalaría una mayor tendencia de estas situaciones a registrar endurecimiento en esta parte del perfil frente a descensos de su contenido hídrico.

Al considerar en forma conjunta los datos obtenidos para ambas fechas de muestreo, la tendencia de los resultados indicaría que el

tratamiento SDS se aproxima en forma consistente a la situación de mínima disturbación, no sólo por el valor de sus índices sino también por el tenor de su oscilación.

Por el contrario, los IA de los tratamientos cultivados restantes, señalarían que los mismos no alcanzan a mejorar significativamente la condición física del suelo respecto de la máxima disturbación, en términos de variación en la resistencia a la penetración y homogeneidad mecánica del perfil.

Desde otra perspectiva, si se indaga sobre el segundo término de la expresión matemática del IA, se puede obtener un valor indicativo del máximo contraste entre los valores de RP de estas dos capas sucesivas que deben atravesar las raíces (Tabla 12).

Tabla 12. Valores extremos y diferencia de resistencia a la penetración (Mpa) en función de los tratamientos de labranza y estado del suelo, para dos épocas de determinación en un Argiudol típico de la pampa ondulada

Profundidad (cm)	Siembra-emergencia						Post-cosecha					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
0-20	8,78	3,75	8,63	7,36	0,30	8,66	0,35	0,31	0,16	0,31	0,23	0,34
20-40	1,41	1,42	2,19	1,31	2,35	3,16	3,92	3,29	2,74	4,71	1,22	3,99
Diferencia	7,37	2,33	6,44	6,05	-2,05	5,50	-3,57	-2,98	-2,58	-4,40	-0,99	-3,65

En siembra-emergencia los valores mayores de RP se registran en el horizonte superficial excepto en el caso de mínima disturbación; en cambio, en post-cosecha, los registros superiores aparecen siempre en el horizonte subsuperficial. Para ambas determinaciones las diferencias de RP verificadas en la situación sin disturbio, resultan menores que las correspondientes a los tratamientos restantes.

Dada la diferencia de humedad gravimétrica entre ambas determinaciones, el hecho de que en la situación no disturbada el mayor



valor de RP siempre se verifique en el horizonte subsuperficial, permite especular con que la ausencia de laboreo posibilita expresar claramente la diferencia textural de origen morfogénico existente entre los horizontes del perfil cultural, independientemente de su contenido hídrico.

Al calcular la diferencia promedio entre los valores máximo y mínimo de RP para el conjunto de los tratamientos, surge que en siembra-emergencia, dicho promedio presenta un valor absoluto superior y de signo contrario (4,27 Mpa) al verificado en post-cosecha (-3,03 Mpa).

Esta situación derivaría de la relación inversa verificada entre RP y humedad gravimétrica, la cual determina que el suelo tienda a presentarse homogéneamente blando en condiciones de mayor contenido hídrico.

Si se analizan los promedios de diferencias de RP entre horizontes y momentos de determinación, se observa que el mismo resulta mucho menor en los tratamientos con siembra directa (0,79) que en aquellos que incluyen labranza reducida (1,38).

Todo lo expuesto indicaría que las mayores probabilidades de conformación de ambientes favorables para el desarrollo radicular ocurrirían en condiciones de elevado contenido hídrico y en sistemas de laboreo basados en siembra directa.

4.4. Distribución del tamaño de agregados (DTA)

Este indicador del efecto de las labranzas muestra que en el horizonte superficial, las situaciones de mínima y máxima disturbación se asocian con valores extremos y significativamente distintos de agregados con diámetro mayor de 50 y menor de 5 mm (Tabla 13).

La primera de estas situaciones muestra un claro predominio de agregados grandes (aproximadamente un 85% presenta diámetro superior a 11,2 mm), mientras que MD tiene una condición similar respecto de los agregados pequeños (alrededor del 65 % tiene diámetro inferior a 11,2 mm).

En siembra emergencia, para los agregados de tamaño intermedio (diámetro entre 11,2 y 50 mm) no se encontraron diferencias significativas

entre tratamientos, mientras que entre aquellos con diámetro inferior a 11,2 mm, la proporción más alta corresponde a la situación de máxima disturbación, condición consistente con la mayor presión histórica de laboreo aplicada a ese estado del suelo.

Tabla 13. Distribución de tamaño de agregados en el horizonte superficial según tratamiento, en siembra-emergencia para un Argiudol típico de la pampa ondulada

Diámetro (mm)	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
mayores de 50	30 (bc)	50 (ab)	24 (bc)	21 (bc)	63 (a)	12 (c)
11,2 a 50	38 (a)	30 (a)	38 (a)	40 (a)	22 (a)	23 (a)
5 a 11,2	22 (bc)	13 (bc)	22 (bc)	24 (b)	10 (c)	38 (a)
menores de 5	10 (bc)	7 (c)	16 (b)	15 (b)	5 (c)	27 (a)

Letras diferentes dentro de cada diámetro indican diferencias significativas al 5% entre tratamientos (leídas horizontalmente).

El tratamiento que más similitudes presentó con la situación de mínima disturbación para esta propiedad fue SDS, en coincidencia con lo verificado para las variables analizadas anteriormente.

La información obtenida, indicaría además que, la condición operativa de este tipo de subsolador combinada con el sistema de siembra directa, no modificaría apreciablemente los tamaños de agregados presentes en la condición natural del suelo, lo cual resultaría positivo para el control de la erosión según las observaciones de Davis et al. (1982).

Pese a la elevada correlación positiva entre el rendimiento y los agregados con diámetro inferior a 5 mm encontrada por Vyn y Raimbault (1993), si se tienen en cuenta tanto los resultados de De Figueiredo y Magalhaes (1992) en cuanto a que las condiciones necesarias para la implantación de los cultivos pueden alcanzarse con la sola acción de los órganos específicos de las sembradoras, como la información presentada

por Díaz Zorita et al. (2004) respecto de la no disminución significativa del rendimiento en sistemas de manejo que determinan un aumento en la proporción de agregados de mayor diámetro, las características adecuadas para la conservación del suelo verificadas en SDS, podrían conciliarse con aquellas consideradas óptimas para la cama de siembra y la producción.

En post-cosecha (Tabla 14) se registra una redistribución en los tamaños de agregados respecto de siembra-emergencia en todos los tratamientos, desde agregados grandes (diámetro superior a 50 mm) a medios (diámetro de 11,2 a 50 mm), mientras que los agregados con diámetro menor de 11,2 mm no muestran variación importante entre una y otra época de determinación. Esas fluctuaciones en la DTA verificadas dentro de cada sistema de labranza, fueron asociadas por Deibert (1981) con cambios ambientales.

Tabla 14. Distribución de tamaño de agregados en el horizonte superficial según tratamiento, en post-cosecha para un Argiudol típico de la pampa ondulada

Diámetro (mm)	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
mayores de 50	18 (b)	21 (b)	22 (b)	26 (b)	63 (a)	12 (b)
11,2 a 50	57 (a)	61 (a)	54 (a)	44 (a)	22 (b)	23 (b)
5 a 11,2	21 (b)	15 (b)	19 (b)	22 (b)	10 (b)	38 (a)
menores de 5	4 (b)	3 (b)	5 (b)	8 (b)	5 (b)	27 (a)

Letras diferentes dentro de cada diámetro indican diferencias significativas al 5% entre tratamientos (leídas horizontalmente).

El menor número de diferencias significativas entre tratamientos verificadas al final del ciclo, indicaría un efecto transitorio de los diferentes sistemas de labranza ensayados sobre el horizonte superficial.

En siembra-emergencia, en el caso del horizonte subsuperficial, ubicado entre los 20 y 40 cm de profundidad (Tabla 15), la distribución de tamaño de agregados entre los estados de degradación extremos, muestra un comportamiento similar al del horizonte superficial, con predominio de agregados grandes (diámetro mayor de 50 mm) en la situación de mínima disturbación y pequeños en la de máxima disturbación (diámetro menor de 11,2 mm).

Los efectos de los diferentes sistemas de labranza sobre este horizonte, en siembra-emergencia, pueden sintetizarse de la siguiente manera:

a. Los tratamientos SD, LR y LRS determinan una disminución del porcentaje de agregados de mayor diámetro respecto de la mínima disturbación, lo que los asemeja a la situación de máxima disturbación.

b. El tratamiento SDS, en cambio, genera una distribución de tamaño de agregados similar a la de mínima disturbación.

Estos resultados indicarían que el subsolado, tal como ocurre con otras propiedades, no produce el mismo efecto al aplicarse sobre siembra directa que sobre labranza reducida, probablemente en este caso, debido a diferentes condiciones de cohesión biológica.

Tabla 15. Distribución de tamaño de agregados en el horizonte subsuperficial (20-40 cm) según tratamiento, en siembra-emergencia para un Argiudol típico de la pampa ondulada

Diámetro (mm)	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
mayores de 50	33 (bc)	45 (ab)	28 (bc)	24 (bc)	60 (a)	19 (c)
11,2 a 50	42 (a)	26 (a)	40 (a)	34 (a)	25 (a)	25 (a)
5 a 11,2	17 (bc)	19 (bc)	19 (bc)	25 (ab)	11 (c)	32 (a)
menores De 5	8 (cd)	10 (cd)	13 (bc)	17 (b)	4 (d)	24 (a)

Letras diferentes dentro de cada diámetro, indican diferencias significativas al 5% entre tratamientos (leídas horizontalmente).

En post-cosecha la distribución de tamaño de agregados en el horizonte subsuperficial (Tabla 16) muestra que, respecto de los agregados con diámetro superior a 50 mm sólo la situación de mínima disturbación se diferencia significativamente del resto de los tratamientos

En cambio, los porcentajes de agregados con diámetro menor de 5 mm de los tratamientos SD, SDS y LR resultan significativamente similares a los de mínima disturbación, a la vez que inferiores que los de LRS y MD.

Esta información coincide con lo verificado previamente, respecto de que el subsolado no produce el mismo efecto al ser aplicado sobre SD que sobre LR.

Tabla 16. Distribución de tamaño de agregados en el horizonte subsuperficial (20-40 cm) según tratamiento, en post-cosecha para un Argiudol típico de la pampa ondulada

Diámetro (mm)	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
mayores de 50	23 (b)	25 (b)	27 (b)	27 (b)	60 (a)	19 (b)
11,2 a 50	55 (a)	50 (a)	51 (a)	33 (b)	25 (b)	25 (b)
5 a 11,2	18 (b)	19 (b)	16 (b)	28 (a)	11 (b)	32 (a)
menores de 5	4 (c)	6 (c)	6 (c)	12 (b)	4 (c)	24 (a)

Letras diferentes dentro de cada diámetro, indican diferencias significativas al 5% entre tratamientos (leídas horizontalmente).

Entre los 40 y 60 cm de profundidad, tanto en siembra-emergencia (Tabla 17) como en post-cosecha (Tabla 18), sólo se verifican diferencias significativas entre la situación de mínima disturbación y el resto de los tratamientos para los agregados de tamaño intermedio (diámetros de 11,2 a 50 y de 5 a 11,2 mm).

Tabla 17. Distribución de tamaño de agregados entre 40 y 60 cm de profundidad según tratamiento, en siembra-emergencia para un Argiudol típico de la pampa ondulada

Diámetro (mm)	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
mayores de 50	21 (a)	34 (a)	17 (a)	17 (a)	11 (a)	11 (a)
11,2 a 50	27 (a)	22 (a)	27 (a)	30 (a)	6 (b)	23 (a)
5 a 11,2	31 (b)	27 (b)	32 (b)	30 (b)	61 (a)	38 (b)
menores de 5	21 (a)	17 (a)	24 (a)	23 (a)	22 (a)	28 (a)

Letras diferentes dentro de cada diámetro, indican diferencias significativas al 5% entre tratamientos (leídas horizontalmente).

Tabla 18. Distribución de tamaño de agregados entre 40 y 60 cm de profundidad según tratamiento, en post-cosecha para un Argiudol típico de la pampa ondulada

Diámetro (mm)	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
mayores de 50	22 (a)	33 (a)	17 (a)	17 (a)	11 (a)	11 (a)
11,2 a 50	27 (a)	21 (a)	27 (a)	30 (a)	6 (b)	24 (a)
5 a 11,2	31 (b)	27 (b)	31 (b)	31 (b)	61 (a)	38 (b)
menores de 5	20 (a)	19 (a)	25 (a)	22 (a)	22 (a)	27 (a)

Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% entre tratamientos (leídas horizontalmente).

Por otra parte, en esta profundidad dentro de cada tratamiento, las proporciones de agregados de distinto tamaño, resultan más homogéneas que en los horizontes superiores.

Lo expuesto anteriormente estaría señalando, que la falta de efecto del laboreo sobre esta porción del suelo, permitiría la expresión de una distribución de tamaño de agregados derivada exclusivamente de sus características morfogenéticas.

No obstante los análisis y especulaciones realizadas sobre esta propiedad, es necesario aclarar que su determinación presentó altos coeficientes de variación en todos los muestreos. Esta situación, sumada a las escasas diferencias significativas informadas para este atributo por Bonel et al. (2005) y Díaz Zorita et al. (2004, op. cit.), podría reducir la posibilidad de expresión de esa clase de diferencias entre los tratamientos ensayados.

4.5. Diámetro ponderal medio de agregados (DPM)

Al analizar esta propiedad en siembra-emergencia (Tabla 19) se observa similitud entre los valores correspondientes al horizonte superficial y subsuperficial de la situación de mínima disturbación y SDS, los cuales a su vez se diferencian del resto de los tratamientos.

En el horizonte superficial y tal como informaran Taser y Metnoglou (2005) para suelos similares, los DPM de los tratamientos que incluyeron labranza reducida resultaron menores que los de aquellos con siembra directa.

Tabla 19. Diámetro ponderal medio (mm) de agregados, en siembra-emergencia para tres profundidades de un Argiudol típico de la pampa ondulada

Profundidad (cm)	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
0-20	41	58	35	33	69	20
20-40	45	53	39	34	67	27
40-60	30	41	26	27	17	20

En post-cosecha, en cambio, (Tabla 20) no se mantiene dicha condición y el DPM solamente sirve para discriminar entre las situaciones extremas de disturbación.

Tabla 20. Diámetro ponderal medio de agregados (mm), en post-cosecha para tres profundidades de un Argiudol típico de la pampa ondulada

Profundidad (cm)	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
0-20	33	37	37	38	69	20
20-40	37	38	41	38	67	27
40-60	31	40	26	27	17	20

Se observa que el diámetro ponderal medio resulta un indicador adecuado de la condición física general del suelo ya que, pese a ser un valor de síntesis de la distribución del tamaño de agregados, diferencia muy bien la situación de mínima disturbación de los tratamientos restantes en ambas determinaciones y hasta llega a discriminar entre tratamientos basados en SD y LR en una de ellas.

Cabe señalar que no se presentan diferencias estadísticas entre los valores de DPM debido a que la mencionada naturaleza sintética de este atributo, se origina en que, para su cálculo se utilizan los porcentajes de los distintos tamaños de agregados presentes en los horizontes analizados, cada uno de los cuales expresa diferencias estadísticas heteróneas entre tratamientos.

4.6. Estabilidad de agregados (EA)

Esta propiedad, resultó capaz de reflejar diferencias significativas entre la condición superficial de tratamientos cultivados y especialmente, entre condiciones extremas de disturbación del suelo, tal como informaran Oneto et al. (2005, a) y Sanzano et al. (2005). Se constituyó por lo tanto, en un parámetro altamente sensible a los estados de alteración del suelo.

Los valores máximo y mínimo de EA se asociaron con las situaciones de mínima y máxima disturbación respectivamente (Tabla 21).

Esta situación coincide con los resultados de investigaciones que mostraron valores de EA asociados a situaciones de mínima disturbación, no sólo mayores sino también más estables a través del tiempo que los correspondientes a tratamientos con elevados niveles de disturbio (Munkholm y Schjønning, 2004).

El resultado obtenido para la situación de máxima disturbación, en base a lo informado por Krzic et al. (2000), podría atribuirse a la baja cobertura del suelo asociada a la misma.

Puede relacionarse también, con los resultados expuestos en el apartado referido a la distribución de tamaño de agregados en el horizonte superficial, dado que la menor EA se registra en la misma situación de disturbación que presenta la mínima proporción de agregados grandes y viceversa.

Tabla 21. Índice de estabilidad de agregados del horizonte superficial, para diferentes tratamientos de labranza y grado de disturbación de un Argiudol típico de la pampa ondulada

Índice de estabilidad de agregados (%)					
SD	SDS	LR	LRS	md	MD
40,50	80,80	62,70	62,20	97,10	20,10
(c)	(ab)	(b)	(b)	(a)	(d)

Letras diferentes, indican diferencias significativas al 5% entre tratamientos.

El tratamiento SD presentó un valor de EA semejante al verificado por Ferreras et al. (2000, op. cit.) y significativamente inferior al de los tratamientos cultivados restantes. Esta condición difiere de la hallada, entre otros, por Arzeno y Corvalán (2000) para quienes los valores de EA resultaron mayores en SD que en sistemas con labranza reducida.

Dados los valores favorables obtenidos en SD para otras propiedades fuertemente asociadas a EA, este resultado adverso, podría atribuirse a la interferencia del elevado contenido hídrico verificado durante el muestreo, sobre la determinación del índice de estabilidad de agregados.

No obstante ello, la condición de SD coincide con la informada por Weiskopf et al. (2005, op. cit.); Moro et al. (2002); Marelli et al (2000) y So et al (2000) en cuanto a que la EA de este sistema superó a la correspondiente a la situación de máxima disturbación.

Por su parte SDS presentó el valor más cercano al de mínima disturbación, en coincidencia con lo registrado para la distribución de tamaño de agregados del horizonte superficial.

La EA significativamente mayor en SDS respecto de SD, podría atribuirse al efecto positivo del subsolado sobre la cohesión biológica del suelo informado por Bonel et al. (2004), efecto atribuido por Torella et al. (2001) a que esta labor profunda favorece la descomposición de raíces, mencionada por Gale et al. (2000) como uno de los factores promotores de la agregación del suelo.

Dada la situación expuesta inicialmente, se indagó sobre la posible correlación entre estabilidad de agregados y alguno de los aspectos de la distribución de tamaño de agregados (Figura 20).

Se verificó así una correlación positiva y significativa al 5% ($R = 0,78657$) entre seis pares de datos de EA y proporción de agregados de mayor diámetro presentes en el horizonte superficial en post-cosecha, momento coincidente con el de determinación de la estabilidad de agregados.

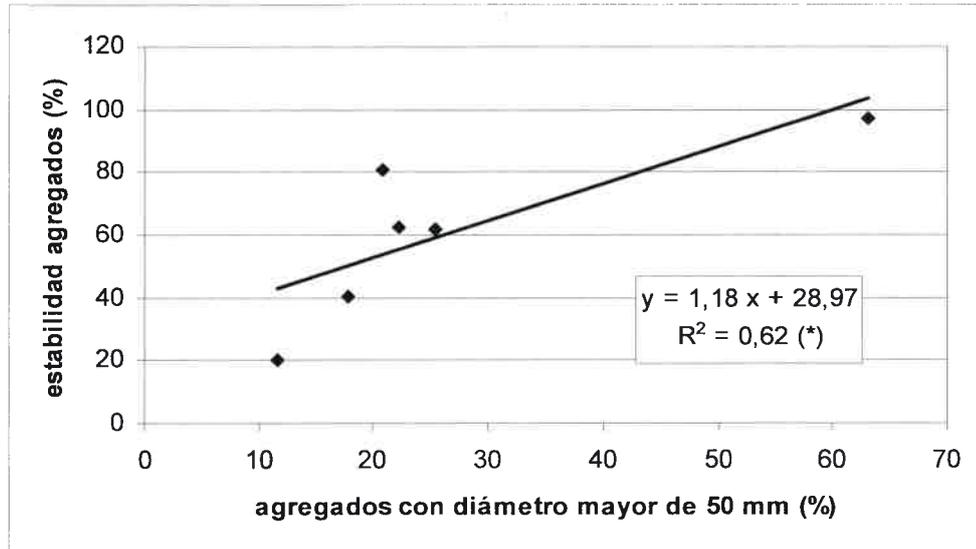


Figura 20. Variación de estabilidad de agregados, en función de la proporción de agregados con diámetro superior a 50 mm presentes en post-cosecha, en el horizonte superficial de un Argiúdol típico de la pampa ondulada

Asimismo, al trabajar con seis pares de datos, se registró una correlación positiva al 5% ($R = 0,871$) entre la estabilidad de agregados y el diámetro ponderal medio del horizonte superficial obtenido en post-cosecha.

4.7. Materia orgánica (MOt , MOv y MOj)

Los porcentajes de materia orgánica total de los tratamientos cultivados durante el ensayo, fueron superiores a los reportados por Di Napoli y González Montaner (2002) para suelos del sur de Santa Fe sometidos a diferentes periodos de agricultura y con historia reciente de siembra directa (2,4 – 4,16 %) y en ningún caso resultaron menores que el 2,19 % asociado por Gerster et al. (2002) con bajos rendimientos de soja en la misma zona.

Dado que los contenidos de MOt y MOv, resultaron máximos y mínimos en los tratamientos md y MD respectivamente, en las dos profundidades analizadas, se desprende que ambos tipos de materia

orgánica sirvieron para expresar claramente las diferencias entre estados extremos de disturbio (Tabla 22).

Tabla 22. Fracciones de materia orgánica según sistema de laboreo y estado de disturbación en un Argiudol típico de la pampa ondulada

Profundidad (cm)	M.O. total (%)				M.O. vieja (%)				M.O. joven (%)			
	SD	LR	md	MD	SD	LR	md	MD	SD	LR	md	MD
0-5	5,08 (b)	4,32 (c)	7,03 (a)	3,01 (d)	0,66 (b)	0,68 (b)	0,99 (a)	0,51 (c)	4,42 (b)	3,64 (b)	6,04 (a)	2,50 (c)
5-20.	3,93 (b)	3,50 (c)	5,06 (a)	2,85 (d)	0,44 (b)	0,43 (b)	0,60 (a)	0,30 (c)	3,49 (b)	3,07 (b)	4,46 (a)	2,55 (c)

En cambio, sólo la MO_t, considerada un indicador primario de calidad por Doran y Parkin (1994), fue capaz de expresar diferencias entre los tratamientos labreados durante el ensayo (SD y LR).

Los contenidos de MO_t correspondientes a SD resultaron significativamente superiores que los de LR en las dos profundidades del horizonte superficial. Estos resultados coinciden con los informados por Chagas et al. (1995) quienes, a diferencia de lo verificado en este ensayo, encontraron además una alta estabilidad de agregados para este sistema de laboreo. Diferencias en el mismo sentido fueron reportadas por Mestelan et al. (2002), autores que al igual que en este caso, obtuvieron además valores de MO_t para SD mayores que los de máxima disturbación. Por su parte, Abril et al. (2005) verificaron contenidos de MO_t crecientes a través del tiempo y siempre mayores en SD mayores que en LR.

Los contenidos de MO_v y MO_j fueron capaces de expresar diferencias significativas entre SD y LR respecto de las situaciones de mínima y máxima disturbación en las dos profundidades estudiadas (Figura 21). En ambos casos, los valores intermedios y significativamente diferentes de las situaciones extremas, asociados a los tratamientos cultivados en ambas profundidades, señalarían una tendencia a la recuperación de esta importante variable del suelo como consecuencia del uso reiterado de sistemas conservacionistas de labranza, a semejanza de

lo encontrado por Díaz-Zorita (op. cit., 2000); Álvarez (2002) y Studdert y Echeverría (2002).

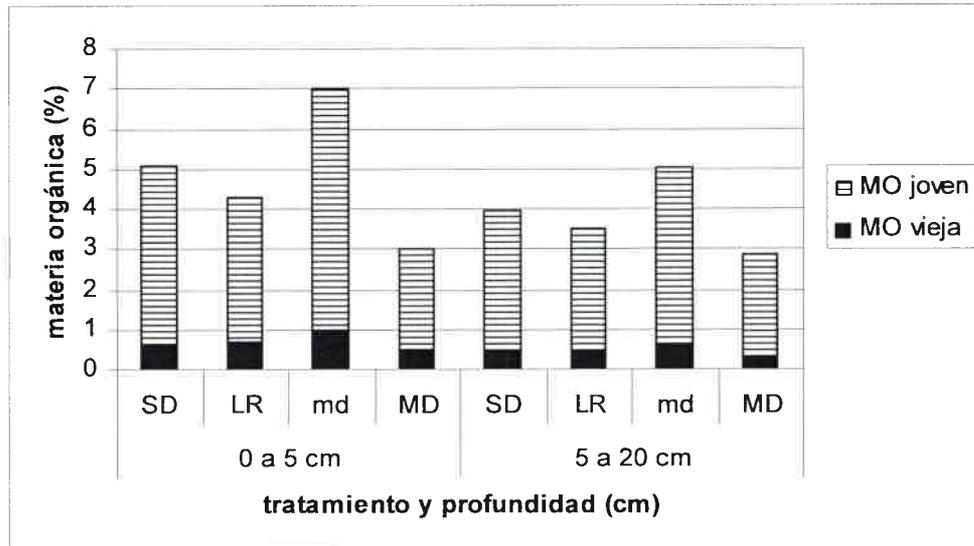


Figura 21. Contenido de materia orgánica vieja y joven, según sistema de laboreo y profundidad en un Argiúdol típico de la pampa ondulada

En este ensayo no se verificó respecto de la MOj, la alta sensibilidad que tanto Ball et al. (2000) como Bolinder et al. (1999), atribuyeran a la materia orgánica liviana para evidenciar cambios derivados de distintos manejos culturales.

Tampoco se puso de manifiesto, mediante los registros de MOv, la conservación de formas más estables de materia orgánica hallada en SD respecto de LR por Arrigo et al. (2002), mediante la determinación del contenido de ácidos húmicos.

Pareciera entonces que, como manifestara Haynes (2005), los cinco años transcurridos desde la implementación de estos sistemas de labranza, resultan insuficientes para expresar diferencias entre ellos, respecto de las fracciones de materia orgánica analizadas.

Desde otra perspectiva, cabe señalar que USDA (1998, op. cit.) plantea que los valores de materia orgánica total se relacionan con determinados porcentajes de agregados estables. Así, para contenidos

de MOt comprendidos entre el 2 y el 8%, cabría esperar entre 75 y 81% de agregados estables.

La información obtenida en este trabajo señala que solamente la situación de mínima disturbación y el tratamiento SDS, presentan valores de agregados estables (97,1 y 80% respectivamente) coincidentes con los esperables según las consideraciones de USDA (1998, op. cit.), mientras que el resto de los tratamientos muestran una proporción de agregados estables mucho menor a la esperable, situación que resulta extrema en la condición de máxima disturbación.

Lo expuesto anteriormente, podría indicar una marcada diferencia a favor del estado del suelo en mínima disturbación y SDS pero, dada la correlación positiva y significativa al 5% ($R = 0,83319$) existente entre seis pares de datos de MOt en los primeros 5 cm del perfil y agregados estables (Figura 22), con una tendencia similar a la mencionada por Haynes (2000) para suelos con 2 a 4% de materia orgánica, sería más conveniente atribuir esa discrepancia a que la información de USDA no resulta de aplicación generalizada.

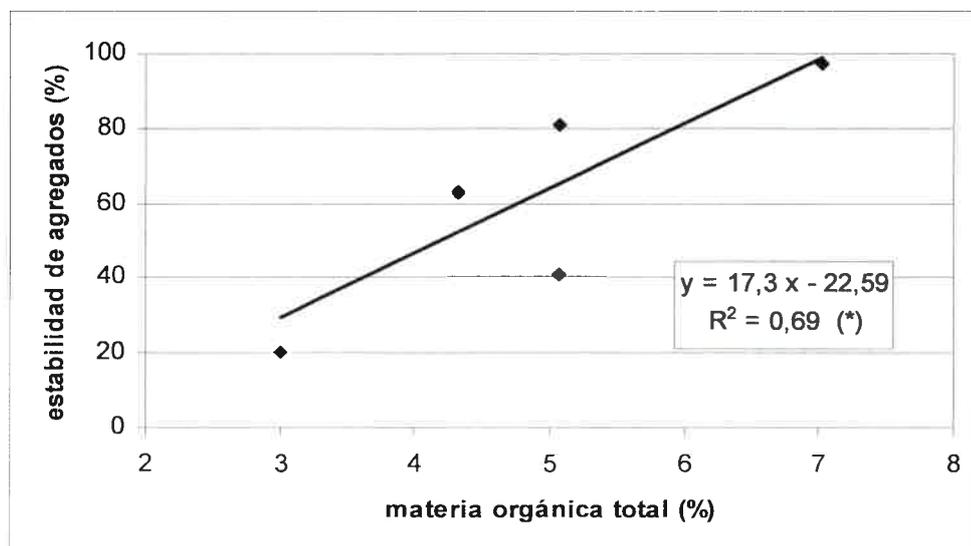


Figura 22. Variación de la estabilidad de agregados, en función del porcentaje de materia orgánica total presente en los primeros 5 cm del horizonte superficial de un Argiudol típico de la pampa ondulada

4.8. Infiltración y escurrimiento (IN-ES)

Los resultados muestran claramente la existencia de dos grupos de tratamientos respecto de la infiltración.

Uno de ellos, integrado por mínima disturbación, SD y SDS, se asocia con los valores máximos y el otro, formado por LR, LRS y máxima disturbación presenta los valores mínimos (Figura 23).

Entre los factores que explicarían estas diferencias se pueden mencionar la cobertura superficial (Green et al, 2003), y el grado de disturbio del suelo (Echeverría et al., 2002).

La infiltración acumulada de la situación de mínima disturbación (120 mm) superó en más de tres veces a la correspondiente a máxima disturbación (34 mm), valores que coinciden con el máximo y mínimo respectivamente.

Esa condición de máxima infiltración verificada en md, coincide con la encontrada por Cisneros et al. (1996) en suelos Haplustoles típicos en condición de monte natural.

Se destaca que el tratamiento SDS permitió la infiltración acumulada más cercana a md (100 mm), mientras que LR presentó el valor (45 mm) más próximo a MD.

Tal como informaran Mon e Irurtia (2004) para suelos y períodos similares bajo siembra directa, se verificó un marcado efecto del subsolado sobre la infiltración de agua en el caso de este sistema.

En concordancia con el efecto positivo de la siembra directa sobre la infiltración, verificado por Michelena et al. (2002) en un Haplustol éntico, los tratamientos que incluyen este sistema de labranza, muestran para sus dos variantes, valores de infiltración acumulada que, como mínimo en el caso de SD (86 mm), prácticamente duplican los obtenidos en los tratamientos con labranza reducida, en los cuales, por otra parte, el subsolado no mejoró la infiltración respecto de LR (48 mm).

Estas diferencias entre tratamientos con siembra directa y labranza reducida resultan aún superiores a las halladas por Truman et al. (op. cit., 2004) entre sistemas con siembra directa y labranza convencional.

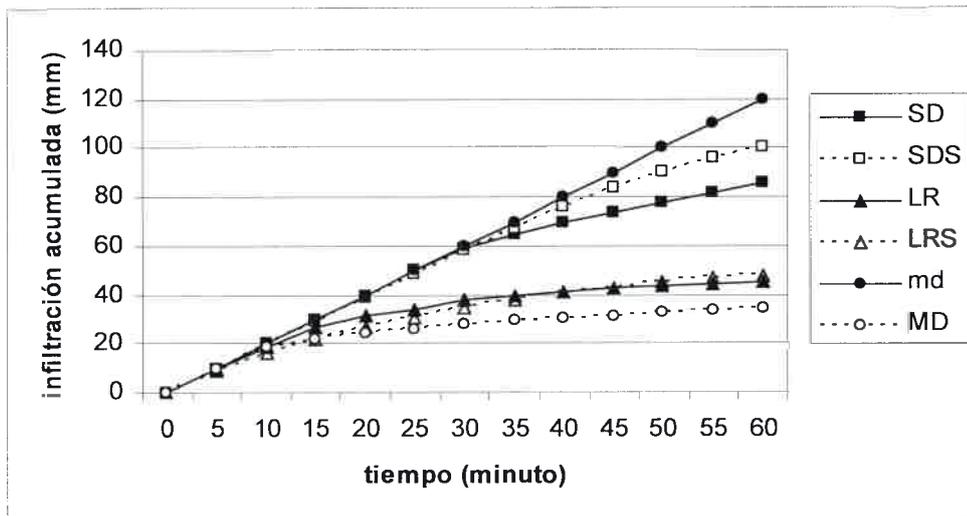


Figura 23. Infiltración acumulada según tratamiento, en un Argiudol típico de la pampa ondulada

Al comparar la velocidad de infiltración al final del ensayo (Figura 24) con los valores y clases de infiltración propuestas por USDA (1998, op. cit.), se observan una vez más diferencias marcadas entre tratamientos.

Nuevamente surgen dos grupos de tratamientos: uno integrado por mínima disturbación, SD y SDS que corresponden a la clase de infiltración "moderadamente rápida" con valores de 120, 54 y 48 mm. h^{-1} y otro formado por LR, LRS y MD ubicado en la clase de infiltración "lenta" con velocidades finales de 6, 12 y 2 mm. h^{-1} cada uno. La capacidad de md para mantener una velocidad de infiltración alta y constante a través del tiempo, se asemejó a la hallada en suelos similares por Morrás et al. (2001). El valor registrado en md, probablemente debido a la diferencia de escala entre determinaciones, resultó parecido al detectado en laboratorio para un suelo en condiciones simuladas de siembra directa con cobertura (Chagas et al., 2004, op. cit.). Por otra parte, la asociación entre velocidad de infiltración y grado de disturbación se asemeja a la encontrada por Osunbitan et al. (2005, op. cit.).

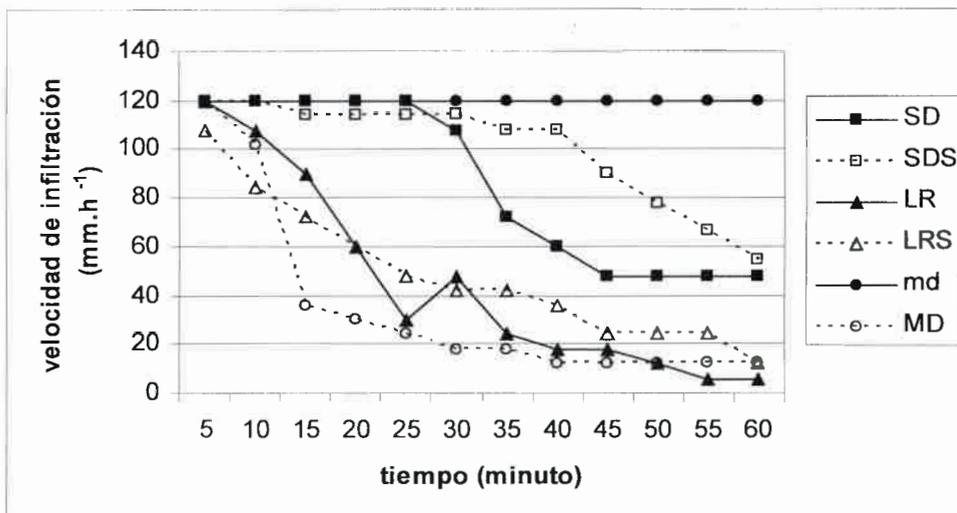


Figura 24. Velocidad de infiltración durante el ensayo según tratamiento, en un Argiúdol típico de la pampa ondulada

Los coeficientes de escurrimiento hallados (Figura 25) sirven para diferenciar una vez más dos grupos de tratamientos.

El primero de ellos reúne a los tratamientos LR, LRS y la situación de máxima disturbación y presenta valores iguales o mayores a 0,60; mientras que el segundo, formado por SD, SDS y md, muestra coeficientes de escurrimiento que van desde 0 en mínima disturbación hasta 0,28 en SD.

Al comparar estos valores con el coeficiente de escurrimiento de 0,38 obtenido por Castiglioni et al. (2006) a nivel de microcuenca para siembra directa y labranza convencional, se observa que, mientras los coeficientes de SD no difieren demasiado, aquellos correspondientes a LR, LRS y MD resultan muy superiores al encontrado para labranza convencional. Surge nuevamente, que la diferencia de escala entre determinaciones no sólo afecta la comparación de resultados, sino que lo hace además de manera heterogénea según el sistema de labranza considerado.

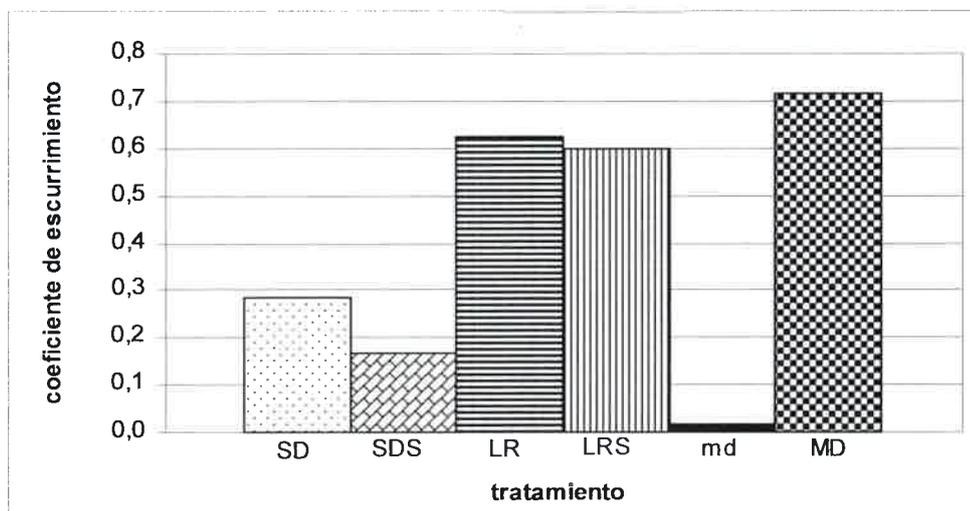


Figura 25. Coeficientes de escurrimiento para diferentes tratamientos de laboreo, en un Argiudol típico de la pampa ondulada

La comparación entre los datos de escurrimiento acumulado y la capacidad de escurrimiento de los Argiudoles típicos (grupo hidrológico C) calculada por el método de la curva número (SCS, 1986) se presenta en la Tabla 23.

Tabla 23. Escurrimiento acumulado medido y capacidad de escurrimiento estimada por Curva Número para un Argiudol típico de la pampa ondulada (grupo hidrológico C)

Tratamiento	Escurrimiento acumulado medido (mm)	Capacidad de escurrimiento estimada por CN para Grupo Hidrológico C (mm)
MD	86	91
LR	75	84
LRS	72	84
SD	34	71
SDS	20	71
Md	0	54

Se observa que la situación de máxima disturbación presenta un escurrimiento acumulado ligeramente inferior a la capacidad de escurrimiento esperable para este tipo de suelo.

Para el resto de los tratamientos el método de la curva número continúa sobreestimando los escurrimientos potenciales.

Dada la información obtenida y con el objeto de discriminar mejor el comportamiento de los distintos sistemas de labranza, se reestimó la capacidad de escurrimiento a partir de las curvas número de los grupos hidrológicos B y A que corresponden a suelos con mayor permeabilidad que los del ensayo (Tabla 24).

Tabla 24. Escurrecimiento acumulado y capacidad de escurrimiento estimada por Curva Número para los grupos hidrológicos B y A

Tratamiento	Escurrecimiento acumulado medido (mm)	Capacidad de escurrimiento estimado por CN para	
		Gr. Hidr. B	Gr. Hidr. A
MD	86	79	58
LR	75	67	48
LRS	72	67	48
SD	34	56	35
SDS	20	56	35
Md	0	30	3

La comparación de los escurrimientos medidos con los estimados por la curva número, ponen de manifiesto que los tratamientos LR y LRS y la situación de máxima disturbación presentan un escurrimiento acumulado que correspondería al grupo hidrológico C, coincidente con las características morfogenéticas del suelo del ensayo.

En cambio, los tratamientos SD y SDS, al igual que la situación de mínima disturbación, se comportan como suelos pertenecientes al grupo hidrológico de máxima permeabilidad.

Estas marcadas diferencias respecto del funcionamiento hidrológico de los distintos tratamientos y situaciones de referencia, sólo pueden ser atribuidas al sistema de laboreo.

Sin eludir la opinión de Green et al. (2003, op. cit.) respecto del efecto marcado pero transitorio de las labranzas sobre la infiltración y el escurrimiento, la información obtenida, indicaría que estas propiedades, presentan elevada capacidad de discriminación no sólo entre condiciones

edáficas contrastantes, sino aun entre diferentes sistemas conservacionistas de laboreo.

Finalmente, se destaca que las diferencias de escala espacial y temporal existentes entre ambas metodologías, confieren un carácter orientativo a los resultados de la comparación entre valores obtenidos en ensayos de simulación de lluvia y aquellos calculados por el método de la curva número.

4.9. Cobertura (COB)

Los resultados muestran que los valores máximos y mínimos de cobertura se asociaron a md y MD respectivamente, con valores intermedios entre estos extremos para los tratamientos cultivados, según el siguiente orden decreciente: SD, SDS, LR y LRS (Tabla 25).

Tabla 25. Cobertura del suelo según época de determinación y tratamiento

Época de determinación	Cobertura y pérdida (%)					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
Siembra - emergencia	91 (b)	74 (c)	63 (d)	60 (d)	99 (a)	40 (e)
Post - cosecha	80 (b)	61 (c)	60 (c)	58 (c)		

Entre los tratamientos cultivados, las coberturas más altas correspondieron a aquellos con siembra directa para ambos momentos de muestreo a semejanza de lo expuesto por Arzeno y Corvalán (2000, op. cit.) y a las variantes sin subsolado en coincidencia con lo informado por Díaz-Zorita (op. cit., 2000), quien además obtuvo valores de cobertura muy parecidos a estos en los tratamientos basados en siembra directa.

Sin embargo, esos mayores valores de cobertura, y pese a los años transcurridos desde la implementación de ese sistema de labranza, resultaron significativamente menores que los correspondientes a la situación de mínima disturbación.

Los valores de reducción de cobertura (Tabla 26) debidos al subsolado, que resulta notablemente mayor en el caso de la siembra directa, son similares a los mencionados por Griffith et al. (1986, op. cit.).

Tabla 26. Disminución porcentual de cobertura por descomposición y subsolado

Causa de la disminución	Tratamiento			
	SD	SDS	LR	LRS
Descomposición	12	17	5	3
Subsolado	19		5	

Por otra parte, la merma de residuos superficiales debida a la mineralización durante el período del ensayo, también es mucho mayor en los tratamientos con siembra directa que en aquellos con labranza reducida.

Este hecho coincidiría, con lo verificado por Darwich et al. (2002) en el sentido de que el aumento en la cantidad de residuos no implica una disminución en su tasa de descomposición.

Sin embargo, los resultados de este ensayo se diferencian de los informados por Álvarez y Álvarez (2002) respecto de una más alta descomposición inicial de residuos de trigo, en sistemas de labranza que implican mayor contacto de éstos con el suelo.

Esta diferencia, podría atribuirse a que, luego de transcurridos varios años de aplicación de siembra directa, la acción de los distintos factores que intervienen en el proceso de mineralización de residuos de cosecha (Guérif et al., 2001), así como la mayor cantidad y actividad de microorganismos involucrados en el mismo (Thuar et al., 2002), determina la aceleración de esa transformación.

Esa mayor descomposición de residuos vegetales en siembra directa que muestran los resultados, dada su asociación con altos porcentajes de cobertura, no debería considerarse nociva para la protección del suelo, sino más bien favorecedora de la recirculación de nutrientes y materia orgánica en el mismo.

Aunque todos los tratamientos determinan coberturas del suelo superiores al 30 %, límite a partir del cual se considera a una labranza como conservacionista (CTIC, 1983), si se aplican los criterios utilizados en el método de la Curva Número de escurrimiento (SCS, op. cit., 1986) la condición entre ellos resulta muy diferente.

La situación de mínima disturbación, así como los tratamientos que incluyen siembra directa, muestran buenos porcentajes de cobertura (superior al 75%); los tratamientos LR y LRS se asocian con cubiertas regulares (50-75%) y sólo puede considerarse pobre (menor del 50%) el valor correspondiente a la situación de máxima disturbación, el cual tampoco resulta inferior al 30% considerado por Luque et al. (2002) como crítico para la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica.

Dado que, para coberturas semejantes a las verificadas en SD, Hussain et al. (1999, b) estimaron pérdidas de suelo por erosión hídrica de $7,9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ solamente algo inferiores al nivel de tolerancia de $8,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Walker y Pope 1983), surge claramente la necesidad de implementar sistemas conservacionistas de labranza que garanticen altos valores de cobertura con el objeto de disminuir el riesgo de erosión hídrica en condiciones similares a las del ensayo.

4.10. Rendimiento del cultivo

Los valores obtenidos muestran el efecto positivo del subsolado sobre el rendimiento dado que las producciones mayores se asocian con los tratamientos que incluyeron dicha práctica (Tabla 27), según el siguiente orden decreciente: SDS, LRS, SD y LR.

Tabla 27. Rendimiento del cultivo del maíz para diferentes sistemas de laboreo en un Argiudol típico de la pampa ondulada

Tratamiento	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Rendimiento relativo al máximo (%)
SD	7863 (b)	88
SDS	8946 (a)	100
LR	7771 (b)	86
LRS	8263 (ab)	92

Así como se verificara para diferentes propiedades, el efecto favorable del subsolado sobre el rendimiento mencionado por Sadras et al. (2005); Gueçaimburu et al. (2005); Harrison et al. (1994) y Vepraskas et al. (1995), resulta más relevante en el caso de su aplicación sobre el sistema de siembra directa.

Morrás et al. (2001, op. cit.) atribuyeron el aumento del rendimiento en situaciones de SDS en suelos semejantes a los del ensayo, al incremento de la capacidad de retención de agua que generó la labor profunda.

No obstante ello, Alvarez et al. (2006), informaron que en condiciones de adecuada disponibilidad hídrica, no se verificaría una mayor producción de maíz por aplicación del subsolado.

4.11. Índices de degradación relativa

4.11.1. Índice de degradación relativa para densidad aparente actual (IDR_{DAP})

En siembra-emergencia y para el horizonte superficial todos los tratamientos de labranza y la MD muestran diferencias significativas en el IDR_{DAP} respecto de la situación de mínima disturbación. No obstante, entre ellos no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 28).

Tabla 28. Índices de degradación relativa para densidad aparente actual, en siembra-emergencia en un Argiudol típico de la pampa ondulada

Profundidad (cm)	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
0-20	1,2 (a)	1,2 (a)	1,2 (a)	1,2 (a)	1,0 (b)	1,2 (a)
20-40	0,9 (c)	0,9 (bc)	1,0 (b)	1,1 (a)	1,0 (bc)	1,1 (a)
40-60	0,9 (a)	1,1 (a)	1,0 (a)	1,1 (a)	1,0 (a)	1,0 (a)

En el horizonte subsuperficial, tal como se observara en otras propiedades, el subsolado sólo muestra efectividad para revertir la degradación de DAP respecto de la situación de mínima disturbación, al ser aplicado sobre siembra directa (SDS).

La falta de diferencias significativas entre tratamientos, verificada entre los 40 y 60 cm de profundidad indicaría que, al no existir efecto de las labores en esta parte del perfil, tampoco se registra degradación para esta propiedad.

En post-cosecha (Tabla 29), en el horizonte superficial, sólo SDS presenta un IDR_{DAP} próximo al de la situación de mínima disturbación, mientras que en el resto de los tratamientos se expresa algún nivel de degradación.

Tabla 29. Índices de degradación relativa para densidad aparente actual, en post-cosecha en un Argiudol típico de la pampa ondulada

Profundidad (cm)	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
0-20	1,2 (a)	1,1 (ab)	1,2 (a)	1,2 (a)	1,0 (b)	1,2 (a)
20-40	1,0 (a)	0,9 (a)	1,0 (a)	0,9 (a)	1,0 (a)	1,0 (a)
40-60	1,1 (ab)	1,0 (b)	1,1 (ab)	1,0 (b)	1,0 (b)	1,1 (a)

En el horizonte subsuperficial no se registra ninguna diferencia significativa entre tratamientos.

Esta circunstancia, diferente de la verificada en siembra-emergencia, podría atribuirse a que la correlación entre DAP y humedad gravimétrica informada anteriormente, atenuaría las diferencias entre valores de densidad aparente actual en suelos expansivos como los del ensayo y en condiciones de mayor contenido hídrico como las de post-cosecha, por lo cual quedaría enmascarado el efecto de la labor profunda.

Entre 40 y 60 cm de profundidad, sólo surgen diferencias significativas para este índice entre las dos situaciones extremas de disturbación.

4.11.2. Índice de degradación relativa para índice anisotrópico (IDR_{IA})

Según los valores de este índice en siembra-emergencia y post-cosecha, así como los correspondientes al promedio entre ambas épocas de determinación, el tratamiento SDS muestra claramente la menor degradación respecto de la situación de mínima disturbación, a diferencia de los tratamientos restantes que expresan un fuerte deterioro (Tabla 30).

**Tabla 30. Índices de degradación relativa para el índice anisotrópico
en un Argiudol típico de la pampa ondulada**

Época de determinación	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
Siembra-emergencia	3,7	1,6	3,7	3,3	1,0	3,7
Post-cosecha	2,9	2,2	1,7	2,9	1,0	2,3
Promedio	3,3	1,9	2,7	3,1	1,0	3,0

Todos los valores obtenidos, indican que el efecto positivo del subsolado se verifica claramente sólo al ser aplicado sobre el sistema de siembra directa, situación coincidente con la verificada para el índice de degradación relativa correspondiente a DAP.

4.11.3. Índice de degradación relativa para estabilidad de agregados (IDR_{EA})

La menor degradación de la estabilidad de agregados se verifica en el tratamiento SDS y la mayor en la situación de máxima disturbación (Tabla 31).

**Tabla 31. Índices de degradación relativa para estabilidad de agregados
en un Argiudol típico de la pampa ondulada**

	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
IDR _{EA}	2,4 (c)	1,2 (ab)	1,5 (b)	1,5 (b)	1,0 (a)	4,8 (d)

Se observa una vez más, que el subsolado reduce notablemente la degradación solamente al ser aplicado sobre el sistema de siembra directa.

4.11.4. Índice de degradación relativa para materia orgánica (IDR_{MO})

Para las dos profundidades del horizonte superficial y los tres tipos de materia orgánica estudiados, la mayor degradación respecto de la situación de mínima disturbación se verifica siempre en MD y la menor en el tratamiento SD (Tabla 32).

Tabla 32. Índices de degradación relativa para materia orgánica en un Argiudol típico de la pampa ondulada

Profundidad (cm)	IDR M.O. TOTAL				IDR M.O. VIEJA				IDR M.O. JOVEN			
	SD	LR	md	MD	SD	LR	md	MD	SD	LR	md	MD
0-5	1,4	1,6	1,0	2,3	1,5	1,5	1,0	1,9	1,4	1,7	1,0	2,4
	(b)	(c)	(a)	(d)	(b)	(b)	(a)	(c)	(b)	(b)	(a)	(c)
5-20	1,3	1,4	1,0	1,8	1,4	1,4	1,0	2,0	1,3	1,5	1,0	1,7
	(a)	(c)	(a)	(d)	(b)	(b)	(a)	(c)	(b)	(b)	(a)	(c)

Los IDR correspondientes a materia orgánica total determinan en todos los casos, un mayor número de diferencias significativas que los IDR de MO_v y MO_j y expresan de manera más enfática, el menor deterioro de esta propiedad en el tratamiento de siembra directa.

Por lo tanto, el IDR de materia orgánica total, resultaría más sensible para diferenciar los efectos de sistemas de labranza empleados durante períodos similares a los del ensayo.

4.11.5. Índice de degradación relativa para infiltración acumulada (IDR_{IN})

Para infiltración acumulada, el mejor comportamiento respecto de la situación de mínima disturbación se registró en el tratamiento SDS, mientras que la mayor degradación coincidió con la situación de máxima disturbación, seguida por la correspondiente a LR (Tabla 33).

Tabla 33. Índices de degradación relativa para infiltración acumulada en un Argiudol típico de la pampa ondulada

IDR _{IN}	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
	1,4	1,2	2,6	2,5	1	3,5

En coincidencia con lo encontrado al analizar los IDR para densidad aparente actual, índice anisotrópico y estabilidad de agregados, se destaca que el efecto positivo del subsolado se verifica consistentemente al combinarse con el sistema de siembra directa.

4.11.6. Índice de degradación relativa para cobertura (IDR_{COB})

Los datos obtenidos muestran que la menor degradación de cobertura ocurre siempre en los tratamientos que incluyen el sistema de siembra directa (Tabla 34).

Tabla 34. Índices de degradación relativa para cobertura del suelo en un Argiudol típico de la pampa ondulada

Época de determinación	Tratamientos					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
siembra-emergencia	1,1 (b)	1,3 (c)	1,6 (d)	1,6 (d)	1,0 (a)	2,5 (e)
post-cosecha	1,2 (b)	1,6 (c)	1,6 (c)	1,7 (c)	1,0 (a)	2,5 (e)

No obstante ello, se observa que el subsolado determina mayor degradación de la cobertura durante el período del cultivo, al aplicarse sobre el sistema de siembra directa.

4.12. Correlación entre propiedades

Dado que las propiedades relacionadas con el funcionamiento hidrológico de los suelos, resultaron las de mayor capacidad de discriminación entre tratamientos, se utilizó la infiltración acumulada como variable síntesis y se testearon las posibles relaciones existentes entre esta propiedad y las restantes, a los fines de integrar en forma preliminar propiedades en ecuaciones de edafotransferencia (Mc Bratney et al., 2002).

No se establecieron correlaciones con compactación relativa, debido a que su fórmula de cálculo determinaría valores similares a los de densidad aparente actual, ni con diámetro ponderal medio por haber resultado una propiedad con menor capacidad de discriminación que la distribución de tamaño de agregados de la cual deriva.

Para otorgar mayor validez a estas correlaciones y dada la influencia del contenido hídrico sobre algunas de las propiedades, en todos los casos en que se contaba con dos épocas de determinación, se emplearon los datos correspondientes a siembra-emergencia, por tratarse del momento en que se midió la infiltración acumulada.

Los coeficientes de correlación (R) respecto de la infiltración acumulada se calcularon en todos los casos a partir de seis pares de datos. Resultaron positivos en el caso de las propiedades cuyos valores aumentan en igual sentido que la calidad del suelo (porcentaje de agregados con diámetro superior a 50 mm, estabilidad de agregados, materia orgánica y cobertura), mientras que fueron negativos para los atributos restantes (Tabla 35).

Tabla 35. Coeficientes de correlación (R) entre diferentes variables del suelo y la infiltración acumulada para un Argiudol típico de la pampa ondulada

Propiedad correlacionada	Horizonte	
	Superficial (0-20 cm)	Subsuperficial (20-40 cm)
Densidad aparente actual	-0,518	-0,721
Densidad aparente máxima	-0,764 *	
Resistencia a la penetración máxima	-0,831 *	-0,473
Resistencia a la penetración mínima	-0,847 *	-0,756 *
Resistencia a la penetración 0-5 cm	-0,568	
Resistencia a la penetración 6-10 cm	-0,870 *	
Resistencia a la penetración 11-15 cm	-0,878 **	
Resistencia a la penetración 16-20 cm	-0,829 *	
Resistencia a la penetración 21-25 cm		-0,655
Resistencia a la penetración 26-30 cm		-0,622
Resistencia a la penetración 31-35 cm		-0,874 *
Resistencia a la penetración 36-40 cm		-0,175
Índice anisotrópico		-0,836 *
Agregados con diámetro superior a 50 mm (%)	0,956 **	0,955 **
Agregados de diámetro entre 11,2 y 50 mm (%)	-0,318	-0,260
Agregados de diámetro menor de 11,2 mm (%)	-0,893 **	-0,876 **
Estabilidad de agregados (%)	0,728	
Materia orgánica total 0-5 cm (%)	0,917 **	
Materia orgánica total 5-20 cm (%)	0,919 **	
Materia orgánica vieja 0-5 cm (%)	0,749	
Materia orgánica vieja 5-20 cm (%)	0,816 *	
Cobertura (%)	0,896 **	

(*) nivel de significación del 5%

(**) nivel de significación del 1%

La mayoría de los coeficientes de correlación resultaron significativos.

Se destaca el elevado nivel de significación de los coeficientes de correlación para los horizontes superficial y subsuperficial, respecto de agregados con diámetro mayor de 50 mm y menor de 11,2 mm; tendencia similar a la informada por Govaertes et al. (2007) luego de la aplicación de diferentes sistemas de labranza durante períodos prolongados.

Lo mismo ocurre con los coeficientes que vinculan la cobertura del suelo y la materia orgánica total de las dos profundidades del horizonte superficial analizadas. Estos últimos presentaron valores similares a los encontrados por Becker et al. (2002), entre carbono orgánico y pérdida de suelo por erosión laminar, propiedad que guarda una fuerte relación inversa con la infiltración.

En cuanto a los coeficientes de correlación que incluyen a resistencia a la penetración, se observa que una mayor cantidad de valores significativos coinciden con el horizonte superficial.

Se obtuvo un coeficiente de correlación significativo respecto de DAP máxima pero no así respecto de densidad aparente actual. Esta última condición, resulta semejante a la hallada por De La Vega et al. (2004) entre la velocidad final de infiltración y densidad aparente actual en un Argiudol vértico.

Entre las correlaciones que no resultaron significativas, se destaca el porcentaje de agregados con diámetro comprendido entre 11,2 y 50 mm en ambos horizontes, atributo que ya había expresado baja capacidad de discriminación entre tratamientos.

A diferencia de lo hallado por Zhang et al. (2007) en ensayos de mayor duración, tampoco se verificó correlación significativa respecto de la estabilidad de agregados.

La información obtenida no sólo reafirmaría la elevada capacidad de discriminación entre estados diferentes de deterioro de los suelos, por parte de la infiltración acumulada detectada previamente, sino que señalaría además su potencialidad predictiva respecto de la condición de otras propiedades indicadoras de calidad edáfica.

4.13. Evaluación de la degradación

Como era previsible, el índice de degradación de la situación de máxima disturbación resultó el más alto de todos, mientras que el tratamiento SDS se asoció con el valor más cercano al de la situación de

mínima disturbación, hecho consistente con el adecuado comportamiento verificado en este tratamiento para casi todas las propiedades (Tabla 36).

Tabla 36. Índice de degradación relativa para los tratamientos cultivados durante el ensayo y situaciones de referencia en un Argiúdol típico de la pampa ondulada

Propiedad	Índice de degradación relativa para cada propiedad y época de determinación											
	Siembra-emergencia						Post-cosecha					
	SD	SDS	LR	LRS	md	MD	SD	SDS	LR	LRS	md	MD
DAP 0-20 cm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,0	1,2
DAP 20-40 cm	0,9	0,9	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0
Ind. anisotrópico	3,7	1,6	3,7	3,3	1,0	3,7	2,9	2,2	1,7	2,9	1,0	2,3
Estab. agregados							2,4	1,2	1,5	1,5	1,0	4,8
M.O. total 0-5 cm							1,4	1,4	1,6	1,6	1,0	2,3
M.O. total 5-20 cm							1,3	1,3	1,4	1,4	1,0	1,8
M.O. vieja 0-5 cm							1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,9
M.O. vieja 5-20 cm							1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	2,0
Infiltrac. acumul.	1,4	1,2	2,6	2,5	1,0	3,5						
Cobertura	1,1	1,3	1,6	1,6	1,0	2,5	1,2	1,6	1,6	1,7	1,0	2,5
Sumatoria	8,3	6,2	10,1	9,7	5,0	12,0	14,3	12,6	13,0	14,1	9,0	19,9
IDR tratamientos	1,6	1,3	1,6	1,7	1,0	2,3						
IDR trat. cultivados.	1,2	1,0	1,2	1,3								

Los tratamientos cultivados y situaciones de referencia, presentaron el siguiente orden decreciente respecto de su índice de degradación relativa: MD; LRS; LR-SD; SDS y md.

El ordenamiento mencionado, coincide en líneas generales con el informado por Morón et al. (2004). Estos autores, mediante la utilización de un índice de calidad de suelo basado exclusivamente en sus propiedades químicas, asignaron el mejor y peor valor a las situaciones de mínima y máxima disturbación respectivamente y una valoración intermedia para el sistema SD.

La aplicación de un indicador de calidad, basado en la relación existente entre la materia orgánica presente en dos profundidades del suelo (Arzeno et al., 2004), determinó condiciones de calidad semejantes

a las de este ensayo para SD y MD, aunque asignó a LRS una condición de menor degradación.

Finalmente, al vincular cuatro pares de datos de rendimientos e índices de degradación de los tratamientos cultivados durante el ensayo, se obtiene una correlación negativa, aunque no significativa, entre ambos parámetros (Figura 26); situación que resultaría equivalente a la informada por Oneto et al. (2005, b), respecto de la asociación positiva entre rendimiento e índices de resultado de condición de suelo.

Surge como válida, la especulación sobre la posibilidad de obtener una mejor correlación entre índices de degradación y rendimiento, si esta se refiere a las producciones correspondientes a una serie de cosechas en lugar de hacerlo, como en este estudio, a la información provista por un solo ciclo de cultivo.

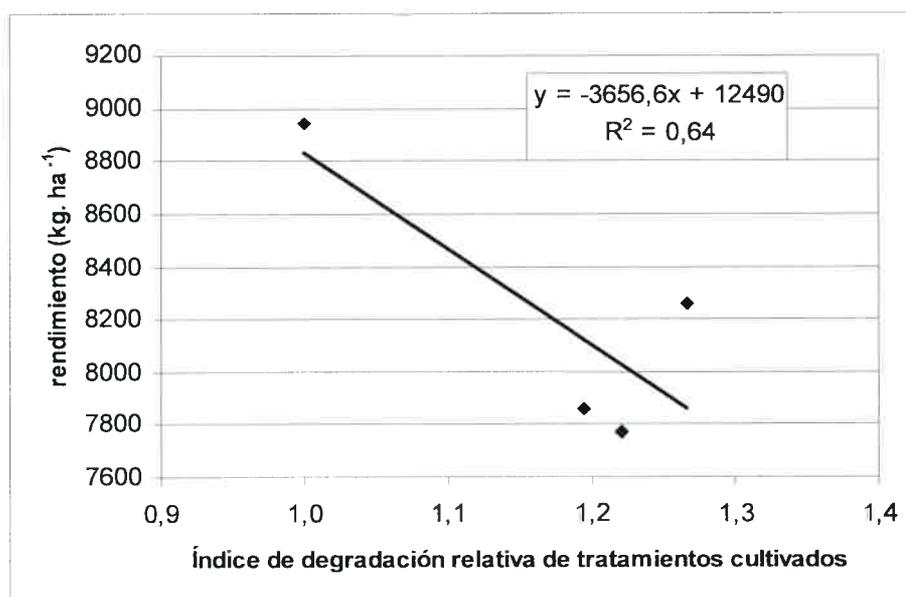


Figura 26. Variación del rendimiento en función del índice de degradación relativa de los tratamientos cultivados durante el ensayo

Las similitudes registradas entre los resultados obtenidos mediante la aplicación del sistema de valoración propuesto y aquellos alcanzados por otros autores, avalarían, al menos en una primera instancia, la utilidad de la metodología diseñada, como instrumento de discriminación de las

condiciones de deterioro de los suelos, no sólo en el caso de condiciones edáficas contrastantes, para las cuales el índice de calidad propuesto por Irigoien et al. (2004) determinó diferencias marcadas, sino también entre diferentes sistemas conservacionistas de laboreo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Las consecuencias de la remoción provocada por el subsolador sobre las diferentes propiedades, en coincidencia con su zona de acción, se verificaron principalmente en el horizonte superficial y subsuperficial, pero fueron distintas en siembra directa que en labranza reducida, aunque en ambos casos determinaron incrementos en el rendimiento.

Según esta investigación, la combinación de la siembra directa con el subsolado, surge como la alternativa de mejor comportamiento para el manejo conservacionista de Argiudoles típicos en la subregión pampa ondulada, por su capacidad para compatibilizar un bajo nivel de deterioro edáfico, la recuperación de condiciones físicas y el más elevado rendimiento relativo del cultivo indicador utilizado.

La sensibilidad para valorar los estados de deterioro/recuperación de las variables utilizadas mostró el siguiente orden decreciente: infiltración-escurrimiento > estabilidad de agregados – cobertura > resistencia a la penetración - distribución de tamaño de agregados – materia orgánica total > densidad aparente – materia orgánica vieja – materia orgánica joven.

Esa diferente capacidad de discriminación de las propiedades incluidas en el índice de degradación, constituye en sí misma una herramienta válida para la organización de muestreos y la interpretación de resultados.

Dicha capacidad resulta máxima en el caso de los atributos que expresan la condición hidrológica del suelo, los cuales exhiben diferencias muy notables aun entre distintos sistemas conservacionistas de laboreo.

El escurrimiento producido por la situación de máximo disturbio y los sistemas de labranza reducida y labranza reducida con subsolado, coincide con el estimado para el grupo hidrológico al que pertenece el suelo (grupo C) empleado en el ensayo; los tratamientos restantes, generan láminas de escurrimiento que quedan comprendidas en el rango

previsto para el grupo edáfico hidrológico de máxima permeabilidad (grupo A).

Esas disparidades entre las láminas de escurrimiento, determinarán a su vez diferentes riesgos de erosión hídrica aun frente a idénticas condiciones edáfico-ambientales.

La infiltración adicional a esa elevada capacidad de diferenciación, su correlación significativa con la mayoría de las propiedades, sobre todo en el horizonte superficial, condiciones ambas que le otorgan potencialidad para inferir el comportamiento de otras características edáficas, o inversamente, para inferir dicha variable a través de otras de más fácil determinación.

La naturaleza expansible de los coloides en Argiúdoles típicos, es una característica que debe ser tomada en cuenta al analizar los valores de las propiedades afectadas por la misma, tales como densidad aparente actual y resistencia a la penetración, con el objeto de incrementar la validez de los resultados obtenidos.

Tanto los ciclos de expansión-contracción característicos de estos suelos, como la asociación funcional entre esas propiedades y el contenido de humedad edáfico, determinan la necesidad de utilizar métodos que tengan presentes esas condiciones y permitan lograr mayor certeza en la interpretación de los resultados. Estos procedimientos pueden consistir en expresar las mediciones en relación a contenidos hídricos de referencia o bien, como en el caso de este trabajo, en realizar el análisis y discusión de los resultados en forma independiente para cada momento de muestreo y estados de humedad.

La detección de algunos valores de resistencia a la penetración superiores a los considerados críticos, así como de zonas endurecidas en los horizontes, solamente a través de los registros de esta propiedad, la convierten en la más sensible entre las empleadas para expresar la dureza/compactación del perfil, al menos en los suelos expansibles y con contenidos hídricos variables como los característicos de este estudio.

Tanto la resistencia a la penetración, como la densidad aparente actual y la compactación relativa, ponen de manifiesto que la



compactación del perfil, usualmente asociada al sistema de siembra directa, se verificó en este ensayo sólo en el horizonte superficial. Por otra parte, el carácter común de esa compactación superficial al resto de los sistemas de labranza, la convierte en una manifestación del efecto acumulado del permanente uso agrícola del suelo no atribuible a un método de laboreo en particular.

Como una forma de expresión de la capacidad de recuperación o resiliencia de los agrosistemas poco alterados, la resistencia a la penetración, propiedad fuertemente influenciada por el contenido hídrico del suelo, resultó, sin embargo, independiente de este último en la situación de mínima disturbación.

La compactación relativa, se presenta como un indicador errático de la degradación en estos suelos expansibles con capacidad de autoestructuración, aunque la humedad crítica, parámetro derivado de su determinación, muestra menores valores a medida que aumenta el nivel de disturbio en coincidencia con los resultados de otras investigaciones.

Dada la proximidad entre los valores de humedad crítica y equivalente, el suelo estaría en condiciones de expresar su máxima compactación al realizar las labranzas en las condiciones acostumbradas de humedad, cercanas a capacidad de campo.

La distribución del tamaño de agregados, permite diferenciar en todos los horizontes la condición de las situaciones extremas de disturbación. El efecto preponderante de las labranzas sobre el horizonte subsuperficial, queda de manifiesto porque en esa porción del perfil esta propiedad es sensible para distinguir también entre los tratamientos cultivados durante el ensayo.

El conjunto de los porcentajes de cobertura del suelo proporcionados por los distintos sistemas de laboreo, aunque con grandes variaciones entre ellos, puede considerarse conservacionista. La disminución de la cobertura durante el ensayo, tanto por subsolado como por mineralización, resultó más intensa en los tratamientos que incluyen siembra directa pero a partir de valores iniciales superiores.

Los contenidos de materia orgánica expresan la recuperación asociada a los sistemas conservacionistas de labranza. La materia orgánica total llegó a discriminar entre todos los tratamientos evaluados, mientras que las fracciones vieja y joven no lograron hacerlo entre los sistemas de siembra directa y labranza reducida.

La estabilidad de agregados manifiesta también la tendencia a la recuperación de la calidad edáfica derivada de la utilización reiterada de sistemas conservacionistas de laboreo.

Tanto los resultados obtenidos, como el índice de degradación calculado, permitieron realizar una evaluación del estado de deterioro y recuperación del suelo producido por los distintos sistemas de laboreo y de su incidencia sobre el rendimiento de los cultivos.

Dado que este índice de degradación se basó en los valores de diversas propiedades medidas a través del perfil en diferentes momentos de muestreo, respondió a la premisa formulada por algunos autores respecto de la necesidad de evaluar la degradación del suelo, no en base al análisis individual de las propiedades, sino a través del estudio del conjunto de las mismas en los horizontes del perfil afectados por las labores.

El producto de la aplicación de este indicador de la degradación del suelo, fue consistente con la información obtenida para las distintas propiedades, momentos y profundidades de muestreo.

Las características mencionadas convierten a este índice en un instrumento de valoración de carácter integrador y dinámico, que mostró una aceptable sensibilidad para discriminar estados de degradación y grados de recuperación relativos.

El incremento del rendimiento en los tratamientos con subsolado, sumado a la diferente respuesta de las propiedades analizadas según esta labor profunda se combinara con el sistema de siembra directa o labranza reducida, conducen a la verificación parcial de la hipótesis de trabajo formulada referida a que, en Argiúdoles típicos franco-arcillo-limosos, la utilización de laboreo profundo en sistemas de labranza bajo

cubierta, mejora la funcionalidad del suelo en los aspectos hidrofísicos y mecánicos y aumenta su potencialidad para una producción sustentable.

ANEXO I

SERIE: PORTELA (PO)

HOJA IGM: 3360-33.

UBICACION: 13 Km. AL ESTE-NORDESTE DE LA ESTACION IRENEO PORTELA.

PROVINCIA: BUENOS AIRES.

PARTIDO/DEPARTAMENTO: BARADERO.

LATITUD: S 33° 58' 10''

LONGITUD: O 59° 31' 55''

ALTITUD: 29 M

La Serie Portela es un suelo oscuro, profundo y bien drenado que se presenta sobre las lomas y pendientes de las cercanías del Arroyo Del Tala y del Río Arrecifes, en los Partidos de San Pedro y Baradero, Provincia de Buenos Aires.

En el área de la Hoja Pérez Millán, este suelo tiene escasa representatividad.

Sólo se lo encuentra en un pequeño sector de poco más de 1000 hectáreas al este de la Hoja, en campos cercanos al Paraje Cañada Marta, en las nacientes del arroyo Burgos.

El perfil de la Serie Portela se caracteriza por presentar un horizonte superficial pardo oscuro a negro cuando húmedo, de unos 30 cm de espesor, muy rico en materia orgánica, de textura franco-limosa a franco-arcillo-limosa.

Le sigue, sin transición, con un cambio textural abrupto, un horizonte B2 t, muy fuertemente textural, arcilloso, pesado, potente (1 metro de espesor, aproximadamente) y de estructura prismática fuerte.

Entre 1, 20 y 1, 30 m de profundidad, el perfil presenta una "discontinuidad" debida a la aparición de un material subyacente apreciablemente más limoso y con abundantes concreciones calcáreas y de textura franco-arcillo-limosa (horizontes IIB32ca y

IICca), representado por el característico "limo pampeano".

Se trata de un suelo fértil, de buena aptitud agrícola y con una permeabilidad moderadamente lenta debido al alto tenor de arcilla del horizonte B2.

En la Hoja Pérez Millán, la Serie Portela fue cartografiada como una unidad pura (Símbolo Po) y en su fase moderadamente erosionada (Po 2), pero también se presenta formando parte de complejos con otras series (Santa Lucía, Manantiales y Río Tala) cuya descripción se hace más adelante.

Por sus características, Portela se parece a la Serie Capitán Sarmiento, no presente en esta hoja, pero se diferencia de ella por la discontinuidad anteriormente mencionada.

Cuando este suelo domina, las tierras prácticamente no ofrecen limitaciones en cuanto a su uso potencial; por ello se le ha asignado la clase 1-2 de capacidad de uso.

Cuando aparece en lomas con pendientes superiores al 0,5 por ciento, debe prevenirse la erosión con prácticas sencillas de conservación.

Descripción del perfil típico

El perfil típico de la Serie Portela que se describe a continuación, fue tomado a 13 Km. al este-nordeste de la Estación Ireneo Portela, Partido de Baradero, Provincia de Buenos Aires.

AP 0-15 cm. Pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en seco. Pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo. Franco-limoso. Estructura granular fina débil. Ligeramente duro en seco. Friable en húmedo. Ligeramente plástico; ligeramente adhesivo. Límite inferior abrupto, suave.

A12 15-30 cm. Gris oscuro (10 YR 3/1) en seco. Negro (10 YR 2/1) en húmedo. Franco-arcillo-limoso. Estructura en bloques

subangulares medios moderados. Duro en seco. Friable en húmedo. Ligeramente plástico; ligeramente adhesivo. Límite inferior abrupto, suave.

B 21 t 30-62 cm. Pardo a pardo oscuro (7,5 YR 4/2) en seco. Pardo oscuro (7,5 YR 3/2) en húmedo. Arcilloso. Estructura en prismas regulares compuestos, gruesos muy fuertes, que rompe en prismas medios y en bloques angulares regulares. Duro en seco. Muy firme en húmedo. Muy plástico; adhesivo. Barnices ("clay skins") muy abundantes. Límite inferior claro, suave.

B 221 62-86 cm. Pardo (7,5 YR 5/2) en seco. Pardo a pardo oscuro (7,5 YR 4/2) en húmedo. Arcillo-limoso a arcilloso. Estructura en prismas compuestos regulares gruesos fuertes que rompe en bloques angulares gruesos. Muy duro en seco. Muy firme en húmedo. Muy plástico; adhesivo. Barnices ("clay skins") muy abundantes. Límite inferior gradual, suave.

B31t 86-127 cm pardo (7,5 YR 5/4) en seco. Pardo a pardo oscuro (7,5 YR 4/4) en húmedo. Arcillo-limoso. Estructura en prismas compuestos irregulares gruesos moderados que rompe en bloques angulares y subangulares gruesos moderados. Duro en seco. Firme en húmedo. Plástico; adhesivo. Barnices ("clay skins") abundantes. Límite inferior abrupto, irregular.

IIB32Ca 127-142 cm. Pardo (7, 5 YR 5/4) en seco. Pardo a pardo oscuro (7, 5 YR 4/4) en húmedo. Franco-arcillo-limoso. Estructura en bloques subangulares medios moderados. Ligeramente duro en seco. Friable en húmedo. Ligeramente plástico; ligeramente adhesivo. Concreciones calcáreas comunes. Límite inferior gradual, irregular.

IICca 142-190 cm. Pardo claro (7,5 YR 6/4) en seco. Pardo (7,5 YR 5/4) en húmedo. Franco-arcillo-limoso. Masivo. Friable.

Ligeramente plástico; ligeramente adhesivo. Concreciones calcáreas abundantes. Fuerte reacción de carbonatos en la masa.

Tabla 37. Datos analíticos de la Serie Portela

Horizonte	AP	A 12	B 21 t	B 22 t	B 31 t	II B 32 ca	II C ca
Profundidad (cm)	0 -15	15 - 30	30 - 62	62 - 86	86 -127	127 - 142	142 - 190
Materia orgánica (%)	3,7	3,38	1,84	0,60	0,39	0,27	0,17
Carbono total (%)	2,15	1,96	1,07	0,35	0,23	0,16	0,10
Nitrógeno (%)	0,20	0,172	0,097	0,044	0,038	0,027	
Relación C / N	11	11	11	8			
Arcilla (%)	26,0	28,3	58,4	53,3	40,2	29,2	28,0
Limo (%)	59,9	56,4	36,4	41,6	49,1	55,9	58,3
AMF 50 - 100 (%)	7,8	9,4	3,5	3,5	5,4	4,5	4,4
AF 100 - 250 (%)	0,5	0,5	0,5	0,3	0,6	0,4	0,3
AM 250 - 500 (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AG 500 - 1000 (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AMO 1 - 2 mm (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Calcáreo (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	4,5
Equiv. Humedad (%)	28,8	29,9	43,1	39,2	33,4	32,2	32,4
pH pasta	5,3	5,6	5,8	6,4	6,9	7,8	7,6
pH agua 1:2,5	5,8	6,0	6,2	6,7	7,1	8,1	7,9
Ca (meq /100 g)	13,4	15,3	26,1	21,5	19,9	24,8	26,0
Mg (meq /100 g)	2,2	2,9	4,2	5,6	4,4	4,5	4,9
Na (meq /100 g)	0,1	0,4	0,5	0,5	0,9	0,9	0,9
K (meq /100 g)	2,1	1,6	1,4	1,3	1,4	1,7	2,0
H (meq /100 g)	9,8	9,9	13,5	9,7	8,3		
Suma bases (meq /100g)	17,8	20,2	32,2	28,9	26,6	31,9	33,8
Saturación bases (%)	20,6	23,2	37,8	31,1	25,7	31,4	33,1
CIC (%)	86	87	85	93	100	100	100

ANEXO II

Humedad Gravimétrica (%)

Tabla 38. Determinación de humedad gravimétrica en siembra-emergencia (%)

Profundidad (cm)	SD	SDS	LR	LRS	md	MD	Promedio	Coefficiente de variación
0-20	24,19 (b)	23,56 (bc)	21,62 (c)	23,37 (bc)	33,41 (a)	18,68 (d)	24,14	20,55
20-40	37,17 (a)	36,37 (a)	29,01 (b)	26,55 (b)	27,90 (b)	25,83 (b)	30,47	16,43
40-60	37,39 (a)	33,52 (ab)	33,23 (ab)	33,26 (ab)	31,70 (ab)	28,40 (b)	32,92	8,85

Tabla 39. Determinación de humedad gravimétrica en post-cosecha (%)

Profundidad (cm)	SD	SDS	LR	LRS	md	MD	Promedio	Coefficiente de variación
0-20	34,90 (c)	41,39 (a)	36,88 (bc)	35,57 (c)	40,78 (ab)	19,41 (d)	34,82	23,01
20-40	30,89 (c)	37,07 (ab)	30,35 (c)	39,57 (a)	35,65 (ab)	33,29 (bc)	34,47	10,49
40-60	40,73 (ab)	37,49 (b)	34,35 (b)	35,54 (b)	45,27 (a)	33,99 (b)	37,90	11,56



BIBLIOGRAFÍA

Abril, A.; P. Salas; E. Lovera; S.Kopp; Casado-Murillo, N.. 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la Región Semiárida Central de la Argentina. *Ciencia del Suelo* 23 (2): 179-188.

Abu-Hamdeh. 2003. Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil an Tillage Research*. 74: 25 – 25.

Álvarez, C.; R. Álvarez. 2002. Descomposición de residuo de trigo en la región pampeana. Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Álvarez, C.; F. Frank; L. Goicochea; E. Noellemeyer; A. Quiroga. 2004. Evolución de parámetros físicos en un Haplustol éntico bajo distintos usos del suelo en la región semiárida pampeana. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Álvarez, C.; F. Gutiérrez Boem; M. Taboada; P. Prystupa; J. Ocampo; P. Fernández; M. Moulin; H. Vaccaro. 2004. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Álvarez, C.; M. Taboada; C. Bustingorri; F. Gutiérrez Boem. 2006. Descompactación de suelos en siembra directa: Efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo* 24 (1): 1-10.

Álvarez, R. 2002. Acumulación de carbono bajo siembra directa. Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Álvarez, R.; H. Steinbach. 2006. Efecto de la agricultura sobre el nivel de materia orgánica. En Alvarez (Ed.) *Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en los suelos pampeanos*. Editorial Facultad de Agronomía, UBA. Págs. 41-53.

Amanda, C.; A. Bachmeier. 2004. Relación suelo-vegetación en sistemas sustentables del Chaco árido argentino. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Amezqueta, E. 1999. Soil aggregate stability: A review. *J. Sustain. Agric.* 14 (2-3): 83-151.

Andriulo, A.; C. Nasal; M. Rivero. 2001. Los sistemas de producción conservacionistas como mitigadores de la pérdida de carbono orgánico edáfico. En: Panigatti, J.; D. Buschiazzo; H. Marelli. *Siembra Directa II*. Ediciones INTA. Págs. 17-28.

Andriulo, A.; B. Mary; J. Guerif. 1999. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie.* 19 (5): 365-377.

Andriulo, A.; J. Galanti; C. Pecorari; E. Torioni. 1991. Materia orgánica del suelo en la región pampeana argentina. Un método de fraccionamiento por tamizado. INTA. Informe Técnico N° 250, 3 – 15.

Apezteguía, H.; A. Andriulo; H. Salas; E. Lovera; R. Sereno. 2004. Simulación de la dinámica de la materia orgánica en suelos del centro de la provincia de Córdoba con el modelo AMG. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Árpád, K. 1980. Soil testing In Handbook of soil mechanics. Vol. 2. Elsevier Scientific Publishing Company. 258 págs.

Arrigo, N.; R. Palma; M. Conti; M. Tortarolo. 2002. Índices de humificación en sistemas de labranza conservacionista. Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Arzeno, J.; E. Corvalán; D. Huidobro; A. Franzoni; D. Matta. 2004. Indicador de calidad de suelo: Relación de la materia orgánica entre dos profundidades 0-5 cm y 5-20. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Arzeno, J.; Corvalán, E. 2000. Experiencia de largo plazo (1990-2000) con cuatro sistemas de labranza en Salta, Argentina. XI Conferencia de la Organización Internacional para la Conservación del Suelo (XI ISCO). Buenos Aires, Argentina.

Ball, B.; D. Campbell; E. Hunter. 2000. Soil compactibility in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK. Soil and Tillage Research. 57: 83 – 91.

Barrios, M.; A. Bozzo Amado; S. Debelis; C. Leiva; G. Miranda; C. Giménez Padilla; A. Bujan. 2004. Efecto de laboreo conservacionista sobre el rendimiento y algunas propiedades físicas en soja. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Baver, L.; W.H. Gardner; W. R. Gardner. 1973. Física de Suelos. U.T.E.H.A..México.

Blake G. and K. Hartge. 1986. En A. Klute (de) Methods of soil analysis. Part I Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph N° 9 (2nd Edition). ASA and SSSA. Madison, WI: 363-375.

Becker, A.; J. Ossana; M. Cantú; T. Musso. 2002. Erosión hídrica laminar en relación a la degradación de suelos en el suroeste de la provincia de Córdoba. Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Boizard, H.; G. Richard; J. Roger-Estrade; C. Durr; J. Boiffin. 2002. Cumulative effects of cropping systems on the structure of the tilled layer in northern France. Soil and Tillage Research. 64: 149 – 164.

Bolinder, M.; D. Angers; E. Gregorich; M. Carter. 1999. The response of soil quality indicators to conservation management. Can. J. Soil Sci.. 79 (1): 37-47.

Bonadeo, E.. 1997. Efectos de la compactación superficial de un Hapludol típico sobre el comportamiento de las raíces del maní. Tesis de Magíster Scientae en Ciencias del Suelo. Escuela para Graduados F.A.U.B.A.. 124 págs.. Inédita.

Bonel, B.; Morrás, H.; V. Bisaro. 2005. Modificaciones de la microestructura y la materia orgánica en un Argiudol bajo distintas condiciones de cultivo y conservación. Ciencia del Suelo 23 (1): 1-12.

Bonel, B.; Denoia, J.; Costanzo, M.; Giubileo, G.; Zerpa, G.. 2004. Paratill effect on a Vertic Argiudol under continued no tillage systems. Ciencia e Investigación Agraria. 31 (3): 187-196.

Boone, F.; H. van der Werf; B. Kroesbergen; B. ten Hag; A. Boers. 1986. The effect of compaction of the arable layer in sandy soil on the growth of maize for silage. 1. Critical matric water potentials in relation to soil aeration and mechanical impedances. *Neth. J. Agric. Sci.* 34: 151 – 171.

Bordovsky, D.; M. Choudhary; C. Gerard. 1999. Effect of tillage, cropping, and residue management on soil properties in the Texas Rolling plains. *Soil Sci.* 164 (5): 331-340.

Botta, G.; D. Jorajuria; R. Balbuena; M. Ressia; C. Ferrero; H. Rosatto; M. Tourn. 2006. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. *Soil and Tillage Research*. Article in press. Accepted 16 December 2005

Bricchi, E.; B. Parra; F. Formia; L. Verri. 2004. Efecto del uso y las labranzas sobre la susceptibilidad a la compactación de un Hapludol típico. *Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Cabria, F.; J. Culot. 2001. Efecto de la agricultura continua bajo labranza convencional sobre características físicas y químicas en Udoles del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 19 (1): 1-10.

Camara, R. y Klein, V.. 2005. Soil physico-hydrical properties under chiseled no-tillage and soybean yield. *Ciencia Rural*. 35 (4): 813-819.

Cannell, R.; J. Hawes. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil Tillage Res.* 30: 245-282.

Carter, M. 1990. Relative measurements of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Can. J. Soil Sci.* 70: 425-433.

Casas, R. 2001. La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. *Disertación Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Premio Ing. Agr. Antonio J. Prego.* 37 págs..

Castiglioni, M.; C. Chagas; M. Massobrio; O. Santanatoglia; A. Buján. 2006. Análisis de los escurrimientos de una microcuenca de Pampa Ondulada bajo diferentes sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 24 (2): 169-176.

Cerana, L.; V. Nicollier. 1969. Las capas densas o duras y el crecimiento de los órganos de las plantas. *INTA Pergamino-Argentina.* 25 págs.

Ceriani, J.; L. Scaglia Rat; J. Torella; R. Introcaso; E. Faita; J. Gueiçamburu; E. Wasinger. 2000. "Efecto del encalado, la fertilización y las labranzas sobre algunos parámetros del suelo y el cultivo de alfalfa". *Actas del Congreso Argentino de Ingeniería Rural.* Buenos Aires, Argentina.

Cerisola, C.; M. García; R. Filgueira. 2005. Distribución de la porosidad de un suelo franco arcilloso (Alfisol) en condiciones semiáridas después de 15 años bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 23 (2): 167-178.

Ciarlo, E.; D. Cosentino; O. Heredia; M. Conti. 2004. Efecto del uso del suelo sobre componentes de la materia orgánica y estabilidad de agregados. *Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Cisneros, J.; A. Cantero G.; J. Marcos; A. Degioanni; E. Bricchi; O. Giayetto; C. Cholaky; E. Bonadeo; G. Cerioni. 1998, a. Influencia de diferentes sistemas de laboreo sobre la resistencia mecánica de suelos del área manisera. Actas del XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Villa Carlos Paz. Córdoba. Argentina.

Cisneros, J. M.; Cholaky, C.; Giayetto, O.; Bricchi, E.; Marcos, J.; Cerioni, G. 1998, b. Homogeneidad física, resistencia a la penetración y humedad del suelo en sistemas de labranza para el área manisera de Córdoba. Congreso Latinoamericano de Ingeniería Rural. La Plata. Buenos Aires. Argentina.

Cisneros, J.; C. Cholaky; E. Bricchi; J. Cantero; O. Giayetto. 1996. Evaluación del efecto del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Haplustol típico del centro de Córdoba. Actas del XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. La Pampa. Argentina.

Corbella, R.; G. Sanzano; J. García; A. Plasencia; G. Fadda; M. Morandini. 2004. Descomposición de rastrojos y su influencia sobre la fertilidad química en un Haplustol típico con diferentes manejos. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Covacevich, F.; H. Echeverría. Caracterización química y biológica de un Hapludol bajo diferentes manejos. Ciencia del Suelo 18 (2): 144-148.

Cunha Medeiros, J.; R. Espejo Serrano; J. Hernanz Martos; V. Sánchez Girón. 1996. Effect of various soil tillage systems on structure development in a Haploxeralf of central Spain. Soil Technnology. 11: 197-204.

Chagas, C.; C. Irurtia; J. Thisted; O. Santanatoglia; M. Massobrio; M. Castiglioni; A. Buján. 2004. Movimiento horizontal y vertical de agua y partículas en un Argiudol bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo*. 22 (2):117-122.

Chagas, C.; O. Santanatoglia; M. Castiglioni. 1995. Tillage and cropping effects on selected properties of an Argiudoll in Argentina. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.*. 26 (5/6): 643-655.

Chen, Y.; C. Cavers; S. Tessier; F. Monero; D. Lobb. 2005. Short-term tillage effects on soil cone index and plant development in a poorly drained, heavy clay soil. *Soil and Tillage Research*. 82 (2): 161-171.

Chen, Y.; S. Tessier; J. Gallichand. 1998, a. Estimates of tillage effects on saturated hydraulic conductivity. *Can. Agric. Eng.* 40 (3): 169-77. Jul-Sep..

Chen, Y.; S. Tessier; J. Rouffignat. 1998, b. Soil bulk density estimation for tillage systems and soil textures. *Trans. ASAE*. 41(6): 1601-1610. Nov-Dec..

Chidiak, M.; M. Murmis. 2002. Gestión Ambiental en la agroindustria, competitividad y sustentabilidad. Estudio 1. eg. 33.4. *Competitividad Sistémica, C.E.P.A.L.*. 87 págs..

Cholaky, C. 2003. Efectividad y persistencia de una labor de descompactación con subsolador alado, en función de la compactación y humedad antecedente. Tesis Magíster en Manejo y Recuperación de Tierras. F.A.V., Universidad Nacional de Río Cuarto. Inédita.

Chudnovsky, D.; S. Rubin; E. Cap y E. Trigo. 1999. Comercio internacional y desarrollo sustentable. La expansión de las exportaciones argentinas en los años 1990 y sus consecuencias ambientales Centro de Investigaciones para la Transformación (CENIT). Buenos Aires.

C.T.I.C. Conservation Tillage Information Center. 1983. National Survey Conservation Tillage Practices, Ft. Wayne. Indiana.

Damario, R. y A. Pascale. 1988. Características agroclimáticas de la región pampeana argentina. Rev. Facultad de Agronomía 9 (1/2): 41-64.

Darwich, G.; G. Studdert; H. Echeverría. 2002. Descomposición de distintas cantidades de residuos de maíz en posición superficial en presencia de un cultivo. Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

da Silva, M.; Mafra, A.; Albuquerque, J.; Bayer, C.; Mielniczuk, J.. 2005. Soil physics properties related to water storage and tillage systems in a Loamy Acrisol. Ciencia Rural. 5 (3): 544-552.

Davis, B.; Eagle, D.; Finney, B.. 1982. Manejo del suelo. El Ateneo, 228 págs.

De Boodt, M.; L. De Leenheer. 1967. West european methods for soil structure determinations. The St. Faculty Agronomic. Sci. 7 Ghent: 60-62. Bélgica.

De Figueiredo, P. y P. Magalhaes. 1992. Otimizacao do desempenho de una máquina de preparo mínimo de solo. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, vol. 3: 1405 - 1417.

De La Vega, G.; M. Castiglioni; M. Massobrio; C. Chagas; O. Santanatoglia; C. Irurtia. 2004. Infiltración en un Argiudol vértico bajo siembra directa en condiciones variables de cobertura y humedad inicial. *Ciencia del Suelo* 22 (1): 52-55.

Deibert, E.. 1981. Soil aggregation under no-till as compared to conventional tillage systems. Third Manitoba-North Dakota Zero-till Workshop.

Díaz-Zorita, M.; M. Barraco; C. Alvarez. 2004. Efectos de doce años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 22 (1): 11-18.

Díaz-Zorita, M.. 2000. Effect of deep-tillage nitrogen fertilization interactions on dryland corn productivity. *Soil and Tillage Research*. 54: 11-19.

Di Leo, C.; R. Filgueira. 2004. Análisis de la fragmentación de un suelo por tamizado en dos sistemas de labranza. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Di Napoli, M.; J. González Montaner. 2002. Evolución de parámetros orgánicos del suelo bajo agricultura en el centro sur de Santa Fe. Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Dobre, M.; Becherescu, C.; Susinski, M.; Moccann, A.; Grecu, F.; Popescu, C.; Duta, A.. 2004. New results about no tillage on sandy soils. *Buletinul. Universitatii de Stiinta Agricole si Medicina Veterinaria Cluj. Napoca Seria Agricultura*. 60: 87-91.

Doran, J.; T. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, SSSA Special Publications No. 35. SSSA/ASA, Madison, WI, pp. 3–21.

Draghi, L.; Botta, G.; Balbuena, R.; Claverie, J.; Rosatto, H. 2005. Differences in mechanical conditions of a clayey soil under different tillage systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 9 (1): 120-24.

Echeverría, N.; J. Silenzi; A. Vallejos; J. Lombartini. 2002. Escurrimiento y erosión en sitios con diferente disturbio en el sur del cardenal. Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Ehlers, W.; Köpke, U.; Hesse, F.; W. Böhn. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil and Tillage Research*. 3: 261-275.

Elisondo, E.; J. Costa; E. Suero; K. Fabrizzi; F. García. 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 19 (1): 11-19.

Elliot, J.; A. Efetha. 1999. Influence of tillage and cropping system on soil organic matter, structure and infiltration in a rolling landscape. *Can. J. Soil Sci.* 79 (3): 457-463.

Eiza, M.; N. Fioriti; G. Studdert; H. Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 23 (1): 59-67.

Fabrizzi, K.; García, F.; Costa, J.; Picone, L.. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no tillage systems in the southern pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*. 81 (1) : 57-69.

F.E.C.I.C.- P.R.O.S.A.. 1988. El deterioro del ambiente en la Argentina (suelo – agua - vegetación – fauna). Centro para la promoción de la conservación del suelo y del agua. Fundación para la educación, la ciencia y la cultura. Buenos Aires.

Fernández, R.; Lupi, A.; Rodríguez Aspillaga, F.; Gelid, M.; Pezzutti, R.; Pahr, N.; Hernández, A.; Delgadino, H.; Cortez, P.. 2000. Técnicas de manejo de suelo y de residuos para el establecimiento de plantaciones de coníferas en el noreste de la Argentina. *Jornadas Forestales Silvoargentina*. Virasoro. Corrientes.

Ferreras, L.; J. Costa; F. García; C. Pecorari. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Palleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil and Tillage Research*. 54: 31-39.

Gale, W.; C. Cambardella; T. Bailey. 2000. Root-derived carbon and the formation and stabilization of aggregates. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 64 (1): 201-207.

García-Préchac, F.; O. Ernst; G. Siri-Prieto; J. Terra. 2004. Review: Integrating no-till into crop–pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research*. 77: 1–13.

Gerster, G.; A. Gargicevich; G. Cordone; C. González. 2002. Factores edáficos y prácticas culturales asociados al rendimiento de soja. *Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Gerster, G.; Vidal, D.; Gudelj, O.; De Battista, J.. 1996. Análisis del efecto de las labranzas sobre el estado físico de un Argiudol típico. INTA. EEA Marcos Juárez. Informe técnico N° 119. ISSN 027 7046.

Govaerts, B.; M. Fuentes; M. Mezzalama; J. Nicol; J. Deckers; J. Etchevers; B. Figueroa Sandoval; K. Sayre. 2007. Infiltration, soil moisture, root rot and nematode population after 12 years of different tillage, residue and crop rotation managements. Soil and Tillage Research. 94: 209-219.

Green, T.; L. Ahuja; J. Benjamin. 2003. Advances and challenges in predicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. Geoderma 116: 3 – 27.

Griffith, D.; J. Mannering; J. Box. 1986. Soil and moisture management with reduced tillage. In Sprague, M. A. and Triplett, G. B. (Eds.) No Tillage and surface-tillage agriculture. The Tillage Revolution. John Wiley and Sons, 467 págs..

Griffith, D.; J. Mannering; W. Moldenhauer. 1977. Conservation tillage in the Eastern Corn Belt. J. Soil Water Conserv. 32: 20 – 28.

Gueçaimburu, J.; R.Introcaso; J. Torella; E. Wasinger; E. Faita. 2005. "Impacto inicial de diferentes sistemas de manejo sobre algunos parámetros físicos del suelo y el cultivo de soja". VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Merlo, San Luis, Argentina.

Guérif, J.; G. Richard; C. Dürr; J. Machet; S. Recous; J. Roger-Estrade. 2001. A review of tillage on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment. Soil and Tillage Research. 61: 13 – 32.

Güçlü Yavuzcan, H.; D. Matthies; H. Auernhammer. 2005. Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content. *Soil and Tillage Research*. 84: 200 – 215.

Gupta, S.; R. Allmaras. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. *Adv. Soil. Sci.* 6: 65-100.

Hakansson, I. 1992. The degree of compactness as a link between technical, physical and biological aspects of soil compaction. *Internacional Soil Compaction Conference in Tallin, Estonia*, pags. 75-78.

Hakansson, I. 1990. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil and Tillage Research*. 16: 105-120.

Hamza, M.; W. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*. 82: 21 – 245.

Harrison, D.; K. Cameron; R. McLaren. 1994. Effects of subsoil loosening on soil physical properties, plant root growth, and pasture yield. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. Vol. 37: 559-567.

Haynes, R. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy Journal*. 85 (221-268).

Haynes, R. 2000. Interactions between soil organic matter status, cropping history, method of quantification and sample pretreatment and their effects on measured aggregate stability. *Biology and fertility of soils*. 30 (4): 270-275.

Henin, S.; R. Gras; G. Monnier. 1972. El perfil cultural. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.

Heredia, O.; L. Giuffré; F. Gorleri; M. Conti. 2006. Calidad de los suelos del norte de Santa Fe. Efecto de la geomorfología y el uso de la tierra. Ciencia del Suelo 24 (2): 109-114.

Hussain, I.; K. Olson; M. Wander; D. Karlen. 1999, a. Adaptation of soil quality indices and application to three tillages systems in southern Illinois. Soil and Tillage Res. 50 (3-4): 237-249.

Hussain, I.; K. Olson; S. Ebelhar. 1999, b. Impacts of tillage and no-till on production of maize and soybean on a eroded Illinois silt loam soil. Soil and Tillage Research. 52: 37-49. cuál es p/ cobert y eros hídr?

Hussain, I.; K. Olson; J. Siemens. 1998. Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. Soil Sci. 163 (12): 970-981.

I.N.D.E.C.. 2002. Censo Nacional Agropecuario 2002. www.indec.gov.ar

I.N.T.A.. 2003. El INTA ante la preocupación por la sustentabilidad de largo plazo de la producción agrícola argentina. Documento institucional en www.inta.gov.ar

I.N.T.A.. 1989. Carta de suelos de la República Argentina. Buenos Aires, San Pedro – Baradero. Hoja 3360, 33.

INTA. 1986. Proyecto de Agricultura Permanente: Desarrollo y difusión de tecnologías conservacionistas. INTA – Centros Regionales Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe.

INTA - PAC. 1986. Documento del Proyecto. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino.

Iñiguez, A. ; C. Scoppa. 1970. Los minerales de arcilla en los suelos zonales ubicados entre los ríos Paraná y Salado (Provincia de Buenos Aires)". Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA, Serie 3, Clima y Suelo. Vol. VII, Nº 1.

Irigoin, J.; E. Penón; M. Costa. 2004. Integración de atributos edáficos en un índice de calidad de suelo. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Irurtia, C.y Mon, R.. 1994. Microsimulador de lluvias para determinar infiltración a campo. INTA – CIRN – Instituto de Suelos. Public. Nº 176.

Jackson, M.. 1975. Análisis químico de suelos. Ed. Omega. Barcelona.

Kemper, W. and Rosenau, R.. 1986. Aggregate stability and size distribution. Págs. 425-442. En A Klute (Edit.) Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical Methods-Agronomy. Monograph Nº 9 (2nd Edition). ASA and SSSA. Madison. WI.

Kovac, K.; S. Zak. 1999. The effect of different types of soil cultivation on its physical and hidrophysical properties. Rostlinna Vyroba. 45 (8): 359-364.

Krzic, M.; M. Fortin; A. Bomke. 2000. Short-term responses of soil physical properties to corn tillage-planting systems in a humid maritime climate. Soil and Tillage Research. 52: 171-178.

Kurtay, T. and A. Reece. 1970. Plasticity theory and critical state soil mechanics. *J. Terramechanics*, 7: 23-56.

Laflen, J.; Ameniya, M. and E. Hinta. 1981. Measuring crop residue over. *J. Soil and Water Conservation*. 36: 341-43.

Lal, R.. 1999. Soil compaction and tillage effects on soil physical properties of a mollic ochraqualf in northwest Ohio. *J. Sustain. Agric..* 14 (4): 53-65.

Larran, M.. 1994. Caracterización de la cuenca del Río Areco según factores climáticos, de vegetación, edáficos y de distribución de superficies prediales. Trabajo de intensificación. Facultad de Agronomía. UBA.

Laszlo, P. y Gyuricza, C.. 2004. Effect of the ridge tillage system on some selected soil physical properties in a maize monoculture. *Acta Agronomica Hungarita*. 52 (3): 211-220.

Lavado, R.. 2006. La Región Pampeana: historia, características y uso de los suelos. En R. Alvarez (Ed.) *Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en los suelos pampeanos*. Editorial Facultad de Agronomía, UBA, págs. 1-11.

Liebig, M.; J. Doran. 1999. Impact of organic production practice on soil quality indicators. *J. Environ. Qual..* 28 (5): 1601-1609.

Liepic, J. ; Hakansson, I.; Tarkiewicz, S. and Kassowski, J.. 1991. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. *Soil and Tillage Research*. 19: 307-317.

Logsdon, S.; D. Karlen. 2004. Bulk density as a soil quality indicator during con-version to no-tillage. *Soil & Tillage Research*. 78: 143–149.

Luque, J.; E. Llanos; G. Buono; E. Tapia. 2002. Caracterización de una cuenca degradada por erosión hídrica (Chubut). I. Incidencia de las características químicas. Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Mandolesi, M.; M. Ron; P. Vidal; H. Forjan. 2004. Carbono orgánico y sus fracciones según uso del suelo en un Argiúdol típico del centro sur bonaerense. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Manuel-Navarrete, D.; G. Gallopín; M. Blanco; M. Díaz-Zorita; D. Ferraro; H. Herzer; P. Laterra; J. Morillo; M. Muráís; W. Pengue; M. Piñeiro; G. Podestá; E. Satorre; M. Torrent; F. Torres; E. Viglizzo; M. Caputo; A. Celis. 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. CEPAL. Serie Medio Ambiente y Desarrollo, 118, Santiago de Chile, 65 págs..

Materechera, S.; Mloza-Banda, H.. 1997. Soil penetration resistance, root growth and yield of maize as influenced by tillage system on ridges in Malawi. *Soil and Tillage Research*. 41: 13-24.

Marelli, H.; Arce, J.; Masiero, B.. 2000. Veinticinco años del doble cultivo trigo-soja bajo siembra directa. XI Conferencia de la Organización Internacional para la Conservación del Suelo (XI ISCO). Buenos Aires, Argentina.

McBratney A.; B. Minasny; S. Cattle; R. Vervoort. 2002. From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma* Volume 109 (1-2): 41-73.

McKyes, E. 1985. Soil Cutting and Tillage. *Developments in Agricultural Engineering* 7. Chapters 3 y 4, págs. 87-104. Elsevier Sc. Publishers B.V. The Netherland.

Melgar, R. 1997. El diagnóstico de la necesidad de fertilización. En Melgar R. y Diaz Zorita, M. *La Fertilización de cultivos y pasturas*. Editorial Hemisferio Sur e INTA. 259 págs..

Mestelan, S.; J. Ressia; M. Pazos; G. Mendivil; D. Olagaray; R. Balbuena. 2002. Impacto de diferentes sistemas de labranzas en propiedades de un Phaeozem lúvico del centro de la provincia de Buenos Aires. *Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Michelena, R; C. Iruetia; E. Rivero; M. Rorig. 2002. Evaluación física de un Haplustol éntico con siembra directa en la provincia de Córdoba. *Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Michelena, R; C. Iruetia; F. Vabruska; C. Mon; A. Pittaluga. 1989. Degradación de suelos en el norte de la Región Pampeana. *Publicación Técnica N° 6*. INTA. Centros Regionales Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe. Proyecto de Agricultura Conservacionista.

Miller, J.; F. Larney; C. Lindwall. 1999. Physical properties of a Chernozemic clay loam soil under long-term conventional tillage and no till. *Can. J. Soil Sci.* 79(2): 325-331.

Miller, J.; N. Swetland; F. Larney; K. Volkmar. 1998. Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta. *Can. J. Soil Sci.* 78(4): 643-648.

Mon, R.; C. Iuritia. 2004. Recuperación de la productividad de suelos degradados mediante el subsolado y el agregado de yeso. *Actas del XIX Congreso Argentino de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.* Paraná. Entre Ríos. Argentina.

Moro, E.; C. Venialgo; N. Gutiérrez; O. Ingaramo; D. Drgan; A. Asselborn; J. Oleszczuk. 2002. Estabilidad de agregados en diferentes sistemas de labranza y rotación del suroeste del Chaco. *Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Morón, A.; H. Marelli; J. Sawchik; V. Gudelj; C. Galarza; J. Arce. 2004. Indicadores de la calidad de suelo en experimentos de rotaciones de cultivos en Córdoba, Argentina. *Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Morras, H.; C. Iuritia; C. Ibarlucea; M. Lantin; R. Michelena. 2001. Recuperación de suelos pampeanos degradados mediante siembra directa y subsolado. *Siembra directa II.* Editores: J. Panigatti; D. Buschiazco; H. Marelli. INTA. 377: 263-278.

Munkholm, L.; P. Schjøning. 2004. Structural vulnerability of a sandy loam exposed to intensive tillage and traffic in wet conditions. *Soil & Tillage Research* 79: 79–85.

Musso, T.; M. Cantú; A. Becker. 2004. Efecto de distintos sistemas de labranza y de la fertilización sobre el contenido de carbono orgánico, nitrógeno total y el pH de un Hapludol típico del sur de Córdoba, Argentina. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Nhantumbo, A.; A. Cambule. 2006. Bulk density by Proctor test as a function of texture for agriculture soils in Maputo province of Mozambique. Soil and Tillage Research. 87: 231-239.

Oneto, C.; A. Fumagalli; M. Cornacchione; J. Salgado; M. González Pérez. 2005, a. Evolución de parámetros físicos de suelo bajo pastoreo con alfalfa y verdeos en área semiárida bajo riego. Actas VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Villa de Merlo, San Luis, Argentina.

Oneto, C.; L. Sokolic; N. Cáceres. 2005, b. Diferentes labranzas y evolución de parámetros físicos-químicos de suelo, sobre rendimiento de algodón bajo riego con rotación de verdeo. Actas VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Villa de Merlo, San Luis, Argentina.

Osunbitan, J.; Oyedile, D.; Adekalu, K.. 2005. Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. Soil and Tillage Research. 82 (1): 57-64.

Panigatti, J.; H. Marelli, D. Buschiazzo; R. Gil (Editores). 1998. Siembra Directa. Editorial Hemisferio Sur. 333 págs..

Panigatti, J.; E. Viglizzo. 1995. El rol de los organismos de ciencia y tecnología en el diseño de estrategias sobre uso del territorio. Desarrollo agropecuario sustentable. INTA-INDEC.

Peiretti, R. 2004. Reportaje al presidente de CAAPAS.
www.aapresid.org.ar/nota.asp?cid=742

Pengue, W. 2001. Los aspectos ambientales del cultivo de organismos transgénicos. GEPAMA-UBA.

Pilatti, M.; J. Orellana; O. Felli. 2004. La sodificación en la agregación e infiltración del sello del horizonte A en Molisoles de Santa Fe. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Pikul, J.; J. Aase. 1999. Wheat response and residual soil properties following susoiling of a sandy loam in eastern Montana. Soil and Tillage Research. 51 (1-2): 61-70.

Quiroga, A.; D. Buschiazzo; N. Peinemann. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. Soil and Tillage Research. 52, 21-28.

Roger-Estrade, J.; G. Richard; H. Manichon. 2000. A compartmental model to simulate temporal changes in soil structure under two cropping systems with annual mouldboard ploughing in a silt loam. Soil Tillage Res. 54: 41 – 53.

Rollán, A.; M. Karlin; O. Bachmeier. 2004. Siembra directa y densificación subsuperficial en Molisoles del centro norte de Córdoba. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Sadras, V.; G. O'Leary; D. Roger. 2005. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. Field Crops Research. 91: 131-148.

Sanzano, G.; R. Corbella, R.; J. García; G. Fadda. 2005. Degradación física y química de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. *Ciencia del Suelo* 23 (1): 93-100.

Sanzano, G.; R. Corbella, R.; J. García; G. Fadda. 2004, a. La degradación física de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. *Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Sanzano, G.; G. Fadda; E. Rienzi. 2004, b. Relación entre encostramiento y tasa de infiltración bajo lluvia simulada en distintas situaciones de manejo de suelo. *Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

S.A.G.P. y A.. 2004. "Estadísticas". Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Argentina.
http://www.sagpya.mecon.gov.ar/0-/index/agricultura/index_agricultura.htm

S.A.G. y P. - C. F. A.. 1995. El deterioro de las tierras en la República Argentina. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina. 287 págs..

Schwab, O.; R. Frevert; T. Edminster; K. Barnes. 1981. *Soil and Water Conservation Engineering*. 3^o Edition. John Willey C & Sons.

Sie, J.; E. Elliott; K. Paustian. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*. 63 (5): 1350-1358.

Snedecor, G. y W. Cochran. 1984. *Métodos Estadísticos*. C.E.C.S.A.. 703 págs.. México.

So, H.; Grabski, A.; Schafer, B.; Desborough, P.. 2000. A comparison of the impact of 14 years of conventional and no-till cultivation on the physical properties and crop yields of a silt loam soil: An Australian experience. XI Conferencia de la Organización Internacional para la Conservación del Suelo (XI ISCO). Buenos Aires, Argentina.

Soil Conservation Service, SCS Engineering Division. U.S.D.A.. 1986. SCS Curve Number.

Sojka R.; W. Busscher; D. Gooden; W. Morrison. 1990. Subsoiling for sunflower production in the Southeast Coastal Plains. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 1107-1112.

Spescha, L.; A. Beltran; R. Hurtado; S. Maio; S. Perez; A. Lamas; M. Fernández Long; I. Barnatan; C. Bustos; C. Messina. 1996. Entrega II. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Secretaría de Publicaciones. C.E.A.B.A.. pp: 144- 156.

Studdert, G.; H. Echeverría. 2002. Rotaciones mixtas, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Taboada, M.; F. Micucci. 2004. Fertilidad física de los suelos. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Taboada, M.; F. Micucci. 2002. Respuesta de las raíces de soja a impedancias en Molisoles y Vertisoles bajo labranza convencional y siembra directa. Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Taboada, M.; F. Micucci; D. Cosentino y R. Lavado. 1998. Comparison of compaction induced by convencional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil and Tillage Research*. 49, 57-63.

Taser, O. y F. Metnoglu. 2005. Physical and mechanical properties of a clayey soil as affected by tillage systems for wheat growth. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and plant Science*. 55 (3): 186-191.

Thomas, G.; V. Gudelj; O. Gudelj; G. Ayub. 1994. Características de suelos bajo varios sistemas de labranza y pastura. *Información para Extensión N 10*. EEA Marcos Juárez. INTA.

Thuar, A.; C. Olmedo; E. Riberi; G. Avanzini; R. Séller. 2002. Variaciones de biomasa, actividad biológica y población microbiana del suelo en función de diferentes sistemas de labranza. *Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Tollner, E.; W. Hargrove; G. Langdale. 1984. Influence of conventional and no-till practices on soil physical properties in the southern Piedmont. *Journal Soil Water Conservation* 39: 73-76.

Torella, J.; E. Angelotti; R. Introcaso; J. Ceriani; J. Gueçaimburu. 2004. Respuesta de parámetros biológicos del suelo a la implementación de la siembra directa. *Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Torella, J.; J. Ceriani; R. Introcaso; E. Faita; J. Gueçaimburu. 2001. Los efectos de dos sistemas de labranza sobre propiedades físico-biológicas de un suelo erosionado. *Memorias del IV Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola*. Chillán. Chile. Vol. 1: 139-142.

Trucco, V.. 2003. Disertación en el coloquio anual de IDEA.
www.ideared.org/doc/Trucco.pdf

Truman, C.; Shaw, J.; Reeves, D.. 2004. Tillage effects on rainfall partitioning and sediment yield from an ultisol in central Alabama. *Journal of soil and water conservation Ankeny*. 60 (2): 89-98.

Uberto, M.; C. Vignolo; J. Cisneros; O. Giayetto; M. Pilatti; D. Grenon. 2002. Calibración y validación de un modelo de simulación para el cultivo de maní, en el área centro sur de Córdoba. *Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

U.S.D.A.. 1998. Soil quality test kid guide. Traducido al español en el Instituto de Suelos – CRN – CNIA – INTA. 2000. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo.

Unger, P.; Jones, O.; McClenagan, J.; Stewart, B.. 1998. Aggregation of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil. Sci. Soc. Am. J..* 62 (6): 1659-1666.

Unger, P.. 1992. Infiltration of simulated rainfall: tillage system and crop residue effects. *Soil Sci. Soc. Am. J..* 56: 283-289.

van Dam, C.. 1999. La Tenencia de la Tierra en América Latina. El estado del arte de la discusión en la región. Unión Mundial para la Naturaleza, Oficina Regional para Sud América.

Venialgo, C.; N. Gutiérrez; J. Gutiérrez. 2004, a. Variables edáficas en diferentes sistemas de uso del suelo en el sudoeste chaqueño. *Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Venialgo, C.; O. Ingaramo; S. Ibaló; M. Roldán; G. Banzhaf; N. Gutiérrez. 2004, b. Índice de cono, humedad presente y densidad aparente en diferentes labranzas y rotaciones. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Vepraskas, M.; Busscher, W.; Edwards, J. 1995. Residual effects of deep tillage vs. no-till on corn root growth and grain yield. Journal of Production Agriculture. Vol. 8. No. 3: 401-405.

Vepraskas, M. 1994. Plant response mechanisms to soil compaction. In: Wilkinsion. R.E. (Ed.). Plant Environment Interactions. Marcel Dekker, N. York, U.S.A.. 263-287.

Viglizzo, E.; A. Pordomingo; M. Castro ; F. Lértora. 2002. La sustentabilidad ambiental del agro pampeano. Programa Nacional de Gestión Ambiental Agropecuaria. Ediciones INTA, Buenos Aires.

Viglizzo, E.; Z. Roberto; F. Lértora; E. López Gay. 1997. Climate and land-use change in field crop-ecosystems of the Argentine Pampas. Agriculture, Ecosystems and Environment. 66: pp 61-70.

Vyn, T.; B. Rainbault. 1993. Long-term effect of five tillage systems on corn response and soil structure. Agronomy Journal. 85: 1074-1079.

Walker, R.; R. Pope. 1983. Estimating your soil erosion losses with the Universal Soil Loss Equation (USLE). Univ. of Illinois, Ext. Serv. Circ. 1220, pp. 19.

Weisskopf, P.; Zihlmann, U.; Chervet, A.; Sturny, W.; Muller, M. 2005. Evolution of soil structure under no-tillage and ploughing. Agrarforschung. 12 (8): 362-367.

Wells L.; Treesuwan, O.. 1978. The response of various soil strength indices to changing water content and bulk density. Transactions of the ASAE, Vol. 21, No. 5: 854-861.

80043

Zabala, M.; H. Marelli; J. Sanabria. 2003. Caracterización del potencial erosivo de suelos del centro sudeste de la provincia de Córdoba. Información para extensión N° 82. E.E.A. Marcos Juárez. I.N.T.A..

Zhang, G.; K. Chan; A. Oates; D. Heenan; G. Huang. 2007. Relationship between soil structure and runoff/ soil loss after 24 years of conservation tillage. Soil and Tillage Research. 92, 122-128.

U.N.R.C.
Biblioteca Central



64003

64003