



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final Presentado
para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

**Estabilidad estructural superficial de un Hapludol típico
del sur oeste de Córdoba
en una rotación agrícola ganadera con tres sistemas de
labranza**

Carlos Manuel Peralta
31.104.392

Directora: Prof. Carmen Cholaky
Co-directora: Prof. Estela Bricchi

Río Cuarto – Córdoba
Junio de 2011

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del trabajo final:

**Estabilidad estructural superficial de un Hapludol típico del sur
oeste de cordoba en una rotación agrícola ganadera con tres
sistemas de labranza**

Autor: Peralta, Carlos Manuel

DNI: 31.104.392

Directora: Cholaky, Carmen

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión

Evaluadora:

Prof. Miguel Ángel Reynero _____

Prof. Miguel Principi _____

Prof. Carmen Cholaky _____

Aprobado por Secretaría Académica: ____/_____/____

Agradecimientos

A la directora y co-directora que me orientaron y ayudaron en la realización de este trabajo.

A todos los profesores que contribuyeron a mi formación profesional.

A la Facultad de Agronomía y Veterinaria.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto.

A mi familia.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	1
Introducción.	1
1.1. Presentación, fundamentación e importancia del trabajo.	1
1.2. Antecedentes.	3
1.3. Hipótesis.	6
1.4. Objetivos.	6
CAPÍTULO 2	7
Materiales y métodos.	7
2.1. Caracterización del área de estudio.	7
2.2. Descripción de los tratamientos y diseño experimental.	8
2.3. Determinaciones realizadas.	10
2.3.1. Distribución de tamaños de agregados y diámetro medio ponderado.	
Procedimiento.	10
2.3.2. Método del cálculo.	11
2.4. Análisis estadísticos de los resultados.	12
CAPÍTULO 3	13
Resultados y discusión.	13
3.1. Distribución de tamaños de agregados estables al agua.	13
3.1.1. Efecto del sistema de labranza.	13
3.1.2. Efecto de la rotación.	15
3.1.3. Efecto de la rotación y sistema de labranza para cada intervalo de tamaño de agregados.	16
3.2. Diámetro Medio Ponderado de agregados según rotación y sistema de labranza.	20
CAPÍTULO 4	22
Conclusiones.	22
CAPÍTULO 5	23
Bibliografía.	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de agregados estables al agua según sistema de labranza y situación de mínimo disturbio.	13
Tabla 2. Distribución de tamaño de agregados estables al agua según rotación.	15
Tabla 3. Porcentaje de agregados estables al agua entre 4 – 2 mm según rotación y sistema de labranza.	17
Tabla 4. Porcentaje de agregados estables al agua entre 1 – 0,5 mm según rotación y sistema de labranza.	18
Tabla 5. Porcentaje de agregados estables al agua entre 0,5 – 0,1 mm según rotación y sistema de labranza.	19

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la estabilidad estructural de la capa superficial de un Hapludol típico sometido a una rotación con pastura base alfalfa y tres sistemas de labranza, situado en el campo de docencia y experimentación “Pozo del Carril” de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto. También se llevaron a cabo comparaciones con una situación de mínimo disturbio y con los resultados obtenidos en otra rotación agrícola sin pastoreo de rastros, obtenidos en el marco de otro trabajo final. En ambas rotaciones, los cultivos fueron implantados bajo tres sistemas de labranza: labranza convencional (LC), labranza reducida (LR) y siembra directa (SD). En cada tratamiento y en la situación de mínimo disturbio, se tomaron dos muestras de los primeros cinco cm del suelo. En las mismas se determinó la distribución de tamaños de agregados estables al agua (%) y el diámetro medio ponderado (mm). Los resultados indican que los sistemas de labranza y la rotación, ejercen efectos significativos sobre la variable estudiada. Entre las labranzas, las diferencias más significativas fueron en agregados de 2 – 4 mm, siendo $SD > LR > LC$ respecto de la cantidad de agregados de dicho rango; mientras que para los diámetros comprendidos entre 0,1 - 0,5 mm, los resultados se invierten. Todos los sistemas de labranza manifestaron menor cantidad de agregados, con respecto a mínimo disturbio. Teniendo en cuenta los efectos de la rotación, durante el período que duró la pastura de la rotación agrícola-ganadera, hubo evidencias de recuperación de la estabilidad estructural respecto de la rotación agrícola. Se concluye que los sistemas conservacionistas propiciaron mejor estabilidad estructural respecto de labranza convencional; siendo SD la que manifestó los mejores resultados; a su vez, la incorporación de pasturas en la rotación permitiría incluso mejorar tales resultados y mantenerlos en el tiempo.

Palabras clave: Estabilidad estructural, sistemas de labranza, rotaciones.

SUMMARY

The present work has as its purpose to evaluate the structural stability of the superficial cape of a typical Hapludol submitted to a rotation with pasture bases alfalfa and three tillage systems, placed in teaching and experimentation "Pozo del Carril" field of the Agriculture and Veterinary School of the Universidad Nacional de Río Cuarto. Also comparisons were carried out by a considered situation of minimal disturbance and with the results obtained of another agricultural rotation without shepherding stubble, obtained in the frame of another final work. In both rotations, the cultures were implanted under three tillage systems: conventional tillage (CT), reduced tillage (RT) and direct sowing (DS). In every treatment and in the situation of minimal disturbance, were taken two samples of the first five cm of the soil. In each sample was determined the size distribution of stable aggregates to water (%) and the weighted mean diameter (mm). The results indicate that tillage systems and rotations exert significant effects on the studied variable. Between the tillages, the most significant differences were in aggregates of 2 - 4 mm, being DS > RT > CT, in terms of the aggregate quantity of the above mentioned range; Whereas for the diameters understood between 0,1 - 0,5 mm, the results are reversed. Every tillage system showed fewer aggregates with respect to minimal disturbance. Taking into account the rotation effects, during the grazing period lasted, there were evidences of structural stability recovery for the agricultural rotation. In conclusion conservation systems led to better structural stability for conventional tillage; being DS the one that demonstrated the best results; in turn, the incorporation of pastures in the rotation would allow to improve even such results and to support them in time.

Key words: structural Stability, systems of tillage, rotations.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. PRESENTACIÓN, FUNDAMENTACIÓN E IMPORTANCIA DEL TRABAJO

El suelo es uno de los ecosistemas más complejos y diversos que existen en la naturaleza. Es un ambiente que combina las fases sólida, líquida y gaseosa formando una matriz tridimensional. Su compleja naturaleza físico-química, su estructura porosa y el contenido de materia orgánica en diversas fases de descomposición y complejidad, proporcionan una heterogeneidad trófica y de hábitat que permite en él la coexistencia de una gran diversidad de organismos (Zerbino y Altier, 2006).

El uso del suelo con fines productivos intensos genera alteraciones en la interrelación de las propiedades edáficas. De hecho, en Argentina, la degradación y deterioro de las propiedades físicas y químicas de los suelos como resultado del uso agrícola está presente en prácticamente la totalidad de las tierras agrícolas bajo cultivo (Botta *et al.*, 2005).

En este sentido, uno de los mayores problemas de los suelos dedicados a la producción intensiva de cultivos agrícolas con diferentes sistemas de labranzas, como así también pasturas permanentes con manejos inadecuados, es que pierden su *estructura* favorable y forman costras superficiales debido a que los agregados pierden su estabilidad (Silva *et al.*, 2000). Además, la estructura influye en la retención y el movimiento del agua, en el ciclo de nutrientes, la penetración de las raíces y en el rendimiento de los cultivos. Es así que ciertas externalidades, como la escorrentía superficial, la erosión y la contaminación del agua subterránea, también están influidas por la estructura del suelo (Castiglioni 2007).

La estabilidad estructural del suelo está influenciada por la textura, el contenido de materia orgánica y el impacto del clima sobre el suelo en consideración. Por lo tanto, la incorporación de materia orgánica al suelo (residuos de plantas, abonos, etc.) tiene frecuentemente efectos positivos transitorios pero muy pronunciados sobre la estabilidad de los agregados del suelo (Vilche *et al.*, 2002).

Es así que la implementación de la siembra directa (SD) podría reducir los efectos de una agricultura agresiva, promoviendo el mantenimiento o incremento de la materia orgánica (MO). Este sistema de labranza conduce a la acumulación de residuos de cosecha en la superficie, promoviendo tanto el secuestro de carbono como el incremento del contenido de nutrientes mineralizables (Wienhold y Tanaka 2001). Así mismo, la alternancia de cultivos agrícolas con pasturas (Studdert *et al.*, 1997, citado por Cabría y Culot, 2001) influye sobre la dinámica de la MO a través del momento y la cantidad de aporte de sustrato para su recomposición.

Studdert *et al.* (1997, citados por Cabría y Culot, 2001) sostienen que la inclusión de pasturas en la rotación permite la recuperación de los niveles de MO particulada que son reducidos durante los períodos agrícolas. Por otro lado, el uso de SD y fertilización con N permitiría mantener los niveles de este tipo de materia orgánica alcanzados luego de períodos bajo pastura.

En concordancia con lo anterior, Eiza *et al.* (2006), trabajando en un complejo de Argiudoles típicos y Paleudoles petrocálcicos de textura franca de Balcarce (Provincia de Buenos Aires), observaron que el suelo bajo pastura mostró mayor índice de estabilidad de agregados (IEA), materia orgánica total (MOT) y materia orgánica particulada (MOP) que el suelo bajo agricultura y, aunque en general no significativamente, los tratamientos bajo agricultura con siembra directa (SD) mostraron valores mayores que los correspondientes a labranza convencional (LC). Tanto la implantación de pasturas como la utilización de SD propiciaron un incremento en la estabilidad de los agregados con respecto a una situación previa al comienzo del experimento.

Silenzi *et al.* (2000) determinaron que la estabilidad de agregados en Haplustoles énticos sufrió una degradación del 12 % en agricultura conservacionista¹ con respecto a suelos vírgenes; y una degradación del 86 % en agricultura convencional intensa también con respecto a suelos vírgenes; además todas las pasturas mejoraron la estabilidad de agregados con respecto a agricultura intensa.

Por otro lado y respecto a la actividad ganadera, se debe considerar que el pisoteo generado por los animales en pastoreo afecta principalmente los macroporos de mayor diámetro, precisamente aquellos responsables de la vida de la fauna y los hongos del suelo y los lugares preferenciales de las raíces de los pastos. La aparición de poros llenos de aire en la superficie del suelo lo vuelve a éste susceptible al daño estructural por pisoteo. Ello sucede debido a la destrucción de agregados superficiales por el impacto de la pezuña animal sobre suelo seco. Este daño no genera una compactación excesiva, pues el suelo generalmente posee alta capacidad portante, pero da lugar a la generación de agregados de menor tamaño, y por ende se traduce en descensos de estabilidad estructural (Taboada, 2007).

En el presente trabajo se pretende estudiar el impacto de rotaciones y sistemas de labranza sobre la estabilidad estructural de la capa superficial de un suelo representativo del suroeste de la provincia de Córdoba.

¹ Agricultura conservacionista: En este trabajo se incluyen dentro de esta denominación a los sistemas de labranza reducida y siembra directa, ya que se caracterizan principalmente en reducir la remoción de suelo y conservar la mayor cantidad posible de rastrojos en la superficie del mismo; contribuyendo así a disminuir los riesgos de erosión hídrica y eólica y mantener o aumentar los niveles de materia orgánica (Studdert 2001)

1.2. ANTECEDENTES

Desde fines del siglo XIX y durante la mayor parte del siglo XX, los suelos de la Pampa Ondulada argentina estuvieron destinados a la agricultura (maíz y trigo) y a la ganadería. Esta práctica permitía que durante los ciclos de pastura se recuperara la fertilidad de los suelos, la que decrecía en los períodos de agricultura (Soriano 1991). Durante la década del '80 se produjo en la región un avance de la agricultura sobre los sistemas de producción mixtos (agrícola-ganaderos), básicamente por factores económicos (Soriano 1991). A partir de los '90, se propuso a la siembra directa (SD) como sistema conservacionista, a través del cual la cobertura con rastrojo y la mínima remoción contribuyen a disminuir los riesgos de erosión y a aumentar el nivel de materia orgánica de los suelos. Sin embargo, hoy se conoce que no necesariamente los niveles de materia orgánica del suelo aumentan en gran proporción, ni que todas las propiedades físicas evolucionan favorablemente cuando la SD se realiza en situaciones de agricultura continua (Alvarez *et al.*, 2004; Micucci y Taboada, 2006). Es así que muchos productores plantean nuevamente, dentro de los esquemas de producción, a la ganadería. De este modo se incluyen períodos con pasturas en basa a alfalfa, contribuyendo con mejoras en la estructura a través del entramado de las raíces y el aporte de materia orgánica (Fernández *et al.*, 2008).

En este sentido, Viglizzo (1995) destaca el efecto positivo sobre las propiedades del suelo que tienen las rotaciones con pasturas, siendo sus efectos más importantes el incremento de la fertilidad y de la estabilidad estructural de los suelos.

En correlación con este último efecto, una de las variables comúnmente utilizadas para caracterizar el estado de las propiedades físicas del suelo, es precisamente la estabilidad de agregados y por ello ha sido propuesta frecuentemente como indicador de la sostenibilidad edáfica o como índice de calidad ambiental (Lal, 1991).

En este contexto, cabe aclarar que la *estructura* del suelo es la propiedad morfológica que expresa el ordenamiento (o el arreglo) de partículas en *agregados*; donde un *agregado* es un terrón de suelo constituido por partículas que se mantienen unidas entre sí con diversos agentes cementantes y con diverso grado en la fortaleza de la cohesión que las mantiene unidas; separado de agregados vecinos a través de superficies o planos de debilidad (como ser grietas, fisuras, etc). En la formación de estos agregados participan factores de carácter biótico y abiótico. Entre estos últimos uno de los más importantes es el contenido de arcilla y los procesos de formación de la estructura, como son los ciclos de humedecimiento y secado y la contracción y expansión del material edáfico².

² Lo señalado en este párrafo toma como fuente material de apoyo didáctico de las asignaturas *Sistema Suelo-Planta* (Bernardo *et al.* 2005) y *Sistema Suelo* (Degioanni 2004); así también como *La estabilidad estructural del suelo* (Calderon 2009).

Mientras que dentro de los factores bióticos, el contenido de materia orgánica juega un importante rol en la formación y estabilización de la estructura de los suelos, sobre todo en aquellos con poco contenido de arcilla. Por lo tanto, incrementar la incorporación de carbono a los suelos de textura franco-arenosa y/o arenosa-franca, por medio de la selección de cultivos y de la implantación de pasturas, es una opción importante para el mejoramiento y/o mantenimiento de su condición estructural (Castiglione 2007).

En definitiva, la estructura del suelo hace referencia al tamaño, forma y disposición de las partículas sólidas y los poros y su continuidad en profundidad (Castiglione 2007). Y la estabilidad de los agregados (es decir de dicha estructura) hace referencia a la capacidad de éstos para mantener su forma al estar sometidos a fuerzas inducidas artificialmente, como las derivadas de la humectación, impacto de las gotas de lluvia, el paso de agua, o a un determinado proceso dispersivo (Porta *et al.*, 1994).

Por otro lado, existe una relación entre el tamaño de los agregados y la persistencia de las uniones de las partículas que los constituyen: los agregados menores de 20μ están constituidos por uniones persistentes que no son afectadas por las labranzas de los suelos, mientras que entre 20 y 200μ se tienen macroagregados jóvenes cuyos agentes de unión son temporarios y persisten meses y hasta años. Los macroagregados entre 200 - 2000μ poseen uniones generadas por agentes transitorios, como los microbios y los polisacáridos de origen vegetal. Estos agentes que duran días o semanas, se producen cuando los residuos vegetales y animales son incorporados al suelo y posteriormente transformados por la actividad microbiana (Tisdall y Oades, 1982; Elliott, 1986, citados por Cabría y Culot 2001). Contrariamente a lo que sucede con los macroagregados, la estabilidad de los microagregados depende de la fuerza con que las arcillas y otros componentes inorgánicos del suelo son sorbidos a la materia orgánica particulada, residuos microbianos y otros coloides orgánicos y compuestos de origen microbiano (Jastrow y Miller, 1998, citados por Cabría y Culot, 2001).

La estructura del suelo según Montenegro (1991) tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo, en determinados casos, un factor limitante en la producción. Una estructura desfavorable puede acarrear problemas en el desarrollo de las plantas, tales como el exceso o deficiencia de agua, la falta de aire, la incidencia de enfermedades, la baja actividad microbiana, el impedimento para el desarrollo de las raíces, etc.; por el contrario, una estructura favorable permitirá que los factores de crecimiento actúen eficientemente y se obtengan, en consecuencia, mayores rendimientos de las cosechas.

Sanzano *et al.* (2005) en la provincia de Tucumán realizaron un trabajo con el objetivo de comparar, en una región seca subhúmeda, la influencia de diferentes sistemas de manejo en un Haplustol típico sobre el nivel de degradación física y química del mismo y su relación

con propiedades hidráulicas que tienen importancia en el almacenaje de agua. Para ello se compararon situaciones bajo monocultivo de soja con siembra directa (SD) y con laboreo convencional (LC); bajo pastura de gramíneas sin pastoreo directo (P) y bajo monte natural (MN). La estabilidad estructural fue la propiedad más sensible al manejo del suelo, siguiendo una secuencia decreciente desde el monte natural hasta el laboreo convencional, que representa el máximo nivel de degradación física entre las situaciones estudiadas. La estabilidad estructural estuvo fuertemente asociada al carbono orgánico en todas las situaciones, excepto en el suelo bajo pastura donde el efecto físico de las raíces fue más importante que el contenido de materia orgánica del suelo.

Por otro lado Gudelj *et al.* (2000) en un Argiudol típico de textura franco-limosa, determinaron que en relación al suelo virgen, todos los sistemas de manejo afectaron negativamente la estabilidad estructural, evidenciándose un deterioro de esta propiedad producto del laboreo intensivo de suelo y del monocultivo. Concluyeron además que entre los sistemas de manejo del suelo, la estabilidad estructural decrece en el siguiente orden: suelo virgen – pastura – siembra directa – labranza conservacionista – labranza convencional.

1.3. HIPOTESIS

- Durante el ciclo de pastura se mejora la estabilidad de agregados en superficie de un Hapludol típico del sur oeste de Córdoba, con respecto a una rotación agrícola sin pastoreo de rastrojo.
- Los sistemas de labranza conservacionistas mejoran la estabilidad de agregados con respecto al sistema de labranza convencional.

1.4. OBJETIVOS

General:

- Evaluar la estabilidad estructural de la capa superficial de un Hapludol típico del SO de Córdoba sometido a una rotación con pastura en base a alfalfa y tres sistemas de labranza.

Específicos:

- Comparar el efecto sobre la estabilidad estructural de la capa superficial del suelo entre una rotación con pastura en base a alfalfa y una rotación agrícola.
- Comparar el efecto sobre la estabilidad estructural entre sistemas de labranzas.
- Comparar los resultados obtenidos con respecto a una situación con mínimo disturbio debido al uso y manejo.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de investigación “*Efecto de rotaciones, labranzas y disponibilidad de nutrientes sobre la calidad del suelo y la producción agropecuaria en el oeste de Río Cuarto*”, dirigido por la Profesora Estela Bricchi. El mismo se halla inserto en el campo de docencia y Experimentación (CAMDOCEX) de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto “Pozo del Carril”, ubicado en las cercanías del paraje La Aguada, departamento Río Cuarto (33° 57’ Lat. Sur, 64° 50’ Long. Oeste), el ensayo se ubicaría según la clasificación de Becerra (1999, citado por Parra, 2004), en la unidad ecológica homogénea llanura con invierno seco.

El clima es templado subhúmedo, con régimen de precipitaciones monzónico (80 % de las lluvias concentradas en el periodo Octubre - Abril) y con una precipitación media anual de 850 mm. El balance hídrico presenta un déficit de entre 50 y 300 mm/año de acuerdo al régimen de lluvia. Las principales adversidades climáticas son: sequías, heladas extemporáneas, granizo y la intensidad de las precipitaciones (Degioanni, 1998).

El área se caracteriza por presentar un relieve muy complejo, de moderado a fuertemente ondulado determinando un conjunto de lomadas, cuya longitud oscila entre los 3.000 y los 6.000 metros de largo con un gradiente del 2 al 3 %. Localmente se presentan pendientes mas cortas pero de mayor gradiente (Becker *et al.*, 2001). En esta área predominan sedimentos de tipo loésicos franco-arenosos muy finos de la Formación la Invernada (Cantú, 1992), donde predominan Hapludoles típicos de textura franco arenosa muy fina (Cantero *et al.*, 1984). El suelo del sitio experimental fue descrito por Becker (2006). Una imagen del perfil y la descripción de sus características morfológicas y analíticas se detallan en el anexo.

La región de referencia perteneció a un latifundio –prácticamente en toda su extensión- hasta mediados del siglo XX, donde se produce una gran subdivisión de la tierra con la colonización del sector y la incorporación de la agricultura invernal (trigo, lino, avena y centeno). Paulatinamente el maíz fue desplazando a estos cultivos de invierno; en la década del 60 se introduce el girasol y en la del 70 la soja. En la actualidad el uso de la tierra es agrícola-ganadero, el cual fluctúa dependiendo del mercado internacional. (Parra, 2004).

La gran irrupción de la agricultura estival con cultivos cuya restitución de materia orgánica es muy baja, acompañada de un aumento en las labores de presembrado y un incremento en el tamaño y peso de las maquinarias, provocó una alteración de las

condiciones físicas y biológicas de los suelos (Bricchi, 1996; Cisneros *et al.*, 1996, Degioanni, 1998; Moreno *et al.*, 1996, citados por Parra, 2004).

2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El proyecto de investigación donde se desarrolló este trabajo se puso en marcha a partir de agosto de 1994. El mismo incluye tres usos: agrícola, agrícola-ganadero y una situación de mínimo disturbio en los últimos 30 años, bajo monte con especies forestales y su renoval; tres sistemas de labranzas: siembra directa (SD), labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC); dos dosis de fertilización con nitrógeno y fósforo y dos manejos del resto de cosecha: pastoreo (P) y no pastoreo (NP).

En SD (Ver anexo – Fotos 1 y 2) no hubo laboreo del suelo previo a la siembra, salvo control de malezas durante el barbecho mediante control químico empleando glifosato; posteriormente, en preemergencia de los cultivos y de las malezas se aplicaron herbicidas residuales selectivos, y en situaciones donde hubo escapes de malezas, las mismas fueron controladas con herbicidas selectivos.

Para siembra se utilizó una sembradora neumática Bertini modelo 10.000 D, de 7 surcos, realizándose la siembra de los cultivos en plano y a 0,70 m entre líneas. El *kit* de siembra directa está constituido por una cuchilla de microlabranza (cortadora de rastrojos), doble disco abre surco, fertilizador y sembrador, y el control de profundidad se realiza por una leva graduada central sobre las ruedas tapadoras de surco.

LR consistió en una o dos labores de arado de cincel a unos 20 cm de profundidad, al momento de barbecho, y posterior repaso del suelo con rastra de discos excéntrica, para luego realizar la siembra con la sembradora descrita anteriormente. Con el arado de cincel se realiza un corte vertical en el suelo, dejando aproximadamente el 70% de residuos en superficie y está constituido por un chasis sobre el que van montados los arcos o cinceles; que al momento de trabajo efectúan una acción “vibratoria” antero-posterior, que es en definitiva la que logra un buen trabajo de roturación. La distancia a la que trabajan los arcos en el terreno, es a 0,35 m.

Por último, LC (Ver anexo – Fotos 3 y 4) comprendió una labor de arado de reja y vertedera y posteriormente rastra de discos excéntrica, para finalmente realizar la siembra con la misma sembradora utilizada en las situaciones antes mencionadas. La función del arado de reja y vertedera es cortar una tira (gleba) de suelo, levantarla e invertirla, cubriendo con ella totalmente los residuos de la superficie. El arado está constituido por un bastidor al cual se fijan los timones de los distintos cuerpos (se denomina así al conjunto completo de piezas de trabajo *para un surco*- reja, vertedera, talón, etc.-); también posee una cuchilla circular sujeta al timón con la que se va efectuando un corte vertical de suelo.

El arado de discos de tiro excéntrico está constituido por un chasis o bastidor, sobre el que se sostienen 2 cuerpos de discos llamándose así al conjunto de discos soportados en un bastidor. Este tipo de rastra posee discos dentados tanto en el cuerpo anterior, como en el posterior.

Respecto a la fertilización de los cultivos, se aplicó fósforo al momento de la siembra, al costado y por debajo de la línea de siembra. Posteriormente, y en el caso de maíz, se aplicó urea entre la línea de cultivo alrededor de V4-V5, ya que es a partir de esta etapa en que el cultivo comienza un crecimiento activo y por ende de mayor absorción de nitrógeno. Para dicha actividad se utilizó una sembradora Agrometal de grano grueso para siembra directa adaptada de manera que, a partir del sistema de siembra se condujo el fertilizante desde la tolva al suelo. Las dosis aplicadas son determinadas en función de los rendimientos potenciales de los cultivos y de las condiciones de suelo. Para el caso particular de la fertilización fosforada, la misma se efectúa teniendo como criterio una aplicación tal que permita incrementar los niveles de este elemento en el suelo a través del tiempo, a efectos de mejorar su disponibilidad y aprovechamiento. Comprobando tal efecto mediante análisis de su presencia en el suelo, y cada tantos años.

En la rotación agrícola-ganadera, para la implantación de la pastura, en todos los tratamientos de labranza se realizó una labor con rastra de disco excéntrica previa a la siembra; salvo para la situación bajo siembra directa, donde se aplicó glifosato para el control de malezas. Posteriormente, se utilizó para la siembra la misma sembradora mencionada en la rotación agrícola. En todos los casos, junto a la siembra se aplicaron 30 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico al costado y por debajo de la línea de siembra; para lo cual se utilizó una sembradora Agrometal de grano grueso para siembra directa adaptada de manera que, a partir del sistema de siembra, se conduce el fertilizante desde la tolva al suelo.

A partir del año 2007 en una parte de los tratamientos SD y LR se introdujo una labor profunda con un escarificador descompactador tipo “reja cero” (Cisneros *et al.*, 1998), con montantes rígidos en forma de “t” invertida que presenta filos longitudinales y horizontales. Los cuerpos se dispusieron en un bastidor de arado de cinceles, distanciados a 0,36 m, y a una profundidad teórica de trabajo de 0,30 m; mas rolos dispuestos detrás de dicha herramienta, con el objetivo de cerrar los surcos originados por las rejas y reacondicionar la superficie del suelo y rastrojo.

El presente trabajo se realizó en la **rotación agrícola-ganadera de bovinos**, fertilizada, que incluye una pastura en base a alfalfa cada tres ciclos agrícolas en base a maíz-soja. El segundo ciclo ganadero se reinició en 2007 con una pastura consociada de alfalfa (*Medicago sativa L.*), cebadilla (*Bromus unioloides K.*) y pasto ovido (*Dactylis glomerata L.*)

Cuando se inició el presente trabajo, en el otoño de 2010, esta pastura se encontraba en su tercer año de producción. Se consideraron los tres sistemas de labranza planteados precedentemente: siembra directa (**SD**), labranza reducida (**LR**) y labranza convencional (**LC**), y un sistema de pastoreo caracterizado por un pulso de pastoreo anual (2-3 días) con animales bovinos (terneros, vacas y vaquillonas) y un nivel de cosecha de “Alta utilización” (cosechándose más del 75% del forraje disponible).

Los resultados fueron comparados con los de una situación de mínimo disturbio (MONTE) sin antecedentes de labranzas (Ver anexo – Fotos 5 y 6), y con los correspondientes a los mismos sistemas de labranza de la rotación agrícola sin pastoreo de rastrojo, obtenidos en el marco de otro trabajo final que se realizó simultáneamente.

El ensayo fue desarrollado utilizando un diseño experimental en parcelas subdivididas dispuestas en bloques completos aleatorizados, con dos repeticiones espaciales por tratamiento (Ver Anexo - Esquema 1).

2.3. DETERMINACIONES REALIZADAS

2.3.1. Distribución de tamaños de agregados y diámetro medio ponderado. Procedimiento.

En cada tratamiento, previo a la roturación de la pastura y en la situación de mínima alteración, se tomaron 2 muestras compuestas por 3 submuestras de los primeros 5 cm del suelo. En las mismas se determinó la distribución de tamaños de agregados estables al agua (%) y el diámetro medio ponderado (mm) según el método de Pla Sentís (1983), siguiendo el procedimiento que a continuación se detalla: de las muestras de suelo secadas al aire, tamizadas por malla entre 4 y 2 mm, se extrajeron y pesaron 30 g que fueron secados en estufa a 110 °C, cumplido lo cual se volvieron a pesar (obteniendo así el primer peso: *a*). Luego se colocaron otros 30 g de agregados secos al aire, esparciéndolos cuidadosa y uniformemente sobre el tamiz de 2 mm; los cuales se humedecieron por capilaridad durante 30 minutos. Luego se agregaron los tamices de 1, 0,5 y 0,1 mm de diámetro de malla y se inició el agitado en agua, con movimientos ascendentes y descendentes de 3 - 5 cm, 30 - 40 veces por minuto, durante 10 minutos. Transcurrido esto, se sacó el juego de tamices, separando uno del otro y recogiendo en un recipiente el suelo que quedó en cada tamiz. Luego se llevó el recipiente a secar a 110 °C en estufa. Una vez seco se pesó el suelo recogido en cada recipiente (segundo peso: *b*), que representa los agregados y partículas de arena con diámetros comprendidos entre 2 - 4 mm; 1 - 2 mm; 0,5 - 1 mm; y 0,1 - 0,5 mm. A cada una de las muestras anteriores se agregó 110 cm³ de agua destilada y 10 cm³ de solución de calgón al 10 %, se dejó reposar 15 minutos y se transfirió el contenido al frasco de agitación, donde se agitó la suspensión por unos 10 minutos usando el agitador de análisis

mecánico. Una vez cumplida la agitación, se hizo pasar cada suspensión por el mismo tamiz en el cual quedó retenido el suelo inicialmente. Lo que quedó en cada tamiz se recogió en otro recipiente, se secó a 110 °C y se pesó (peso *c*). Estos pesos representan las partículas de arena con diámetros comprendidos entre 2 - 4 mm; 1 - 2 mm; 0,5 - 1 mm; y 0,1 - 0,5 mm; retenidas en cada tamiz. Así, restando a los valores de (*b*) los correspondientes valores de (*c*) se obtuvieron los pesos de agregados estables en cada fracción (*d*) (2 - 4 mm); (0,5 - 1 mm); (0,1 - 0,5 mm).

2.3.2. Método del cálculo.

Para calcular el porcentaje de agregados estables al agua, para los diámetros 0,1 - 0,5; 0,5 - 1; 1 - 2 y 2 - 4mm se utilizó la siguiente expresión:

$$\% AEA \approx \left(\frac{b - c}{a - c} \right) \times 100$$

Donde:

% AEA = porcentaje en peso de agregados estables al agua

a = peso seco inicial de la muestra

b = peso seco luego del agitado con agua

c = peso seco luego del agregado de Calgón

Para obtener el diámetro medio ponderal de agregados se utilizó la siguiente expresión:

$$DMP = \frac{3d(2-4 \text{ mm}) + 1,5d(1-2 \text{ mm}) + 0,75d(0,5-1 \text{ mm}) + 0,3d(0,1-0,5 \text{ mm})}{b(2-4 \text{ mm}) + b(1-2 \text{ mm}) + b(0,5-1 \text{ mm}) + b(0,1-0,5 \text{ mm})}$$

Donde: DMP= diámetro medio ponderado

$$d = b - c$$

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Todos los datos correspondientes a los tratamientos se analizaron según el paquete estadístico INFOSTAT (INFOSTAT 2008).

La situación de mínimo disturbio se encuentra fuera del sitio experimental por lo que para su comparación con los tratamientos se utilizó un test de comparación de medias con diferente varianza.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Distribución de tamaños de agregados estables al agua.

3.1.1. Efecto del sistema de labranza.

El sistema de labranza tuvo efectos sobre la distribución del tamaño de agregados estables al agua de la capa superficial del suelo estudiado. En este sentido se presentarán los resultados según el sistema de labranza en la tabla 1.

En la situación con mínimo disturbio se observa que existieron diferencias significativas en todos los intervalos de diámetros de agregados respecto de los tratamientos de labranza, excepto en el intervalo de 2 - 1 mm donde no se diferenció estadísticamente de SD. El MONTE ó mínimo disturbio presentó una proporción de agregados de mayor tamaño (4 - 2 mm) significativamente superior a los tratamientos de labranza, mientras que la proporción de agregados pequeños (1 - 0,5 mm y 0,5 - 0,1 mm) fue significativamente inferior (tabla 1).

Tabla 1: Porcentaje de agregados estables al agua según sistema de labranza y situación de mínimo disturbio.

Agregados estables al agua (%)				
Diámetros (mm)				
Tratamientos	4 - 2	2 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,1
MONTE	89,77 A	5,88 A	1,10 A	0,62 A
SD	59,17 B	10,13 AB	4,30 B	8,93 B
LR	42,08 C	11,25 B	5,96 B	15,92 C
LC	24,18 D	10,78 B	8,15 C	21,44 D

Referencias: SD, siembra directa; LR, labranza reducida; LC, labranza convencional.

En columnas, letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test de comparación de medias de Fisher ($p \leq 0,05$).

Estos resultados demuestran el impacto negativo que ejercen los sistemas de laboreo con intensa remoción del suelo sobre la estructura edáfica y coincidirían con la tendencia observada por Alvarez *et al.* (2009) quienes en Argiudoles y Hapludoles de la Pampa Ondulada Argentina compararon situaciones quasi-prístinas con sistemas laboreados con arado de disco y siembra directa, observando un cambio significativamente inferior en el diámetro ponderal medio de los agregados de la situación con mínimo disturbio respecto a los sistemas laboreados.

Por su parte, Ferreras *et al.* (2007) realizaron la caracterización física de suelos de once establecimientos correspondientes a ensayos de la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe ubicados en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires, y llegaron a la conclusión de que en todas las situaciones analizadas, los sitios considerados como referencia (situación quasi-prístina) presentaron mejores condiciones estructurales con respecto al mismo suelo bajo cultivo, independientemente del sistema de labranza empleado.

En igual sentido, una secuencia decreciente de estabilidad fue señalada por Gudelj y Masiero (2000) para un suelo de textura franco limosa de Marcos Juárez, determinando índices de estabilidad relativa de 54% para una pradera de 5 años y de 25% para una combinación de 5 años de SD y 20 años de LC, en comparación con un suelo virgen al que se le asignó un índice de estabilidad de 100%.

Por otro lado se destaca que los sistemas de labranzas conservacionistas como SD y LR presentaron una proporción de agregados de 4 - 2 mm significativamente superior a LC, aunque también hubo diferencias estadísticamente significativas a favor de SD respecto de LR. Estos resultados serían coincidentes con lo observado por Chiarotto (2009) en un Hapludol típico franco arenoso sometido a diferentes sistemas de laboreo y por Arshad *et al.* (1999) quienes indicaron que la agregación estable al agua de la capa superficial en Alfisoles, tanto franco-limosos como así también en franco-arenosos mejoró en siembra directa comparada con labranza convencional, debido posiblemente a que en el primer caso la materia orgánica fue secuestrada dentro de los macroagregados contribuyendo a estabilizarlos. Díaz-Zorita *et al.* (2004) luego de 12 años de observaciones comparando diferentes sistemas de labranza con rotación maíz/soja en un Hapludol típico concluyeron que la SD contribuyó a la conservación de los contenidos totales de MO, atribuido fundamentalmente a la reducción en la mineralización producida por la no remoción de los suelos.

Por otro lado, y considerando el intervalo de menor diámetro de agregados (0,5 – 0,1 mm), se destaca una tendencia contraria a la observada en el mayor tamaño de agregados, así SD presentó una proporción significativamente inferior al resto de los tratamientos y LR menor que LC, lo cual pone de manifiesto que situaciones conservacionistas tienden a acumular mayor proporción de agregados de mayor diámetro y menor proporción en los de menor diámetro, mientras que en labranza convencional, por la elevada intensidad de remoción de suelo, presentan mayor proporción de agregados pequeños. Situación que puede relacionarse con el incremento de materia orgánica observado en los primeros cm del mismo suelo que el del presente trabajo, en sistemas de labranza conservacionistas, respecto a sistemas de labranza convencional, según lo informado por Parra (2004) y Lardone (2009), lo que expresaría menor susceptibilidad a pérdidas de suelo por erosión (mayor agregación y menor predisposición a “suelo suelto”).

Studdert y Echeverría (2000), citados por Cabría y Culot (2001), explican este comportamiento, al sostener que en suelos bajo labranza convencional, la oxidación de la MO conduce a su reducción, especialmente cuando la reposición de C es baja. Las labranzas rompen los macroagregados y provocan la pérdida de la materia orgánica particulada protegida dentro de ellos (Franzluebbers *et al.*, 1999). El uso de siembra directa es una alternativa que podría reducir los efectos provocados por el laboreo ya que tiende a promover el mantenimiento o el incremento de la MO (Franzluebbers *et al.*, 1999; Carter 2002) debido a la reducción en las tasas de mineralización.

3.1.2. Efecto de la rotación.

Tanto la rotación agrícola-ganadera, como la rotación agrícola consideradas en este trabajo también manifestaron efectos significativos sobre la distribución del tamaño de agregados estables al agua de la capa superficial del suelo estudiado. En este sentido, en la tabla 2 se indican los resultados para cada rotación analizada.

Al comparar la distribución de agregados estables al agua entre la rotación agrícola-ganadera y la rotación agrícola, se puede apreciar que la primera situación mencionada presentó una proporción de los agregados de mayor tamaño (4 – 2 mm) significativamente superior a la segunda rotación (tabla 2). Este resultado podría indicar que durante el período que duró la pastura hubo menor deterioro de la estructura como así también una recuperación de su estabilidad producto del aporte de materia orgánica por biomasa aérea y radicular y por la no remoción del suelo durante dicho período. Según Studdert *et al.* (1997) en los períodos bajo pastura se incrementan los contenidos de MO y de sus fracciones lábiles debido a un mayor aporte de C por debajo de la superficie del suelo asociada al volumen y densidad de sus raíces.

Tabla 2: Distribución de tamaño de agregados estables al agua según rotación.

Agregados estables al agua (%)				
Diámetros (mm)				
Rotación	4 - 2	2 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,1
Agrícola-Ganadera	58,82 A	9,99 A	3,80 B	10,57 A
Agrícola	48,78 B	9,03 A	5,96 A	12,89 A

En columnas, letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test de comparación de medias de Fisher ($p \leq 0,05$).

En el tamaño comprendido entre 1 – 0,5 mm de diámetro también existieron diferencias significativas, en este caso a favor de la rotación agrícola, lo cual podría estar asociado a la desagregación producida durante los sucesivos ciclos agrícolas (tabla 2).

En este sentido, Cabria *et al.* (2002) indicaron que bajo agricultura continua con labranza convencional la cantidad de microagregados se incrementó a expensas de macroagregados de gran tamaño. Mientras que en sitios con praderas, donde los residuos vegetales dentro de la matriz del suelo provenientes de raíces, conjuntamente con el crecimiento de hifas fúngicas sobre las mismas, promueven la asociación entre las partículas minerales y orgánicas en el suelo y con el tiempo se generan macroagregados de gran tamaño por acoplamiento de los pequeños, dando así lugar a la formación de agregados estables.

En los rangos de 2 – 1 mm y de 0,5 – 0,1 mm, si bien no hubo diferencias estadísticas significativas entre rotaciones, se destaca una tendencia coincidente con el efecto positivo esperado del ciclo de pastura sobre la estabilidad estructural, presentando mayor proporción de agregados superiores a 1mm que el suelo con rotación agrícola (tabla 2).

Teniendo en cuenta los resultados descriptos anteriormente, se puede afirmar que la estructura del suelo surge del estado de equilibrio alcanzado por la acción contrapuesta de procesos de agregación y procesos de desagregación. Los factores intervinientes en dichos procesos son tanto naturales como antrópicos. Entre los agentes agregantes de origen antrópico figuran los ciclos de pasturas, la aplicación de enmiendas orgánicas, barbechos cubiertos y cortos, la rotación de cultivos, entre otros, mientras que entre los factores que desencadenan procesos de desagregación, se puede mencionar a los laboreos intensos, el barbecho desnudo, el monocultivo (Taboada, 2010). En la presente experiencia, durante la rotación con pasturas se manifestó una tendencia hacia la agregación, con mayor proporción de agregados gruesos (2 - 4 mm).

3.1.3. Efecto de la rotación y sistema de labranza para cada intervalo de tamaño de agregados.

A continuación serán presentados únicamente los resultados correspondientes a aquellos rangos de tamaño de agregados estables al agua que evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

En ambas rotaciones la proporción de agregados de 4 - 2 mm no presentó diferencias estadísticas significativas cuando se utilizó SD y LR. Sin embargo, al comparar estos

sistemas de labranza dentro de cada rotación, se aprecia que en la rotación agrícola-ganadera, LR no se diferenció de SD, mientras que en la rotación agrícola la proporción de agregados mayores (2 - 4 mm) fue significativamente inferior en LR respecto a SD, es decir que hubo diferencias estadísticamente significativas entre ambos sistemas para esta rotación (tabla 3).

En cuanto a LC, presentó la menor proporción de agregados de este rango de tamaños y no mostró diferencias entre rotaciones, evidenciando efectos negativos sobre la estructura de la capa superficial del suelo. Sin embargo, en la rotación agrícola-ganadera el efecto mencionado fue menos marcado ya que presentó un valor absoluto mayor que en la rotación agrícola, y fue similar al valor correspondiente a LR de la rotación agrícola. En cada rotación sólo se diferenció desde el punto de vista estadístico de SD (tabla 3).

Tabla 3: Porcentaje de agregados estables al agua entre 4 – 2 mm según rotación y sistema de labranza.

Porcentaje de Agregados Estables al Agua entre 4 - 2 mm		
Sistema de labranza	Rotación agrícola-ganadera	Rotación agrícola
SD	61,30 A	57,03 A
LR	52,36 AB	31,80 BC
LC	31,85 BC	16,51 C

Referencias: SD, siembra directa; LR, labranza reducida; LC, labranza convencional.

Letras mayúsculas distintas en filas y columnas indican diferencias significativas entre tratamientos según test de comparación de medias de Fisher ($p \leq 0,05$).

Este comportamiento puede explicarse -para ambas rotaciones- teniendo en cuenta los conceptos de Tisdall y Oades, (1982) quienes consideraron que con la cobertura de residuos se generan aumentos en los niveles de MO lábil del suelo, la cual sirve como agente de unión débil, momentánea y en el corto plazo entre los microagregados. Por otro lado, en la rotación agrícola-ganadera el aporte que realizan las raíces potencia este efecto y permitiría que durante el período en el que la pastura está implantada (i.e. “período de descanso del suelo”) las uniones generadas por la MO evolucionen hacia formas químicas más estables. Generan así mayor resistencia de la estructura frente a la inclusión de laboreo reducido respecto a sistemas agrícolas donde la estabilidad de la estructura depende de fracciones orgánicas lábiles que desaparecen ante la intervención mecánica.

Domínguez *et al.* (2008), trabajando sobre un complejo de Argiudoles típicos y Paleudoles petrocálcicos de textura franca, concluyeron que la inclusión de pasturas en una rotación agrícola permite recomponer los valores de índice de estabilidad de agregados (IEA) perdidos durante el ciclo agrícola; y que luego de una pastura, y durante el período agrícola, el sistema bajo SD produce una menor tasa de caída del IEA respecto a LC.

En la tabla 4 se observa que entre ambas rotaciones, la proporción de agregados estables al agua entre 1 – 0,5 mm de diámetro no manifestaron diferencias estadísticas significativas cuando fueron empleados los sistemas de labranza SD y LC. Mientras que sí hubo diferencias significativas entre rotaciones cuando se utilizó LR.

Tabla 4: Porcentaje de agregados estables al agua entre 1 – 0,5 mm según rotación y sistema de labranza.

Porcentaje de Agregados Estables al Agua entre 1 – 0,5 mm		
	Rotación agrícola-ganadera	Rotación agrícola
Sistema de labranza		
SD	3,25 D	5,36 BCD
LR	4,05 CD	7,88 AB
LC	6,80 ABC	9,50 A

Referencias: SD, siembra directa; LR, labranza reducida; LC, labranza convencional.

En filas y columnas, letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test de comparación de medias de Fisher ($p \leq 0,05$).

En lo que respecta a los sistemas de labranza dentro de cada rotación, las diferencias estadísticas se produjeron al comparar entre SD y LC; no habiéndose detectado diferencias estadísticas entre LR y SD, ni tampoco al comparar entre LR y LC para cada rotación. De todos modos, y considerando valores absolutos, se destaca que LC para la rotación agrícola fue el sistema más perjudicial para la estabilidad estructural superficial del suelo en consideración. Estos resultados permiten corroborar lo señalado por Cabria y Culot (2001) quienes afirmaron que la agricultura continua con labranza convencional modifica la distribución del tamaño de agregados con aumento de microagregados y disminución de macroagregados.

Por otro lado, el menor valor absoluto de este rango de tamaño de agregados se presentó en la rotación agrícola-ganadera cuando se empleó SD como sistema de labranza (tabla 4). Eiza *et al.* (2006), trabajando en suelos de textura franca de Balcarce, observaron que el suelo bajo pastura mostró mayor IEA, materia orgánica total (MOT) y materia orgánica particulada (MOP) que el suelo bajo agricultura y, aunque en general no significativamente, los tratamientos bajo agricultura con SD mostraron valores mayores que los correspondientes a LC. Tanto la implantación de pasturas como la utilización de SD propiciaron un incremento en la estabilidad de los agregados respecto a una situación previa al comienzo del experimento.

Finalmente, y teniendo en cuenta el menor rango de tamaños de agregados estables al agua (0,5 – 0,1 mm de diámetro), no se destacaron diferencias estadísticas significativas entre ambas rotaciones al comparar los sistemas SD y LR, mientras que sí se detectaron

diferencias en los valores obtenidos producto de emplear LC como sistema de laboreo del suelo en cada rotación (tabla 5).

Tabla 5: Porcentaje de agregados estables al agua entre 0,5 – 0,1 mm según rotación y sistema de labranza.

Porcentaje de Agregados Estables al Agua entre 0,5 – 0,1 mm		
	Agrícola-ganadera	Agrícola
Sistema de labranza		
SD	9,44 BC	8,43 C
LR	15,04 BC	16,81 B
LC	17,18 B	25,70 A

Referencias: SD, siembra directa; LR, labranza reducida; LC, labranza convencional.

En filas y columnas, letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test de comparación de medias de Fisher ($p \leq 0,05$).

Por otra parte, atendiendo a cada sistema de labranza dentro de la rotación agrícola-ganadera, no hubo diferencias estadísticas significativas entre ellos; pero sí se evidenció una tendencia hacia la acumulación de estos agregados de menor diámetro en la medida en que se tornó más intensa la remoción del suelo, como es el caso de LC. Al analizar la rotación agrícola en cambio, existieron diferencias estadísticas significativas entre cada sistema de labranza empleado, manifestando mayor deterioro de la estructura superficial del suelo en el siguiente sentido: LC > LR > SD (tabla 5).

Hernández *et al.* (2000) trabajando en Ustisoles de textura franco-arenosa, con el objetivo de estudiar los efectos de dos tipos de manejo (labranza convencional y siembra directa) en los índices estructurales, llegaron a la conclusión que el suelo tratado continuamente bajo la forma convencional fue el que presentó la mayor proporción de microagregados en el suelo.

Por su parte, Studdert (2001) sostiene que con el laboreo propio de sistemas de labranza convencional se rompen los agregados del suelo, se expone la materia orgánica, aumenta la oxigenación del sistema y la actividad biológica y se produce en general pérdidas de materia orgánica que tienen como consecuencia la disminución de la capacidad del suelo de resistir los cambios provocados por el uso. Los agregados se tornan más débiles, ya que una de las funciones de la materia orgánica es la de mantener la estructura física del suelo.

Del análisis de los resultados anteriores se evidencia el efecto atenuante que ejerce la rotación agrícola-ganadera ante un manejo con intensa remoción de suelo como el sistema de labranza convencional, sobre el deterioro estructural, respecto a la rotación agrícola.

3.2. Diámetro Medio Ponderado de agregados según rotación y sistema de labranza.

El Diámetro Medio Ponderado (DMP), al igual que la variable anteriormente descrita, son indicadores de la estabilidad estructural de un suelo.

Al considerar el DMP, si bien no existieron diferencias estadísticas significativas entre los sistemas de laboreo conservacionista (i.e. SD y LR) de la rotación agrícola-ganadera, ni tampoco respecto del sistema SD de la rotación agrícola, sí se destaca la tendencia que pone de manifiesto que el sistema de labranza SD en la rotación agrícola-ganadera fue el tratamiento que presentó el menor deterioro en la estabilidad estructural, ya que en esta situación se evidenció el mayor DMP de agregados, siendo de 2,22 mm, siguiéndole SD de la rotación agrícola y LR de la rotación agrícola-ganadera con 2,07 mm y 1,96 mm, respectivamente. (Gráfico 1).

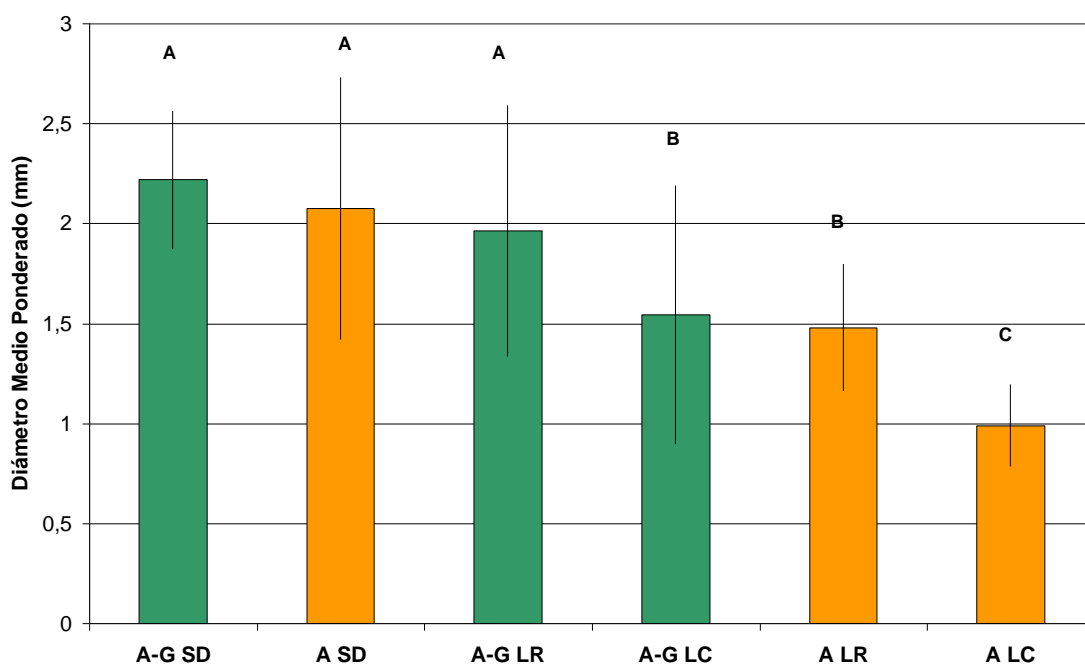


Gráfico 1: Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el diámetro medio ponderado de agregados. Donde: A-G SD= Rotación agrícola-ganadera : siembra directa; A-SD= Rotación agrícola : siembra directa; A-G LR= Rotación agrícola-ganadera : labranza reducida; A-G LC= Rotación agrícola-ganadera : labranza convencional; A LR= Rotación agrícola : labranza reducida; A LC= Rotación agrícola : labranza convencional. Las líneas negras verticales representan el desvío estándar respecto a la media.

Estos resultados destacan la importancia de mantener la mayor cantidad posible de residuos de cosecha en la superficie del suelo y la mínima remoción del mismo, tal como ocurre con sistemas conservacionistas. En este sentido, Studdert (2001) señala que las ventajas fundamentales de los sistemas de labranza conservacionistas se asocian a que dejan

cierta cantidad de rastrojo sobre la superficie. Asimismo, la magnitud de tales beneficios es proporcional al grado de cobertura y al espesor de la cubierta de rastrojos, y que las ventajas hacen directamente a la integridad del recurso suelo, como son la protección contra la erosión y la preservación y mejoramiento de su materia orgánica.

Por otro lado, debe destacarse el ya mencionado efecto positivo que ejerce la inclusión de pasturas sobre esta propiedad del suelo. Los períodos bajo pastura incrementan los contenidos de MO y de sus fracciones lábiles debido a un mayor aporte de C por debajo de la superficie del suelo asociada al volumen y densidad de sus raíces (Studdert *et al.*, 1997) sumado a la no remoción del suelo durante dichos períodos.

El sistema LC de la rotación agrícola-ganadera no presenta diferencias estadísticas significativas respecto del sistema LR de la rotación agrícola, pero ambos se diferenciaron de los sistemas mencionados anteriormente, con valores significativamente inferiores de 1,54 mm y 1,48 mm para LC y LR, respectivamente.

Finalmente, el sistema que presentó el menor diámetro medio de agregados fue LC en la rotación agrícola, siendo de 0,99 mm, y expresa la condición de mayor deterioro en la estabilidad de su estructura.

De la comparación de la variable en estudio correspondiente a los diferentes tratamientos con la situación de mínimo disturbio (monte) surge, como era de esperar, que esta última presentó el mayor valor medio de DMP, siendo este de 2,69 mm. Si se considera a este valor como un marco de referencia se puede sostener que el deterioro de la estructura producido por efecto del uso y del manejo fue del orden del 22% en la rotación agrícola-ganadera con sistemas de labranza conservacionistas o de escasa remoción de suelo (i.e. SD y LR) y en la rotación agrícola con SD; del 43% en la rotación agrícola-ganadera con LC y rotación agrícola con LR; y de un 63% en la rotación agrícola con LC.

En concordancia con este comportamiento, Gudelj y Maciero (2000) determinaron que en relación al suelo virgen todos los sistemas de manejo afectaron negativamente la estabilidad estructural, evidenciándose un deterioro de esta propiedad como consecuencia del laboreo intensivo de suelo y del monocultivo. Concluyeron además que entre los sistemas de manejo del suelo, la estabilidad estructural decrece en el siguiente orden: Suelo virgen – Pastura– Siembra directa – labranza con arado de cinceles – labranza convencional.

Martínez Uncal *et al.* (2006) realizaron un estudio en un Haplustol éntico y llegaron a la conclusión de que el uso intensivo del suelo produce cambios en las propiedades químicas y físicas, como la pérdida de la MO, o la alteración de otros parámetros como la estabilidad de la estructura, que disminuyeron en sitios con agricultura.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

Para las condiciones de suelo, cultivo y uso y manejo estudiadas en el presente trabajo, se concluye lo siguiente:

- Las rotaciones y sistemas de labranza estudiados manifiestan efectos significativos sobre la distribución del tamaño de agregados estables al agua y sobre el diámetro medio ponderal de los agregados de la capa superficial del suelo, por lo que su elección es relevante para la recuperación y/o mantenimiento de las propiedades físicas del mismo.
- La rotación agrícola –ganadera, durante el ciclo que dura la pastura, produce un mejoramiento de la estabilidad estructural del suelo respecto a la rotación agrícola y el diámetro medio ponderal de los agregados se aproxima al que presenta el mismo suelo en condición de mínimo disturbio.
- El sistema de labranza convencional es el que produce mayor deterioro de la estructura, impactando negativamente sobre la distribución de tamaños de agregados estables al agua y sobre el diámetro medio ponderal de los mismos.
- Los sistemas de laboreo conservacionista, generan la mayor estabilidad estructural y mejor distribución de tamaños de agregados respecto al sistema de laboreo convencional, siendo siembra directa la que manifiesta los mejores resultados.
- Todos los sistemas de labranza ejercen deterioros en la estabilidad estructural del suelo respecto de la situación de mínimo disturbio, especialmente en la rotación agrícola.
- Las condiciones de baja estabilidad estructural que caracterizan a los suelos del área bajo estudio, acentuada por el uso y manejo al que han estado sometidos, indicarían la necesidad de ajustar las rotaciones y sistemas de laboreo hacia la inclusión de pasturas perennes y labranzas conservacionistas alternados a los planteos de agricultura predominante, basada en el monocultivo.

CAPÍTULO 5

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ C. R., F. H. GUTIERREZ BOEM, M. A. TABOADA, P. PRYSTUPA, J. F. OCAMPO, P. L. FERNÁNDEZ, M. MOULIN y H. VACCARO. 2004. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. **Acta Congreso XIX de Ciencia del Suelo**. 238.
- ÁLVAREZ C. R., M. A. TABOADA, F. H. GUTIERREZ BOEM, A. BONO, P. L. FERNANDEZ y P. PRYSTUPA. 2009. **Topsoil properties as affected by tillage systems in the Rolling Pampa region of Argentina**. Soil Sci. Soc. Am. J. 73: 1242-1250.
- ARSHAD, M. A.; A. J. FRANZLUEBBERS, y R. H. AZOOZ. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no tillage in northwestern Canada. **Soil and Tillage Research**.53: 41-47.
- BECKER, A. R., M. P. CANTÚ, H. F. SCHIAVO y J. I. CANTERO 2001. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la región pedemontana del suroeste de Córdoba, Argentina. **XV Congreso latinoamericano y V cubano de la ciencia del suelo. CD. Trabajo VII 41-44**.
- BECKER, A. R. 2006. **Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca representativa de la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina**. Tesis Doctoral, Fac. de Ciencias Exactas, físico-química y naturales, Univ. Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- BERNARDO, I., E. BONADEO, I. MORENO, M. BONGIOVANNI y M. MARZARI 2005. Asignatura Sistema Suelo Planta – Material de apoyo didáctico. FAV - UNRC.
- BOTTA, G., J. RESSIA, H. ROSSATO, M. TOURN, E. SOZA, C. FERRERO y S. STADLER. 2005. Efecto de la labranza vertical sobre el suelo y el rendimiento del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus* L.). **Agro-Ciencia** 0716 – 1689.
- CABRIA, F., y 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: 1-10.
- CABRIA, F., M. CALANDRONI y G. MONTERUBBIANESI. 2002. Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas. **Ciencia del Suelo**. 20: 2-12.
- CALDERÓN SÁENZ, F. La estabilidad estructural del suelo.

En: http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Estabilidad_Estructural_del_Suelo.htm Consultado: 25-03-2009.

- CANTERO, A., E. BRICCHI, V. BECERRA, J. CISNEROS y H. GIL 1984. **Zonificación y descripción de las tierras del Dpto. Río Cuarto.** Talleres gráficos de la UNRC, adhesión del bicentenario de la fundación de la ciudad de Río Cuarto.
- CANTÚ, M. P. 1992 Holoceno de la Provincia de Córdoba. **Manual: Holoceno de La Republica Argentina.** Tomo I. Ed. Doctor Martín Iriondo. Simposio Internacional Sobre el holoceno en América del sur. Paraná, Argentina.
- CARTER, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94:38-47.
- CASTIGLIONE, M. G. 2007 Cátedra de Manejo de Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. **Revista Conciencia Rural. La Vida del Campo.** SUELOS: “La Estructura del Suelo”.
- CHIAROTTO, M. P. 2009. **Efecto del pastoreo de los rastrojos y las labranzas sobre la evolución temporal de la estabilidad de agregados.** Tesis, Fac. de Agronomía y Veterinaria, Univ. Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- CISNEROS, J. M., C. CHOLAKY, O. GYAYETTO, E. BRICCHI, J. MARCOS y G. CERIONI 1998. Homogeneidad física, resistencia a la penetración y humedad del suelo en sistemas de labranza para el Área Manicera de Córdoba. **En** R. H. Balbuena, S. H. Benez y D. Jaarajuría (Eds.) **Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito Latinoamericano. Cap. Labranzas.** 111-119. La Plata, Argentina.
- DEGIOANNI, A. 1998. **Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto.** Tesis doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. Dpto. de geografía. Alcalá de Henares. España.
- DEGIOANNI, A. 2004. Guía para el reconocimiento de las propiedades morfológicas externas e internas del individuo suelo. Asignatura Sistema Suelo. FAV – UNRC.
- DÍAZ-ZORITA, M., M. BARRACO y M. ALVAREZ. 2004. Efecto de doce años de labranzas en un hapludol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. **Ciencia del Suelo** 22: (1) 11-18.
- DOMÍNGUEZ, G. F., A. ANDERSEN y G. A. STUDDERT. 2008. Cambios en la estabilidad de agregados en distintos sistemas de cultivo bajo siembra directa y labranza convencional. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis, Argentina.**

- EIZA, M. J., G. A. STUDDERT, N. FIORITI y G. F. DOMÍNGUEZ 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en Molisoles de Balcarce. **XX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Salta-Jujuy – Argentina.
- FERNÁNDEZ, P. L., C. R. ALVAREZ y M. A. TABOADA 2008. Pastoreo invernal de residuos vegetales en sistemas agrícola-ganaderos bajo siembra directa: I. Efectos sobre la resistencia mecánica y sobre la densidad aparente del suelo. **XXI Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. San Luis, Argentina.
- FERRERAS, L., G. MAGRA, P. BESSON, E. KOVALVSKY y F. GARCÍA. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. **Ciencia del Suelo**, Vol. 25, n.2, pp. 159-172 ISSN 1850-2067.
- FRANZLUEBBERS, A. J., G. W. LANGDALE Y H. H. SCHOMBERG 1999. Soil carbon, nitrogen and aggregation in response to type and frequency of tillage. **Soil, Sci. Soc. J.**: 63:349-355.
- GUDELJ O. E. y B. MASIERO 2000. Efecto del manejo del suelo sobre su estabilidad estructural. Libro de Resúmenes **XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata, CD support. Comisión I.
- GUECAIMBURU, J. M., R. M. INTROCASO, J. L. TORELLA, E. WASINGER, y E. C. 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 2005**. San Luis,, Argentina.
- HERNÁNDEZ, R. M., A. FLORENTINO, y D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ. 2000. Efectos de la siembra directa y la labranza convencional en la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de Ustisols en el estado Guárico-Venezuela. **Agronomía Tropical 50(1):9-29**.
- INFOSAT 2008 **Software Estadístico - Manual del Usuario - Grupo Infostat**. Editorial Brujas Córdoba, Argentina.
- INPOFOS 2007 - **Agricultura sustentable y materia orgánica del suelo**. Cono Sur Buenos Aires, Argentina.
- MARTÍNEZ UNCAL, M. C., S. AIMAR, H. M. MARTÍNEZ y R. HEVIA 2006. Estudio de materia orgánica y estabilidad de un Haplustol del Caldenal, con distintos manejos. **XX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Salta, Argentina.
- MICUCCI, F. G. y M.A. TABOADA 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. **Soil and Tillage Research** 86: 152-162.
- MONTENEGRO, G., H. 1991. Interpretación de las propiedades Físicas del Suelo (Textura, Estructura, Densidad, Aireación, etc.). **Seminario-Taller "Fundamentos**

para la interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para riego". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá D.E. Colombia.

- LAL, R. 1991. Soil structure and sustainability. **Journal of Sustainable Agriculture**.1: 67-91.
- LARDONE A. V. 2009. **Estimación de los coeficientes de humificación y mineralización de la materia orgánica en un Hapludol típico de Río Cuarto.** Tesis Fac. de Agronomía y Veterinaria, Univ. Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- PARRA, B. 2004. **Efecto de distintas intervenciones tecnológicas sobre indicadores de la calidad física de un Hapludol típico.** Tesis. Fac. de Agronomía y Veterinaria, Univ. Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- PLA SENTIS, I.1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. **Alcance. Revista de la Facultad de Agronomía.** UCV Maracay-Venezuela. 32 pp.
- PORTA, J; M. LOPEZ-AREVALO y C. ROQUERO. 1994. **Edafología para la agricultura y el medio ambiente.** Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- PRINCIPI, M. A., R. R. MATANA, J. L. COLODRO y O. P. CARDINALI. Manual de teóricos-prácticos tomos I y II – Cátedra de maquinarias agrícolas. FAYV –UNRC.
- SANZANO, G. A., R. D. CORBELLA, J. R. GARCÍA, y G. S. FADDA 2005. Degradación física y química de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. *Cienc. Suelo*, ene./jul. 2005, vol.23, no.1, p.93-100. ISSN 1850-2067.
En: <http://www.scielo.org.ar/scielo>
Consultado: 02-04-2009.
- SILENZI, J. C., C. A. PURICELLI, N. E. ECHEVERRÍA, T. GROSSI y A. G. VALLEJOS. 2000. Degradación y recuperación de dos suelos de la Región Semiárida Pampeana Argentina como resultado de distintos usos y manejos. **XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.** Mar del Plata, Argentina.
- SILVA, L. A., N. C. GUTIERREZ, C. VENIALGO 2000. Densidad relativa y estabilidad de agregados en cultivos anuales y perennes en la serie Zanatta – Meson de Fierro, Chaco. Univ. Nacional del Nordeste. Fac. de Ciencias Agrarias. Argentina.
- SORIANO, A. 1991. Río de la Plata grasslands. Natural grassland. Ecosystems of the world. (Elsevier: Amsterdam).
- STUDDERT, G. A. 2001. Labranza convencional.

En:

<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/recnat/suelos/labranzaconv.htm>

Consultado: 17-05-2011.

STUDDERT, G. A. 2001. Labranza conservacionista.

En:

<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/recnat/suelos/labranzacons.htm>

Consultado: 20-05-2011.

- TABOADA, M. A. 2007. Cambios en el suelo, asociados al tránsito y pisoteo de la hacienda.

En: http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/51-cambios_en_suelo.pdf

Consultado: 27-03-2009.

- TABOADA M. A. 2010 Influencia de la textura y la estructura sobre la fertilidad física **En:** R. Alvarez, G. Rubio, C. Alvarez y R. Lavado (Eds.) **Fertilidad de Suelos. Caracterización y Manejo en la región pampeana.** Editorial Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires, Argentina. 423 p
- VIGLIZZO, E. F., 1995. El rol de la alfalfa en los sistemas de producción. *In* La Alfalfa en la Argentina. Hijazo, E. H. Y Navarro, A. (Ed.) Subprograma Alfalfa INTA. C. R. Cuyo (Argentina). **Agro de Cuyo. Manuales** 11. pp 259-272.
- VILCHE, M. S., C. ALZUGARAY y S. MONTICO 2002. Efecto de la labranza y duración de las praderas sobre la condición física de un suelo argiudol vértico de argentina.

En: <http://www.rcia.puc.cl/Espanol/pdf/29-3/efecto.pdf>

Consultado: 24-03-2009.

- WIENHOLD, B. J. y D. L. TANAKA 2001. Soil Property changes during conversion from perennial vegetation to annual cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1705-1803.
- ZERBINO, S. y N. ALTIER. 2006. La Biodiversidad del suelo. 8-9. **Suplemento Tecnológico.** Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), La Estanzuela. Uruguay.

ANEXO

Esquema 1: Disposición de tratamientos según diseño experimental

BLOQUE I											
ROTACIÓN AGRÍCOLA											
SD				LR				LC			
F		NF		F		NF		F		NF	
c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP
P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP
ROTACIÓN AGRÍCOLA GANADERA											
SD				LR				LC			
NF		F		NF		F		NF		F	
c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP
P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP

BLOQUE II											
ROTACIÓN AGRÍCOLA											
SD				LR				LC			
F		NF		F		NF		F		NF	
c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP
P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP
ROTACIÓN AGRÍCOLA GANADERA											
SD				LR				LC			
NF		F		NF		F		NF		F	
c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP
P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP

Se resaltan los tratamientos considerados en el presente trabajo.



Foto 1: Estado de la superficie del suelo sometido a SD



Foto 2: Perfil del suelo sometido a SD



Foto 3: Estado de la superficie del suelo sometido a LC.



Foto 4: Perfil del suelo sometido a LC



Foto 5: Estado de la situación de mínimo disturbio



Foto 6: Perfil de la situación de mínimo disturbio

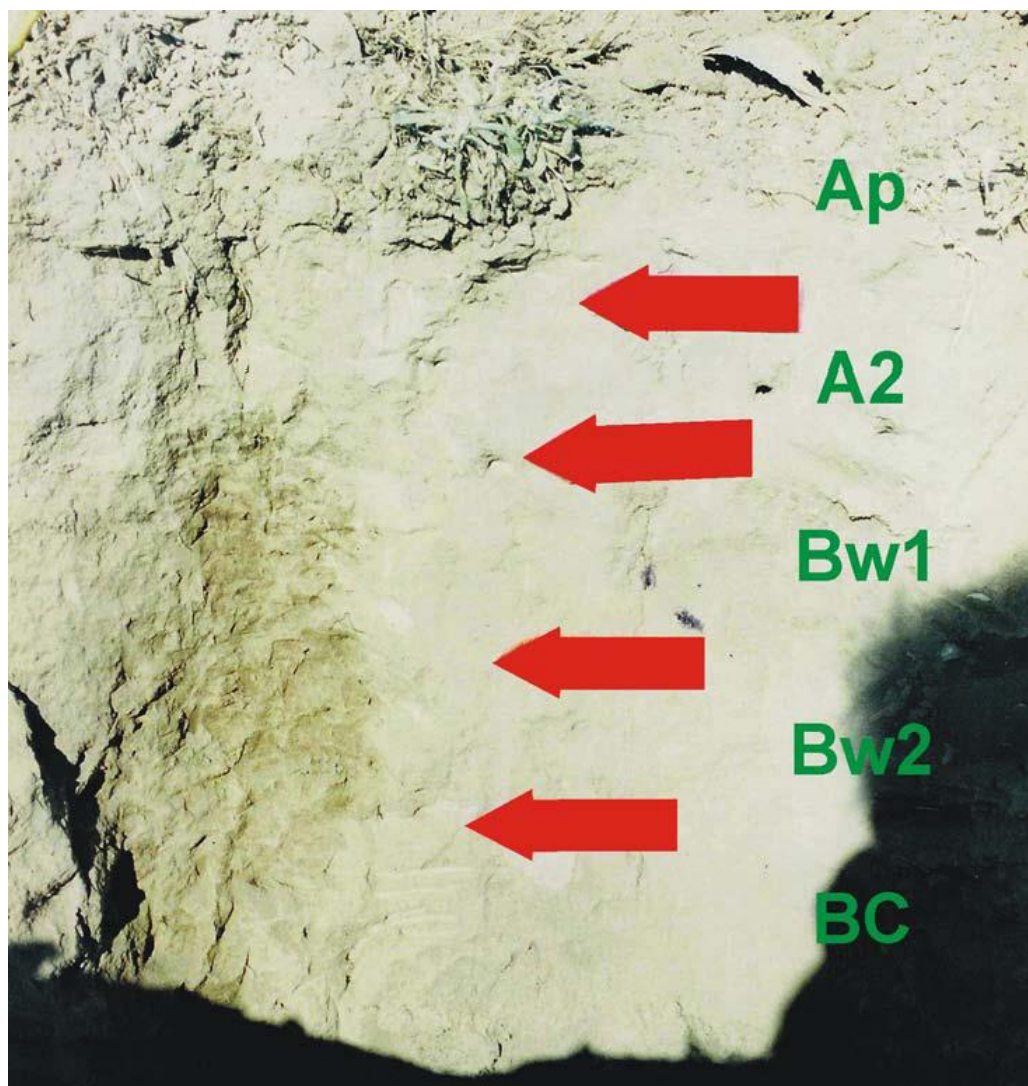


Foto 7: Perfil representativo del suelo bajo estudio (Becker, 2006).

Características morfológicas representativas del suelo bajo estudio (Becker, 2006)

Ap (0-8 cm); color pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo y pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques angulares gruesos moderados con laminación; duro, firme; seco; límite inferior abrupto y suave.

Se ha observado que después de 4 años la estructura es laminar gruesa fuerte, dura y firme.

A2 (8-14 cm); color pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques angulares gruesos moderados que rompen a bloques angulares menores; duro, firme; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; seco; límite inferior abrupto y suave.

Bw1 (14-29 cm); color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques angulares y prismas simples irregulares, muy gruesos que rompen a bloques angulares y prismas simples gruesos y medios, moderados; ligeramente duro, friable; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo;

abundantes lamelas discontinuas y onduladas arcillo-húmicas de 2 a 3 mm de espesor, horizontales y subhorizontales que en ciertos puntos se entrecruzan; seco; límite inferior abrupto y suave.

Bw2 (29-41 cm); color pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo y pardo amarillento (10YR 5/4) en seco; franco arenoso; estructura en prismas simples irregulares gruesos, moderados que rompen a prismas y bloques menores; blando, friable; escasos barnices arcillo-húmicos, finos sobre las caras de agregados; fresco; límite inferior claro y suave.

BC (41-65 cm); color pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo y pardo amarillento (10YR 5/4) en seco; franco arenoso; estructura en prismas simples y bloques subangulares, finos, moderados a débiles que rompen a bloques menores débiles; blando en seco, muy friable en húmedo; fresco; límite inferior claro y suave.

C (65-85 cm); color pardo (10YR 4/4) en húmedo y pardo claro (10YR 6/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques angulares irregulares muy finos y muy débiles; blando, muy friable; fresco; límite inferior abrupto y suave.

Ck (85+ cm); color pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo y pardo claro (10YR 6/3) en seco; franco arenoso; estructura masiva; blando, friable; fresco a húmedo; alto contenido de carbonatos libres.

Cabe destacar que la descripción morfológica anterior corresponde al perfil de suelo bajo SD, presentando diferencias con respecto a los dos sistemas de labranza restantes únicamente en el Horizonte **Ap**, variando su profundidad y pasando de estructura en bloques angulares gruesos moderados en SD y LR, a estructura en bloques angulares medios finos y débiles en LC. Tampoco presentan horizonte **A2** LR ni LC.

Propiedades químicas, físico-químicas y físicas del suelo representativo bajo estudio
(Becker, 2006)

<i>Horizonte</i>	Ap	A2	Bw1	Bw2	BC	C	Ck
<i>Profundidad (cm)</i>	0-8	8-14	14-29	29-41	41-65	65-85	85 +
<i>Carbono orgánico (%)</i>	0,92	0,920,56	0,53	0,72	0,24	0,12	-
<i>Nitrógeno total (%)</i>	0,10	0,08	0,08				-
<i>Relación C/N</i>	9,2	7,00	6,63				-
<i>Arcilla < 2 m (%)</i>	17,48	12,30	12,50	14,80	13,02	14,50	14,30
<i>Limo, 2-50 m (%)</i>	30,32	25,20	26,10	24,30	25,20	29,60	29,80
<i>Arena muy fina, 50-100 m (%)</i>	52,80	61,50	55,60	60,40	60,80	55,30	55,30
<i>Arena fina, 100-250 m (%)</i>	0,60	0,70	2,20	0,50	0,80	0,60	0,40
<i>Arena media, 250-500 m (%)</i>	0,25	0,30	3,10	-	0,10	0,10	0,20
<i>Arena gruesa, 500-1000 m (%)</i>	0,08	0,10	0,50	-	-	0,40	-
<i>Arena muy gruesa, 1-2 mm (%)</i>	0,01	0,10	-	-	0,20	-	-
<i>pH en agua (1 : 2,5)</i>	6,00	6,57	6,82	6,88	7,09	8,08	8,32
<i>Cationes de Intercambio (meq/100 g)</i>							
<i>Ca⁺⁺</i>	6,80	7,65	8,33	8,96	9,02	8,59	-
<i>Mg⁺⁺</i>	2,52	1,60	1,60	1,71	1,95	2,04	-
<i>Na⁺</i>	0,38	0,43	0,30	0,30	0,29	0,26	0,25
<i>K⁺</i>	2,07	1,98	1,57	1,61	1,60	1,58	1,46
<i>Suma de bases (meq/100 g)</i>	11,77	11,66	11,8	12,58	12,9	12,44	-
<i>CIC (meq/100 g)</i>	12,03	11,30	10,53	12,90	11,20	11,00	10,50
<i>Saturación con bases (%)</i>	98	100	100	100	100	100	-