



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

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

**“EVOLUCIÓN DE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL  
SUPERFICIAL DE UN HAPLUDOL TÍPICO EN UNA ROTACIÓN  
AGRÍCOLA CON TRES SISTEMAS DE LABRANZA”**

**Alumno: Velázquez, Joaquín Ezequiel**

**DNI: 28654828**

**Director: Cholaky, Carmen**

**Co-Director: Bricchi, Estela**

**Río Cuarto – Córdoba**

**Septiembre 2011**

## CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**Título del trabajo final:**

**“EVOLUCIÓN DE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL  
SUPERFICIAL DE UN HAPLUDOL TÍPICO EN UNA ROTACIÓN  
AGRÍCOLA CON TRES SISTEMAS DE LABRANZA”**

**Autor: Velázquez, Joaquín Ezequiel**

**DNI: 28.654.828**

**Directora: Cholaky, Carmen**

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

**Prof. Inés Moreno** \_\_\_\_\_

**Prof. Ricardo Mattana** \_\_\_\_\_

**Prof. Carmen Cholaky** \_\_\_\_\_

**Aprobado por Secretaría Académica:** \_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

## INDICE GENERAL

I - PLANTEO DEL PROBLEMA	1
II - ANTECEDENTES	3
III - HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	6
3.1- Hipótesis	6
3.2- Objetivos generales	6
3.3- Objetivos específicos	6
IV - MATERIALES Y MÉTODOS	7
4.1- Caracterización del área de estudio	7
4.2- Tratamientos y diseño experimental	7
4.3- Determinaciones realizadas	9
4.4- Método del cálculo	10
4.5- Análisis estadístico de los resultados	10
V - RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
5.1- Porcentajes de agregados estables al agua (AEA) según sistemas de labranzas	11
5.2- Comparación de AEA entre sistemas de labranzas y la situación no disturbada	12
5.3- Comparación del diámetro medio ponderado (DMP) entre sistemas de labranza	14
5.4- Comparación del DMP entre sistemas de labranza y la situación no disturbada	15
5.5- Evolución temporal de la estabilidad de agregados según sistemas de labranza	16
VI - CONCLUSIONES	21
VII- BIBLIOGRAFIA	22

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución porcentual de tamaños de agregados estables al agua según sistemas de labranzas.-----	11
Tabla 2: Porcentajes de agregados estables al agua según labranzas y situación sin disturbio.---	13
Tabla 3: Diámetro medio ponderado (mm) según labranza.-----	15
Tabla 4: Diámetro medio ponderado (mm) según labranzas y situación sin disturbio.-----	15
Tabla 5: Porcentaje de agregados estables al agua en cada intervalo de diámetro, según sistemas de labranza y año considerado.-----	17

## INDICE DE FIGURAS

Gráfico 1: Evolución de la proporción de agregados estables de diferente tamaño en siembra directa.-----20

Gráfico 2: Evolución de la proporción de agregados estables de diferente tamaño en labranza reducida.-----20

Gráfico 3: Evolución de la proporción de agregados estables de diferente tamaño en labranza convencional.-----21

## I- RESUMEN

El objetivo del trabajo fue entender la evolución temporal de la estabilidad de agregados de un Hapludol típico en el campo de docencia y experimentación "Pozo del Carril" de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto. La situación de manejo fue: Agrícola, con rotación de cultivos maíz-soja, fertilizados con nitrógeno y fósforo. Se trabajó con tres sistemas de labranza: convencional (LC), reducida (LR) y siembra directa (SD). Como referencia se usó una condición natural sin alteración (CN). Al cosechar el maíz 08/09 se tomaron 2 muestras compuestas de los primeros 5cm del suelo en todas las situaciones. Se determinó la distribución de tamaños de agregados estables al agua (%AEA) según diámetros 0,1-0,5mm, 0,5-1mm, 1-2mm y 2-4mm y el diámetro medio ponderado (DMP). Entre labranzas, hubo diferencias significativas en 0,1-0,5mm, siendo  $LC > LR > SD > CN$ . Para los diámetros 0,5-1mm se encontró diferencia significativa solo entre SD y LC, y por último para 2-4mm se encontró diferencias significativas entre SD y los demás tratamientos. En cuanto al DMP se observó  $CN > SD > LR > LC$  encontrando diferencia significativa entre SD y LC. Para analizar la tendencia seguida por el %AEA los resultados se compararon con los obtenidos una evaluación realizada en 1999. Se observó que los %AEA más grandes en ambos años y en todas las labranzas tuvieron mayor variación siguiendo la tendencia  $CN > SD > LR > LC$ . Por otra parte, en los agregados pequeños se observó variación pero no tan marcada y la tendencia fue  $LC > LR > SD > CN$ . La SD tuvo valores más cercanos a la situación sin alteración, quien presentó los valores más elevados de agregados de mayor tamaño. En conclusión, la SD tienen un efecto marcado sobre la estructura en los primeros centímetros del perfil, siendo semejante a condiciones naturales. Lo contrario ocurre con sistemas de labranza con mayor remoción de suelo, estos muestran un efecto degradante sobre la estabilidad de agregados presentando agregados pequeños y débiles.

**Palabras Clave:** estabilidad estructural, sistemas de labranzas, agricultura.

# EVOLUCIÓN DE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL SUPERFICIAL DE UN HAPLUDOL TÍPICO EN UNA ROTACIÓN AGRÍCOLA CON TRES SISTEMAS DE LABRANZA.

## II- SUMMARY

The objective was to understand the temporal evolution of the aggregate stability of a typical Hapludol in the field of teaching and experimentation "Pozo del Carril" in the Faculty of Agronomy and Veterinary Medicine, Universidad Nacional de Rio Cuarto. Was the driving situation: Agriculture, crop rotation with corn-soybean fertilized with nitrogen and phosphorus. We worked with three tillage systems: conventional (LC), low (LR) and tillage (NT). As a reference we used a natural condition without alteration (CN). When harvesting corn samples were taken 2 08/09 composite of the first 5 cm of soil in all situations. We determined the size distribution of water stable aggregates (% AEA) as 0.1 to 0.5 mm diameter, 0.5-1mm 1-2mm 2-4mm diameter (WMD). Among crops, significant differences were 0.1 to 0.5 mm, with LC> LR> SD> CN. For diameters 0.5-1mm only significant difference was found between SD and LC, and finally to 2-4mm significant differences were found between SD and other treatments. As for the DMP was observed CN> SD> LR> LC found significant differences between SD and LC. To analyze the temporal evolution, the results of% AEA compared with those obtained in the 1999 work. It was noted that AEA% larger in both years and all crops had greater variation following the trend CN> SD> LR> LC. On the other hand, in small aggregates variation was observed but not so marked, the trend was LC> LR> SD> CN. The SD had values closer to the situation unchanged, who presented the highest values of larger aggregates. In conclusion, the DS have a marked effect on the structure in the first centimeters of the profile being similar to natural conditions. The opposite occurs with tillage systems with greater soil removal, they show a degrading effect on the stability of aggregates aggregates presenting small and weak.

**Keywords:** structural stability, farming systems, agriculture.

## I- PLANTEO DEL PROBLEMA

El suelo es el recurso básico indispensable para la producción agrícola. La calidad del mismo, considerando las condiciones físicas, químicas y biológicas, influye directamente en los rendimientos de los cultivos (Gudelj y Weir, 2000).

La degradación de los suelos comienza en el mismo momento que son incorporados a la agricultura. Se sabe que los suelos vírgenes, luego de un período agrícola, degradan sus niveles de carbono orgánico y nitrógeno total y deterioran su estructura. La degradación de la materia orgánica (MO) atenta contra la estabilidad de la estructura del suelo. Se debe destacar que la relación materia orgánica y estabilidad estructural es más fuerte en suelos con menos de 20% de arcilla (Silenzi *et al.*, 2000).

La materia orgánica del suelo, además de ser fuente de algunos nutrientes, facilita la agregación y estabilidad estructural. Las prácticas de manejo en la agricultura influyen y causan cambios en el contenido de MO del suelo. Así, sistemas de labranzas intensivos y cultivos de alta producción provocan una sustancial disminución en los niveles de MO debido, en parte, a un aumento en la actividad microbiana (Bongiovanni *et al.*, 2000).

En el transcurso de las últimas décadas se aceleró la intensificación de los sistemas de cultivos ocasionando la reducción de la superficie cubierta con praderas semipermanentes y un crecimiento de las áreas dedicadas a las secuencias agrícolas anuales (Ferrerías *et al.*, 2000).

El proceso de agriculturización resultó en una degradación física generalizada, con pérdidas importantes de MO y estructura de los suelos afectando la sustentabilidad de los sistemas de producción. Las propiedades que indican calidad varían con las características productivas de éstos. El mantenimiento de la cobertura de rastrojos preserva al suelo del deterioro por su acción relacionada con el flujo de materia y energía. El estado superficial del suelo en respuesta a la cobertura de residuos de cultivos, podría ser un atributo ambiental cuya medida y caracterización indique el grado de exposición al deterioro de un sistema productivo (Bonel y Morrás, 2004)

La degradación de los suelos en diversas regiones de Argentina era un problema solo detectable por especialistas. Esto se debía a que sus efectos alcanzaban propiedades solo evaluables con metodologías relativamente complejas. Posteriormente, la utilización de materiales genéticos con alto potencial de rendimiento, con mayor resistencia a enfermedades, plagas y con ciclos de crecimiento mejor ajustados a las condiciones climáticas de cada región enmascararon los efectos

de la degradación. Este panorama se ha visto notablemente alterado en los últimos años, ya que los cultivos de diversas regiones manifiestan disminuciones de sus rendimientos por el deterioro de los suelos (Aoki *et al.*, 2004).

Entre los procesos degradatorios producidos por el hombre en nuestro país, los físicos se presentan como los de mayor magnitud, consignándose a la degradación de la estructura como uno de los más importantes. El hombre mediante distintos manejos, promueve la modificación del ecosistema donde se sintetizan los compuestos orgánicos que actúan como agregantes, modificando el tipo de estructura y estabilidad de la misma. La estructura de los agregados depende de parámetros intrínsecos del suelo, como la textura, densidad aparente, contenido de diversos cementantes orgánicos e inorgánicos. Entre los parámetros extrínsecos se encuentran las condiciones ambientales y el manejo (Torres y Sánchez, 2004). En este sentido, de acuerdo a Taboada (2010) no solo es importante que el suelo posea un determinado tipo de estructura, sino que también esa estructura deseada persista en el tiempo. Esa persistencia es caracterizada por la estabilidad que posee una estructura ante diferentes tipos de estreses o fuerzas exógenas. El origen de esas fuerzas es tanto natural como antrópico. Claramente de los estreses naturales los climáticos (lluvias erosivas, rápidos humedecimientos de suelos secos, vientos) son los más importantes, mientras que los estreses antrópicos son causados por acciones como las labranzas, el pastoreo y pisoteo animal, o el tráfico agrícola.

Argentina ha crecido en la producción de granos en los últimos 18 años a razón de 3,7 millones de toneladas/año, llegando al 81% de adopción de la siembra directa como sistema de manejo de los suelos (Bragachini *et al.*, 2011). Esta técnica ha demostrado tener ventajas operativas en relación a otras labranzas y permite obtener producciones similares y/o superiores a los sistemas tradicionales (Fontanetto y Keller, 2000).

El índice de estabilidad estructural es considerado por varios autores como indicador global de sostenibilidad ya que se relaciona con la calidad de porosidad, el tenor orgánico y la actividad biológica. (Gudelj y Masiero, 2000).

## II- ANTECEDENTES

- Experiencias realizadas en un ensayo de rotaciones y labranzas en un campo experimental en Zavalla, Santa Fe, bajo un sistema de labranza en siembra directa (SD) y labranza vertical (LV) en un Argiudol vértico con dos rotaciones de cultivos: maíz-trigo/soja y trigo/soja (M-T/S y T/S, respectivamente), concluyeron que las parcelas con la rotación M-T/S bajo SD tuvieron un comportamiento menos degradativo del suelo. La mayor estabilidad encontrada en M-T/S con respecto a T/S, y en SD con respecto a LV puede estar relacionada con el mayor volumen de rastrojo aportado por el maíz, y con la ausencia de remoción y la acumulación de restos vegetales generados por la SD (Ferrerías *et al.*, 2000).
- Bricchi *et al.* (2004), trabajaron en el campo de docencia y experimentación de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, provincia de Córdoba, con el objetivo de analizar la influencia de distintos factores tecnológicos, sobre el contenido de MO y la estabilidad de agregados de la superficie de un Hapludol típico, del oeste de Río Cuarto. Concluyeron que la remoción de la vegetación natural y los sistemas de cultivo, producen en los primeros centímetros del suelo cambios en la distribución de agregados estables al agua, implicando pérdidas de los agregados más gruesos de hasta el 77 % y ganancia de los más finos de hasta 55%. A mayor laboreo del suelo se produce una mayor presencia de agregados muy finos, provenientes del colapso de los agregados de mayor tamaño. El porcentaje de agregados estables al agua se incrementa como consecuencia de la ganancia de carbono orgánico (CO). A partir de ello, argumentan que la siembra directa es la práctica de labranza más eficiente en cuanto a lograr agregados más gruesos.
- Gudelj y Masiero (2000), trabajando en un ensayo de rotaciones y labranzas de larga duración, realizado en un Argiudol típico de la serie Marcos Juárez, textura franco-limosa, midieron estabilidad estructural (EE) a través del cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP), el índice de EE por el método de la mezcla alcohol-agua y el índice de estabilidad relativo (IER) mediante la relación entre el CDMP del suelo estudiado con una situación con mínimo disturbio (MD), observando que las variables estudiadas fueron suficientemente sensibles como para reflejar cambios producidos en la estructura por los distintos manejos. En relación a MD, todos los sistemas de manejo afectaron negativamente la EE del suelo.

- Los mismos autores, evidenciaron que los sistemas de labranza con menor remoción del suelo y las rotaciones que incluyeron cultivos de gramíneas con elevado aporte de rastrojos de cosecha, produjeron efectos favorables sobre estas variables, en comparación con el laboreo intensivo y cultivos con bajo aporte de rastrojos, atribuyéndoselo a que además de no agredir mecánicamente al suelo, dejan gran parte de los residuos en superficie protegiendo a los agregados del impacto de la gota de lluvia, aumentando el contenido de MO en los primeros centímetros de suelo y favoreciendo la actividad biológica.
- Con el objetivo de determinar indicadores que mejor representen la calidad de un suelo del área central de la provincia de Córdoba y evaluar el efecto que los distintos usos y prácticas de manejo de suelo tienen sobre los mismos, Campitelli *et al.* (2008) evaluaron parámetros físicos y químicos en los cuales se incluía, dentro de los primeros, el cambio en el diámetro medio ponderado de agregados (CDMP). Al finalizar la experiencia concluyeron que los sitios bajo bosque nativo son los que presentan el máximo potencial de calidad de ese suelo, y a medida que se prolongan los años de agricultura y se incrementan las prácticas, tales como monocultivo de soja y labranza convencional se reduce la calidad de esos suelos en función de los parámetros analizados.
- Aoki *et al.* (2008), evaluaron el efecto de diferentes sistemas de cultivos y de labranzas sobre posibles indicadores de calidad del suelo, incluyendo entre ellos, el CDMP de los agregados del suelo en los primeros 10 centímetros de un Haplustol típico de Córdoba. Concluyeron que la estabilidad estructural del suelo, estimada a través del CDMP, se presenta como la propiedad con mayor sensibilidad para reflejar el estado de degradación o de recuperación del suelo en los diferentes tratamientos analizados. Los mayores valores de CDMP se presentaron en los tratamientos con monocultivo de soja, y por lo tanto tuvieron la menor estabilidad estructural, siendo la influencia del sistema de labranza estadísticamente no significativa. Por otra parte, los tratamientos con rotación de cultivos incluyendo gramíneas tuvieron valores intermedios de CDMP, y por consiguiente una mayor estabilidad estructural que los que incluyeron monocultivo de soja, los autores anteriormente mencionados, sostienen además, que la sensibilidad del CDMP también se manifiesta en un suelo desmontado recientemente y otro con la vegetación prístina, siendo esta última la de mayor estabilidad estructural con valores menores de esta variable.
- En un ensayo realizado en el departamento Paraná - Entre Ríos, con el objetivo de evaluar la sensibilidad de un método para determinar la estabilidad de agregados,

Gabioud *et al.* (2008), evaluaron tres órdenes de suelo con diferentes usos agrícolas. Al determinar el diámetro medio ponderado (DMP), concluyeron que la sensibilidad del parámetro analizado fue altamente significativa para diferenciar efectos de usos y ordenes de suelo (Alfisol, Molisol y Vertisol). Encontraron correlación entre las características intrínsecas de cada suelo y los diferentes usos agrícolas, como así también con los tiempos de uso agrícola.

- Con el fin de evaluar la productividad sobre un Argiudol típico con diferentes labranzas, Faita y Cisneros (2008), midieron parámetros físicos y determinaron que la estabilidad de agregados (EA) resultó capaz de reflejar diferencias significativas entre la condición superficial de tratamientos cultivados y especialmente entre condiciones extremas de disturbación, constituyendo por lo tanto, un parámetro altamente sensible a los estados de alteración del suelo. Los valores máximos y mínimos de EA se asociaron con las situaciones de mínimo disturbio representada por un suelo bajo monte natural y por máximo disturbio representada por labranza convencional con más de diez años, respectivamente, mientras que la siembra directa con subsolado presentó el valor más cercano al de mínimo disturbio.

### **III- HIPOTESIS Y OBJETIVOS**

#### **3.1- HIPOTESIS**

- En una rotación agrícola, luego de 10 años de ensayo, los sistemas de labranza con mínima remoción mejoran la estabilidad estructural de la capa superficial de un Hapludol típico del sur oeste de Córdoba con respecto a labranzas que incluyen intensa remoción e inversión del suelo.

#### **3.2- OBJETIVOS GENERALES**

- Entender la evolución temporal de la estabilidad de agregados de un Hapludol típico del sur oeste de Río Cuarto en una rotación agrícola (maíz-soja) y tres sistemas de labranza.

#### **3.3- OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Comparar el efecto de distintos sistemas de labranza sobre la estabilidad estructural.
- Comparar los resultados obtenidos con respecto a una situación de mínimo disturbio.
- Evaluar la tendencia de los valores de estabilidad estructural luego de 15 años de ensayo, en comparación con los obtenidos a los 5 años de iniciado el mismo en igual rotación y sistemas de labranza.

## IV- MATERIALES Y METODOS

### 4.1- Caracterización del área de estudio

El proyecto se llevó a cabo 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' Sur, 64° 50' Oeste), dentro de la unidad ambiental de llanuras subhúmedas, bien drenadas (Cantero *et al.*, 1998).

El clima es templado subhúmedo, con régimen de precipitaciones monzónico (80 % de las lluvias concentradas en el periodo Octubre - Abril), 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 lluvias. 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 más 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), siendo el perfil de suelo representativo un Hapludol típico de textura franco arenosa muy fina (Becker, 2006), cuyas características se presentan en el Anexo.

### 4.2- Tratamientos y diseño experimental

El programa de investigación donde se realizó este trabajo se puso en marcha a partir de agosto de 1994. Incluye tres usos: agrícola, agrícola ganadero y una situación de mínimo disturbio; 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 y no pastoreo. El ensayo original se desarrolló utilizando un diseño experimental en

parcelas subdivididas dispuestas en bloques completamente aleatorizados, con dos repeticiones espaciales por tratamiento (ver Esquema 1, Anexo).

Este trabajo se realizó en la rotación agrícola en base a maíz-soja, fertilizada, sin pastoreo de rastrojo, con tres sistemas de labranzas: siembra directa (SD), labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC), con dos repeticiones.

En SD no hubo labores 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. En la 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.

Para el caso de LR se realizó una labor 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. Este implemento está constituido por un chasis sobre el que van montados los arcos o cinceles que efectúan un trabajo de acción “vibratoria” antero-posterior, que es en definitiva lo que logra la roturación del terreno. La distancia entre arcos, con la cual se realiza la labor en el terreno, es de 0.35 m.

Por último, LC comprendió una labor de arado de reja y vertedera y posteriormente rastra de discos excéntrica, para finalmente realizar la siembra con la misma sembradora que se utilizó en los otros sistemas de labranzas. 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.

La rastra de discos de tiro excéntrico está constituida 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. En maíz, alrededor de V4-V5 se aplicó urea entre la línea de cultivo. 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 fueron determinadas en función del rendimiento potencial del cultivo y de las condiciones de suelo. La fertilización fosforada, se efectuó teniendo como criterio de aplicación a través del tiempo, el incremento y/o mantenimiento del nivel de este nutriente en el nivel crítico, estimado para los suelos de la región y para los cultivos que incluye la rotación en estudio según Espósito *et al.*, (2008).

Los resultados fueron comparados con los de una situación no disturbada (ND) sin antecedentes de labranzas, seleccionando el mismo tipo de suelo, ubicado en la misma unidad de paisaje compuesto y bajo una vegetación de monte virgen. Para entender la evolución en el tiempo luego de 15 años de iniciado el ensayo, los resultados obtenidos en este trabajo, se compararon también con los datos correspondientes a un momento de medición anterior, indicados por Bricchi *et al.*, (2004), quienes evaluaron la variable estudiada a los cinco años de iniciado el ensayo.

#### **4.3- Determinaciones realizadas**

En cada tratamiento y en la situación de mínima alteración, se tomaron 2 muestras compuestas por 3 submuestras de los primeros 5 cm del suelo, por tratamiento y por repetición. 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 Sentis (1983), siguiendo el procedimiento que a continuación se detalla: de las muestras de suelo secadas al aire, tamizadas por malla de 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 valor (a) de la fórmula (1). Luego, se

colocaron otros 30 g de agregados secos al aire, esparciéndolos cuidadosa y uniformemente sobre el tamiz de 2 mm los cuales se dejaron humedecer por capilaridad durante 30 minutos. Al cabo de ese tiempo se inició el agitado de los tamices de 2, 1, 0.5, y 0.1 mm durante 10 minutos dentro del agua, con movimientos ascendentes y descendentes de 3-5 cm de trayectoria, y 30-40 veces por minuto. Transcurrido este tiempo, se sacó el juego de tamices del agua, separando uno del otro y recogiendo en un recipiente el suelo que quedó en cada tamiz, aplicando para ello agua a presión con una piseta por la parte posterior del tamiz. Luego se llevó el recipiente a secar en estufa a 110 °C. Una vez seco se pesó el suelo recogido en cada recipiente y se determinó el valor (b) de la formula (1), que representó 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. Después de pesar, se agregaron a cada recipiente, 100 cc de agua destilada y 10 cc 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, aplicando agua a presión con una piseta para remover todas las partículas con diámetro inferior al de la malla del tamiz. Lo que quedó en cada tamiz se recogió en otro recipiente, se secó a 110 °C y se pesó, obteniendo el componente (c) de la formula (1). 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 de los valores de (b) los correspondientes valores de (c) se obtuvieron los valores (d) de la ecuación (2), que representan los pesos de agregados estables en cada fracción (2-4 mm); (1-2 mm); (0,5-1 mm); (0,1-0,5 mm).

#### 4.4- Método del cálculo

Para calcular el porcentaje de agregados estables al agua (%AEA), para los diámetros 0.1-0.5, 0.5-1, 1-2, y 2-4mm se utilizó la siguiente expresión:

$$\% AEA \approx \left( \frac{b - c}{a - c} \right) \times 100(1)$$

Dónde:

%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 el cálculo del diámetro medio ponderado (DMP), se utilizó la siguiente expresión:

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

Dónde:

DMP= diámetro medio ponderal (mm)

d= valor obtenido a partir de la diferencia b-c

#### 4.5- Análisis estadístico de los resultados

Todos los datos se analizaron estadísticamente mediante el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2011).

Se realizó análisis de la varianza (ANOVA), y comparación de medias mediante el test LSD Fisher, al 5 % de probabilidad.

### V- RESULTADOS Y DISCUSION

#### 5.1-Porcentajes de agregados estables al agua según sistemas de labranzas.

Los diferentes sistemas de labranzas tuvieron efecto sobre el porcentaje de agregados estables al agua en los primeros 5 centímetros de suelo considerando los diámetros analizados en este trabajo (tabla 1). Se presentan así los datos de los diferentes diámetros en relación a los tratamientos realizados, observando una mayor sensibilidad, en los diámetros de 0,1-0,5 mm y 2-4 mm, ante el efecto causado por los distintos sistemas de labranza.

**Tabla 1: Distribución porcentual de tamaños de agregados estables al agua según sistemas de labranzas.**

Tratamientos	Diámetros(mm)			
	0,1 - 0,5	0,5 – 1	1 - 2	2 - 4
Labranzas				
SD	8,43 A	5,36 A	11,12 A	57,04 A
LR	16,81 B	7,88 AB	10,75 A	31,81 B
LC	25,71 C	9,50 B	8,38 A	16,51 B

Referencias: Siembra directa (SD); Labranza reducida (LR); Labranza convencional (LC).

Para cada diámetro, letras distintas muestran diferencias significativas entre los tratamientos, a través del test de comparación de medias de Fisher ( $p \leq 0,05$ ).

En la tabla 1 se observa que para los diámetros de menor tamaño comprendidos entre 0,1 y 0,5 mm existieron diferencias significativas entre los distintos sistemas de labranza, siguiendo este tamaño de agregados la tendencia  $LC > LR > SD$ . Resultados similares fueron encontrados por Díaz-Zorita (1999) y por Faita y Cisneros (2008) en los diámetros de menor tamaño que se tuvieron en cuenta en cada trabajo. La tendencia marcada en estos trabajos y en el presente, utilizando diferentes métodos para determinar estabilidad de agregados, demostraron que el sistema de labranza convencional es quien acumula mayor porcentaje de agregados con diámetros más pequeños, en contraste con el sistema de siembra directa, coincidiendo con lo informado por Cabria y Culot (2001), en cuanto a que en los horizontes superficiales de los suelos labrados las labores rompen los agregados de gran tamaño, incrementando así la cantidad de agregados pequeños.

En los rangos de tamaños de agregados intermedios, las diferencias entre sistemas de labranzas no fueron tan marcadas como en los extremos analizados. En el diámetro de agregados comprendido entre 0,5-1 mm, si bien sólo hubo diferencias significativas entre los sistemas de labranza convencional y siembra directa, no la hubo entre estos dos tratamientos y el sistema de labranza reducida, la tendencia observada para este tamaño de agregados fue  $LC > LR > SD$  coincidiendo con la observada en el diámetro más pequeño analizado. En el intervalo entre 1-2 mm de diámetro no hubo diferencias significativas entre tratamientos (tabla 1).

Por último, en el diámetro de mayor tamaño, comprendido entre 2-4 mm, se observó que la secuencia se invirtió con respecto a las anteriores, siguiendo la proporción de este tamaño la secuencia  $SD > LR > LC$ . En relación a estos resultados, Díaz-Zorita *et al.*, (2004) encontró que el mantenimiento de sistemas de cero labranza contribuyen a la consolidación del estado estructural de los suelos, facilitado por la mayor acumulación de materia orgánica y condiciones para la cohesión entre partículas minerales. Esto permitiría explicar la presencia de una proporción superior de agregados de mayor tamaño en el tratamiento conducido en SD respecto a LR y LC, sin haber diferencias significativas entre estos últimos (tabla 1). Lardone (2009), en este mismo ensayo, determinó el aporte de carbono (C) y carbono orgánico (CO) promedio de 13 años para cada sistema de labranza y encontró la siguiente tendencia  $SD > LR > LC$ , permitiendo explicar, al menos en parte, la mayor estabilidad encontrada en SD con respecto a los restantes tratamientos.

## 5.2-Comparación de AEA entre sistemas de labranzas y la situación no disturbada.

Al comparar la situación sin disturbio, correspondiente a un suelo virgen bajo monte, con los distintos tratamientos de labranzas se observa que en todos los diámetros de agregados se encontraron diferencias significativas salvo en el diámetro comprendido entre 1-2 mm. (tabla 2). A partir de estos resultados se puede sostener que todos los sistemas de labranza considerados en el presente estudio, generaron cambios hacia un nuevo estado de la estructura edáfica (Taboada, 2010) con respecto a una situación con mínima intervención antrópica.

De igual manera, Fanta y Cisneros (2008) comparando distintos sistemas de labranzas con situaciones de mínima y máxima disturbación, utilizando como situación de referencia sin disturbio un monte que nunca se utilizó para reparo de hacienda y no se cultivó durante el período de ensayo, encontraron diferencias significativas entre todos los sistemas de labranza y la situación de referencia.

**Tabla 2: Porcentajes de agregados estables al agua según labranzas y situación sin disturbio.**

Diámetros(mm)				
Tratamientos	0,1 - 0,5	0,5 - 1	1-2	2-4
M	0,62 A	1,1 A	5,88 A	89,77 A
SD	8,43 B	5,36 B	11,12 A	57,04 B
LR	16,81 C	7,88 BC	10,75 A	31,81 BC
LC	25,71 D	9,50 C	8,38 A	16,51 C

Referencias: Situación de mínimo disturbio (M); Siembra directa (SD); Labranza reducida (LR); Labranza convencional (LC).

Para cada diámetro, letras distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos, a través del test de comparación de medias de Fisher ( $p \leq 0,05$ ).

Por su parte, Gudelj y Masiero (2000) analizando diversos ensayos con distintos tratamientos en relación a un suelo virgen (SV) concluyeron, que todos los sistemas de manejo afectaron negativamente la estabilidad estructural (EE) del suelo, para ello se asignó al SV una estabilidad del 100% y se demostró que en todos los ensayos y tratamientos la estructura se degradó y se observó

en uno de los ensayos una variación de la estabilidad, en el siguiente orden: LC (79%), LR (63%) y SD (52%), con respecto al SV.

La evaluación realizada en el presente trabajo indica que en la situación con mínimo disturbio el porcentaje de agregados estables de diámetros entre 2-4 mm fue superior a todos los sistemas de labranzas, mientras que en el diámetro de menor tamaño, la proporción de agregados estables fue inferior al de todos los tratamientos intervenidos mecánicamente. Esto determina una mayor estabilidad de agregados en M respecto a los restantes tratamientos de labranza, ya que aproximadamente un 90% de los agregados presento un diámetro comprendido entre 2-4 mm. Resultados similares fueron obtenidos por Álvarez *et al.*, (2009) en suelos Argiudoles y Hapludoles de la Pampa Ondulada, comparando situaciones quasi-prístinas, laboreadas y siembra directa.

Además, de los resultados surge que el tratamiento conducido en SD presentó los valores más próximos a M, posicionándose como el sistema de labranza que afectó a la estabilidad de agregados en menor medida respecto a los sistemas de laboreo con remoción superficial. Es así que, Domínguez *et al.* (2008) evaluando el efecto de varios sistemas de cultivos con diferentes rotaciones y sistemas de labranzas, concluyeron que luego de la salida de una pastura los tratamientos conducidos bajo SD mantuvieron un índice de estabilidad de agregados (IEA) más elevado respecto a LC. Determinaron también, que con doce años bajo SD en agricultura continua, no se produjo una recuperación del IEA respecto a LC con 30 años de agricultura, y que bajo SD se produce una menor tasa de caída del IEA respecto a LC.

Este comportamiento, de acuerdo a Álvarez *et al.* (2009) está asociado a variaciones en el carbono orgánico del suelo, el cual es siempre significativamente superior en las situaciones quasi-prístinas de los suelos, que en las condiciones de manejo agrícola. De acuerdo a estos autores, del carbono orgánico total, la fracción lábil, proveniente de residuos poco descompuestos, es la que incide en la estabilidad de la estructura superficial en los planteos de SD.

Por otro lado, para los diámetros de agregados comprendidos entre 0,1-0,5 mm y 0,5-1 mm en la situación sin disturbio se observaron valores de porcentajes inferiores al 2% siguiendo una secuencia LC>LR>SD>M. Estas proporciones tan pequeñas en relación al porcentaje observado en el diámetro comprendido entre 2-4 mm también pone en evidencia la mayor estabilidad de suelos no afectados por el manejo agrícola, coincidiendo con diversos autores citados por Álvarez *et al.*

(2008), quienes consideran que dentro de las propiedades físicas del suelo, la estabilidad de agregados es la variable que mejor refleja los cambios producidos por las prácticas de manejo.

### 5.3-Comparación del diámetro medio ponderado (DMP) entre sistemas de labranza.

La estabilidad de agregados del suelo, por ser una característica dinámica, es considerada un indicador sensible de tendencias a la recuperación o degradación de los suelos (Doran y Parkin, 1994). La susceptibilidad del suelo al escurrimiento está relacionada con la estabilidad de los agregados del horizonte superficial (Govaerts *et al.*, 2006). El cambio en el diámetro medio ponderado de agregados (CDMP) evalúa la estabilidad de los agregados ante el impacto de las gotas de lluvia y el movimiento del agua, fenómenos asociados con el proceso de erosión; valores bajos en el CDMP corresponden a suelos altamente estructurados (Campitelli *et al.*, 2008); es por eso que a menor cambio en el diámetro medio ponderado el suelo es afectado con menor intensidad manteniendo su estructura inicial o con valores próximos a la misma.

El diámetro medio ponderado (DMP) es considerado en este trabajo, junto al porcentaje de agregados estables al agua, un indicador de estabilidad estructural capaz de demostrar el efecto de diferentes sistemas de labranza en el suelo analizado. Valores mayores de DMP indican una mejor estabilidad estructural de los suelos. Según los datos analizados, la parcela conducida bajo SD mostró los valores más elevados de DMP, encontrando la situación inversa en LC. Estadísticamente, se observaron diferencias significativas entre SD y LC, sin hallar diferencias entre estos dos tratamientos y LR (tabla 3).

**Tabla 3: Diámetro medio ponderado (mm) según labranza.**

Labranzas	DMP
SD	2,07 A
LR	1,48 AB
LC	0,99 B

Referencias: Siembra directa (SD); Labranza reducida (LR); Labranza convencional (LC).

Letras distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos, a través del test de comparación de medias de Fisher ( $p \leq 0,05$ ).

#### 5.4-Comparación del DMP entre sistemas de labranza y la situación no disturbada.

Al igual que el porcentaje de agregados estables al agua, en el diámetro medio ponderado, también se encontraron diferencias significativas entre los sistemas de labranza y la situación con mínimo disturbio (tabla 4). En esta comparación, SD se diferenció de los tratamientos LR y LC, sin encontrar diferencias entre estos dos últimos. La secuencia en forma decreciente fue  $M > SD > LR > LC$ , confirmando que la mayor estabilidad estructural la presentó el monte natural con mínima intervención antrópica, seguido por el tratamiento bajo SD que resultó ser el sistema de labranza que generó mayor recuperación en la estructura de los primeros 5 cm, aproximándose a la condición prístina del suelo analizado en este trabajo. El DMP obtenido en LC fue el más bajo y el más alejado del valor obtenido en M, corroborando que la aplicación de este manejo, caracterizado por la intensa remoción superficial del suelo, ejerce una tendencia marcada hacia el deterioro de la calidad física del suelo.

**Tabla 4: Diámetro medio ponderado (mm) según labranzas y situación sin disturbio.**

Tratamientos	DMP
M	2,71 A
SD	2,07 B
LR	1,48 C
LC	0,99 C

Referencias: Situación de monte sin disturbio (M); Siembra directa (SD); Labranza reducida (LR); Labranza convencional (LC).

Letras distintas muestran diferencias significativas entre los tratamientos realizados, determinadas a través del test de comparación de medias de Fisher ( $p \leq 0,05$ ).

Según García *et al.* (2008) la labranza inicia los procesos que pueden degradar el ecosistema natural. La producción agrícola puede reducir la calidad de los suelos alterando las propiedades físicas, químicas y biológicas, como densidad aparente, espacio poroso, capacidad de retención de agua, agregación, carbono lábil y carbono total, actividad biológica, etc. La SD resultó ser, según estos mismos autores, un sistema de manejo sustentable cuando fue aplicado desde el comienzo

de la incorporación del suelo a la agricultura, no así en las situaciones con historias de manejo de 24 a 40 años previos con labranza convencional. Esta última tendencia no coincidiría con la observada en el presente trabajo, ya que si se considera que la situación de partida del ensayo estaba próxima a un elevado nivel de degradación de las propiedades edáficas debido a su historia de manejo con laboreo convencional, la siembra directa actuó como una tecnología de mejoramiento de la calidad física del horizonte superficial del suelo.

Por otro lado, las prácticas de laboreo estimulan el potencial oxidativo de los microorganismos, acelerando la descomposición de la materia orgánica por liberación de las fracciones protegidas físicamente, como consecuencia de la ruptura de los agregados (Toresani *et al.*, 2008). Si se toma la situación natural con mínimo disturbio como referencia, otorgándole un valor del 100 %, se observa que todos los sistemas de labranza tuvieron una pérdida de estabilidad estructural en el orden de 23,61 % para SD, de 45,8 % en LR y de 63,46 % en LC, siendo este último, el sistema de labranza que generó mayor deterioro.

Los resultados obtenidos, evidencian una elevada sensibilidad del DMP ante diferentes sistemas de manejo del suelo, coincidiendo con lo observado por Gabioud *et al.* (2008) quienes también encontraron una alta correlación entre el DMP y el contenido de carbono orgánico.

### **5.5-Evolución temporal de la estabilidad de agregados según sistemas de labranza.**

Con el objetivo de evaluar la tendencia en el tiempo que tiene la estabilidad de agregados bajo diferentes sistemas de labranzas, se compararon los valores de porcentajes de agregados estables al agua en cada intervalo de diámetro estudiado, para dos momentos de estudio. El primer momento correspondió a una evaluación realizada en 1999 por Bricchi *et al.* (2004) y el segundo momento, a los resultados obtenidos en este trabajo, correspondientes al año 2009 (tabla 5).

De la comparación surge que el diámetro de agregados que sufre una mayor variación a través de los años, es el comprendido entre 2-4 mm, tanto para las diferentes labranzas, como se analizó previamente, como para los dos momentos de análisis (tabla 5).

**Tabla 5: Porcentaje de agregados estables al agua en cada intervalo de diámetro, según sistemas de labranza y año considerado.**

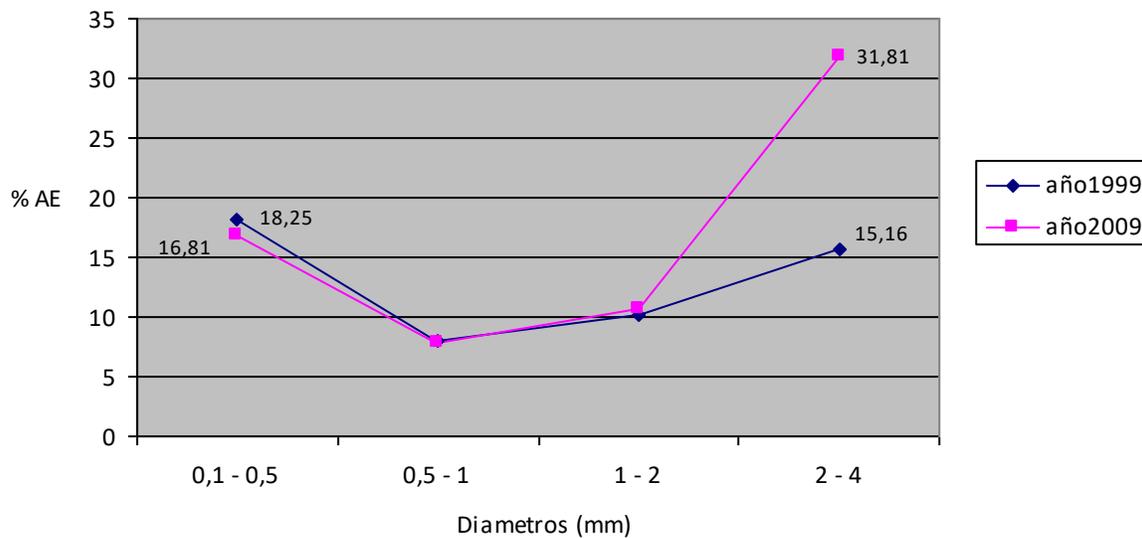
Agregados estables al agua (%)					
Labranzas	AÑOS	0,1-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm
SD	1999	11,64	4,9	12,6	33,06
	2009	8,43	5,36	11,12	57,04
LR	1999	18,25	8,03	10,2	15,69
	2009	16,81	7,88	10,75	31,81
LC	1999	22,19	10,69	10,87	12,2
	2009	25,71	9,5	8,38	16,51

Según Tisdall y Oades, (1982) y Elliott, (1986), este comportamiento observado se debe a que existe una relación entre el tamaño de los agregados y la persistencia de las uniones entre las partículas que los constituyen, siendo los agregados menores a 20  $\mu$  los que poseen uniones persistentes que no son afectadas por el manejo de los suelos, mientras que los agregados entre 20 y 200  $\mu$  son jóvenes y sus agentes de unión son temporarios y persisten meses y hasta años. Pero en el caso de los macroagregados entre 200-2000  $\mu$ , estos poseen uniones generadas por agentes transitorios, como los microbios y los polisacáridos de origen vegetal, agentes que duran días o semanas, y que se producen cuando los residuos vegetales y animales son incorporados al suelo y posteriormente degradados por la actividad microbiana. Estos tamaños de agregados son afectados por el manejo de los suelos, coincidiendo con la tendencia observada en este trabajo.

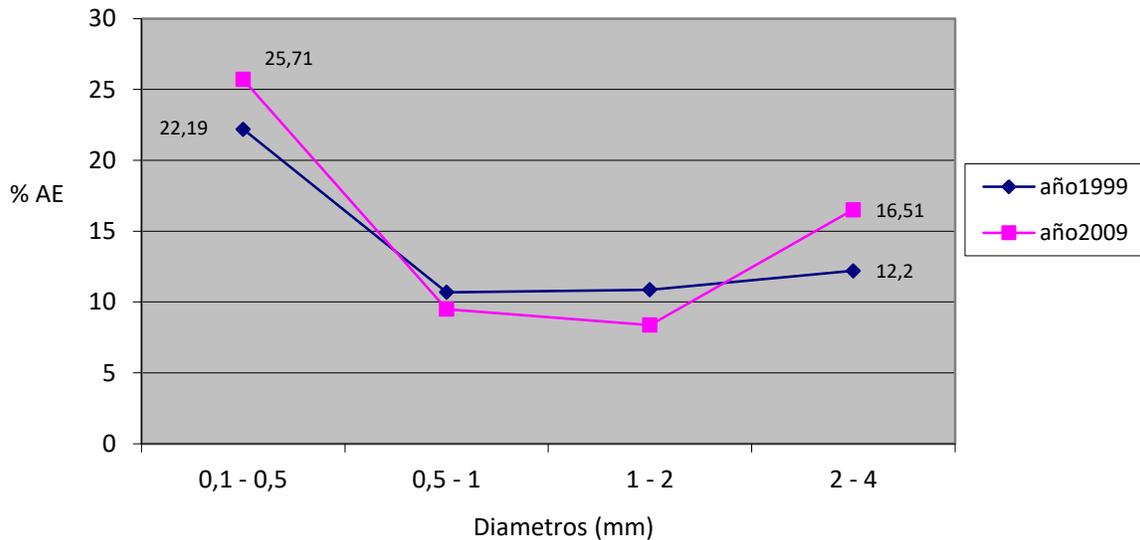
Resulta interesante observar gráficamente la evolución ocurrida en 10 años de ensayo. En SD la proporción de agregados de mayor tamaño (2-4mm) aumentó con mayor intensidad con respecto a los otros sistemas de labranza, siendo la diferencia del 24 % entre 1999 y 2009 (gráfico

1). En LR la tendencia fue similar a SD, pero con una diferencia del 16 % entre años y por último en LC fue del 4 %, aproximadamente (gráficos 2 y 3, respectivamente).

**Gráfico 1: Evolución de la proporción de agregados estables de diferente tamaño en siembra directa.**



**Gráfico 2: Evolución de la proporción de agregados estables de diferente tamaño en Labranza reducida.**



**Gráfico 3: Evolución de la proporción de agregados estables de diferente tamaño en Labranza convencional.**

Para el diámetro más pequeño entre 0,1-0,5 mm también se observó variación, pero no tan marcada como en los de mayor tamaño, variación que se explica, según Oades y Waters (1991) a expensas del cambio observado en los macroagregados. En SD y en LR, aunque con menor intensidad, se observó un menor porcentaje en este diámetro en el año 2009 con respecto al año 1999, mientras que en LC la situación se invirtió. En los primeros casos, este fenómeno, según Bricchi *et al.* (2002), se debe a la ausencia o a la menor remoción y al incremento de materia orgánica del suelo, produciendo un mayor porcentaje de agregados gruesos estables al agua, lo que significaría que la materia orgánica es un coloide que uniría agregados pequeños y los transformaría en agregados de mayor tamaño (gráficos 1 y 2). En el caso de LC, el porcentaje de estos agregados más pequeños aumentó como consecuencia del continuo laboreo del suelo al cabo de 10 años de ensayo (grafico3). Esto pone en evidencia que SD, con respecto a los otros sistemas de labranza que poseen una mayor remoción del suelo, mejora con mayor rapidez la estabilidad estructural al aumentar el porcentaje de macroagregados.

En cuanto al tamaño intermedio de agregados (0,5-1 y 1-2 mm), no se observaron grandes variaciones manteniendo valores similares en los distintos momentos de medición (gráficos 1, 2 y

3). Por su parte, Rondón de Rodríguez y Elizalde (1997), encontraron que al dispersar agregados de 4 a 8 mm en agua, con y sin ultrasonido, estos agregados se dispersaban hasta un cierto tamaño entre 50-250  $\mu\text{m}$ . Estos diámetros son coincidentes con los rangos de agregados que tuvieron escasa variación ante diferentes manejos y en distintos momentos de medición, presentados en el presente trabajo.

La menor variación encontrada en los diámetros de agregados de tamaño intermedio, indican que los mismos son indiferentes ante el uso y el manejo del suelo estudiado.

El incremento del 4% en el tamaño de 2-4 mm observado en LC en el año 2009 respecto a 1999, fue inesperado, ya que de acuerdo a Cabria y Culot (2001), estos valores deberían ser aún más bajos que en la primera medición debido a que las labores rompen los agregados de gran tamaño, incrementando así la cantidad de agregados pequeños. Sin embargo, este comportamiento podría deberse a variaciones en el aporte anual de C y al cultivo antecesor al momento en que se tomaron las muestras. Para el año 1999 el cultivo antecesor fue girasol (*Helianthus annuus* Linneo), con un aporte de C en la campaña 98-99 de 1,63 tn/ha, mientras que en el año 2009 el cultivo antecesor fue maíz (*Zea mays* Linneo) con un aporte promedio de C de 4,58 tn/ha (Lardone, 2009).

Los resultados encontrados en 2009 en SD y LR, reflejan un aumento en los agregados de mayor tamaño y una disminución en los agregados más pequeños. Esta tendencia posiblemente se explica, debido al incremento de carbono orgánico (CO) en el suelo, que generan este tipo de labranzas. Según (Silenzi *et al.*, 2000), la degradación de la MO atenta contra la estabilidad de la estructura del suelo. El principal constituyente de la materia orgánica es el carbono (C), que llega a representar entre el 40 y 60 % dependiendo del estado de transformación (Galantini *et al.* 2008). Los datos expuestos por Lardone (2009), trabajando en el mismo ensayo experimental que el presente trabajo, demuestran que la SD tuvo un aporte de CO promedio de 14,07 tn/ha., siendo superior a LR que tuvo un promedio de 10,92 tn/ha. y a LC en la que hubo un aporte promedio de 9,13 tn/ha. Estos datos podrían explicar la gran variación que se observó en macroagregados de las diferentes labranzas.

## VI- CONCLUSIONES

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

- En una rotación agrícola, todos los sistemas de labranza afectan la estabilidad estructural de los primeros 5 cm de suelo con respecto a una situación con mínimo disturbio.
- La siembra directa mejora la estabilidad estructural de la superficie del suelo y produce una mayor recuperación con respecto a otras labranzas que generan un mayor grado de remoción superficial, luego de 10 años de ensayo.
- Al cabo de 10 años el sistema de labranza que genera mayor degradación de la estructura es labranza convencional.
- En labranza reducida, la estabilidad de agregados se incrementa luego de 10 años pero con menor intensidad que en siembra directa.

## VII- BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, M. F., OSTERRIETH, M. L., BERNAVA LABORDE, V. y L. F. MONTTI 2008. Estabilidad, morfología y rugosidad de agregados de Argiudoles típicos sometidos a distintos usos: su rol como indicadores de calidad física en suelos de la provincia de Buenos Aires, Argentina. **Ciencia del Suelo**. 26(2): 115-129.

ALVAREZ C.R., TABEADA M.A., GUTIERREZ BOEM F.H., BONO A., P.L. FERNÁNDEZ 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.

AOKI, A., CANTARERO, M., ARIAS, F. y R. SERENO 2004. El uso agrícola en conductividad hidráulica y la porosidad de un Haplustol del norte de Córdoba. **XIX Congreso Paraná (CACs)**.

AOKI, A., CAMPITELLI, P., GUDELJ, O., VETTORELLO, C., ESMORIZ, G. y R. SERENO 2008. Efectos de diferentes sistemas de cultivos y labranzas sobre propiedades indicadoras de calidad de suelo. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, San Luis**.

BECKER, A. 2006. **Evaluación del proceso de Degradación de Suelos por erosión Hídrica en una subcuenca representativa del Suroeste de la Provincia de Córdoba, Argentina**. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto. 800 páginas.

BECKER, A. R., CANTÚ, M. P., SCHIAVO, H. F. y J. I. OSANA 2001. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la región pedemontana del suroeste de Córdoba, Argentina. **XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo**. CD. Trabajo VII 41-44.

BONEL, B. y H. MORRÁS 2004. Estudio de la morfología del horizonte superficial de un Argiudol con diferentes manejos de rastrojos. **XIX Congreso Paraná (CACs)**.

BONGIOVANNI, M. D., LOBARTINI J. C. y G. A. ORIOLI 2000. Cambios en las sustancias húmicas y agregados del suelo provocadas por labranzas. **XVII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Mar del Plata**.

BRAGACHINI M., SAAVEDRA A., MENDEZ, J., CASINI C., ERRASQUIN L., USTARROZ F., y M. BRAGACHINI 2011. **Evolución del sistema productivo agropecuario argentino**. Mayor valor agregado. Actualización técnica N° 64, Ed. INTA, Manfredi, Córdoba, Argentina: 23 p.

BRICCHI, E., FORMIA, F., ESPÓSITO, G., RIBERI, L. y H. AQUINO 2004. The effect of topography, tillage and stubble grazing on soil structure and organic carbon levels. **Spanish journal of agricultural research** (2004) 2 (3), 409-418.

BRICCHI, E.; F. FORMIA y L. RIBERI 2002. La estructura y la materia orgánica de un Hapludol típico ante diferentes impactos tecnológicos. **XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Puerto Madryn (Chubut). Argentina.

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.

CAMPITELLI, P., AOKI, A., GUELI, O., RUBENACKER, A., PASQUERO, M. y R. SERENO 2008. Evaluación del efecto de uso y prácticas agrícolas sobre indicadores de calidad de suelo mediante el análisis de componentes principales. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, San Luis**.

CANTERO, A.; CANTÚ, M.; CISNEROS, J.; CANTERO, J.; BLARASÍN, M.; DEGIOANNI, A.; GONZÁLEZ, J.; BECERRA, V.; GIL, H.; DE PRADA, J.; DEGIOVANNI, S.; CHOLAKY, C.; VILLEGAS, M.; CABRERA, A. y C. ERIC 1998. **“Las Tierras y Aguas del Sur de Córdoba- Propuestas para un manejo sustentable”** 119 págs. I.S.B.N.: 950 – 665 – 101 - 9, UNRC, Argentina.

CANTÚ, M. P. 1992 Holoceno de la provincia de Córdoba. Manual: Holoceno de La República Argentina. Tomo I. Ed. Doctor Martin Irondo. Simposio Internacional sobre el holoceno en América del sur. Paraná, Argentina.

DEGIOANNI, A. J. 1998. **Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto (Argentina)**. Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá de Henares. Departamento de geografía. Alcalá de Henares, España.

DIAZ-ZORITA, M. 1999. Efectos de seis años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. **Ciencia del suelo**. 17(1): 31-36.

DIAZ-ZORITA, M., BARRACO, M. y 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.

DI RIENZO, J.A., CASANOVES, F., BALZARINI, M.G., GONZALEZ, L., TABLADA, M. y C.W. ROBLEDO InfoStat versión 2011. **Grupo InfoStat**. FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

DOMÍNGUEZ, G.F., ANDERSEN A. 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.**

DORAN J, W., y PARKIN T. B 1994. **Definición y evaluación de la calidad del suelo.** p. 3.21 En: JW Doran et al,(ed.). **Definición de la calidad del suelo para un medio ambiente sostenible.** SSSA Spec. Publ. N° 35, Soil. Sci. Soc. Am., Inc y AM. Soc. Agron., Inc., Madison, WI.

ELLIOTT, E.T. 1986. Aggregate structure and carbon nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Sci. Soc. Am.** J.50: 627-633.

ESPÓSITO G.P., C.A. CASTILLO, R. BALBOA y G. BALBOA. 2008. Nivel Crítico de Fósforo Y Azufre en suelos del Sur de Córdoba para el cultivo de soja. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis, Argentina.**

FAITA, E. C. y J. M. CISNEROS 2008. Sistemas de laboreo y comportamiento de suelos de la pampa ondulada bonaerense: i. propiedades físicas y producción de maíz. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, San Luis.**

FERRERAS, L., AUSILIO, A., GOMEZ, E., TORESANI, S., BISARO, V. y M. SANCHEZ 2000. Estabilidad estructural, fracciones carbonadas y actividad microbiana en dos rotaciones de cultivos con labranzas conservacionistas. **XVII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Mar del Plata.**

FONTANETTO, H. y O. KELLER 2000. Efecto de diferentes secuencias de cultivos en siembra directa continua sobre algunas propiedades edáficas de un Argiudol en el centro-oeste de Santa Fe. **XVII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Mar del Plata.**

GABIOUD, E.A., WILSON, M.G., SASAL, M.C. y N. INDELÁNGELO 2008. Análisis de la metodología de estabilidad de agregados de Le Bissonnais (1996) para diferenciar usos de suelos. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, San Luis.**

GALANTINI, A. J., IGLECIAS J. O., LANDRISCINI, M. R., SUÑER, L. y G. MINOLDO 2008. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. En: Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. GALANTINI, A. J. (Editor). SUÑER, L., LANDRISCINI, M. R., IGLECIAS J. O. (Comp.) Ed. UNS. Bahía Blanca. Argentina.

GARCÍA, J. R., CORBELLA, R. D., SANZANO, G. A., PLASENCIA, A. M. y A. MANLLA 2008. Indicadores de calidad de suelo para la producción de granos en la provincia de Tucumán. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, San Luis.**

GOVAERTS B., SAYRE K. D. y J. DECKERS (2006). **A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico.** Soil and Tillage Research 87: 163-174.

GUDELJ, O. y B. MASIERO 2000. Efecto del manejo del suelo sobre su estabilidad estructural. **XVII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Mar del Plata.**

GUDELJ, O. y E. WEIR 2000. Estabilidad estructural y materia orgánica en distintos grados de erosión provocada, en un suelo Argiudol típico. **XVII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo.**

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.

OADES, J. y A. WATERS 1991. Aggregate hierarchy in soils. **Aus. J. Soil Res.** 29: 915-828.

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.

RONDÓN DE RODRÍGUEZ, C. y G. ELIZALDE 1997. Estabilidad física y química de los microagregados de dos unidades de suelos evolucionados. **Agronomía Tropical.** 47(4): 409-423.

SILENZI J.C., PURICELLI, C.A., ECHEVERRÍA, N. E., GROSSI, T. 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.**

TABOADA M. 2010 Influencia de la textura y la estructura sobre la fertilidad física *En: Fertilidad de Suelos. Caracterización y Manejo en la región pampeana.* R. Álvarez, G. Rubio, C. Álvarez y R. Lavado (Eds.) Editorial Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires, Argentina. 423 p.

TISDALL, J.M. y J.M. OADES. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **J. Soil Sci.** 33: 141-163.

TORESANI, S., BONEL, B., FERRERAS, L., FAGGIOLI, V., FERNÁNDEZ, E. y G. MAGRA 2008. Indicadores biológicos, físicos y químicos del suelo en sistemas de labranza y fertilización. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, San Luis.**

TORRES, C. y A. SANCHEZ 2004. Estado de agregación en suelos bajo diferente manejo en la Quebrada de Humahuaca, Jujuy. **XIX Congreso Paraná (CACs).**

## ANEXO

### **Características morfológicas del suelo campo Pozo del Carril (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.

**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.

**Propiedades químicas, físico-químicas y físicas del suelo desarrollado en Siembra directa (SD), pendiente Pozo del Carril (Becker, 2006).**

Horizonte	Ap	A2	Bw1	Bw2	BC	C	Ck
Profundidad (cm)	0-8	8-14	14-29	29-41	41-65	65-85	85+
CO (%)	1,05	0,56	0,53	0,72	0,24	0,12	-
Arcilla < 2 $\mu$ (%)	17,48	12,30	12,50	14,80	13,02	14,50	14,30
Limo, 2-50 $\mu$ (%)	30,32	25,20	26,10	24,30	25,20	29,60	29,80
Arena muy fina, 50-100 $\mu$ (%)	52,80	61,50	55,60	60,40	60,80	55,30	55,30
Arena fina, 100-250 $\mu$ (%)	0,60	0,70	2,20	0,50	0,80	0,60	0,40
Arena media, 250-500 $\mu$ (%)	0,25	0,30	3,10	0,10	0,10	0,20	
Arena gruesa, 500-1000 $\mu$ (%)	0,08	0,10	0,50	-	-	0,40	
Arena muy gruesa, 1-2 mm (%)	0,01	0,10	-	-	0,20		
pH en agua (1 : 2,5)	6,0	6,57	6,82	6,88	7,09	8,08	8,32

**Esquema 1: Representación espacial del Diseño experimental en parcelas subdivididas dispuestas en bloques completamente aleatorizados, con dos repeticiones espaciales por tratamiento.**

BLOQUE I											
ROTACIÓN AGRÍCOLA											
SD				LR				LC			
F		NF		F		NF		F		NF	
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	
P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP

Referencias: SD, siembra directa; LR, labranza reducida; LC, labranza convencional; F, fertilizado; NF, no fertilizado; P, pastoreado; NP, no pastoreado.

