

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO



FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

**“Trabajo Final presentado para optar al grado de Ingeniero
Agrónomo”**

**“Evaluación del comportamiento del cultivo de soja bajo dos
sistemas de labranza en suelos Hapludoles del centro del
Departamento General López (Provincia de Santa Fe)”**

Por: Montanari, Leandro Ariel

D.N.I: 29.370.110

Director: Cisneros, José Manuel.

Río Cuarto – Córdoba

Abril, 2008

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**“Evaluación del comportamiento del cultivo de soja bajo dos
sistemas de labranza en suelos Hapludoles del centro del
Departamento General López (Provincia de Santa Fe)”**

ALUMNO: MONTANARI, LEANDRO ARIEL

D.N.I.: 29.370.110

DIRECTOR: ING. AGR. MSC JOSE MANUEL CISNEROS

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

ING. AGR. MSC. GUILLERMO CERIONI _____

ING. AGR. RICARDO MATTANA _____

ING. AGR. ELENA M. FERNANDEZ _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

Este apartado de agradecimientos se dirige a todas las personas que me ayudaron de cerca o de lejos y de forma distinta a realizar esta tesis.

Quiero destacar y agradecer especialmente a mi director y amigo José Manuel Cisneros por haber aceptado dirigir este proyecto y brindarme su colaboración, sabiduría y entusiasmo, que hicieron posible la elaboración de este trabajo.

A Guillermo Cerioni, quién me ayudó y me brindo su apoyo incondicional, y a todas aquellas personas que hicieron posible que esta tesis hoy esté terminada.

DEDICATORIA

Este trabajo final esta dedicado especialmente a mi abuelo "Pichón" que desde su lugar en el cielo, me ilumino y me dio fuerzas para culminar con este ciclo, que era uno de sus grandes deseos. A Neli, Delia y Esteban que siempre me dieron fuerzas para seguir adelante.

A mis padres porque confiaron siempre en mi y no dudaron nunca en ayudarme a realizar mis sueños y proyectos. Agradeceré siempre a los dos por su apoyo, su confianza y la libertad que pusieron en mí sin nunca dudar de mi capacidad para culminar con esta etapa de mi vida.

Una dedicatoria muy especial también a mis hermanos Marcelo y Fabián que me apoyaron siempre para la realización de esta tesis.

A mi novia que siempre me apoyó y me dio fuerzas para seguir adelante en los momentos más difíciles.

Y a mis amigos que siempre están.....

INDICE GENERAL

RESUMEN	1
SUMMARY	2
I. PRESENTACIÓN	3
II. ANTECEDENTES	4
AGRICULTURIZACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS.....	4
RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN	5
EFFECTOS DE LA DESCOMPACTACIÓN.....	6
EFFECTOS SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES	8
III. HIPOTESIS DEL TRABAJO.....	8
IV. OBJETIVOS	9
IV. 1. OBJETIVO GENERAL	9
IV. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
V. MATERIALES Y MÉTODOS	10
V. 1) Área de Estudio:.....	10
V. 2) Diseño experimental y tratamientos.....	12
V. 3) Determinaciones:.....	14
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
VI. 1) VARIABLES DE SUELO:.....	17
VI. 1.1) Resistencia a la penetración:.....	17
VI. 1.2) Infiltración:	21
VI. 1.3) Cobertura:	23
VI. 1. 4) Agua Útil:	25
VI. 1. 5) Nutrientes:	27
VI. 2) VARIABLES DEL CULTIVO:	31
VI. 2. 1) Biomasa:	31
VI. 2. 2) Cobertura de Canopeo:.....	32
VI. 2. 3) Componentes de rendimiento:.....	34
IV. 2. 4) Producción de granos:.....	35
VII. CONCLUSIONES	38
CITAS BIBLIOGRÁFICAS	40

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Precipitación media mensual para Villa Cañas (Santa Fé) para dos series 1906-2006, y 1996-2006.....	12
Figura N° 2: Perfil de resistencia mecánica de un suelo Hapludol típico del Departamento General López para dos sistemas de labranza.....	17
Figura N° 3: Mapas de isoresistencia mecánica de dos sistemas de labranza, en cultivo de soja.....	19
Figura N° 4. Velocidad de infiltración (mm h^{-1}) para dos sistemas de labranza en un suelo Hapludol típico del departamento General López.	22
Figura N° 5: Infiltración acumulada para un suelo Hapludol típico del departamento General López realizada por el método del doble anillo, para dos sistemas de labranzas.	23
Figura N° 6: Porcentaje de cobertura (suelo desnudo, residuo y maleza) para dos sistemas de labranzas, en el departamento General López (Sur de Santa Fé).....	24
Figura N° 7: Humedad Actual para un suelo Hapludol típico del departamento General López.	26
Figura N° 8: Disponibilidad de P en dos sistemas de labranza en un suelo Hapludol típico en el departamento General López.....	28
Figura N° 9: Dinámica de Biomasa aérea durante el ciclo del cultivo de soja, para dos sistemas de labranzas y biomasa simulada por el software SWBMODEL 1.3 (SWB).....	31
Figura N° 10: Biomasa aérea de hoja y tallo del cultivo de soja para dos sistemas de labranza.	32

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Cobertura del suelo durante el desarrollo de un cultivo de soja, en estado de R1 para dos sistemas de labranzas.....	24
Cuadro N° 2: Análisis de para dos sistemas de labranzas.....	29
Cuadro N° 3: Cobertura de canopeo entre surcos en estado fenológico R1, en cultivo de soja, para dos sistemas de labranza.....	33
Cuadro N° 4: Densidad promedio (Plantas m⁻²), número de chauchas planta⁻¹, peso de 1000 granos y número de granos por chaucha de un cultivo de soja para dos sistemas de Labranza.	34
Cuadro N° 5: Rendimiento en granos, Materia Seca total e Índice de Cosecha del cultivo de soja, para dos sistemas de labranza.....	35

INDICE DE FOTOS

Fotografía N° 1: Imagen satelital de la zona del ensayo.....	10
Fotografía N° 2: Perfil de suelo, identificando los diferentes horizontes, en un suelo Hapludol típico en el departamento General López.....	11
Fotografía N° 3: Labor de subsolado realizada para el ensayo de campo, el día 11/10/05.....	13
Fotografía N° 4: Medición de RM con penetrógrafo digital el día 27/12/05, cultivo de soja.	15
Fotografía N° 5: Sistema radical en ambas situaciones de labranza. Cultivo en estado vegetativo.....	20
Fotografía N° 6: Plantas en estado fenológico R1, para ambas situaciones de labranza. Línea definiendo nivel de la superficie terrestre.....	20
Fotografía N° 7: Cultivo de soja, bajo dos sistemas de laboreo (a la izquierda SDC/S y a al derecha testigo de SD).	33

RESUMEN

El aumento de la superficie agrícola bajo siembra directa, se ha incrementado de manera considerable en los últimos años, este sistema de labranza presenta ventajas en cuanto a la protección superficial del suelo y a una menor tasa de erosión, entre otras, pero se han encontrado algunos efectos desfavorables vinculados al desarrollo de compactaciones. Como objetivo principal, se planteó evaluar los efectos del laboreo vertical profundo en un suelo Hapludol típico en el departamento General López (Santa Fé), sobre propiedades físicas y químicas del suelo y sobre el comportamiento del cultivo de soja como indicador biológico. Se planteó como hipótesis, que en suelos compactados sub-superficialmente que provienen de sistemas de labranza sin remoción, la inclusión de una operación de subsolado mejora la disponibilidad de nutrientes (N y P) el ingreso y movimiento de agua dentro del perfil, la resistencia a la penetración, e incrementa la producción de biomasa aérea y el rendimiento del cultivo de soja. Se trabajó con un diseño experimental en parcelas divididos, con dos tratamientos: Siembra directa con laboreo de descompactación (**SD C/S**) y siembra directa sin laboreo (**SD**). Las variables estudiadas fueron infiltración, resistencia mecánica, disponibilidad de P y N, cobertura superficial de residuos y de canopeo, producción de biomasa y componentes de rendimiento de soja. Los resultados muestran que la labor profunda disminuyó la **RM**, incrementó la lámina y velocidad de infiltración (de 23 a 69 mm.h⁻¹), provocó una reducción en la cobertura superficial del orden del 36% e incrementó la disponibilidad de N. Sin embargo, no manifestó efectos significativos en biomasa y producción de granos. Se concluye que la técnica de labor profunda sin inversión, es adecuada para mejorar condiciones físicas e hidrofísicas del suelo, aunque sus efectos en la productividad física del cultivo no mostraron los resultados esperados, para las condiciones estudiadas.

SUMMARY

During in the last years, in Pampean region of Argentina, the increase of the surface with agriculture under no tillage, present advantages as far as the surface protection of the ground, minor rate of erosion, among others, but have some unfavorable effects, such as subsoil compaction. The aim of this work is to evaluate the effects of deep, vertical tillage in a typical Hapludoll in General López country (Santa Fe province), evaluating their effect through soil physical parameters and behavior of soybean crop like biological indicator. Work hypothesis was that in compacted subsoils without tillage, the inclusion of a subsoiler operation improves the nutrient availability (N and P); water infiltration and soil mechanical resistance, generating in this way, increases in the production of aerial biomass and yield of soybean crop. They worked with an experimental design in divided blocks, with two treatments: Direct sowing with subsoil loosening (**SD C/S**) and direct sowing without subsoil loosening (**SD**). The soil variables studied are: mechanical resistance, P and N availability, residue and canopy surface cover, soybean biomass and grain yield. The results show that the deep tillage reduce the mechanical resistance in the upper 25 cm; increase infiltration rate (23 to 69 mm h⁻¹); reduce superficial cover in 36%; increase the availability of N, but not showing significant effects in biomass and grain production. They conclude that the technique of deep tillage improve soil physical and hydrophysical conditions, although their effects in crop productivity did not show the awaited results for the studied conditions.

I. PRESENTACIÓN

Desde los principios de la sociedad, la práctica agrícola ha acompañado al hombre. Pero con el transcurso de los siglos no sólo la sociedad sufrió cambios, sino también la forma de practicar la agricultura. Hace unos 200 años Thomas Malthus publicó su obra “Un ensayo sobre población” y decía que la población humana crecía a una tasa exponencial, comparativamente al crecimiento lineal de la producción agropecuaria.

La necesidad de una agricultura de productividad creciente genera una mayor presión sobre los recursos naturales, instalándose un conflicto con los principios o fundamentos de la sustentabilidad. El desarrollo sustentable es un concepto que impone límites, tanto sobre la presión que se puede ejercer sobre el ambiente, como sobre la tecnología que se puede generar para potenciar el crecimiento económico y el bienestar (Viglizzo, 1994).

Si consideramos las prácticas agrícolas actuales y los efectos que producen sobre el suelo, las mismas no siempre están adecuadas a las características y limitaciones de los mismos, siendo las discrepancias entre lo que se hace y lo que se debe hacer, de variada magnitud.

En la región pampeana en general, y en la zona de planicies del Sur de Santa Fé en particular, se ha venido intensificando el uso de la tierra, pasando de sistemas de producción mixtos alternando ciclos agrícolas con ganaderos, hacia sistemas agrícolas puros con predominio de cultivos oleaginosos, sobre las gramíneas (INTA, 2003).

Gran parte del aumento de las superficies agrícolas se han desarrollado bajo el sistema de siembra directa, el cual presenta ventajas en cuanto a la protección superficial del suelo, y a una menor tasa de erosión, pero se han encontrado algunos efectos desfavorables vinculados al desarrollo de compactaciones.

Los suelos que serán sometidos a estudio en esta tesis (Hapludoles típicos) presentan características especiales, de alta productividad, aunque susceptibles a la degradación física, química y biológica, y a sufrir procesos de erosión hídrica. Algunas de estas características son su baja resistencia a los cambios estructurales, debido a la alta proporción de limo, donde sistemas de siembra directa pueden aumentar la densidad aparente y disminuir la velocidad de infiltración.

En este trabajo de tesis se analizaron los efectos del laboreo vertical profundo en un suelo representativo de la Región Pampeana, evaluando su calidad a través del comportamiento de un cultivo de soja como indicador biológico.

II. ANTECEDENTES

AGRICULTURIZACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

La siembra directa es un sistema productivo que manifiesta un incremento en el grado de adopción por los productores en la República Argentina. A modo de referencia, en la campaña (2006-2007), pueden citarse valores de superficie sembrada, en siembra directa, del orden de 16,1 millones de hectáreas, con una producción de 47,5 millones de toneladas (AAPRESID, 2007), de un total de aproximadamente 28 millones de hectáreas sembradas entre cereales y oleaginosas (SAGPyA, 2007). Este sistema, se ha difundido debido a las ventajas que presenta en cuanto al menor costo de implantación de los cultivos, a la reducción de la erosión del suelo y a la conservación del agua. Sin embargo, diversos autores coinciden en señalar que, en los primeros años de implantación del sistema de siembra directa, los rendimientos de los cultivos suelen ser más bajos que en los sistemas de labranza convencional (Eck y Jones, 1992; Knowles, 1993). Griffith y Wollenhaupt (1994) mencionan al menor crecimiento inicial de los cultivos como una de las causas de dicho cambio de sistema de labranza.

Este sistema productivo no escapa a la problemática de la compactación de los suelos. Domínguez *et al.* (2000) trabajando con tres diferentes tratamientos mecánicos del suelo, citan una mayor compactación superficial bajo siembra directa.

Senigaglesi y Ferrari (1993), Leiva y Hansen (1984) concuerdan que en los sistemas de labranza donde no se produce la remoción del suelo, se produce una mayor compactación. En igual sentido Quiroga *et al.* (1998), afirman que, en los suelos en donde no existe laboreo previo del terreno, puede provocarse o ser más susceptible a la compactación del mismo.

El efecto que produce la compactación sobre el suelo puede describirse como un reordenamiento en la matriz porosa del suelo, es decir, disminuye el volumen de poros totales, produciendo cambios en la distribución del tamaño de los mismos, ocasionando un mayor porcentaje de poros pequeños (Breland y Hansen, 1996). Hakansson *et al.* (1988) y Smittle y Williamson (1977) coinciden en afirmar que la compactación tiene como consecuencia un menor rendimiento del cultivo, debido a que el mismo no puede expandir correctamente las raíces, lo cual produce una menor captación de nutrientes.

El conocimiento acerca de la compactación de suelos y de su efecto sobre el desarrollo de los cultivos, resulta clave para un efectivo manejo de la condición física del suelo en la producción agrícola (Schafer *et al.*, 1992).

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

Los parámetros para caracterizar la compactación son múltiples. Según Balbuena *et al.* (1995) la densidad aparente y la resistencia a la penetración son frecuentemente usados para la caracterización de la compactación del suelo. Al respecto, Terminiello *et al.* (2000) concluyen que la resistencia a la penetración es un parámetro más sensible que la densidad aparente para determinar la compactación inducida por tránsito. Alakukku (1996) afirma que las propiedades indicadoras de retención de agua en el suelo, tamaño y distribución de poros y resistencia a la penetración son parámetros más sensibles que la densidad aparente para determinar la compactación inducida por tránsito.

Algunos investigadores utilizan el penetrómetro porque provee una medida de la compactación en forma simple, rápida y económica. La interpretación de la resistencia a la penetración debe ser realizada cuidadosamente, ya que numerosos factores la afectan en forma significativa, incluyendo el tipo de suelo, la resistencia mecánica, el contenido de humedad, la velocidad de penetración y las características del cono utilizado (Perumpral, 1987).

La densificación de la capa superficial de los suelos bajo sistemas sin remoción continua es considerada una limitante para adoptar los sistemas de labranza cero en la región Pampeana (Chagas *et al.*, 1994; Ferreras *et al.*, 1998; Domínguez *et al.*, 2000), pudiendo en ciertos casos, reducir el rendimiento de los cultivos (Giayetto *et al.*, 1998; Schmidt y Belford, 1994). Esta densificación de la capa superficial sólo puede ser disminuida con labranzas de tipo vertical (Fontanetto y Gambaudo, 1996).

Diversos indicadores han sido estudiados para evaluar la degradación de los suelos por efecto del uso, uno de ellos es la densidad aparente, de la que ya hace años que se tiene conocimiento de su afectación en los suelos argentinos.

Unger (1996) indicó que debe tenerse particular interés en el seguimiento de la densidad aparente y el índice de cono, puesto que ambos factores pueden modificar la infiltración, el crecimiento radical y el rendimiento de los cultivos.

La introducción de sistemas de labranzas conservacionistas, como la siembra directa, produce cambios en las propiedades químicas y físicas de los suelos que pueden afectar la biología del suelo y el desarrollo radicular de las plantas (Doran, 1980).

La compactación del suelo es una limitante para el desarrollo radicular de las plantas, asociada al contenido de humedad puede convertirse en determinante del éxito de una campaña agrícola (Taylor, 1971).

La resistencia mecánica, o resistencia a la penetración que ofrece el suelo en la zona de las raíces, es utilizada como una medida de compactación, señalando

condiciones que pueden impedir el crecimiento de las raíces y por lo tanto reducir el rendimiento de los cultivos (Oussible *et al.*, 1992).

El desarrollo de condiciones físicas del suelo desfavorables es atribuido, entre otros factores, al tráfico de vehículos asociado con las operaciones de cultivo, indicándose el tipo de equipamiento, la presión en el área de contacto ruedas/suelo, el número de pasadas, el tipo de suelo y la humedad del mismo, como las variables que inciden sobre la profundidad a la cual la densidad aparente y el índice de cono son incrementados (Upadhyaya *et al.*, 1994).

Independientemente de los efectos del tránsito, la densidad aparente del suelo y el índice de cono a nivel superficial y subsuperficial pueden incrementarse naturalmente en los sistemas de siembra sin labranza previa. Unger (1996) indicó que los incrementos naturales en estos parámetros usualmente están limitados a los 0.15 m superiores del perfil el suelo. La condición física del suelo en los estratos superiores del terreno incide también sobre la implantación y el desarrollo inicial de los cultivos.

En general, el proceso de germinación es más rápido y completo con densidades de 1.2 Mg m^{-3} o menores, con diámetro medio de agregados igual o menor a 4 mm, con valores de índice de cono menores 1.4 Mpa (Daddow y Warrington, 1983) establecieron como umbral de crecimiento radical 1.65 Mg m^{-3} .

La resistencia a la penetración también ha sido frecuentemente utilizada para caracterizar las condiciones físicas para la implantación y desarrollo de cultivos. Al respecto, Threadgill (1982) relacionó la resistencia a la penetración de un suelo con la capacidad de las raíces para colonizarlo. Indicó que valores de índice de cono de 1.5 MPa pueden reducir el crecimiento de las raíces, mientras que valores superiores a 2.1 Mpa lo limitarían.

EFFECTOS DE LA DESCOMPACTACIÓN

Martino (2003) encontró que el aflojamiento del suelo causado por el laboreo vertical favorece la infiltración de agua, la aireación y el desarrollo de raíces.

De acuerdo con lo planteado por Uberto *et al.* (2004), la rotura de pisos de arado por debajo de 25 cm incrementa las velocidades de infiltraciones entre 50-100%, lo cual mejora significativamente el ingreso y redistribución del agua de lluvia dentro del suelo.

El incremento de la impedancia mecánica del suelo puede aliviarse, al menos temporalmente, con el laboreo de las capas compactadas. En referencia a esto, Taboada (1998) menciona que una de las posibilidades para atender a esta problemática es el empleo de herramientas de corte vertical y de acción profunda.

El subsolador plano, es una herramienta desarrollada en Inglaterra hace décadas (Pidgeon, 1982), y puede ser utilizado para aflojar suelos compactados hasta una profundidad de 50 cm, con muy escasa disturbación de la superficie, por lo que, es una herramienta que puede ser utilizada en sistemas de siembra directa. Bajo el nombre de descompactadores pueden incluirse una serie de implementos que efectúan una labor de escarificado del suelo, entendiendo como tal el trabajo con máquinas que, si bien realizan principalmente una remoción vertical, producen importantes efectos laterales de roturación (Claverie y Balbuena, 2005).

Bonel *et al.* (2005), quienes trabajaron con un descompactador sobre un suelo argiudol típico, en lotes de 6 años de siembra directa, hallaron que la resistencia a la penetración, medida por intermedio de IC, fue significativamente menor en parcelas escarificadas, hasta los 35 cm de profundidad.

En relación con la duración del laboreo, Spoor *et al.* (2003) exponen que, habitualmente, las labores de descompactación se relacionan con un intenso roturamiento del suelo. Sin embargo, recomiendan que el efecto buscado sea "fisurar sin aflojar" a los efectos de evitar los procesos de consolidación y recompactación inducida por el tránsito posterior a la labor. Además, indican que los implementos adecuados en la búsqueda de estos objetivos serían los subsoladores de montantes inclinados, los subsoladores alados y las rejas de escardillo de laboreo subsuperficial. En relación a esto, Buscher *et al.* (1986), en ensayos sobre suelo franco arenoso, encuentran valores de resistencia a la penetración de 2.5 MPa (restrictivos para el crecimiento radical) un año después de efectuar labores de descompactación, destacando que todo indicio de la labranza resultaba indetectable a los dos años de su realización Balbuena *et al.*, (1995), trabajando sobre un suelo argiudol típico, evaluaron la persistencia de la labor mediante penetrometría, y concluyen que lo limitado de la persistencia de la disminución de dicho parámetro, respecto del testigo sin descompactación (6 meses), tornaría inadecuada la realización de la labor en forma muy anticipada.

Al respecto, Spoor *et al.* (2003) concuerdan con la necesidad de realizar la labor de descompactación lo más tarde posible en el ciclo productivo, idealmente, de ser posible inmediatamente antes o después de la siembra, para evitar los procesos de recompactación.

Cholaky (2003), en trabajos sobre un suelo Haplustol típico, concluye que el efecto de la descompactación persiste durante el periodo de desarrollo del ciclo de un cultivo anual, cuando no se efectúa tránsito luego de la labor.

Mon e Irurtia (2001) reportaron valores de Grado de Aflojamiento entre el 30 % y el 60 % para el tratamiento de descompactación con subsolador, en relación al testigo, para un suelo Argiudol típico.

EFFECTOS SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

En relación a la disponibilidad de nutrientes, Álvarez (1999) plantea que los sistemas de siembra directa incrementan las pérdidas de N por lavado y volatilización de urea, en relación a otros sistemas de labranza, por lo que recomienda utilizar factores de eficiencia menores cuando se utiliza este sistema de labranza. Por el contrario, Fox y Bandel (1986) muestran una mayor respuesta de los sistemas de siembra directa en altos niveles de fertilización, aunque también reconocen mayores pérdidas por volatilización e inmovilización de N en este sistema de labranza.

III. HIPOTESIS DEL TRABAJO

En virtud de lo expuesto, se plantea como **hipótesis de trabajo** que:

- En suelos compactados sub-superficialmente y que provienen de sistemas de labranza sin remoción del suelo, la inclusión de una operación de subsolado mejora la disponibilidad de nutrientes (N y P); el ingreso y movimiento de agua dentro del perfil, y reduce la resistencia a la penetración, en comparación con sistemas de labranza sin remoción del suelo generando de esta manera incrementos en la producción de biomasa aérea y en el rendimiento del cultivo de soja.

IV. OBJETIVOS

IV. 1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento del cultivo de soja y del suelo bajo sistemas de siembra directa y labranza vertical profunda.

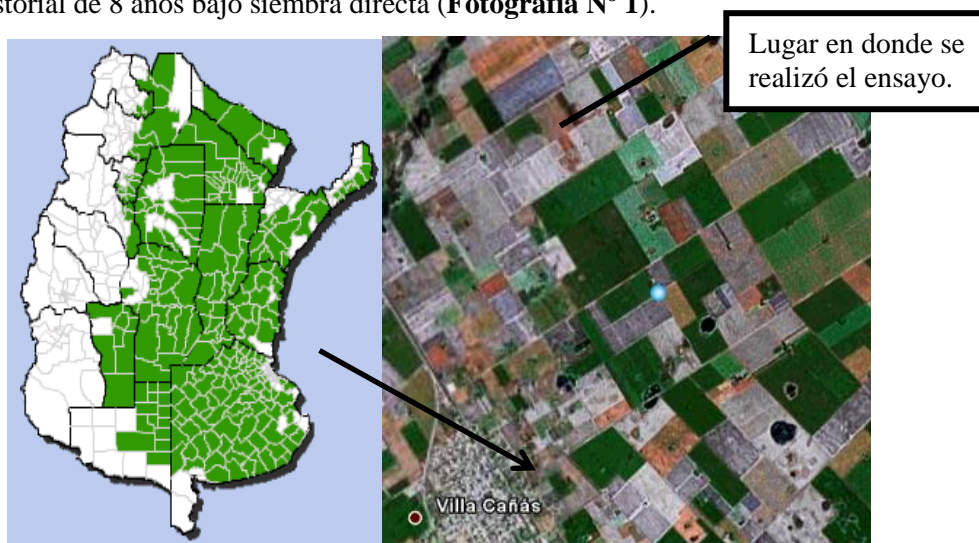
IV. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la producción de biomasa aérea, el rendimiento en grano y la densidad de plantas por metro lineal de un cultivo de soja manejado con dos sistemas de labranza.
- Monitorear la cobertura del entresurco por efecto del canopeo del cultivo de soja en los dos sistemas de laboreo.
- Evaluar la resistencia a la penetración, velocidad de infiltración, contenido hídrico, y cobertura de residuos del suelo en los dos sistemas de labranza.
- Evaluar cambios en la disponibilidad de nutrientes (N-NO₃, P y M.O) del suelo para ambas situaciones.
- Monitorear la población de malezas en ambas situaciones.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

V. 1) Área de Estudio:

El ensayo se realizó, en un establecimiento ubicado a 8 km al Nor-Este de la localidad de Villa Cañas, provincia de Santa Fe, Departamento General López, con coordenadas: Lat. Sur 31° 57' 15'', Long. Oeste 61° 34' 58'', sobre un lote con un historial de 8 años bajo siembra directa (**Fotografía N° 1**).



Fotografía N° 1: Imagen satelital de la zona del ensayo.

El sitio experimental presenta un relieve normal con pendientes que no sobrepasan el 1%. El suelo es oscuro, profundo y bien drenado, de la Serie Santa Isabel, clasificado como Hapludol típico, franca limosa fina, mixta, térmica; liviano, que ha evolucionado sobre sedimentos eólicos francos (INTA, 1983).

El perfil del suelo muestra unos 36 cm superficiales oscuros y bien provistos de materia orgánica (Horizonte **A1**). En profundidad, este horizonte va pasando gradualmente hacia un horizonte **B2** con estructuras débilmente prismáticas y más rojizas, de permeabilidad moderadamente rápida y con menos arcilla que el **A1**. A los 95 o 100 cm de profundidad el suelo afloja en su consistencia y estructura haciéndose masivo y suelto. No existen barnices ni moteados aunque, en las posiciones cóncavas del relieve, a veces suelen observarse en el horizonte **B2** escasos clay skins finos, en forma de puentes brillosos entre los granitos de arena.

La serie Santa Isabel presenta la siguiente descripción del perfil: **Ap** (0-20 cm) pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo y pardo grisáceo (YR 5/2) en seco; franco; estructura granular fina débil; muy friable; limite inferior abrupto suave; equivalente de humedad 16,5%.

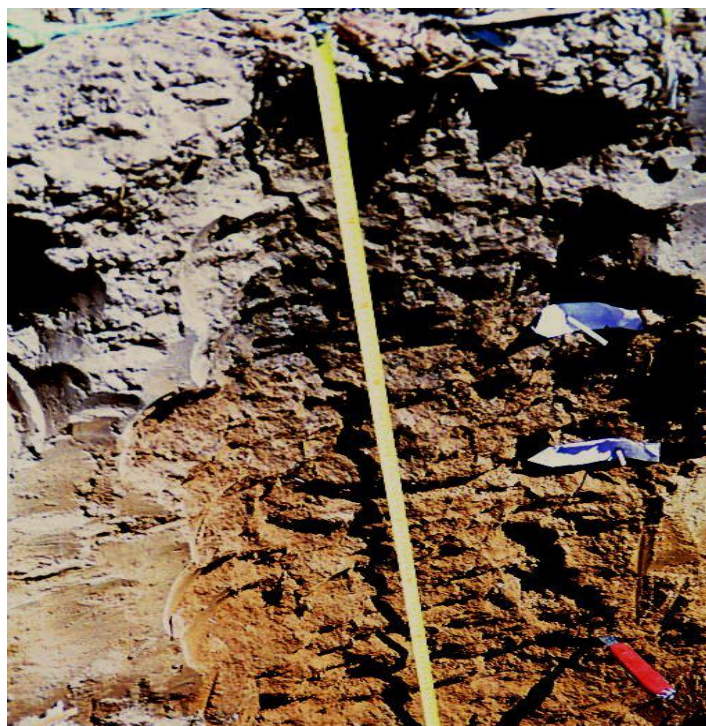
A1 (20-36 cm) pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2,5) en húmedo; franco; estructura granular fina débil; muy friable; límite inferior claro; suave; equivalente de humedad 21,7 %.

B2 (36-67 cm) pardo a pardo oscuro (7,5 YR 4/2) en húmedo y pardo (7,5 YR 5/4) en seco; franco; estructura en prismas gruesos y medios débiles; firme; límite inferior difuso, ondulado; equivalente de humedad 18,2 %.

B3 (67-98 cm) pardo a pardo oscuro (7,5 YR 4/3) en húmedo y pardo (7,5 YR 5/4) en seco; franco; estructura en bloques subangulares medios; débiles; friable; límite inferior difuso; equivalente de humedad 16,5 %.

C (98-145 cm +) pardo (7,5 YR 5/4) en húmedo y pardo claro (7,5 YR 6/4) en seco; franco; masivo; suelto; equivalente de humedad 14,5 % (**Fotografía N° 2**). Clasificado de acuerdo a su Capacidad de uso como **I-1**.

Al momento de la descripción del perfil, realizada el 27 de diciembre del 2005, la napa freática se encontraba a una profundidad de 2,20 m, con un frente de ascenso capilar que alcanzaba los 80 cm de profundidad.



Fotografía N° 2: Perfil de suelo, identificando los diferentes horizontes, en un suelo Hapludol típico en el departamento General López.

El clima de la región, presenta un régimen pluviométrico de tipo monzónico, siendo la época más lluviosa el verano y la de menos precipitaciones el invierno, con un promedio anual de 946 mm. Con respecto al régimen térmico el área pertenece a las de clima templado con temperaturas extremas no muy marcadas, es decir, con veranos e inviernos suaves, con una temperatura media anual de 16,4 °C. La época de heladas

comienza a fines de marzo y finaliza a principios de septiembre, siendo el período libre de heladas de 270 días, aproximadamente.

Los datos climáticos fueron cedidos por la estación meteorológica del Colegio EET N° 484 de Villa Cañas. En la **Figura N° 1**, se expresan los datos climáticos de la ciudad de Villa Cañas, en dos series (1906-2006 y 1996-2006), con el fin de observar la tendencia de los últimos 10 años, marcándose un incremento de las precipitaciones en los meses estivales y una disminución en los meses invernales.

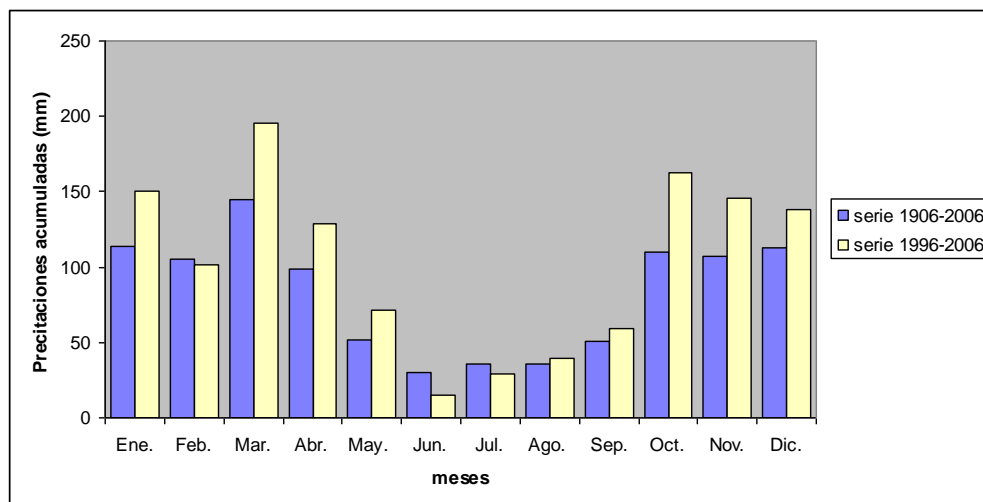


Figura N° 1: Precipitación media mensual para Villa Cañas (Santa Fé) para dos series 1906-2006 y 1996-2006.

V. 2) Diseño experimental y tratamientos

- 1) Los tratamientos experimentales utilizados fueron dos tipos de labranzas: siembra directa (**SD**) con 8 años de antigüedad y
- 2) Labranza profunda con subsolador alado marca Don Ernesto, con reja escarificadora, sobre la SD (**SD C/S**).

El diseño experimental fue de parcelas divididas con 3 repeticiones por tratamiento.

Las parcelas contaban con 650 metros de largo por 20 metros de ancho correspondiendo cada una de estas a los dos sistemas de labranza; a su vez, dentro de cada una de estas se hicieron 3 subdivisiones que se denominaron bloque A, bloque B y bloque C. Dentro de ellos se tomaron submuestras para cada una de las variables estudiadas; fueron comparadas y analizadas estadísticamente mediante un ANAVA siendo las medias comparadas por el test de Duncan ($P \leq 0.05$) (Snedecor y Cochran, 1984) utilizando el software InfoStat (InfoStat, 2002).

Los eventos de medición corresponden a las siguientes fechas: Laboreo de

descompactación el 11 de octubre del año 2005; en diciembre del mismo año, se llevó a cabo la descripción del perfil, datos de análisis de suelos y contenido de humedad; en enero del 2006, se determinó la lámina infiltrada, velocidad de infiltración y la tasa de infiltración básica y biomasa para el estado fenológico R3; en febrero se realizó el análisis de biomasa para el estado fenológico R5, en marzo para el estado fenológico R7 y el 1 de abril se realizó la cosecha.

De la **maquinaria utilizada**: Subsolador de 11 bastidores con rejas escarificadoras (**Fotografía N° 3**). Los bastidores son rebatibles y las ruedas niveladoras macizas con llantas reforzadas. Los bastidores están espaciados cada 0.38 metros con un ancho de labor de 4.20 metros. La labor fue realizada a una profundidad de 0.30 metros. Este subsolador posee montado un rolo en la parte posterior, el cuál cumple la función de romper terrones y realizar el cierre de los surcos superficiales. Para realizar las operaciones de subsolado, se utilizó un tractor John Deere 9200 de 325 HP (Mod. 2000), posee rodados tanto delanteros como traseros 20.8 x 42 R - Dual y el peso del mismo sin contrapesos ni enganche es de 14098 kg.



Fotografía N° 3: Labor de subsolado realizada para el ensayo de campo, el día 11/10/05.

La siembra fue llevada a cabo por una sembradora AGROMETAL TX Mega (Mod. 2004) de 26 surcos espaciados a 0.52 m, con equipo fertilizador. Este equipo fue arrastrado por un tractor John Deere 8320 (Mod. 2003) de 259 HP, rodados delanteros 420/90 R30-142 A8 (R1) y rodados traseros 520/85 R42-157 A8 (R1) Dual, peso de embarque 9548 kg. La misma fue realizada el 11 de noviembre del año 2005. La variedad utilizada fue 3700 del semillero Don Mario a razón de 80 kg ha⁻¹.

Las pulverizaciones fueron realizadas por una pulverizadora autopropulsada marca John Deere 4710 de 200 HP (Mod. 2002) con un ancho de labor de 27.4 metros, el peso de embarque con botalón cerrado y tanque vacío es de 9707 kg, el tanque de solución tiene una capacidad de 3028 litros, las cubiertas son 320/90 R 46 angosta, cuya

presión de inflado es de 58 libras; permitiendo realizar aplicaciones variables tanto en caudal como en espectro de aplicación.

La cosecha mecánica de la parcela se realizó por una cosechadora John Deere 9750 CTS (Mod. 2003) de 325 HP, rodados delanteros 20.8 R-42 R1 dual, traseros 28 L 26 R1 10 PR; el peso en orden de marcha sin plataforma es de 13480 kg. La misma con un cabezal sojero John Deere 920 con un ancho de corte de 30 pies.

V. 3) Determinaciones:

Las determinaciones realizadas a cada tratamiento fueron las siguientes:

- a. Producción de biomasa aérea, en los siguientes estadios reproductivos: R3, R5 y R7.
- b. Rendimiento en grano en ambos sistemas.
- c. Cobertura del entresurco como consecuencia del canopeo del cultivo,
- d. Resistencia a la penetración,
- e. Humedad gravimétrica,
- f. Velocidad de infiltración,
- g. Cobertura de residuos,
- h. Densidad de plantas por metro lineal,
- i. Disponibilidad de nutrientes hasta los 40 cm (N-NO₃, P y M.O).

Se evaluó la **producción de materia seca** en diferentes estadios fenológicos (R3, R5 y R7) y el **rendimiento final en peso de grano**, el cuál fue llevado a cabo obteniendo 5 submuestras de cada una de las repeticiones y a su vez de los diferentes tipos de labranzas. Cada submuestra disponía de una superficie de 1 m² para luego llevarlo a unidad de peso por hectárea.

La cosecha se realizó en un primer momento, en forma manual, cuando el cultivo estaba en Madurez Fisiológica (R8), obteniendo el número de plantas por metro cuadrado cosechado, número de chauchas por plantas, número de granos por chaucha, peso de los granos por metro cuadrado y el peso de 1000 granos de cada uno de los bloques. Luego, se realizó la cosecha de la totalidad de la parcela en forma mecánica, con una cosechadora John Deere 9750 CTS (Mod. 2003), tal como fue descripta anteriormente. Para la misma, se tuvo en cuenta el efecto bordura, dejando un metro a ambos lados de cada una de las parcelas, realizando las respectivas pesadas con balanzas incorporadas a los autodescargables.

El porcentaje de cobertura de suelo, se determinó por el método de la Línea

Transecta (Steiner *et al.*, 1994), que consiste en dos hilos de 5 m de largo cada uno, marcados cada 10 cm, los cuales se colocan en los puntos de muestreo formando un ángulo de 45 grados con respecto a la dirección de los surcos. Cuantificando la cantidad de marcas de los hilos que tocan residuos, se obtiene directamente el porcentaje de cobertura del suelo para cada tratamiento.

El estudio de la evolución de la cobertura del entresurco por el canopeo del cultivo, se determinó a través de la medición directa del espacio sin cobertura utilizando una regla¹. Se extrajeron tres muestras de suelo mediante el método el barreno para la determinación de la humedad gravimétrica hasta un metro de profundidad (hasta la napa freática en el primer muestreo). Los intervalos de profundidad fueron cada 10 cm de profundidad hasta los 60 cm, y luego cada 20 cm de profundidad hasta los 220 cm (en la cuál se llegó a la profundidad de napa).

La resistencia del suelo a la penetración fue medida mediante un penetrógrafo digital (Modelo Eijkelkamp), (**Fotografía N° 4**), y se realizaron mapas de resistencia con 10 mediciones a 10 cm de distancia, en línea recta generando una grilla de datos, las cuales fueron procesadas mediante el software SURFER 8 (Golen Software, 1995) para cada tratamiento, realizando de esta manera un mapa de isolíneas de resistencia mecánica (**RM**).



Fotografía N° 4: Medición de RM con penetrógrafo digital el día 27/12/05, cultivo de soja.

Como síntesis del estado estructural, se calculó un índice de Anisotropismo del perfil (**IA**), que procura valorar numéricamente la homogeneidad físico-mecánica del suelo en los horizontes modificados por la labranza o perfil cultural, que en definitiva se

¹ Comunicación personal del área de Cultivos Oleaginosos de la FAV.

encuentran las mayores diferencias en RP. El **IA** tiene la siguiente expresión matemática (Cisneros *et al.*, 1998).

$$\mathbf{IA} \text{ (Mpa)} = 0.7 * \left[\sum \frac{\mathbf{RP}_i * \mathbf{Prof}_i}{\mathbf{Prof}_{\text{total}}} \right] + 0.3 (\mathbf{RP}_{\text{max}} - \mathbf{RP}_{\text{min}})$$

Donde:

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

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

Prof_i = espesor de la medición (5 cm)

Prof_{total} = profundidad analizada (20 cm)

RP máx = Valor máximo de RP en la profundidad bajo estudio (20 cm)

RP mín = Valor mínimo de RP en la profundidad bajo estudio (20 cm)

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

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

Las mediciones de infiltración se realizaron con doble anillo (Black, 1965) con 3 repeticiones por tratamiento, se determinó la lamina infiltrada, velocidad de infiltración y la tasa de infiltración básica.

Se determinó el valor de curva número (**CN**) para cada situación mediante un programa denominado NUMCUR (Villacorta *et al.*, 2006), a los fines de valorar el efecto de las labores sobre el potencial de escurrimiento de los suelos.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VI. 1) VARIABLES DE SUELO:

VI. 1.1) Resistencia a la penetración:

Los resultados obtenidos muestran una mayor resistencia a la penetración en los primeros 20 cm para el tratamiento **SD**, arrojando valores máximos de 1.17 Mpa, mientras que en el tratamiento con subsolado **SD C/S** el valor máximo se da a los 13 cm con 0.86 Mpa (**Figura N° 2**) para condiciones de humedad similares en ambos sistemas de labranza.

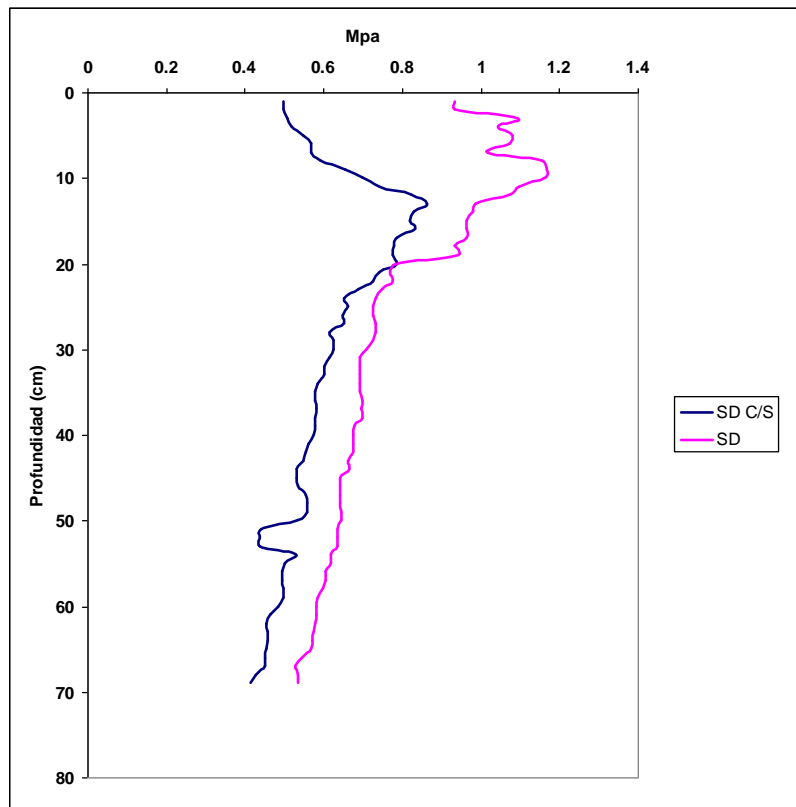


Figura N° 2: Perfil de resistencia mecánica de un suelo Hapludol típico del Departamento General López para dos sistemas de labranza.

Luego a partir de los 25 cm el perfil de **RM** se torna homogéneo para los dos sistemas de labranzas, arrojando valores que oscilan entre los 0.55 y 0.75 Mpa para ambos.

A pesar de la diferencia manifiesta de la **SD** en los primeros 20 cm por una mayor resistencia a la penetración, cabe destacar que estos valores no serían un

impedimento para el desarrollo radical, ya que el suelo al momento de la evaluación estaba muy cercano a capacidad de campo hasta la profundidad evaluada por el penetrometro (**Figura 5**). Tal como lo expresan (Camp y Gill, 1969; Williams y Shaykewich, 1970; Larson *et al.*, 1980; Ayers y Bowen, 1987) la humedad del suelo afecta a los tres factores del suelo que determinan la **RP**: cohesividad, ángulo de fricción interna y compresibilidad. Como resultado de todos estos efectos, los valores mínimos de **RP** ocurren cuando el suelo tiene los máximos contenidos de humedad. A medida que el suelo se seca, la **RP** aumenta exponencialmente hasta alcanzar un valor máximo que ocurre en niveles de humedad del orden de 1 a 3 % en peso. La relación entre **RP** y contenido de agua es afectada por el estado estructural del suelo, y constituye una herramienta potencialmente muy buena para el diagnóstico de la condición física de un suelo (Martino, 1998).

Gerard *et al.* (1982) determinaron que el valor crítico de **RP** decrecía a medida que el contenido de arcilla del suelo aumentaba, mientras que lo opuesto fue reportado por Vepraskas y Waggoner (1989). Ello sugiere que la relación entre contenido de arcilla y **RP** crítica no es causal, y que algún otro factor asociado al contenido de arcilla, como por ejemplo la distribución de tamaño de poros, es la variable fundamental que determina las variaciones en la **RP** crítica. Si el suelo presenta un sistema continuado de poros de gran tamaño, el crecimiento ocurre aun si la **RP** es alta. Esta podría ser la razón por la cual los valores críticos de **RP** parecen ser mayores cerca de la superficie que en horizontes inferiores del suelo (Gerard *et al.*, 1982; Grimes *et al.*, 1975; Vepraskas y Waggoner, 1989).

Kruger *et al.* (2000) manifestó que en general los valores de impedancia mecánica observados en **SD** fueron elevados en la capa superficial, e intermedios entre Labranza Convencional (**LC**) y Labranza Vertical (**LV**) en los 10-15cm de profundidad, en suelos Argiudoles típicos de la provincia de Buenos Aires. Aunque sólo en algunos casos superaron los considerados limitantes para el crecimiento radical.

También, podemos apreciar como el efecto del subsolado tuvo efecto sobre el endurecimiento sub-superficial manifiesto entre los 5 y 15 cm, lográndose una disminución de la resistencia de 0.4 Mpa a esta profundidad, pasando de valores cercanos a 1.2 Mpa en **SD**, a valores que oscilan entre 0.7 y 0.8 Mpa en **SD C/S**. Braim *et al.* (1984) determinaron que el subsolado fue tan efectivo como el arado de rejas en reducir la **RP** hasta 35 cm de profundidad. Inmediatamente, luego de pasado el subsolado, la **RP** fue de 0.3 MPa comparado con 1.2 MPa para el suelo indisturbado. Siete meses más tarde, ambos tratamientos tenían una **RP** de 0.6 y 1.1 MPa, respectivamente.

Los valores obtenidos de resistencia a la penetración tanto en sistema de **SD**, como para el de **SD C/S**, se presentarían como no limitantes para el crecimiento de las

raíces de acuerdo con lo expresado por Threadgill (1982), quién relacionó la resistencia a la penetración de un suelo con la capacidad de las raíces para colonizarlo. Indicó que valores de índice de cono de 1.5 MPa pueden reducir el crecimiento de las raíces, mientras que valores superiores a 2.1 Mpa lo limitarían. La máxima presión que las raíces pueden ejercer es entre 0.7 y 1.3 MPa en la dirección axial, y entre 0.4 y 0.6 MPa en la dirección radial (Gill y Bolt 1955; Misra *et al.*, 1986). Por consiguiente, si la resistencia del medio supera dichos límites, sería de esperar que no hubiera crecimiento. Sin embargo, el proceso es en la realidad mucho más complejo debido a la naturaleza porosa y a la heterogeneidad de los suelos.

El índice anisotrópico, se utilizó para sintetizar la información de resistencia a la penetración en los horizontes afectados por la labranza, siendo el valor del Índice de Anisotropismo para **SD** de 0.79, mientras que el de **SD C/S** fue de 0.65. Estos resultados indican que las diferencias no son significativas entre horizontes.

En el mapa de isolíneas de **RM** del perfil (**Figura 3**) se indican las diferencias de resistencia notable entre ambos tratamientos. En el sistema de **SD**, se observa una mayor resistencia en todo el perfil, siendo más significativa en los primeros 20 cm. Esta diferencia de resistencia en los primeros 20 cm, podría ser una restricción para el desarrollo radical si las condiciones de humedad del suelo son bajas, teniendo menor exploración que en el sistema de **SD C/S**, tal como se manifestó en este caso, notándose una diferencia visual del desarrollo radical a favor del sistema de **SD C/S** (**fotografías 5 y 6**). También se diferenció una mayor nodulación para el sistema de **SD C/S**, aunque sin registros estadísticos de tales resultados.

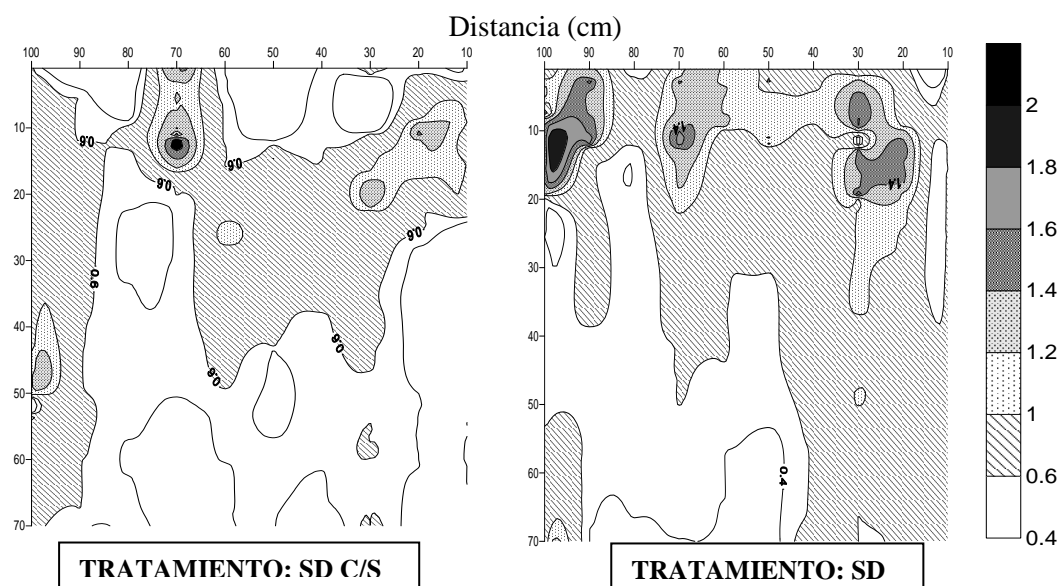


Figura N° 3: Mapas de isoresistencia mecánica de dos sistemas de labranza, en cultivo de soja.

Cazorla (2005), manifiesta que los valores de **RP** siempre son mayores para **SD**, pero no alcanzan valores medios superiores al límite crítico (2 Mpa) para el desarrollo de

raíces. Si bien, el valor medio no es considerado como crítico, aparecen valores individuales que superan este límite, por lo que un mapa de isoresistencias puede ser más adecuado para comparar el efecto de los distintos tratamientos. No obstante para Hapludoles típicos del área central de Córdoba, Bonadeo (1997); Cisneros *et al.* (1997) y Cholaky (2003) encontraron valores de **RP** muy superiores a 2 Mpa, aun en sistemas de siembra directa.



Fotografía N° 5: Sistema radical en ambas situaciones de labranza. Cultivo en estado vegetativo.



Fotografía N° 6: Plantas en estado fenológico R1, para ambas situaciones de labranza.
Línea definiendo nivel de la superficie terrestre.

VI. 1.2) Infiltración:

Tanto la lámina como la velocidad de infiltración fueron variables muy sensibles a los efectos del subsolado. En la **Figura N° 4**, se puede apreciar como en el sistema de **SD C/S** la velocidad de infiltración es superior durante la totalidad del tiempo transcurrido, marcando la mayor diferencia en los primeros minutos, registrándose valores de 340 mm h⁻¹ para la velocidad inicial para **SD C/S**, mientras que para **SD**, estos valores no superaron los 70 mm h⁻¹, disminuyendo la velocidad de infiltración en relación al tiempo de manera gradual. Así, la velocidad de infiltración a los 60 min, es de 30 mm h⁻¹ para el sistema de **SD**, mientras que para el de **SD C/S** es de 118 mm h⁻¹. Las tasas finales de infiltración fueron de 22.7 mm h⁻¹ en **SD** y 68.7 mm h⁻¹ para **SD C/S**, diferencias que resultaron altamente significativas.

Pikul *et al.* (1990) evaluaron similares tratamientos en un suelo franco limoso, y las tasas finales de infiltración fueron 23.5, 22.8 y 9.3 mm h⁻¹ para subsolado profundo, arado de cincel y cero laboreo, respectivamente. Clark *et al.* (1993) evaluaron la influencia de la frecuencia de pasadas de un subsolador sobre las propiedades físicas de un suelo pesado erosionado, y encontraron que las tasas de infiltración estabilizadas fueron 86, 42 y 14 mm h⁻¹ para el Subsolado pasado uno, dos y tres años antes, respectivamente.

Faita (2007), encontró que en suelos Argiudoles típicos de la pampa ondulada que la velocidad de infiltración para **SD** y **SD C/S** correspondían a la clase de infiltración "moderadamente rápida" con valores de 48 y 120 mm h⁻¹ respectivamente.

Esta diferencia en la velocidad de infiltración, traería aparejada una serie de consecuencias, ya que cuando la intensidad de las precipitaciones supera la velocidad de infiltración del suelo, el agua que no logra infiltrar, escurre hacia los lugares más bajos del terreno, produciendo anegamientos temporarios, además de posibles pérdidas de suelo.

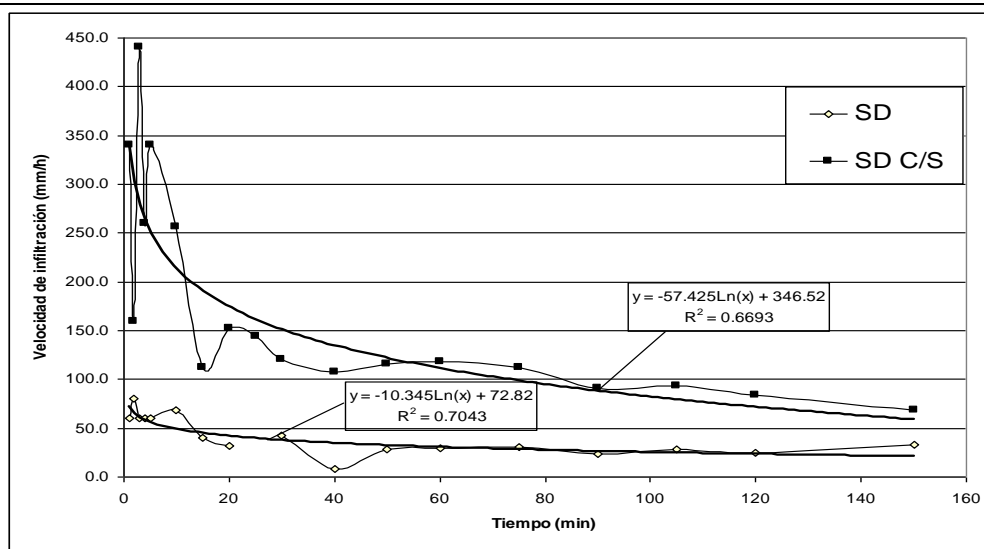


Figura N° 4: Velocidad de infiltración (mm h^{-1}) para dos sistemas de labranza en un suelo Hapludol típico del departamento General López.

Este incremento en la capacidad de infiltración de agua para **SD C/S**, también fue mostrado por Hipps y Hodgson (1988), quienes afirman que muchas de las rajaduras formadas en el perfil del suelo después del subsolado, se continúan hasta la superficie. El incremento en la macroporosidad y la continuidad del sistema poroso serían las principales causas del aumento en la capacidad de infiltración.

Esta diferencia de velocidad de infiltración, el sistema de **SD C/S** cuando las precipitaciones son de alta intensidad, presenta ventajas en la cantidad de agua infiltrada y por ende almacenada, que se refleja en mayor disponibilidad de agua para el cultivo, en años en donde las precipitaciones son escasas.

Analizando estos resultados con los datos climáticos del ciclo del cultivo, podemos citar que la mayor precipitación se dio el 28/11/2005, con 85 mm y que el resto de las precipitaciones no superaron los 40 mm, de un total de 505 mm a lo largo del ciclo del cultivo, pudiendo deducir que fueron lluvias suaves, bien distribuidas, las cuales infiltraron en ambas situaciones, no siendo ésta una limitante para el cultivo en este año en particular.

La **Figura N° 5**, refleja la infiltración acumulada en ambos sistemas de labranzas, siendo muy significativa la diferencia en mm acumulados a favor de la **SD C/S**, registrando valores de 277.3 mm a lo largo de 150 minutos, mientras que en **SD**, se registraron valores de 82.3 mm. Esta diferencia a favor de la **SD C/S** en infiltración acumulada, juega un papel muy importante en años en los cuales las precipitaciones son de alta intensidad y baja frecuencia, ya que permite una mayor cantidad de agua infiltrada, por ende, mayor disponibilidad de agua para el cultivo.

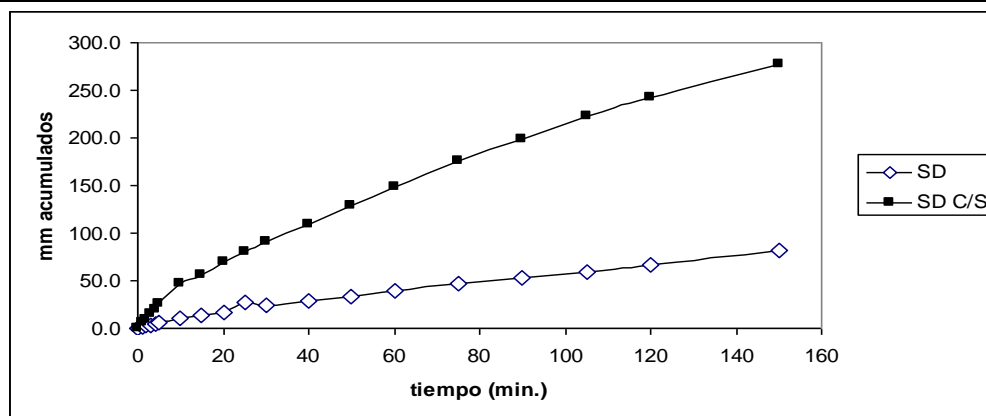


Figura N° 5: Infiltración acumulada para un suelo Hapludol típico del departamento General López realizada por el método del doble anillo, para dos sistemas de labranzas.

Esta menor capacidad de transmitir agua en el perfil, también juega un rol importante en lo que respecta a escorrentía superficial, ya que cuando la lluvia supera la capacidad de infiltrar agua en el perfil, el excedente escurre por la superficie acumulándose en las depresiones del terreno y en los sectores más bajos del lote, comprometiendo de esta manera al cultivo en estos sectores del lote, ya sea por provocar inundaciones por periodos prolongados, anoxia, falta de piso, etc., problemas muy comunes de encontrar en la zona, o en zonas con suelos de similares características.

A través del programa NUMCUR 10 IE, se determinó la curva número (CN) para ambas situaciones, según la metodología del SCS (1968). En el caso de **SD** se determinó un valor de CN=78, correspondiendo a un suelo de grupo hidrológico B; mientras que en **SD C/S**, el valor de CN fue de 67, con un suelo de grupo hidrológico A. Números de curva altos implican escorrentías elevadas (= infiltraciones bajas). En cambio, números de curva bajos aseguran altas tasas de infiltración, baja escorrentía superficial y escasa erosión hídrica.

VI. 1.3) Cobertura:

La labor de subsolado produjo una reducción del 36 % en la cobertura de residuos del suelo, y de un 9 % considerando la cobertura total, incluyendo la generada por el mayor crecimiento de malezas. Estos valores son similares a los reportados en la bibliografía para este tipo de subsoladores planos (Sprague y Triplett, 1986). En el **Cuadro N° 1** se detalla el grado de cobertura correspondiente a malezas, residuos de cosecha y suelo desnudo, para ambos sistemas. Los resultados arrojan una disminución del residuo, posiblemente dado por la labor de la cuchilla, y un incremento del

crecimiento de malezas en esta zona posiblemente por el movimiento del banco de semilla. Los resultados arrojan diferencias significativas en el incremento del porcentaje de cobertura por malezas en el caso de **SD C/S** y en el porcentaje de residuos para **SD**.

Cuadro N° 1: Cobertura del suelo durante el desarrollo de un cultivo de soja, en estado de R1 para dos sistemas de labranzas.

Cobertura	SD	SD C/S
Suelo desnudo	17 (a)	26 (a)
Residuo	77 (a)	49 (b)
Maleza	6 (b)	25 (a)

El porcentaje de cobertura de residuo, tiene influencia en el encostramiento superficial y la escorrentía. La cobertura del suelo absorbe la energía cinética de la lluvia, evitando su golpeteo directo sobre el suelo. Manning y Fenster (1977) muestran que la erosión se reduce exponencialmente con la cobertura del suelo por residuos vegetales, obteniéndose la máxima reducción entre 0 y 30% de la superficie cubierta y poco efecto con más cobertura, lo que llevó a la definición de "Laboreo Conservacionista" para cualquier sistema de preparación del suelo que deje 30% o más de la superficie cubierta a la siembra (Allmaras *et al.*, 1991).

Kohnke y Bertrand (1959) admitieron que la cobertura de 2/3 o 3/4 de la superficie del suelo sería suficiente para protegerlo del impacto de la lluvia y, prácticamente, eliminar el transporte de suelo por salpicadura. Esta cobertura correspondería a aproximadamente 5 toneladas de residuo por hectárea.

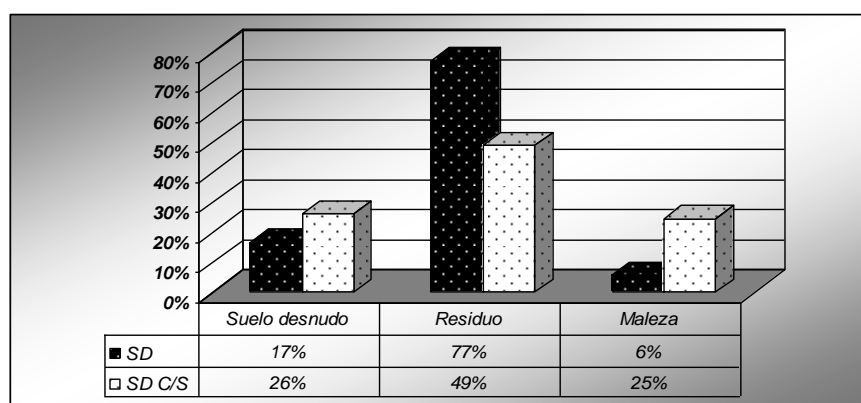


Figura N° 6: Porcentaje de cobertura (suelo desnudo, residuo y maleza) para dos sistemas de labranzas, en el departamento General López (Sur de Santa Fé).

Trabajos de investigación realizados en Brasil (Roth, 1985) también muestran, que el porcentaje de cobertura del suelo con residuos vegetales es el factor más importante que influye sobre la infiltración de agua en el suelo. La infiltración fue prácticamente total cuando el suelo estaba 100% cubierto con residuos vegetales, se

verificó un escurrimiento superficial de 75 a 80% del agua, de una lluvia de 60 mm h⁻¹ en caso de suelo descubierto.

El encostramiento superficial es parcialmente el resultado de la energía de la lluvia golpeando la superficie del suelo, por lo que la intercepción de la lluvia por los residuos retarda la formación de una costra. Cuanto más anclados se encuentren los residuos, mayor será su efecto. Porque existen conductos a través de los que el agua puede entrar más rápido al suelo; los residuos en la superficie ofrecen resistencia al escurrimiento superficial, dando más oportunidad a la infiltración; este efecto es más seguro si los residuos están anclados, ya que no pueden ser arrastrados si el escurrimiento tiene mucha energía. Así mismo, el efecto antes mencionado es mayor cuanto mayor sea la masa de residuos sobre la superficie. Los residuos de las raíces y los de la parte aérea que parcialmente puedan incorporarse al suelo, son sustrato para micro y meso organismos que al transformarlos producen agregados estructurales estables y espacios o poros en el suelo, lo que mejora las posibilidades de infiltración.

Para este caso, ambos sistemas de labranza dejan una cobertura superior al 30 %, con 74 y 83 % para **SD C/S** y **SD**, respectivamente.

VI. 1. 4) Agua Útil:

La capacidad total de almacenaje de agua útil del perfil, es para ambos sistemas de labranzas de 303.8 mm. La lámina de agua útil hasta los 220 cm de profundidad, para el sistema de **SD** fue de 284.2 mm, mientras que para el sistema de **SD C/S** de 247 mm.

El estado de humedad en el cual se encontraba el suelo al momento de aplicar el implemento era friable.

La **Figura N° 7**, refleja el contenido de humedad del suelo hasta los 2.20 cm de profundidad, nivel al cuál se encontraba el nivel freático el día 27/12/2005. La Humedad Actual de un suelo, es la que se encuentra entre la (**CC**) y el (**PMP**), en este caso, se puede observar claramente la influencia del nivel freático en el contenido de humedad del suelo, debido al frente capilar que en este caso es de aproximadamente 120 cm. Al tener un frente capilar a los 80 cm de profundidad, el cultivo una vez que desarrolla sus raíces y alcanza esta profundidad, el agua para su desarrollo, puede dejar de ser una limitante (Videla 2006; Baigorri y Martín, 2003).

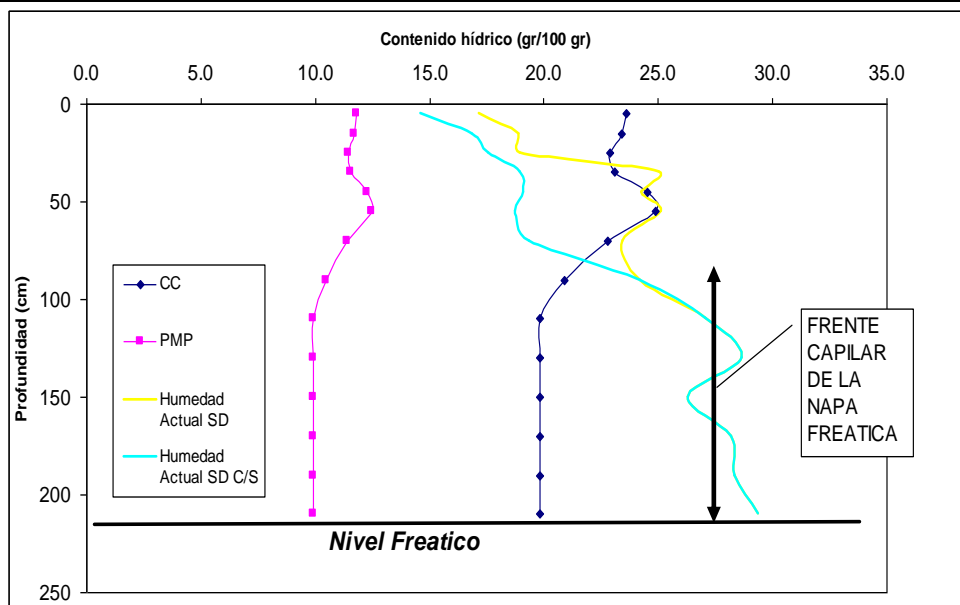


Figura N° 7: Humedad Actual para un suelo Hapludol típico del departamento General López.

En este sentido, Videla (2006) estudio el efecto de la napa freática sobre la producción de soja y encontró que el aporte de la napa cubría entre 20 y 40 % del consumo de agua del cultivo, para profundidades de napa del orden de 2 m.

Se puede apreciar una diferencia hasta alcanzar los 80 cm de profundidad en el caso de **SD C/S** en donde el perfil hasta esa profundidad se encuentra con menor contenido de humedad. Esta diferencia de 40 mm podrá ser ocasionada por un mayor desarrollo de biomasa aérea a favor de la **SD C/S** que presentó el cultivo al momento del muestreo, lo cual genera una mayor evapotranspiración, junto con el mayor porcentaje de malezas presentes, y a su vez una mayor evaporación debido a que el menor porcentaje de cobertura total, favorece al incremento de la cantidad de energía de radiación que alcanza la superficie (**Fotografía N° 7**).

La reducción de la evaporación en los sistemas de **SD**, se debe a que los residuos en superficie aumentan el albedo, reduciendo la radiación neta por reflejar una importante parte de la radiación incidente. A su vez, la capa de residuos (mulch) tiene baja conductividades térmica e hídrica, porque una alta parte de su volumen es aire. La menor radiación neta con **SD** se destina a evaporar el agua que tengan los residuos en superficie y a calentar dichos residuos y el aire en contacto. El movimiento del agua del suelo a través del mulch, para llegar a su superficie y desde allí evaporarse es mas baja por la menor conductividad hidráulica del mulch.

Si bien el subsolado preserva los residuos vegetales sobre la superficie del suelo, cierto grado de destrucción de los mismos es inevitable. Erbach *et al.* (1984) determinaron que el área cubierta por residuos fue de 83 % para **SD**, comparado con 75 % para siembra directa con subsolado. Esta disminución en la cubierta de residuos

también incrementaría la cantidad de energía de radiación que alcanza a la superficie del suelo y por consiguiente, la probabilidad de pérdida de agua por evaporación.

Martino (2003), expresa que los cambios en la porosidad causados por el subsolado, influyen sobre la dinámica de agua del suelo en varias formas opuestas. En primer lugar, los efectos positivos sobre la tasa de infiltración, discutidos en la sección anterior afectan la cantidad de agua que entra al suelo. En segundo término, la actividad de las raíces es mejorada, promoviendo un incremento en el uso de agua por los cultivos, siempre y cuando la disponibilidad de agua lo permita. Finalmente, la mayor porosidad favorece la disipación de energía como calor latente a través de la evaporación de agua, lo que a su vez afecta el régimen térmico del suelo.

Algunos autores (Braum *et al.*, 1984; Hipps y Hodgson, 1988) han encontrado que el subsolado fue efectivo en reducir la incidencia de excesos de agua en climas húmedos. Otros (McConkey *et al.*, 1997) han resaltado las ventajas del subsolado para capturar humedad en ambientes secos. Pikul *et al.* (1990) determinaron que un suelo con subsolado poseía mayor capacidad para almacenar agua durante el invierno que el mismo suelo indisturbado. Ellos también notaron que durante períodos de vientos secos y cálidos, la evaporación de agua desde el suelo también fue más alta para subsolado.

No obstante estas diferencias de humedad no incidieron significativamente sobre los resultados productivos finales, como se discute más adelante.

VI. 1. 5) Nutrientes:

Las labranzas afectan el contenido de nitrógeno del suelo ya que actúan de distintas formas sobre los procesos físicos, químicos y biológicos relacionados a la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (humificación, mineralización, inmovilización).

Los datos obtenidos mediante análisis de suelo, muestran que las diferencias en cuanto a la variabilidad de pH del suelo no son significativas, notándose una pequeña diferencia en los primeros 20 cm de profundidad, arrojando valores superiores para **SD C/S**, mientras que de los 20 a los 40 cm, ocurre lo contrario. El pH del suelo para ambas situaciones es levemente ácido, notándose en **SD C/S** mayor uniformidad en todo el perfil; mientras que el **SD**, el pH se incrementa con la profundidad, posiblemente por la mayor concentración de residuos en la superficie del suelo (Tisdale *et al.*, 1993).

Los valores de N-NO₃ (ppm) marcan una diferencia en **SD C/S**, registrándose valores superiores en todos los muestreos hasta los 40 cm de profundidad, siendo tal diferencia de 3 ppm para 0 – 10 cm, de 1.3 ppm de 10 – 20 cm, 2.5 ppm de 20 – 30 y de 3.6 ppm de 30 – 40 cm, siendo la diferencia total en los 40 cm. de 10.4 ppm de N-NO₃ a favor de la labor de subsolado.

Esta diferencia registrada, se debería a que la labor de subsolado, incorpora un 28% del residuo de cosecha, tal como se vio en el punto 1.3 (cobertura), el cual conjuntamente con un incremento de la temperatura y la aireación, favorecerían al proceso de mineralización de la M.O. (Álvarez *et al.*, 2006).

La disponibilidad de nutrientes para las plantas también se ha demostrado que es aumentada por la acción del subsolado. Braim *et al.* (1984) detectaron una mayor absorción de N por plantas de cebada en parcelas subsoladas que en las no disturbadas. Este efecto fue también comprobado por Hippias y Hodgson (1988), y puede haber estado asociado con el hecho de que, como ya fue indicado previamente, el subsolado mejora la aireación del suelo y la infiltración de agua en el mismo, promoviendo eventualmente una mayor mineralización de la materia orgánica.

Kruger *et al.* (2000), mostraron que el sistema de **SD** tuvo menor nivel de N que en los tratamientos con labranza. Esta menor disponibilidad de N es uno de los factores relacionados con la baja producción inicial de biomasa en relación con sistemas con labranza. En forma general, el contenido de N inorgánico respondió a la disponibilidad de agua, la fertilidad nativa del suelo, y al sistema de labranza en ese orden. Otros estudios han mostrado menor provisión de N al cultivo durante los primeros años de **SD** (Bergh *et al.* 1996; Falotico *et al.* 1999). Se mencionan como principales causas la reducción en la mineralización, y mayores tasas de inmovilización, desnitrificación y lavado.

En cuanto al **P**, los valores registrados, son mayores en **SD** hasta los 30 cm de profundidad y menores de 30 a 40 cm. Los valores registrados para 0 – 10 cm son de 2.9 ppm, 2.4 ppm de 10 – 20 cm, 2.8 ppm de 20 – 30 cm más en **SD** que en **SD C/S** y siendo de 3.4 ppm más de los 30 – 40 cm en la labor de **SD C /S**. La diferencia total en el perfil analizado fue de 4.7 ppm de **P** a favor de **SD** con respecto a **SD C/S**. Los resultados muestran una cierta estratificación del **P** en el sistema de **SD**, como ya fue reportado por numerosos autores (Figura N° 8).

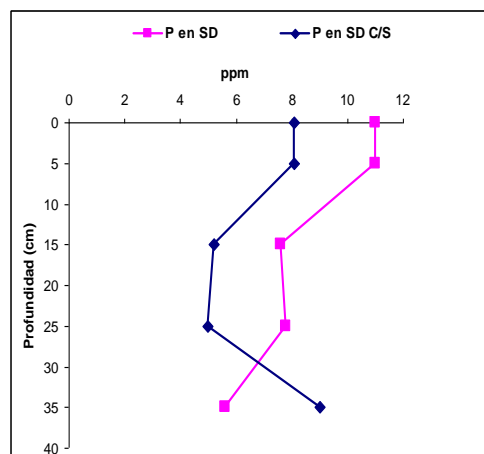


Figura N° 8: Disponibilidad de P en dos sistemas de labranza en un suelo Hapludol típico en el departamento General López.

La eliminación de la labranza mecánica y la disposición de los residuos orgánicos en la superficie del suelo en los sistemas de labranza cero producen cambios drásticos en la dinámica de los nutrientes en el suelo (Hedley *et al.*, 1982). Además, debido a la intensa interacción entre los aniones fosfáticos y la matriz del suelo, la movilidad del fósforo (P) en el suelo es controlada por procesos de difusión y su movimiento es limitado a un desplazamiento de sólo unos pocos milímetros por año (Barber, 1962), lo que conduce a un aumento en la concentración de este elemento cerca de la superficie del suelo, seguido por concentraciones más bajas en los estratos más profundos como resultado de la ausencia de inversión y laboreo del suelo (Triplett y Van Doren, 1969; Robbins y Voss, 1991; Grant y Bailey, 1994; Rehm *et al.*, 1995; Selles *et al.*, 1997).

Cuadro N° 2: Análisis de para dos sistemas de labranzas.

	Profundidad (cm)	SD	SD C/S
pH	00-10	5.72	5.81
	10-20	5.70	5.74
	20-30	5.95	5.88
	30-40	6.08	5.98
N-NO3 (ppm)	00-10	13.8	16.8
	10-20	12.9	14.2
	20-30	10.4	12.9
	30-40	6.2	9.8
P (ppm)	00-10	11.0	8.1
	10-20	7.6	5.2
	20-30	7.8	5.0
	30-40	5.6	9.0
M.O	00-10	2.81	2.92
	10-20	2.57	2.55
	20-30	2.77	2.87
	30-40	2.17	2.14

Esta estratificación del fósforo en sistemas de labranza cero se origina en la naturaleza inmóvil del P en el suelo (Barber, 1962; Selles, 1993), en un ambiente donde se ha eliminado el laboreo mecánico y que refleja la acumulación de productos de reacción del P aplicado como fertilizante (Grant y Bailey, 1994; Rehm *et al.*, 1995) y la acumulación de residuos orgánicos en la superficie del suelo (Dick, 1983; Selles *et al.*, 1997; 1999). Esta estratificación del P ha producido una cierta preocupación con

respecto de la nutrición fosfatada de las plantas en sistemas de labranza cero (Logan *et al.*, 1991; Robbins y Voss, 1991).

En un trabajo conducido en Alberta, Canadá, en suelos solonchicos (Natracuoles) se indicó que aún cuando la adopción de siembra directa produjo un aumento en la resistencia a la penetración y en la cantidad de agua almacenada en el suelo, no hubo efecto alguno en la distribución y concentración de nitrógeno amoniacal, nitratos, P extraíble, K disponible y sulfatos (Malhi *et al.*, 1992).

En un estudio similar en Manitoba comparando labranza cero con labranza convencional, en un suelo franco arenoso y en un suelo arcillo limoso, Grant y Bailey (1994) concluyeron que después de 4 años, el sistema de labranza cero no había tenido efecto en el perfil de P disponible en los dos suelos, y atribuyeron las pocas diferencias observadas entre los dos sistemas de labranza a diferencias en los rendimientos de los cultivos.

Con respecto al porcentaje de M.O obtenida en ambas situaciones, no se registraron diferencias significativas, dado que el tiempo transcurrido entre el laboreo y el momento de muestreo, no fue lo suficientemente prolongado como para que se desenlacen procesos que determinen un incremento o disminución de la misma.

En resumen, los resultados mostrarían una mayor disponibilidad de N para la labor con subsolado, debida probablemente a una mayor mineralización, y una estratificación del P en ambos sistemas e inversamente mayor disponibilidad para el tratamiento con **SD**.

La dinámica de la condición química de estos suelos exige mayor nivel de análisis de estas variables, que excedieron los alcances de este trabajo.

VI. 2) VARIABLES DEL CULTIVO:

VI. 2. 1) Biomasa:

Los resultados indican una mayor acumulación de Materia Seca (MS) en el tratamiento con subsolado, para todas las fechas de muestreo, aunque tales diferencias no fueron estadísticamente significativas (**Figuras 9 y 10**).

La acumulación de materia seca en el cultivo tiene una forma sigmoide, o sea, de una S estirada. Al principio del ciclo es lenta y se hace máxima generalmente a partir del comienzo de la floración, durante el establecimiento de los frutos y primera parte del llenado de los granos. La tasa de crecimiento del cultivo promedio diaria fue de 84.7 y 89.4 kg de MS ha⁻¹día⁻¹, para **SD** y **SD C/S**, respectivamente. Estos valores están dentro de los parámetros reportados por Baigorri *et al.* (2003).

Con el programa **SWBMODEL 1.3** (Marcos y Campbell, 2002), se simuló la situación acontecida, con datos climáticos, condiciones de cobertura, curva número y características de los diferentes horizontes del suelo. Los resultados obtenidos en materia seca total, son muy similares a los datos obtenidos a campo, mostrando un crecimiento más exponencial que en los casos de **SD** y **SD C/S**.

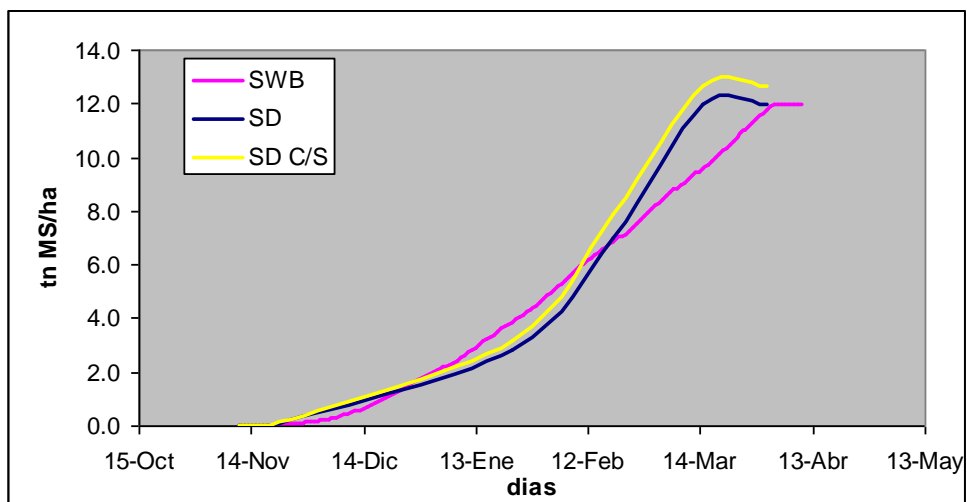


Figura N° 9: Dinámica de Biomasa aérea durante el ciclo del cultivo de soja, para dos sistemas de labranzas y biomasa simulada por el software SWBMODEL 1.3 (SWB).

En la provincia de Buenos Aires, en ensayos realizados del año 1997 al 2000 en el cultivo de trigo, los valores de biomasa al macollaje, en 1997 y 1998 fueron menores en **SD** que en los tratamientos con labranza. La menor biomasa al macollaje en **SD** provocaría una reducción en el consumo de agua pre-antesís. En años con sequía

primaveral esto puede conducir a una mayor provisión relativa de agua en estadios posteriores y justificar mayores rendimientos bajo este sistema de labranza.

Condiciones favorables de temperatura, radiación solar, disponibilidad de agua y de nutrientes y buen estado estructural del suelo, contribuyen a una mayor tasa de crecimiento de cultivo (**TCC**). Éste es el índice más significativo para caracterizar el crecimiento de canopeo e indica la acumulación de materia seca por unidad de superficie de suelo por unidad de tiempo (Baigorri *et al.*, 2003).

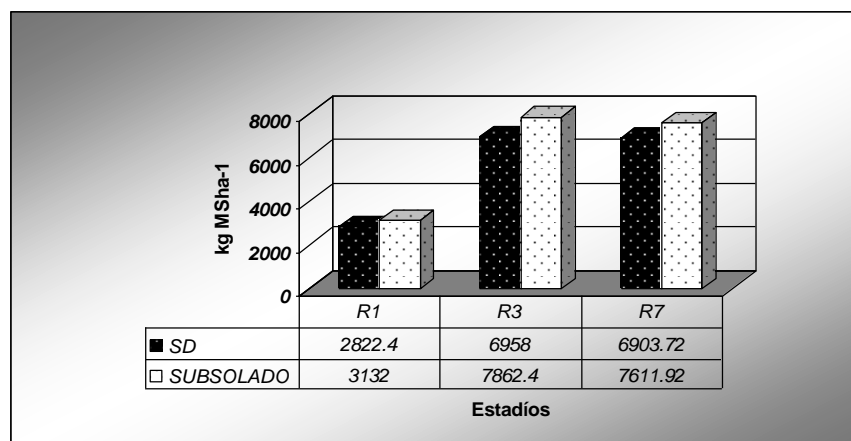


Figura N° 10: Biomasa aérea de hoja y tallo del cultivo de soja para dos sistemas de labranza.

La resistencia a la penetración, asociada con la reducción en el suministro de **N**, también es mencionada como un factor del menor crecimiento inicial en **SD** (Ferrerías *et al.*, 1996 Falotico *et al.* 1999).

VI. 2. 2) Cobertura de Canopeo:

Otro dato registrado, fue el mayor desarrollo del canopeo del cultivo en los primeros estadios haciéndose notorio en **R1** el cuál fue medido con una regla interceptando la distancia en cm. entre surco y surco. Esto se manifiesta en la **Cuadro 3** pudiéndose apreciar una diferencia de casi 4 cm a favor del **SD C/S** lo que indica que en el laboreo incrementa la velocidad en el desarrollo inicial llegando más rápidamente al Índice de Área Foliar (**IAF**) crítico.

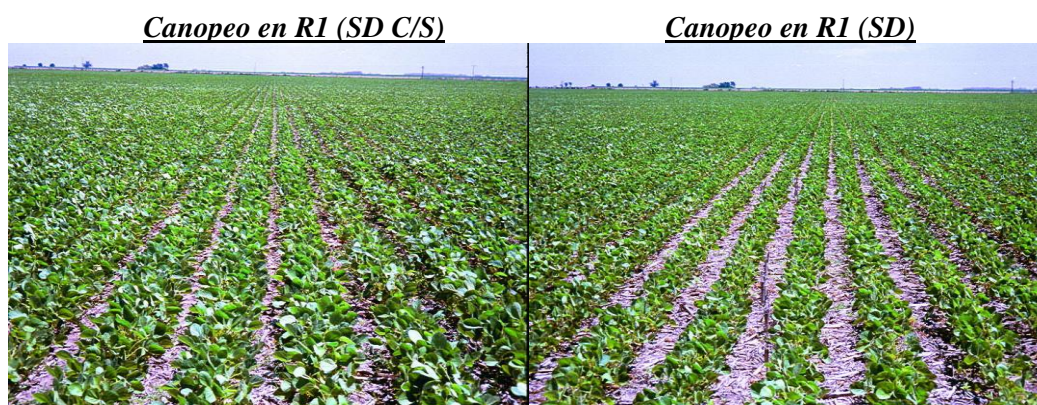
El **IAF** crítico de la soja oscila entre 3.1 y 4.5; dependiendo de la arquitectura de las plantas, densidad de siembra y espaciamento. Valores inferiores al **IAF** crítico determinan una disminución en la eficiencia del uso de la radiación, reduciendo la **TCC** y el rendimiento. En soja, el **IAF** puede alcanzar valores muy superiores al necesario para la máxima interceptación de la luz. El máximo **IAF** generalmente ocurre al comienzo

del llenado de las semillas. Con valores de **IAF** superiores al valor crítico no se obtienen incrementos significativos del rendimiento, debido a que las hojas superiores sombrean a las inferiores en una magnitud tal, que el proceso fotosintético de estas hojas es insuficiente para compensar la respiración de mantenimiento (Baigorri *et al.*, 2003).

Cuadro N° 3: Cobertura de canopeo entre surcos en estado fenológico R1, en cultivo de soja, para dos sistemas de labranza.

Tratamiento	Cobertura de canopeo (%)
SD	62.37 (a)
SD C/S	78.46 (b)

La **Fotografía N° 7**, deja reflejado lo expuesto anteriormente para ambos sistemas de labranzas.



Fotografía N° 7: Cultivo de soja, bajo dos sistemas de laboreo (a la izquierda SD C/S y a al derecha testigo de SD).

Cirilo y Andrade, (1994) manifiestan que la tasa de expansión foliar responde marcadamente a la disponibilidad de recursos: deficiencias de agua y/o nutrientes reducen la tasa de expansión foliar, mientras que la duración no se ve afectada. La temperatura modifica en forma substancial el **IAF** debido a sus efectos sobre la duración del período de diferenciación de hojas, la tasa de aparición y el tamaño de las hojas. Esta diferencia entre ambas labores puede estar correspondida a un mayor desarrollo radicular, el cuál proporciona una mayor toma de nutrientes y agua.

Tardieu (1994) propuso que las respuestas de las plantas a la compactación del suelo estarían gobernadas por múltiples señales físicas y químicas actuando simultáneamente. Dichas señales serían: a) el proceso mecánico de resistencia en oposición a la presión de turgencia de las raíces; b) un mensaje químico, probablemente involucrando al etileno, que causa engrosamiento de las raíces como forma de vencer la resistencia mecánica; c) otro mensaje químico, probablemente involucrando a la

hormona ABA (ácido abscísico), que induce el cierre de estomas en respuesta a la aglomeración de raíces, y que ayuda a conservar agua del suelo, aún cuando los contenidos de humedad son altos (Tardieu *et al.*, 1992); y d) otro mensaje químico, consistente en una acumulación de azúcares en los tejidos de la planta, que causa una reducción en la tasa de fotosíntesis. Estas podrían ser unas de las causas observadas en la diferencia de canopeo entre las variables en estudio.

VI. 2. 3) Componentes de rendimiento:

La densidad de plantas por metro cuadrado, fue mayor en **SD C/S**, aunque esta diferencia de 3 plantas m² no fue significativa estadísticamente (**Cuadro 4**). Estudios realizados por Kruger *et al.* (2000), demostraron que en el cultivo de trigo, en la provincia de Buenos Aires, la densidad en **SD** mostró menor número de plantas en la mayor parte de las campañas estudiadas.

El número de chauchas por planta, se vio favorecida por **SD**, mostrando diferencias significativas con respecto a **SD C/S**. Dado que la soja es un cultivo que tiene la capacidad de compensar (Sartorre *et al.*, 2003), la menor densidad de plantas registrada en **SD**, fue compensado con un mayor número de chauchas por planta. A su vez, mostró un mayor número de granos por chauchas en el sistema de **SD**, siendo los mismos de menor peso que en el sistema de **SD C/S**, dichas variables, no mostraron diferencias estadísticas significativas (**Tabla 4**). Baigorri *et al.*, (2003), establecieron que la soja es un cultivo que tiene la capacidad de compensar (dentro de ciertos límites y dependiendo del momento en que ocurra) reducciones en un componente del rendimiento debidas a factores de estrés, aumentando el componente subsiguiente, una vez desaparecido este.

Cuadro N° 4: Densidad promedio (Plantas m²), número de chauchas planta⁻¹, peso de 1000 granos y número de granos por chaucha de un cultivo de soja para dos sistemas de Labranza.

Tratam.	Densidad Promedio (Pl m ⁻²)	N° de chauchas planta ⁻¹	Peso de 1.000 (gr)	Granos chaucha ⁻¹
SD	34.8 (a)	37.51 (a)	147.73 (a)	2.61 (a)
SD C/S	37.8 (a)	35.36 (b)	159.07 (a)	2.34 (b)

Varios estudios han demostrado que el subsolado es beneficioso para la implantación de cultivos bajo diversas circunstancias. Hipps y Hodgson (1988) reportaron un incremento promedio de 7 % en la densidad de plantas de cebada debido al uso del subsolado profundo, 11 meses previos a la siembra. Ello fue atribuido a un mejor contacto entre semilla y suelo en uno de los casos y a un mejor drenaje del suelo.

Resultados similares fueron obtenidos por Braim *et al.*, (1984). Erbach *et al.*, (1992), quienes trabajaron con cuatro suelos de texturas medias y pobre drenaje en Iowa, reportaron que las plantas de maíz emergieron más rápidamente con la labor de subsolado que con cero laboreo, aunque los stands finales de plantas no fueron afectados. Este efecto fue relacionado con la menor cobertura vegetal del suelo con subsolado, lo cual habría incrementado la temperatura del suelo. Por otra parte, Hipps y Hodgson (1987) no encontraron efectos sobre la emergencia de trigo.

IV. 2. 4) Producción de granos:

El rendimiento en grano promedio en kg ha^{-1} , se expresa en la **Cuadro N° 5**. Se puede apreciar que hay una diferencia en cuanto a la producción de granos en ambos sistemas de procesamiento (cosecha manual y cosecha mecánica), aunque las diferencias no son significativas estadísticamente en ninguno de los métodos de procesamiento.

La operación de subsolado mostró una reducción del 0.8 % evaluada mediante cosecha a mano, mientras que en la cosecha mecánica los resultados mostraron una tendencia inversa, con un incremento para **SD C/S** del 2 % en el rendimiento.

En el **Cuadro N° 5**, también se refleja la diferencia en materia seca total para ambos sistemas de laboreo, manifestando un incremento de 669 kg ha^{-1} en favor de la labor de subsolado. Esta diferencia en la MS total, no se vio reflejada en el rendimiento final del grano, dado que el Índice de Cobertura (**I.C**) fue diferente en ambos sistemas de laboreo siendo de 0.42 y 0.40 para **SD** y **SD C/S** respectivamente. Estos valores de **I.C**, están dentro de los parámetros obtenidos por Andrade y Sadras (2002) y Sartorre *et al.* (2003). El **I.C** es un indicador de la porción de materia seca producida que es particionada hacia los órganos cosechables. El **I.C** es afectado por factores ambientales como la disponibilidad hídrica y el fotoperíodo, los que interactúan con el genotipo (Baigorri *et al.*, 2003).

Cuadro N° 5: Rendimiento en granos, Materia Seca total e Índice de Cosecha del cultivo de soja, para dos sistemas de labranza.

Tratamiento	Promedio cosecha manual (kg ha^{-1})	Promedio cosecha mecánica (kg ha^{-1})	MS TOTAL (kg ha^{-1})	I.C.
SD	5.035 (a)	4.719,4 *	11.938 (a)	0.42 (a)
SD C/S	4.996 (a)	4.812,3 *	12.607 (a)	0.40 (a)

* No se informan diferencias estadísticas en razón de que la cosecha mecánica abarcó toda la parcela.

Estos resultados coinciden con los comunicados por otros investigadores. Kleine y Puricelli (2003), en un trabajo llevado a cabo en el sudoeste de Buenos Aires, no

encontró diferencias significativas entre rendimientos obtenidos en siembra directa y labranza convencional, aunque menciona la existencia de diferencias puntuales a favor de la siembra directa en cultivos de verano. Pikul *et al.* (1999), Buscher *et al.* (2003) y Flores (2006), tampoco encontraron diferencias significativas en cuanto al rendimiento del cultivo de soja para ambos sistemas de labranza.

La labranza profunda provocó una disminución de la cobertura de rastrojos y de la **RM** a la siembra en los horizontes superficiales de diferentes suelos, aunque estos factores no afectaron el rendimiento. Es importante destacar que, con contenidos hídricos próximos al punto de marchitez permanente, en ambos tipos de suelo, los valores de **RM** no superaron en ningún caso el límite a partir del cual se afectaría el crecimiento de la raíz (Barbagelata *et al.*, 1997).

Por el contrario, Colareda *et al.* (2006), encontraron diferencias estadísticas significativas a favor del tratamiento de subsolado en el cultivo de soja, registrando valores de 4.91 y 4.14 mg ha⁻¹ para **SD C/S** y **SD** respectivamente.

Ensayos realizados por Mon e Irurtia, (2001), sobre suelos Argiudoles típicos de la provincia de Santa Fé, demostraron que la práctica de laboreo profundo manifestó incrementos en el rendimiento para el cultivo de soja de primera, del orden del 6% y 5,5% para soja de segunda al año próximo. Esta práctica aplicada al cultivo de soja produce un impacto productivo de magnitud, en suelos muy degradados y erosionados, permite obtener una rápida puesta en la producción de granos. Por otra parte, al producirse una mayor cantidad de rastrojos y mejorar la tasa de infiltración, se disminuyen los riesgos de erosión aumentando la sostenibilidad del sistema.

Smith *et al.* (2002), encontraron diferencias en el rendimiento del cultivo de soja sobre un suelo franco limoso al Norte de Buenos Aires (Argiudol típico), en favor de la labor de subsolado. Se observaron diferencias a favor de las parcelas subsoladas con respecto a la parcela testigo, de aproximadamente 600 kg ha⁻¹ promedio. Esta diferencia, se explica por la mejor infiltración de agua al suelo y porosidad del suelo para mejor desarrollo de raíces.

Estudios realizados por Hilbert *et al.* (1999), determinaron que el efecto de la labor de subsolado en el cultivo de soja produjo un incremento en la producción registrando valores de 2.644 kg ha⁻¹ y 3.216 kg ha⁻¹ para subsolado y **SD** respectivamente.

Morrás *et al.* (2001) atribuyeron el aumento del rendimiento en situaciones de **SD C/S** en suelos semejantes a los del ensayo, al incremento de la capacidad de retención de agua que generó la labor.

Busscher *et al.* (2000) realizaron estudios del laboreo vertical profundo, en suelos al sudeste de Estados Unidos, y determinaron que el efecto de la labor, ocasionó aumentos en la producción en el cultivo de trigo del orden de los 1.5 – 1.7 mg ha⁻¹ y de

1.1 – 1.8 mg ha⁻¹ para el cultivo de soja, en relación a la **SD**. Reeder *et al.* (1993) también reportaron incrementos de rendimiento de maíz y soja atribuibles al subsolado.

VII. CONCLUSIONES

Para las condiciones estudiadas: suelos bien drenados y sin limitaciones hídricas durante el ciclo de soja, se cumplieron las hipótesis sobre los efectos de mejora de la labor de subsolado en relación a: disponibilidad de N, ingreso de agua al perfil y resistencia a la penetración.

No obstante, para estas condiciones, no se cumplieron las hipótesis sobre mejora en la disponibilidad de P, biomasa aérea y rendimiento del cultivo, ya que en ellas no se encontraron diferencias significativas.

La labor de subsolado provocó una reducción en la cobertura superficial del orden de 36 % (77 a 49 %), respecto a la no remoción. No obstante la cobertura con malezas en este tratamiento implicó una cobertura total del 74 %, contra 83 % de la siembra directa, las que se consideran adecuadas para la protección superficial del suelo.

La labor de subsolado provocó una reducción en la resistencia a la penetración hasta los 20 cm de profundidad. Sin embargo el suelo nunca superó el límite de 2 Mpa en ninguno de los tratamientos, debido a un buen estado estructural y a una abundante humedad durante todo el ciclo.

La labor profunda provocó un aumento significativo en la lámina infiltrada y de la velocidad de infiltración, pasando de 23 a 69 mm h⁻¹ en los tratamientos **SD** y **SD C/S**, lo cual provocó un cambio en la curva número de 78 (suelo B) a 67 (suelo A) respectivamente.

En cuanto a disponibilidad de nutrientes, los efectos mayores se vieron en N-NO₃, en donde el tratamiento con subsolado mostró valores mayores de este nutriente, en el estado R1. Esto podría estar asociado a una mayor mineralización de la materia orgánica por efecto de la labor. Los efectos del subsolado en la disponibilidad de P no fueron significativos.

En cuanto al comportamiento del cultivo, la labor de subsolado produjo un incremento en la materia seca total, aunque no significativa estadísticamente.

En cuanto al rendimiento en granos, la operación de subsolado mostró una reducción del 0.8 % evaluada mediante cosecha a mano, mientras que en la cosecha mecánica los resultados mostraron una tendencia inversa, con un incremento para **SD**

C/S del 2 % en el rendimiento. No obstante, la falta de diferencias significativas en el rendimiento podría deberse a que no hubo limitantes hídricas para el cultivo durante el ciclo, debido a las precipitaciones ocurridas y al aporte de la napa freática.

La técnica de labor profunda sin inversión implementada en el trabajo mostró ser adecuada para mejorar las condiciones físicas e hidrofísicas del suelo, aunque sus efectos sobre la productividad física del cultivo no mostraron los resultados esperados.

El trabajo sugiere la necesidad de profundizar los estudios en años climáticamente contrastantes y efectuar seguimientos de la persistencia en el tiempo de los efectos de este tipo de labranza.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAPRESID 2007.** “El futuro y los cambios de paradigmas”. Rosario. XV Congreso de AAPRESID.
- ALAKUKU, L. 1996.** Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil & Tillage Research* 37: 211-222.
- ALLMARAS, R. R.; R, HORTON; M. D, ANKENY. 1991.** Effect of Compaction on Soil Hydraulic Properties. En SOANE Y C. VAN OUWERKERK (Eds.): *Soil Compaction in Soil Production..* Amsterdam, Elsevier. Cap. 1-20.
- ÁLVAREZ, C.; F, GUTIÉRREZ BOEM; M, TABOADA y C, BUSTINGORRI. 2006.** Descompactación de los suelos en Siembra Directa: Efectos sobre las propiedades Físicas y el cultivo de Maíz. *Ciencia del Suelo* 24 (1):1-10.
- ÁLVAREZ, R. 1999.** Uso de modelos de balance para determinar los requerimientos de fertilizante nitrogenado de trigo y maíz. Eudeba, 58 pags.
- ANDRADE, F. H. y V. O, SADRAS. 2002.** Bases para el manejo del Maíz, Girasol y La Soja. Editores. En INTA FCA, UNMP. Pp. 450.
- AYERS, P. D. y H. D, BOWEN. 1987.** Predicting soil density using cone penetration resistance and moisture profiles. *Trans. ASAE* 30:1331-1336.
- BAIGORRI, H y E, MARTINI. 2003.** Manejo del cultivo de soja en suelos con influencia de napa freática. En: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/baigorri/Manejo>
- BAIGORRI, H; M, BODRERO; E. N, MORANDI; R. A, MARTIGNONE; F. H, ANDRADE y D. R, CROATTO. 2003.** Ecofisiología, formación del rendimiento y manejo del cultivo de soja. *Revista libre.*
- BALBUENA, R.; A, ARAGÓN; P, MAC DONAGH; J, CLAVERIE y A, TERMINIELLO. 1995.** Efectos de tres sistemas de preparación del suelo en la resistencia a la penetración y la densidad de un suelo. XXIV Congreso Brasileiro de Ingeniería Agrícola. Viosa. Brasil.
- P, BARBAGELATA; O, VALENTINUZ y O, PAPANOTTI. 1997.** “Efecto del Subsulado sobre el Rendimiento de Trigo en Siembra Directa”. INTA Paraná, en: <http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/suelos/labranzaconser/subsoltrigo.htm>
- BARBER, S. A. 1962.** A diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability. *Soil. Sci.* 93: 39-49.
- R, BERGH; F, GARCÍA; J, FERRARI y R, RIZZALLI. 1996.** Dinámica del N, crecimiento y rendimiento del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. La Pampa.

- BLACK, C. A. (Ed.). 1965.** Methods of soil analysis. Part I and II. Agronomy N° 9. American Society of Agronomy.
- BONADEO, E. 1997.** Efectos de la compactación subsuperficial de un Hapludol típico del sur de Córdoba sobre el comportamiento del cultivo de mani (*Arachis hypogaea* L.). Tesis Magister Scientiae en Ciencias del Suelo EPG-FAUBA.
- BONEL, B. A.; S, MONTICO; G, SPONDA y N, SPURIO. 2005.** Descompactación del suelo mediante el uso de escarificadores en Argiudoles Típicos del sur de Santa Fe. En Reología del suelo agrícola bajo tráfico. La Plata. Argentina. Ed EDULP. Pp: 1-11.
- BRAIM, M. A.; K, CHANEY y D. R, HODGSON. 1984.** Preliminary investigation on the response of spring barley (*Hordeum sativum*) to soil cultivation with the Paraplow. *Soil Till. Res.* 4:277-293.
- BRELAND, T. A.; S, HANSEN. 1996.** Nitrogen mineralization and microbial biomass as affected by soil compaction. *Soil Biology & biochemistry.* Amsterdam, Netherlands. Ed. Elsevier. V28, n.4, p. 665-663.
- BUSSCHER, W. J.; R. E, SOJKA y C. W, DOTY. 1986.** Residual effects on tillage on coastal plain soil strength. *Soil Science*, 141: 144-148.
- BUSSCHER, W. J.; J. R, FREDERICK y P. J, BAUER. 2000.** Division s-6—soil & water management & conservation. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. Pags. 999 – 1004.
- BUSSCHER, W. J.; P.J, BAUER y J. R, FREDERICK. 2003.** Deep tillage management for high strength southeastern USA Coastal Plain soils. *Soil & Tillage Research* 85 (2006) 178–185.
- CAMP, C. R. y W. R, GILL. 1969.** The effect of drying on soil strength parameters. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33:641-644.
- CAZORLA, C. 2005.** Resistencia a la penetración como indicador de compactación en suelos bajo siembra directa en ensayos de labranza de larga duración en Marcos Juárez. Resumen del trabajo presentado en el Seminario Internacional sobre Indicadores de Calidad de Suelo, INTA Marcos Juárez, 20-22/04/05.
- CHAGAS, C. I.; H. J, MARELLI y O. J, SANTANOTOGIA. 1994.** Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol Típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencias de Suelo* 12:11-16.
- CHOLAKY, C. G. 2003.** Efectividad y persistencia de una labor de descompactación con subsolador alado en fusión de la compactación y humedad antecedente. Tesis de Maestría en Manejo y Recuperación de Tierras. FAV-UNRC.
- CIRILO, A. G. y F. H, ANDRADE. 1994.** Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Sci.* 34: 1039-1043.

- CISNEROS, J. M.; C, CHOLAKY; E, BRICCHI; J, CANTERO y O, GIAYETTO. 1997.** Evaluación del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Hapludol típico del centro de Córdoba. Actas del XVI congreso Argentino de la Ciencia del suelo. La Pampa. Argentina.
- CISNEROS, J. M.; G, CANTERO; J, MARCOS; A, DEGIOANNI; E, BRICCHI; O, GIAYETTO; C, CHOLAKY; E, BONADEO y G, CERIONI. 1998.** Influencia de los diferentes sistemas de laboreo sobre la resistencia mecánica de suelos del área manicera. Actas del XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Vila Carlos Paz. Córdoba. Argentina.
- CLAVERIE, J. A. y R. H, BALBUENA. 2005.** Descompactación por tratamiento mecánico. En: Reología del suelo agrícola bajo tráfico. Modificaciones físico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tránsito agrario. Ed. UNLP. P: 143-157.
- CLARK, R. L.; D. E, RADCLIFFE; G. W, LANGDALE y R. R, BRUCE. 1993.** Soil strength and water infiltration as affected by paratillage frequency. Trans. ASAE 36:1301-1305.
- COLAREDA, G. O.; A, TERMINIELLO; R. H, BALBUENA y J. A, HILBERT. 2006.** Descompactación de suelos bajo sistema de Siembra Directa de cultivos. Persistência de la labor. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Pp. 11.
- DADDOW, R. L.; G. E, WARRINGTON. 1983.** Growth-limiting soil bulk densities as Influenced by soil texture. Fort Collins: USDA, Forest Service, 1983. p.1-17.
- DICK, W. A. 1983.** Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentration and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 102-107.
- DOMÍNGUEZ, J.; J. M, RESSIA; D, JORAJURÍA; R, BALBUENA y G, MENDIVIL. 2000.** Reología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. Avances en Ingeniería Agrícola. II Congreso Americano de Ingeniería Agrícola: 110-115.
- DORAN, J. W. 1980.** Soil Microbial and Biochemical Changes associated with reduced tillage. Soil Sci. Soc. Am J. 44: 765-771.
- ECK, H. V. y O. R, JONES. 1992.** Soil nitrogen as affected by tillage, crops and crops sequences. Agron. J. 84:660-668.
- ERBACH, D. C.; R. M, CRUSE; M. A, ELAMIN; S, MUKHTAR; J. G, BENJAMIN y C. H, CHOI. 1984.** Soil condition and corn growth response to paraplowing. American Society of Agricultural Engineers, 1984 Summer Meeting. Knoxville, Tennessee. Paper 84-1013, pp.1-17.

- ERBACH, D. C.; J. G, BENJAMIN; R. M, CRUSE; M. A, ELAMIN; S, MUKHTAR y C, CHOI. 1992.** Soil and crop response to tillage with Paraplow. Trans. ASAE 35:1347-1354.
- FAITA, C. 2007.** Calidad del suelo en sistemas de laboreo bajo cubierta en Argiudoles típicos representativos de la Pampa Ondulada. Tesis de Magíster en Ciencias Agropecuarias, FAV-UNRC. Pp. 147.
- FALOTICO, J.; G, STUDDERT y H, ECHEVERRÍA. 1999.** Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Ciencia del Suelo 17:9-20.
- FERRERAS, L.; J, COSTA; R, RIZZALLI y F, GARCÍA. 1996.** Propiedades físicas del suelo bajo labranza convencional y siembra directa en el sudeste bonaerense. Actas XV Congr. Arg. de la Ciencia del Suelo. La Pampa
- FERRERAS, L.; J. J, DE BATISTA; A, AUSILIO y C, PECORARI. 1998.** Efectos de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un Argiudol Típico. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Carlos Paz. Córdoba. Pp 23-24.
- FLORES, E. P. 2006.** Fertilización y roturación en soja en Santa Cruz de la Sierra (Bolivia). Publicado en Informaciones Agronómicas 31, Septiembre 2006. INPOFOS.
- FOTANETTO, H. y GAMBAUDO. 1996.** Sistemas de labranza para el trigo. Su influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Public. Misc. Nro. 74. INTA EEA, Rafaela.
- FOX, R. H. y V. A, BANDEL. 1986.** Nitrogen utilization with no tillage. In Sprague M. and Triplett, G (Eds.) No tillage and surface tillage agriculture. The tillage revolution. John Wiley and Sons. Pag. 117-149.
- GIAYETTO, O.; J. M, CISNEROS; G, CERIONI y C, CHOLAKY. 1998.** Rotaciones y labranzas en sistemas agrícolas del centro de Argentina. Producción de cultivos. En: Balbuena, R. H., Benez, S. H. y Jorajuría D. (Eds.) Ingeniería Rural y Mecanización Agrícola en el ámbito Latinoamericano. ISBN 950-34-0125-9. Publicado por Editorial de la UNLP, 111-119.
- GILL, W.R. y G. H, BOLT. 1955.** Pfeffer's studies on the root growth pressures exerted by plants. Agron. J. 47:166-168.
- GERARD, C. J.; P, SEXTON y G, SHAW. 1982.** Physical factors influencing soil strength and root growth. Agron. J. 74:875-879.
- GOLDEN SOFTWARE INC. 1995.** Surfer for Windows. User's Guide. 483 pags.
- GRANT, C. A. y L. D, BAILEY. 1994.** The effect of tillage and KCl addition on pH, conductance, NO₃-N, Pm K and Cl distribution in the soil profile. Can. J. Soil ci. 74: 307-314.

- GRIFFITH, D. R. y N. C, WOLLENHAUPT. 1994.** Crop residue management strategies for the Midwest. In Crop residue management. Eds. J.L. Hatfield and B.A. Stewart. Ch. 2:15-37. Boca Raton. Fla.: Lewis Publishers.
- GRIMES, D. W.; R. J, MILLER y P. L, WILEY. 1975.** Cotton and corn root development in two field soils of different strength characteristics. *Agron. J.* 67:519-523.
- HAKANSSON, I.; W. B, VOORHEES y H, RILEY. 1988.** Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil Tillage Research, Amsterdam, Neterland.* V35, p.239-282.
- HEDLEY, M. J; J. W, B STEWART y B. S, CHAUHAN. 1982.** Changes in "El Fósforo en la Agricultura Argentina" **INFOFOS Cono Sur** inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and laboratory incubations. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 46: 970-976.
- HILBERT, J. A.; R, MON; C. B, IRURTIA y F, MOUSEGNE. 1999.** Subsulado y enmienda profunda en SD. Pp. 6.
- HIPPS, N. A. y D. R, HODGSON. 1987.** The effect of a slant-legged subsoiler on soil compaction and the growth of direct-drilled winter wheat. *J. Agric. Sci.* 109:79-85.
- HIPPS, N. A. y D. R, HODGSON. 1988.** Residual effects of a slant-legged subsoiler on same soil physical conditions and the root growth of spring barley. *J. Agric. Sci.* 110:481-489.
- INFOSTAT. 2002. Infostat versión 1.1.** Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- INTA 2003.** El INTA ante la preocupación por la sustentabilidad de largo plazo de la producción agrícola Argentina. Documento institucional en www.inta.gov.ar consultado: 10-02-04.
- INTA BUENOS AIRES. 1983.** Carta De Suelos De La República Argentina. Hoja 3 363-36 VENADO TUERTO, 82-93 Pp.
- KLEINE, C. y C, PURICELLI. 2003.** "Comparación de rendimientos y parámetros químicos bajo labranza convencional y siembra directa". EEA Cerro Nopostá, Torquinst. Buenos Aires.
- KNOWLES, C. J. y P. R, KNOWLES. 1993.** Mountain plover numbers, reproduction, and habitat use in three areas of Montana. Unpublished report for the Bureau of Land Management, Billings. 50 Pp.
- KOHNKE, N. y A, BERTRAND. 1959.** Soil Conservation. McGraw-Hill, New York. 298 p.
- KRUGER, H.; R, AGAMENNONI y M, RIPOLL. 2000.** "Proyecto Labranza Conservacionista I". INTA Bordenave – INTA Ascasubi.

- LARSON, W. E.; S. C, GUPTA y R. A, USECHE. 1980.** Compression of agricultural soils from eight soil orders. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:450-457.
- LEIVA, P. y D, HANSEN. 1984.** Las resistencias mecánicas del suelo y el desarrollo radicular con distintos sistemas continuos de labranza. *Carpeta de producción vegetal. Estación Experimental de pergamino INTA. Argentina. Tomo 4:* 181-185.
- LOGAN, T. J; R, LAL y W. A, DICK. 1991.** Tillage systems and soil properties in North America. *Soil Tillage Res.* 20: 2-4.
- MALHI, S. S; D. W, MCANDREW y M. R, CARTER. 1992.** Effect of tillage and N fertilization of a Solnetzic soil on barley production and some soil properties. *Soil Tillage res.* 22: 95-107.
- MANNING, J. V. y C. R, FENSTER. 1977.** In "Soil Erosion and Sedimentation" (J. M. Laflen, ed) pp. 91-106. *Proc. Natl. Symp. On Soil Erosion and Sedimentation by water. Am Soc. Agric. Eng. St. Joseph. Michingan.*
- MARCOS, J. y G, CAMPBELL. 2002.** Modelo de simulación de balance hídrico del suelo y crecimiento de cultivos. *SWBModel 1.3.*
- MARTINO, D. L. 1998.** Alleviation of soil physical constraints in direct-seeding systems in Uruguay. *Tesis Ph.D. University of Manitoba, Canada.*
- MARTINO, D. L. 2003.** Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. *Grupo de Riego, Agroclima, Ambiente y Agricultura Satelital (GRAS) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay.*
- MISRA, R. K.; A. R, DEXTER y A. M, ALSTON. 1986.** Maximum axial and radial growth pressures of plant roots. *Pl. Soil* 95:315-326.
- McCONKEY, B. G.; D. J, ULRICH y F. B, DYCK. 1997.** Slope position and subsoiling effects on soil water and spring wheat yield. *Can. J. Soil Sci.* 77:83-90.
- MON, R. y C, IRURTIA. 2001.** Recuperación de la productividad en suelos degradados. *Informe Instituto de Suelos INTA Castelar.* En: [URL, http://www.insuelos.org.ar/Informes.](http://www.insuelos.org.ar/Informes) 2001.
- MORRAS, H.; C, IRURTIA; C, IBARLUCEA; M, LANTIN y R, MICHELENA. 2001.** Recuperación de suelos pampeanos degradados mediante siembra directa y subsolado. *Siembra directa II. Editores: J. Panigatti; D. Buschiazzi; H. Marelli. INTA.* 377: 263-278
- OUSSIBLE, M.; R. K, CROOSKTON y W. E, LARSON. 1992.** Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield components of wheat. *Agrom. J.* 58:1782-1787.
- PERUMPRAL, J. V. 1987.** Cone penetrometer Applications. A Review. *Transactions of the ASAE* 30(4): 939-944.

- PIDGEON, J. D. 1982.** "Paraplow" - a rational approach to soil management. Proceedings of the 9th. Conference of the International Soil Tillage Research Organization. Osijek, Yugoslavia. pp. 633-638.
- PIKUL, J. J. L.; J. F, ZUZEL y R. E, RAMIG. 1990.** Effect of tillage-induced soil macroporosity on water infiltration. Soil Till. Res. 17:153-165.
- PIKUL, J. J. L.; C. L, BOGS; M, VIGIL; T. E, SCHUMACHER; M. J, LINDSTROM y W. E, RIEDELL. 1999.** Crop yield and soil condition under ridge and chisel-plow tillage in the northern Corn Belt, USA. Soil & tillage research 60 (2001) 21-33.
- QUIROGA, A.; O, ORMEÑO y N, PEINEMANN. 1998.** Efectos de la siembra directa sobre las propiedades físicas de los suelos. En: Siembra Directa. Ed Hemisferio Sur pp 57-63.
- REEDER, R.C.; R. K, WOOD y C. L, FINCK. 1993.** Five subsoiler designs and their effects on soil properties and crop yields. Trans. ASAE 36:1525-1531.
- REHM, G. W; G. W, RANDALL; A. J, SCOBIE y J. A, VETSCH. 1995.** Impact of fertilizer placement and tillage system on phosphorus distribution in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1661-1665.
- ROBBINS, S. G. y R. D, VOSS. 1991.** Phosphorus and potassium stratification in conservation systems. J. Soil Water Conserv. 46: 298-300.
- ROTH, C. H., 1985:** Infiltrabilitat von Latossolo-Roxo-Boden in Nordparaná, Brasilien, in Feldversuchen zur Erosionskontrolle mit verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen und Rotationen. Gottinger Bodenkundliche Berichte, 83, 1 -104.
- SAGPyA. 2007.** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Ministerio de Economía de la Nación. En www.sagpya.mecon.gov.ar.
- SARTORRE, E. H.; R. L, BENECH ARNOLD; G. A, SLAFER; E. B, FUENTE; D. J, MIRALLES; M. E, OTEGUI y R, SALVIN. 2003.** Producción de granos. Bases para su manejo. FAUBA. Ed. Facultad de Agronomía. Pp. 783.
- SCHAFER, R. L.; C. E, JOHNSON; A. J, KOOLEN; S. C, GUPTA y R, HORN. 1992.** Future research needs in soil compaction. Transactions of the ASAE 35(6): 1761-1770.
- SCHMIDT, C. P. y R. K, BELFORD. 1994.** Increasing the depth of soil disturbance increases yields of direct drilled wheat on the splay soils of Western Australia. Austr. J. Exp. Agric. 34: 777-781.
- SENIGAGLESI, C. y M, FERRARI. 1993.** Soil and crop responses to alternative tillage practices. Crop Science. Vol 33: 27-35.
- SELLES, F. 1993.** Residual effect of phosphorus fertilizer when applied with the seed or banded. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24: 951-960.

- SELLES, F; R. A, KOCHHANN; J. E, DENARDIN; R. P, ZENTNER y A, FAGANELLO. 1997.** Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. *Soil Tillage Res.* 44: 23-34.
- SELLES, F; B. G, MCCONKEY y C. A, CAMPBELL. 1999.** Distribution and forms of P under cultivator- and zero-tillage for continuous- and fallow-wheat cropping systems in the semiarid Canadian prairies. *Soil Tillage Res.* 51: 47-59.
- SMITH, J. E; J. A, HILBERT; M. O, AUCANA; C. B, IRURTIA; R, MON y F, MOUSEGNE. 2002.** Descompactación por medio de subsolado y enmienda profunda. Pp. 6.
- SMITTLE, D. A.; R. E, WILLAMSON. 1977.** Effect of soil compaction on nitrogen and water use efficiency, root growth, yield, and fruit shape of pickling cucumbers. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* Virginia, v.25, p822-825.
- SNEDECOR, G. W. y W. G, COCHRAN. 1984.** *Métodos Estadísticos.* Ed. C.E.C.S.A. Pp. 703. México.
- SCS (SOIL CONSERVATION SERVICE). 1968.** Supplement A to Section 4, *Engineering Handbook.* U. S. Department of Agriculture, Washington D. C.
- SPOOR, G.; F. G. J, TIJINK y P, WEISSKOPF. 2003.** Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation *Soil & Tillage Research* 73: 175–182.
- SPARGUE, M. A. y G. B, TRIPLETT. 1986.** No-trillage and surface-trillage Agriculture. *The trillage revolution.* Ed. By Milton A. Sparge and Glover B. Triplett. Pp. 467.
- STEINER, J. L., H. H, SCHOMBERG y J. E, MORRISON. 1994.** Residue decomposition and redistribution. *In: Crop residue management in the Southern Great Plains.* U. S. Dept. Agric. Res. Info. Staff., Beltsville. MD, USA.
- TABOADA, M. A. 1998.** Compactación superficial causada por la siembra directa y regeneración estructural en suelos franco limosos pampeanos. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Carlos Paz, Argentina. 423 pp.
- TARDIEU, F. 1994.** Growth and functioning of roots and root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signalling? *Soil Till. Res.* 30:217-243.
- TARDIEU, F; J, ZHANG y W. J, DAVIES. 1992.** What information is conveyed by an ABA signal from maize roots in drying field soil? *Pl. Cell Environ.* 15:185-191.
- TAYLOR, H. M. 1971.** Effects of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. *En compactation of Agricultural Soils.* Capítulo 6. pp. 292-305. ASE Monograph St. Joseph, Mi. USA 471 pp.

- TERMINIELLO, A. M.; R. H, BALBUENA; J. A, CLAVERIE; J. P, CASADO. 2000.** Compactación inducida por el tránsito vehicular sobre un suelo en producción hortícola. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 2, pp. 290-293.
- THREADGILL, E. D. 1982.** Residual tillage effects as determined by cone index. Transaction of the ASAE, St. Joseph, v25, p.859-863.
- TISDALE, S. L.; W. L, NELSON, J. D, BEATON y J. L, HAVLIN. 1993.** Soil fertility and fertilizers. Fifth edition. Macmillan publishing company. 634 pags.
- TRIPLETT G. B. JR. y D. M, VAN DOREN. 1969.** Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of non-tilled maize. Agron. J. 61: 637-639.
- UBERTO, M. E.; J. M, CISNEROS; C. G, CHOLAKY; L, VERRI; G, CERIONI y G, SANTA. 2004.** Rotaciones y labranzas en maní, recuperación de propiedades físicas y productividad de las tierras. XIX Jornada Nacional de Maní: 6-7. Gral. Cabrera, Córdoba, Argentina.
- UNGER, P. W. 1996.** Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. Soil Till Res 37, 67-75.
- UPADHYAYA, S. K.; W, CHANCELLOR; J, PRERUMPAL; R. S, SCHAFER; W, GILL y G, VANDERBERG. 1994.** Advances in Soil Dynamic. Vol 1 Ed. De Vore-Hansen. St. Joseph, MI. 313 pp.
- VEPRASKAS, M. J. y M. G, WAGGER. 1989.** Cone index values diagnostic of where subsoiling can increase corn root growth. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1499-1505.
- VIDELA H. 2006.** Producción de soja en suelos con capa freática somera, en el departamento Roque Sáenz Peña (Cba.). Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. FAV-UNRC. Pag. 73.
- VIGLIZZO, E. F. 1994.** El INTA frente al desafío del desarrollo agropecuario sustentable. En: Desarrollo agropecuario sustentable. INTA-INDEC. 85 pp.
- VILLACORTA, J. M.; A. M, PAREDES y J. C, GONZALES. 2006.** Determinación de número de curva. Programa de apoyo a MODIPÉ. (Unidad docente de Hidráulica e Hidrología E.T.S.I.I.A.A de Palencia, Universidad de Valladolid), el cuál fue obtenido de la página www.oasificación.com .
- WILLIAMS, J. y C. F, SHAYKEWICH. 1970.** The influence of soil water matric potential on the strength properties of unsaturated soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34:835-840.