

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DETERMINANTES DE LA RESPUESTA EN RENDIMIENTO
DE UNA SECUENCIA TRIGO – SOJA 2ª EN SISTEMAS
AGRÍCOLAS CON Y SIN LABOREO**

por

**Luciana AUTINO INGOLD
Adriana CÓCCOLO HERNÁNDEZ**

**TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título
de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2008**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Guillermo Siri-Prieto

Ing. Agr. Jorge Sawchik

Fecha:

Autor:

Autino Ingold Luciana

Cóccolo Hernández Adriana

AGRADECIMIENTOS

- A los Ingenieros Agrónomos Oswaldo Ernst y Guillermo Siri por la dirección de este trabajo.
- Al Ingeniero Agrónomo Oscar Bentancur por colaboración en el procesamiento estadístico de los resultados.
- Al personal de biblioteca de Facultad de Agronomía.
- Al personal de campo de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni.
- A Daniel Briano por su colaboración en la traducción de esta tesis.
- A todos aquellos que de una u otra manera colaboraron para la realización del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. EFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y LA ROTACIÓN CON PASTURA EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO.....	3
2.1.1. <u>Disponibilidad de agua</u>	3
2.1.1.1. Características físicas del suelo.....	3
2.1.1.2. Período de barbecho y presencia de rastrojo.....	3
2.1.1.3. Contenido de nutrientes.....	5
2.1.1.4. Época de siembra.....	5
2.1.1.5. Distancia entre hileras.....	6
2.1.2. <u>Propiedades químicas</u>	7
2.1.2.1. Efectos acumulados en el suelo sobre el contenido de N total.....	7
2.1.2.2. Contenido de Carbono orgánico.....	8
2.1.2.3. Efectos sobre el aporte de N-NO_3^- para el cultivo de segunda.....	10
2.1.2.4. Temperatura.....	11
2.1.3. <u>Propiedades físicas</u>	11

2.2. EL CULTIVO DE SOJA.....	13
2.2.1. <u>Desarrollo</u>	13
2.2.1.1. Implantación inicial.....	13
2.2.1.2. Requerimientos de agua.....	13
2.2.1.3. Estado vegetativo.....	14
2.2.1.4. Estado reproductivo.....	14
2.2.2. <u>Crecimiento (altura de planta, número de nudos, índice de área foliar, peso de plantas)</u>	15
2.2.3. <u>Época de siembra (primera vs. segunda)</u>	16
2.2.4. <u>Rendimiento y sus componentes</u>	17
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	20
3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO.....	20
3.1.1. <u>Localización espacial y temporal</u>	20
3.1.2. <u>Suelo y antecedentes de la chacra</u>	20
3.1.3. <u>Diseño experimental</u>	20
3.1.4. <u>Descripción del ensayo</u>	21
3.2. DETERMINACIONES REALIZADAS.....	22
3.2.1. <u>Mediciones realizadas en el suelo</u>	22
3.2.1.1. Humedad de suelo.....	22
3.2.1.2. Disponibilidad de nitrógeno en el suelo (N- NO ₃ ⁻ a 20 cm del suelo).....	23

3.2.2. <u>Mediciones efectuadas en plantas</u>	23
3.2.2.1. Implantación.....	23
3.2.2.2. Fenología.....	23
3.2.2.3. Altura y número de nudos.....	23
3.2.2.4. Índice de área foliar (IAF).....	23
3.2.2.5. Peso de planta	24
3.2.2.6. Cosecha manual.....	24
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	24
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	26
4.1. CARACTERÍSTICAS DEL AÑO.....	26
4.2. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y NITRÓGENO A LA SIEMBRA Y DURANTE LA IMPLANTACIÓN.....	27
4.2.1. <u>Nitrato en suelo</u>	28
4.2.2. <u>Residuo de agua almacenada en el suelo</u>	30
4.3. EFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y LA ROTACIÓN CON PASTURA SOBRE LA RECARGA Y USO DE AGUA DEL SUELO.....	31
4.4. EFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y LA ROTACIÓN CON PASTURA EN EL CULTIVO DE SOJA.....	37
4.4.1. <u>Variables de crecimiento y desarrollo</u>	37
4.4.1.1. Implantación inicial.....	37
4.4.1.2. Fenología.....	38

4.4.1.3.	Altura y número de nudos por planta.....	40
4.4.1.4.	Nudos por m ²	41
4.4.1.5.	Área foliar y producción de materia seca.....	42
4.4.2.	<u>Rendimiento</u>	44
4.4.2.1.	Componentes de rendimiento.....	44
4.4.2.2.	Rendimiento en grano.....	45
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	47
6.	<u>RESUMEN</u>	49
7.	<u>SUMMARY</u>	50
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	51
9.	<u>ANEXOS</u>	56

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Historia del experimento.....	20
2. Variables medidas en el experimento.....	25
3. Promedio de 25 años de precipitaciones (mm) y temperaturas (°C) para el período diciembre-mayo y para la estación de crecimiento del cultivo de soja 2005-2006.....	26
4. Componentes de rendimiento según tratamientos.....	44
Figura No.	
1. Humedad de suelo.....	4
2. Agua disponible en siembras de segunda.....	6
3. Evaluación de la pérdida de suelo.....	12
4. Croquis del experimento.....	21
5. Precipitaciones (mm) ocurridas en el período 15 días pre-siembra hasta madurez fisiológica del cultivo (138 días pos siembra).....	27
6. Evolución del contenido de N-NO ₃ - en los primeros 42 días pos-siembra en los primeros 10 cm del perfil.....	28
7. Evolución del contenido de N-NO ₃ - en los primeros 42 días pos-siembra entre 10 y 20 cm del perfil	29
8. Relación entre rendimiento de trigo y agua disponible (mm) entre 30 y 60 cm de profundidad a los 25 días pos siembra a cero).....	31
9. Evolución del agua disponible de 0-60 cm.....	32
10. Distribución del agua disponible (mm) según profundidad de suelo....	34
11. Implantación.....	37

12. Evolución del estado vegetativo.....	38
13. Evolución del estado reproductivo.....	39
14. Evolución del número de nudos por planta(a) y la altura de planta(b)...	40
15. Evolución del N° nudos por m2.....	41
16. Evolución del peso de plantas.....	42
17. Tasa de crecimiento diaria por planta durante el período crítico (68 a 95 días pos siembra).....	43
18. Evolución del área foliar de soja con y sin laboreo en rotación o no con pastura.....	43
19. Rendimiento a cosecha de la soja (hum 13%).....	45

1. INTRODUCCIÓN

A partir del año 2000 se registra una creciente intensificación de la agricultura de secano, con una alta importancia relativa de los cultivos de verano, en especial soja y girasol. A partir del 2001 se registraron aumentos importantes en el área nacional de soja pasando de 50.000 has a 400.000 has en el 2005-2006, siendo el primer cultivo de secano en alcanzar 1.000.000 de toneladas (Hoffman, 2007).

La zona agrícola del litoral oeste presenta como principal limitante para la producción de cultivos de verano una baja capacidad de almacenar agua de sus suelos (entre 80-125 mm de agua disponible), pero existe una amplia variabilidad para cada tipo de suelo según sea su génesis, posición topográfica, textura y profundidad del perfil, además la capacidad de almacenaje de un suelo se puede modificar por factores de manejo como por ejemplo: la época de siembra, la duración del período de barbecho y el cultivo antecesor, entre otros.

El presente trabajo tiene por objetivo general cuantificar el efecto residual del manejo del suelo y la rotación con pasturas sobre el crecimiento y rendimiento de la secuencia Trigo – Soja 2^a. Se busca evaluar el efecto residual a través del agua, N, implantación y crecimiento de la soja.

La rotación de cultivos y pasturas genera cambios y una variación importante en la capacidad de suministro de N para los cultivos. Esta variación es generalmente mayor a la observable bajo condiciones de cultivo continuo. Si bien esto provoca cambios en los contenidos de C y N, éstos ocurren en períodos de tiempo relativamente largos (Sawchik, s.f.).

En sistemas de no-laboreo, donde no existe un período de barbecho que permita acumular $N-NO_3^-$ y no se quema el rastrojo, la disponibilidad de nutriente está determinada por el residuo de fertilidad del cultivo anterior (Hill et al., citados por Ernst, s.f.).

La disponibilidad hídrica inicial para un cultivo de verano puede ser modificada a través de la rotación de cultivos y el manejo del período de barbecho. En períodos de barbecho cortos como los que determina el doble cultivo anual, la probabilidad de recargar el suelo es menor en especial para los de mayor capacidad de almacenaje.

El manejo del suelo sin laboreo y con rastrojo en superficie tiene un reconocido efecto sobre la disponibilidad de agua en el suelo para condiciones de no extrema sequía ni aporte no limitante. En estas condiciones el doble cultivo anual reduce las pérdidas de agua por escurrimiento y drenaje profundo

pero puede verse limitado el rendimiento de cada uno de los cultivos por la disponibilidad hídrica estacional (Díaz-Ambrona et al. 2005, Monzón et al. 2006).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y LA ROTACIÓN CON PASTURA EN PROPIEDADES DEL SUELO:

2.1.1. Disponibilidad de agua

El éxito o fracaso de un cultivo agrícola va a depender en gran parte del agua disponible para su crecimiento y desarrollo. Normalmente se piensa en la lluvia caída como el único recurso directo de agua para los cultivos. Sin embargo, el agua acumulada en el suelo es un imprescindible reservorio para los mismos y el único sitio desde donde pueden extraerla (Andreani, 2004).

2.1.1.1. Características físicas del suelo

El diámetro promedio geométrico de fragmentos secos y el contenido de agua retenido entre 0.0003 y 0.03 MPa de potencial de agua fue mayor en suelos no labreados que en suelos labreados para trigo (Díaz-Zorita et al., 2004)

La diferencia en rendimientos de maíz entre sistema de no laboreo y laboreo convencional fueron atribuidos a un mejor suministro de agua en suelos no labreados dado el mantenimiento de un mayor número de mesoporos y una mayor conductividad hidráulica (Díaz-Zorita et al., 2004).

2.1.1.2. Período de barbecho y presencia de rastrojo

Para situaciones de no laboreo, el manejo del período de barbecho es determinante del resultado final sobre la humedad disponible. El efecto sobre la cobertura de rastrojo es eliminado si el agua se pierde desde el suelo por transpiración. Estas situaciones se producen cuando existe crecimiento vegetal, ya sea este un cultivo previo o malezas (Ernst, 1999).

Los residuos protegen el suelo tanto de la energía radiante como de la energía de las gotas de lluvia. El encostramiento es parcialmente el resultado de la energía de la lluvia golpeando la superficie del suelo, por lo que la intercepción de la lluvia con los residuos retarda la formación de una costra. Cuanto mas anclado este el rastrojo mayor es el efecto sobre la infiltración, ya que existen conductos por los cuales el agua puede infiltrar (fisuras, rajaduras, alrededor de las raíces desde las bases de los tallos en la superficie, espacios que ocupaban dichas raíces que fueron cedidos al morir y descomponerse). También los residuos que se incorporan al suelo producen agregados

estructurales estables que mejoran la infiltración (Onstad y Voorhees, citados por García Préchac, 1998).

El movimiento del agua del suelo a través del rastrojo para llegar a su superficie y desde allí evaporarse es muy lento por la baja conductividad térmica (García Préchac, 1998).

El rastrojo en superficie opera a favor de las ganancias de agua y reduce las pérdidas por evaporación. Este efecto opera desde que se inicia el barbecho químico hasta que el cultivo cierra la entrefila. A partir de este momento, la pérdida de agua se produce solo por transpiración, por lo que no son de esperar diferencias importantes en el balance de agua del suelo (Ernst, 1999).

El laboreo de un suelo húmedo y la falta de cobertura de rastrojo permiten pérdidas de humedad por evaporación superiores a las determinadas sin laboreo y con cobertura, lo que se traduce en un mayor contenido de humedad a un momento dado (Marelli 1999, Ernst 1999).

Marelli (1999) en la siguiente figura muestra claramente la reacción de la humedad del suelo a una lluvia de 66 mm ocurrida entre las dos fechas de muestreo. Se destaca que el suelo bajo siembra directa (S.Dta.) “manejó” más eficientemente el agua de lluvia que la labranza reducida (Lab. Red.), pues los valores de agua edáfica del perfil son superiores hasta los 50 cm de profundidad.

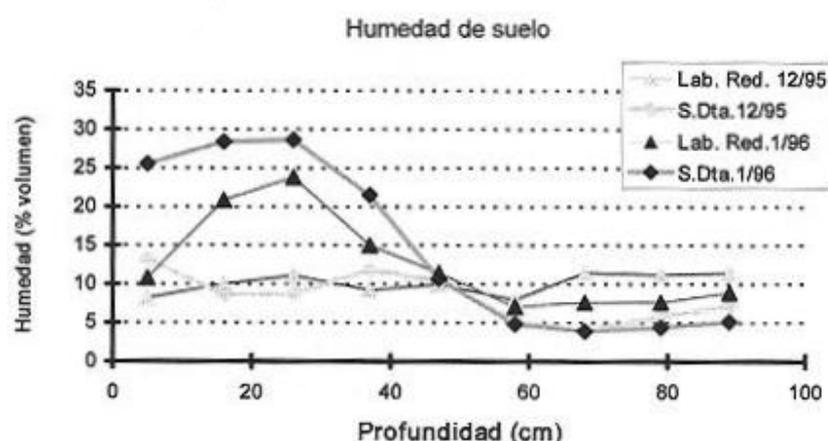


Figura 1.- Humedad de suelo (tomado de Marelli, 1999).

2.1.1.3. Contenido de nutrientes

Deficiencias de agua pueden estar explicadas por deficiencias de P dado que este nutriente interviene en el desarrollo de las raíces y su funcionalidad (Calviño y Sadras, 1999).

2.1.1.4. Época de siembra

Board et al., Board y Haville, Egli, citados por Calviño et al. (2003) muestran que el déficit de agua durante las fases tempranas de desarrollo puede restringir el rendimiento de la soja de 2^a.

En contraste, los cultivos sembrados temprano, tienen menos respuesta a la disponibilidad de agua en estadios tempranos (Shaw y Laing, Kadhem et al., Andreani et al., citados por Calviño et al., 2003).

En otro estudio donde no existía déficit hídrico, el rendimiento está poco relacionado con el agua disponible en R1 y R5 y no relacionada con el agua disponible entre R5 y R7 (Calviño et al., 2003). En el caso de que existiera déficit hídrico el agua estaría relacionada con el rendimiento en R4-R6 ya que coincide con el periodo crítico.

Al realizar un cultivo por año, al ser sembrados temprano con menor irradiación y al tener más agua almacenada en el suelo tienen condiciones más apropiadas para la expansión temprana del área foliar y de esta manera, mejor habilidad para capturar radiación tempranamente. La menor habilidad del doble cultivo para interceptar radiación puede ser explicada por la alta irradiación durante la senescencia del trigo y a un menor crecimiento inicial de la soja debido a la falta de agua en el suelo (Calviño et al., 2003).

Estadísticas de los 30 últimos años en el sur de Santa Fe, muestran que en promedio el trigo consume más agua del suelo que la que se acumula por las lluvias. Los cultivos de invierno comienzan su crecimiento con alta disponibilidad de agua en el suelo. Pero luego, generalmente los inviernos y comienzos de primavera son de escasas precipitaciones, lo que provoca el agotamiento del perfil por parte de los cultivos. El perfil volverá a recargarse dependiendo de las lluvias durante noviembre y diciembre. La cantidad de agua consumida por el cultivo de invierno depende del largo de su ciclo por lo que condiciona el agua disponible para el próximo cultivo inmediato. El trigo de ciclo largo consume 450mm y los de ciclo corto unos 400mm. Considerando que el potencial de rendimiento de los trigos de ciclo largo y corto es similar, una buena estrategia para conservar el agua del suelo y estabilizar los rendimientos

de los cultivos de soja de 2ª, es sembrar trigo de ciclo corto en la 1ª quincena de julio (Andreani, 2004).

En los cultivos de segunda, el cultivo de invierno consume el agua, pero su rastrojo opera como cobertura del suelo. Las precipitaciones posteriores a la madurez fisiológica del cultivo recargan el suelo, pero si estas no se producen, solo se dispondrá del residuo hídrico del crecimiento anterior (Ernst, 1999).

Sawchik y Ceretta (2005) en el siguiente gráfico muestran información sobre el agua disponible en siembras de segunda, o sea es el agua residual que deja el cultivo de invierno, en todas las situaciones analizadas el agua disponible se ubica en torno a 40 %.

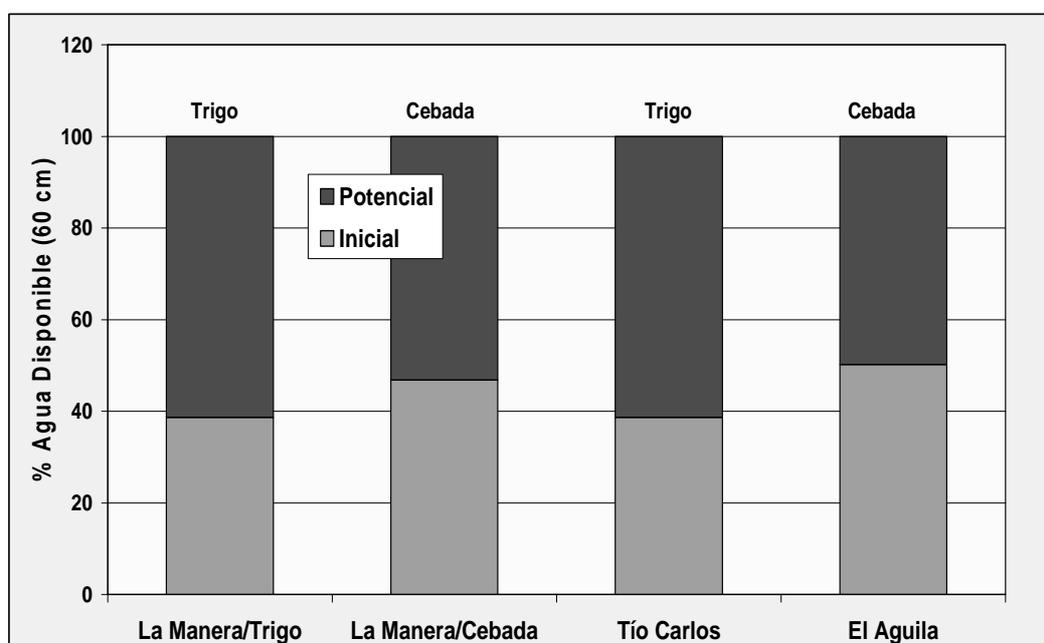


Figura 2.- Agua disponible en siembras de segunda (tomado de Mesa Tecnológica de Oleaginosas, 2007).

2.1.1.5. Distancia entre hileras

El acercamiento de hileras (0.35 vs. 1m) mejora la eficiencia del uso del agua debido a un cierre más temprano de la entrefila. Esto reduce las pérdidas de agua por evaporación desde el suelo y reduce el riesgo de erosión. Pero como desventaja es que agota el agua rápidamente (Andreani, 2004).

2.1.2. Propiedades químicas

2.1.2.1. Efectos acumulados en el suelo sobre el contenido de N total

Es fácil observar que las pérdidas de nutrientes del suelo para el sistema de labranza convencional son mayores que para siembra directa y laboreo reducido, lo que pone en evidencia la protección que proporciona el rastrojo en superficie especialmente en el sistema de siembra directa (Marelli, 1999).

Al no laborear el suelo se producen cambios muy importantes en la dinámica del N. El suelo tiende a estar más húmedo, frío, menos aireado y más ácido (Belvins y Frye, citados por García Préchac, 1998). La materia orgánica se descompone más lentamente, disminuyendo la tasa de mineralización de N (García Préchac, 1998).

Díaz–Roselló, citado por Sawchik (s.f.) determinaron para los sistemas que rotan cultivos y pasturas una entrada promedio de 500kg de N/ha (en los 20cm de la capa arable) durante la fase de pasturas. En etapa de cultivo sale en promedio unos 650kg de N/ha.

La incorporación de la siembra directa en los sistemas de rotación cultivo-pasturas presentaría una serie de ventajas: la menor tasa de mineralización del nitrógeno orgánico por no mover el suelo, la caída tan pronunciada del contenido de nitrógeno del suelo que se observan cuando se roturan buenas pasturas bajo laboreo convencional (Sawchik, s.f.).

Unos de los problemas asociados a la rotación de cultivo continuo bajo siembra directa puede ser la disponibilidad de N para los cultivos. Si la productividad es alta, mayor es la cantidad de N retirado con el grano, pudiendo generar un balance negativo de N por lo que estos sistemas pueden volverse mucho más dependientes del agregado de fertilizante nitrogenado (Sawchik, s.f.).

En fase de pasturas se produce un incremento del contenido de Nitrógeno, la magnitud de este incremento esta relacionada con la productividad y persistencia de las leguminosas. En fase de cultivo, y si esta se realiza con laboreo convencional se producen pérdidas de N por efecto de la oxidación de la materia orgánica y por procesos erosivos (Sawchik, s.f.).

La conversión del sistema de laboreo convencional a siembra directa determina en los primeros años menores disponibilidades de nitrógeno mineral debido a una tasa de mineralización de nitrógeno más lenta y paralelamente una mayor inmovilización de N (Sawchik, s.f.).

Los resultados obtenidos indican que los contenidos de C orgánico y N orgánico tienen niveles superiores cuando se utiliza siembra directa comparado con la labranza convencional y continúan incrementándose cuando la rotación incluye una combinación de gramíneas con leguminosas (maíz-soja, sorgo-soja, trigo-soja-maíz). Por otra parte los contenidos más altos de C orgánico y N orgánico fueron encontrados en las rotaciones agrícolas ganaderas donde se utilizan pasturas con alfalfa y se maneja el ciclo agrícola con siembra directa (Lattanzi et al., 2005).

En general los contenidos de C y N decrecen en profundidad en diferentes sistemas de laboreo, fertilidad y rotaciones, pero están concentrados cerca de la superficie del suelo (0-30cm) (Liu et al., 2005).

2.1.2.2. Contenido de carbono orgánico

Los sistemas de cultivos tradicionales, laboreo, monocultivo y con bajo retorno de materia orgánica son considerados los peores escenarios para la acumulación de carbono orgánico del suelo porque no solo disminuye la entrada de carbono sino que también promueve la descomposición de la materia orgánica (Busscher et al., citados por Liu et al., 2005). El laboreo acelera la oxidación de C orgánico mediante la aireación de suelo incrementando el contacto entre el suelo y los residuos de los cultivos y exponiendo la materia orgánica protegida al ataque microbiano (Beare et al., citados por Liu et al., 2005).

Martens, citado por Sawchik (s.f.) Los mecanismos por los cuales en siembra directa se reduce las pérdidas de C son: a) reducción de las pérdidas por erosión b) menor tasa de descomposición de residuos c) aumento de la biomasa microbiana en lugar de perderse como CO₂ d) aumento en la población de hongos (de mayor relación C/N) respecto a las bacterianas con el consecuente aumento en la retención de C, por lo que menos CO₂ se pierde a la atmósfera.

Shomberg et al., citados por Sawchik (s.f.) reportan un incremento en el contenido de carbono orgánico bajo siembra directa de 0; 5 y 14% con respecto al laboreo convencional para la rotación soja-soja, sorgo-soja y sorgo-sorgo respectivamente.

Los resultados obtenidos permiten estimar que, en el horizonte superficial de los suelos estudiados, la agricultura continua con labranza convencional produjo una pérdida cercana a los 15 Mg carbono orgánico total ha⁻¹ (carbono orgánico total), equivalente al 35% del contenido de un suelo similar sin cultivo (Krüger et al., 2004).

Luego de tres ciclos de rotación con pastura, en 30 años de producción bajo labranza convencional, el carbono orgánico total de la capa superficial registró un incremento medio de 5 Mg ha⁻¹. Una estimación de la ganancia de carbono orgánico total por cada año acumulativo de pastura indicó 0,35 Mg ha⁻¹ (Krüger et al., 2004).

Los sistemas de cultivo continuo muestran una caída sostenida del contenido del contenido de C orgánico. Para un período de (1963-1999) el contenido de C orgánico se redujo un 33% con respecto al valor original, un 5% mayor al reportado por Díaz –Roselló para el período (1963-1992). Ésta reducción se debe a el bajo residuo de los cultivos, alta intensidad de laboreo y erosión. En los sistemas de rotación con pasturas se producen ciclos de ganancias y pérdidas con las etapas de pasturas y cultivos respectivamente (Sawchik, s.f.).

En la región pampeana húmeda de la argentina Andriulo y Cardone (1998) en experimentos que incluyen siembra directa estudiaron la evolución de la materia orgánica y observaron que después de una pastura de 6 años a base de festuca, con una rotación trigo/soja-maíz de muy buena productividad, la siembra directa elevó el contenido de carbono del suelo mientras que el laboreo convencional y vertical (con cincel) mantuvieron los valores de partida luego de 12 años (Sawchik, s.f.).

Los rastrojos con alto contenido de C/N son fundamentales para incrementar los contenidos de C orgánico (Sawchik, s.f.)

Para cultivo continuo, los cultivos de trigo, maíz y soja reducen significativamente el carbono orgánico del suelo en comparación con la rotación de cultivos para todos los horizontes examinados. Trigo continuo tiene el menor impacto de disminución de carbono orgánico y Nitrógeno (Liu et al., 2005).

En comparación con la labranza convencional, se ha encontrado bajo siembra directa (SD) mayor cantidad de C orgánico del suelo (CO) y mayor concentración en los primeros 10 cm, debido a la no inversión del suelo (McCallister y Chien, citados por Apezteguía y Sereno, 2002) y a un ambiente menos oxidativo para la actividad microbiana (Wats et al., Balesdent et al., Abril et al., citados por Apezteguía y Sereno, 2002). Además se ha informado que existe una protección física de la materia orgánica que se produce a nivel de macro y microagregados, los cuales son destruidos por la labranza (Balesdent et al., citados por Apezteguía y Sereno, 2002).

En los primeros años en la labranza convencional el carbono orgánico fue más elevado que en siembra directa y labranza vertical. Luego se invirtió la relación, se produjo una estabilización en los sistemas conservacionistas siembra directa y labranza vertical, mientras que en labranza convencional se observó una caída permanente. Bajo siembra directa el carbono estable obtenido por diferencia entre el carbono orgánico total y el carbono lábil, resultó significativamente mayor que bajo los otros sistemas de labranza (Apezteguía y Sereno, 2002).

Balesdent et al., citados por Apezteguía y Sereno (2002) realizaron un detallado análisis de los factores que afectan la dinámica de la materia orgánica, respecto al suelo, la cobertura de residuos en siembra directa reduce la temperatura en 2 ó 3°C y mantiene la humedad en los primeros centímetros, lo que unido a la mayor densidad aparente y mayor proporción de poros finos, darían condiciones de menor aerobiosis, disminuyendo la actividad microbiana responsable de la mineralización.

La labranza vertical al igual que siembra directa mantiene una menor temperatura del suelo, pero produce destrucción de agregados en forma similar a labranza convencional. Eso explicaría la similitud en el contenido de carbono orgánico liviano y las diferencias en carbono orgánico total entre ambas labranzas conservacionistas. La siembra directa al no destruir los microagregados, donde se encuentran las sustancias húmicas y pre-húmicas, proporciona mejor protección de la materia orgánica más estable. Por lo tanto es capaz de acumular materia orgánica de superior calidad (Apezteguía y Sereno, 2002).

Ernst y Siri (2006), para un experimento de manejo de suelos instalado en Uruguay en 1993, determinó que luego de siete años el stock de C orgánico en la profundidad 0-12 cm se mantuvo para los tratamientos de agricultura continua y rotación cultivo-pastura sin laboreo. En cambio sí se detectaron reducciones en los tratamientos bajo laboreo convencional. La disminución en la tasa de mineralización de la materia orgánica y de los procesos de erosión en los tratamientos sin laboreo serían las principales causas de estos resultados.

2.1.2.3. Efectos sobre el aporte de $N-NO_3^-$ para el cultivo de segunda.

Según Ernst et al. (2004) la siembra de girasol de segunda recibe el efecto residual del manejo y rendimiento del cultivo de trigo o cebada anterior. Con relación al aporte de nitrógeno mineral del suelo, existe una alta probabilidad de ubicarse dentro de rangos limitantes, ya que no hubo un período suficiente entre la cosecha del cultivo de invierno y el de segunda para

acumular N-NO_3^- . En los experimentos de girasol de primera se observa que en los 20 cm hay más N-NO_3^- si lo comparamos con el girasol de segunda.

2.1.2.4. Temperatura

Suelos con altos contenidos de agua o más compactado, tienen más calor específico y conductividad térmica (García Préchac, s.f.).

El albedo es la radiación solar que es reflejada en la superficie. Los rastrojos incrementan el albedo. Si el rastrojo esta parado llega más radiación solar al suelo comparado con rastrojo acostado, por lo tanto el albedo baja. Suelo mas rugoso (arado) tiene mayor radiación neta que el afinado. Al llegar más radiación al suelo la temperatura del suelo es mayor (Pastorini y Pérez 1996, García Prechac s.f.).

Los suelos sin laborear y con rastrojo en superficie presentan menor temperatura que los laboreados. Los suelos con cobertura de rastrojo presentan una amplitud térmica menor que los laboreados, por lo que ganan y pierden calor más lentamente. Para situaciones sin laboreo, el efecto depende de la cantidad y geometría del rastrojo (Condon et al. 1995, Pastorini y Pérez 1996, García Prechac 1998, Ernst 1999).

La menor temperatura del suelo cubierto por rastrojo al inicio de la estación de crecimiento, condiciona el inicio de la estación de siembra, la velocidad de emergencia e implantación final (Ernst, 1999).

Los tratamientos con rastrojo tienen siempre menor temperatura en el suelo que los tratamientos sin rastrojo. Siendo importante esta diferencia para el desarrollo de los cultivos que tienen su punto de crecimiento por debajo del nivel del suelo (maíz y sorgo), perdiéndose dicha importancia para soja y girasol los cuales no tienen en ningún momento de su ciclo el punto de crecimiento a nivel del suelo (Condon et al., 1995).

2.1.3. Propiedades físicas

Todo sistema de laboreo que deje 30% o más de la superficie cubierta por residuos a la siembra, genera una muy importante reducción de erosión y se lo considera un sistema de laboreo conservacionista (ASAE, Almaras et al., citados por García Préchac, s.f.).

En el gráfico que se presenta a continuación Marelli (1999) destaca que es fácil observar que las pérdidas de suelo para el sistema convencional son mayores que para los otros dos sistemas, poniendo en evidencia la protección

que proporciona el rastrojo en superficie especialmente en el sistema de siembra directa

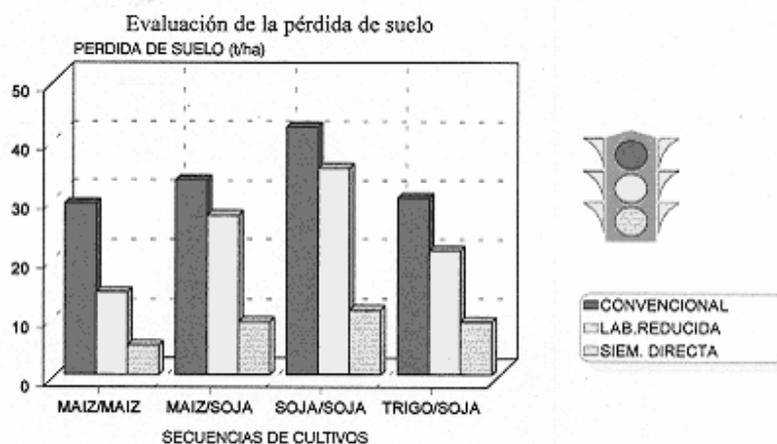


Figura 3.- Evaluación de la pérdida de suelo (tomado de Marelli, 1999).

La cobertura del suelo sustituye el efecto buscado con la generación de rugosidad en el laboreo primario. Cuando el suelo está seco, la infiltración de un suelo laboreado fue superior a la del no laboreado sin rastrojo en superficie. Al avanzar el proceso de humedecimiento y en suelos saturados ambas situaciones se igualaron destacándose la mayor infiltración del suelo imperturbado con cobertura de rastrojo. En superficie sin rugosidad como sucede en situaciones con laboreo luego del afinado necesario para la siembra y en el suelo no laboreado, el rastrojo en superficie es la variable que controla el escurrimiento (Ernst, 1999).

El agua del suelo se pierde por evaporación en proporción directa del movimiento que se haga en el suelo con los diferentes sistemas de labranza. Cuanto menos se muevan y disturben los rastrojos que cubren la superficie, mayor será la reserva hídrica en el perfil. La presencia de un rastrojo en superficie permite regular la humedad del suelo durante el ciclo de los cultivos, dependiendo lógicamente del tipo y volumen del rastrojo (Marelli, 1999).

Tradicionalmente, diversas prácticas de laboreo han sido la principal herramienta para mitigar problemas de compactación de suelo. Sin embargo la mejora en la estructura lograda a través del laboreo es en general transitoria, particularmente en suelos degradados, con baja cantidad de materia orgánica y pobre estabilidad de agregados (Dexter, citado por Martino, s.f.).

La densidad aparente mostró una tendencia inversa a la del carbono orgánico total y fue variable con la profundidad. Siembra directa presentó el

valor más alto en las dos primeras profundidades y se igualó en la tercera. El valor más bajo correspondió a la profundidad 0-10 cm, se incrementó de 10-20 cm y descendió a la profundidad de 20-30 cm. El tratamiento laboreo vertical tuvo igual valor que laboreo convencional en la primera profundidad, creció con igual pendiente que siembra directa hasta la segunda profundidad y se igualó en la tercera. En cambio, laboreo convencional presentó siempre los valores más bajos y un crecimiento lineal de la densidad hasta llegar a la tercera profundidad (Apezteguía y Sereno, 2002).

2.2 EL CULTIVO DE SOJA

2.2.1. Desarrollo

2.2.1.1 Implantación inicial

En experimentos en los que se cuantifica la evolución de la implantación del cultivo ésta resultó más lenta y con menor número final de plantas en siembra directa, a pesar de la mayor humedad del suelo a la siembra. La menor temperatura del suelo cubierto por rastrojo al inicio de la estación de crecimiento, condiciona el inicio de la estación de siembra, la velocidad de emergencia e implantación final (Ernst, 1999).

Los cultivos que se desarrollan en suelos indisturbados son sujetos con frecuencia a un deficiente contacto entre semilla y suelo, a frecuentes excesos de humedad, a una elevada resistencia mecánica para el crecimiento de raíces, a deficiencias de nutrientes y a frecuentes deficiencias de agua (Ehlers et al., Blevins y Frye, citados por Martino, s.f.). Estas condiciones tenderían a desaparecer debido a la acción en el largo plazo de los procesos de acumulación de materia orgánica, crecimiento y descomposición de raíces, y actividad de la meso fauna del suelo (Martino, s.f.).

2.2.1.2 Requerimientos de agua

El contenido de agua en suelo requerido durante el periodo crítico (PC) de determinación de rendimiento, es superior al demandado en el resto del ciclo fenológico. En el caso de que el volumen de agua en suelo durante el PC, no alcance a determinado porcentaje de agua disponible (AD), denominado nivel de agotamiento permisible (NAP), el rendimiento potencial de los cultivos se verá afectado negativamente. Los valores requeridos de agua disponible son 60 % del agua disponible a capacidad de campo para el período crítico y 40 % del agua disponible a capacidad de campo para el resto del ciclo fenológico del cultivo (Giménez, s.f.).

2.2.1.3. Estado vegetativo

En las etapas vegetativas se observan cambios en el cultivo de segunda con respecto a un cultivo de primera; las mayores temperaturas reinantes en una siembra tardía (diciembre) con relación a una temprana, provocan una rápida emergencia y tienen una alta incidencia en el acortamiento del período hasta floración, con lo cual disminuye el período para interceptar radiación. Un atraso de la siembra produce plantas más chicas en soja al momento de floración. Al atrasarnos en la siembra, el desarrollo vegetativo se acelera y el período en que los cultivos alcanzan la máxima intercepción de radiación, se acorta unos 20 - 30 días comparado con siembras tempranas. Con esto, un cultivo sembrado tarde compensa parcialmente el menor número de días de aprovechamiento de la luz (Forján e Iriarte, s.f.).

2.2.1.4. Estado reproductivo

En las etapas reproductivas también se observan cambios al comparar un cultivo de primera con uno de segunda; el número de granos por metro cuadrado se reduce con el atraso de la siembra en todos los cultivos. Esta reducción está asociada con una menor tasa de crecimiento del cultivo durante los períodos en los cuales dicho componente se determina. La alta plasticidad en cobertura de la soja no se expresa en siembras tardías debido a que la aceleración del desarrollo le impide a la planta expresar su potencial de ramificación, con lo cual se disminuye el número de granos. El desarrollo reproductivo es acelerado por influencia directa del fotoperíodo que al acortarse incide directamente en el llenado de los granos acortando el período a madurez fisiológica. Por el contrario, en general, tanto maíz como girasol sembrados tarde, tienden a alargar el período de llenado de granos. Esta respuesta opuesta se debe a que el desarrollo reproductivo de la soja está fuertemente controlado por el fotoperíodo mientras que los del maíz y girasol están controlados por la temperatura. La eficiencia de conversión en el período de llenado de granos (marzo-abril) se ve afectado ya que ocurre en momentos con temperaturas en disminución y suficientemente bajas. Con esto, se reduce la tasa de llenado de granos en los tres cultivos, pero mientras en maíz y girasol se alarga la duración de la etapa de crecimiento de los granos, en soja el fotoperíodo corto hacia fin de ciclo produce un cierto acortamiento del período de llenado de granos, reduciendo el peso individual del grano, además del ya comentado menor número (Forján e Iriarte, s.f.).

2.2.2. Crecimiento (altura, número de nudos, índice de área foliar, peso de plantas)

Háblate et al., Valentinus, Della Maggiore et al., citados por Caviglia et al. (2003) indican que: 1) un solo cultivo de trigo, maíz y soja pueden capturar de 50 a 60% de la PAR durante la estación del cultivo pero solo el 20 a 36 % de la PAR incidente anual. 2) La evapotranspiración potencial de un solo cultivo oscila desde 400 a 600 mm por estación, lo que representa un 44 a 70 % de las precipitaciones anuales.

En relación al cultivo simple, el múltiple cultivo puede incrementar la captura y la eficiencia en el uso de los recursos y la productividad de la tierra (Trenbath, Hook y Gascho, Fikai, citados por Caviglia et al., 2003).

En cultivo simple la eficiencia en el uso del agua es directamente relacionada con la eficiencia del uso de la radiación así como el genotipo y la ontogenia en girasol (Sadras et al., citados por Caviglia et al., 2003) y la nutrición en trigo (Caviglia y Sadras, citados por Caviglia et al., 2003).

El doble cultivo aumentó la productividad de la radiación tanto para materia seca como para rendimiento en grano. Esto fue principalmente relacionado con un incremento en la captura de la radiación, también hubo una contribución de la eficiencia en el uso de la misma con respecto a cultivo solo. La eficiencia en el uso del agua, esta relacionada con la eficiencia del uso de la radiación. Los dobles cultivos incrementan la productividad del agua en un año agrícola, esto se explica por el incremento de la eficiencia de la captura (Calviño et al., 2003).

Los doble cultivo aumentan la evapotranspiración entre 63-95% sin cambio en la captura de agua disponible estacional, esto indica que las perdidas de agua son en proporción a la longitud de la estación (Calviño et al., 2003).

La falta de diferencia de agua improductiva (entre doble cultivo y cultivo solo) puede ser atribuido a 3 razones: 1) La mayoría de la precipitaciones ocurren durante el período de crecimiento y son homogéneamente distribuidas. 2) La intensidad de precipitaciones caídas puede ser mayor que la tasa de infiltración del suelo. 3) "Pérdida de tiempo" es el tiempo que demora el cultivo para alcanzar el 80% de PAR (Calviño et al., 2003).

Los cultivos creciendo en rotación a menudo producen mayor cantidad de MS/planta que estos creciendo en monocultivos (Capeland y Crookston, citados por Liu et al., 2005).

En general, las plantas de soja en laboreo convencional se desarrollan rápidamente y son visualmente mayores (15-20%) durante todo el período vegetativo. Dos semanas después de la emergencia la soja creciendo en laboreo convencional produjeron un sustancial aumento de la materia seca total comparado con las que crecieron sin laboreo y las diferencias fueron mantenidas hasta R6. A partir de R6 comienzan las ventajas de la Siembra directa. La materia seca total de plantas no difirió al final del ciclo entre los dos sistemas de laboreo, ésta observación confirma la hipótesis de que la soja demuestra un crecimiento compensatorio que contribuye a un similar rendimiento en ambos sistemas de laboreo (Yusuf et al., 1999).

Estas diferencias son el resultado de un Índice de área foliar (IAF) mayor con laboreo convencional que sin laboreo durante la estación temprana (previo a R5). Desde R5 hasta fin de ciclo las diferencias de IAF entre laboreo y no laboreo desaparecieron (Yusuf et al., 1999).

2.2.3. Época de siembra (primera vs. segunda)

Cuando se siembra un cultivo de verano (maíz, girasol o soja) "de segunda" sobre rastrojos de cereales de invierno (avena, cebada, trigo) o colza, implica que la implantación del cultivo será en un período que no es el óptimo para la zona. Las condiciones ambientales a las que es expuesto un cultivo sembrado tarde, varían con relación a la siembra en fechas tempranas por lo que estos cambios inciden sobre el crecimiento, desarrollo y posterior rendimiento. En los tres cultivos mencionados, un atraso en la fecha de siembra provoca una reducción de sus rendimientos potenciales. Diferencias en la incidencia de radiación, temperatura y duración del día (fotoperíodo) afectan de distinto modo las etapas fenológicas de cada uno de estos cultivos (Forján e Iriarte, s.f.).

La posibilidad de realizar un cultivo de soja de segunda después de trigo está principalmente limitada por el contenido de agua en el momento de la siembra de la soja, por el balance de agua durante todo el ciclo del cultivo, por las bajas temperaturas durante el llenado de granos y por el acortamiento en el período de llenado por influencia fotoperiódica. Además, la etapa de crecimiento reproductivo ocurre en condiciones de menor temperatura y radiación que en el cultivo de primera (Andrade y Calviño, 2004).

Fecha de siembra temprana produjo mayor número de granos, número de vainas e índice de cosecha pero menor número de granos por vaina que fecha de siembra tardía (Pedersen y Lauer, 2004).

2.2.4. Rendimiento y sus componentes

Los menores rendimientos esperados de soja en un sistema de doble cultivo Trigo/soja 2^a se explican por:

- Pobre establecimiento asociado a suelo seco a la siembra.
- Déficit en todo el ciclo.
- Menor temperatura en llenado de grano.
- Menor periodo vegetativo asociado a altas temperaturas iniciales (verano vs. Primavera).
- Menor periodo de llenado de grano influenciado por el fotoperíodo (Calviño et al., 2003).

La disponibilidad de agua (siendo este el estimador de lluvias) durante el envainado y llenado de grano explica el 74% de la varianza del rendimiento, en condiciones de escasas y variables precipitaciones. Se vieron mayores rendimientos cuando las lluvias coinciden con las etapas críticas. Las diferencias de rendimiento se deben a las cantidades de precipitaciones que ocurren cuando se están definiendo el número de granos, debido a que el número de granos explican el 94% de la variación del mismo. El rendimiento aumenta cuando la disponibilidad de agua es mayor a 100 mm esto es debido a que se cubren las evaporaciones del mes de febrero (Calviño y Sadras 1999, Andrade y Calviño 2004).

El rendimiento es mayor con distancias entre hileras más cortas (0.25m) vs. (1m) en años más húmedos, pero los rendimientos resultaron menores en años secos (Calviño y Sadras, 1999).

En suelo con drenajes deficientes y lentos, es factible una disminución en rendimientos en siembra directa comparada con laboreo convencional. Pero en suelos con buen drenaje, el desarrollo y rendimiento de los cultivos en siembra directa es satisfactorio y superior al del sistema convencional. Secuencia trigo/soja²^a en INTA (1974) se tiene 2176kg/has para soja en siembra directa y 1984kg/has en laboreo convencional. Independientemente del sistema de labranza la rotación de cultivos induce a un aumento en los rendimientos (Marelli, 1999).

En información de URUGUAY. MGAP. DIEA (2006), se observa que en el año agrícola 2005/06 el rendimiento promedio para soja "de primera" fue de 2.044 kg/ha sembrada; para soja "de segunda" el rendimiento promedio fue de 1.579 kg/ha sembrada. El rendimiento promedio logrado en la zafra 2006/07 alcanza los 2.128 kg/ha sembrada, apenas un 4% por encima del año anterior, aunque con alguna diferencia entre las siembras "de primera" y "de segunda" (2.213 kg/ha y 2.028 kg/ha respectivamente).

En estudios presentados por Andrade y Calviño (2004) se detectaron interacciones entre la fecha de siembra y otras fuentes de variación que ayudaron a entender los procesos que actúan sobre la determinación del rendimiento. Promediando todas las fuentes de variación, los atrasos en la fecha de siembra produjeron reducciones pequeñas en el rendimiento hasta mediados de diciembre y grandes en las fechas más tardías. Si bien el número de granos/m² explicó el 86% de la variación del rendimiento, se encontró que el peso de los granos en las fechas de mediados de diciembre fue mayor que el registrado en siembras de enero. El rendimiento también se asoció significativamente con este parámetro. La reducción de la biomasa del cultivo, el índice de cosecha, el número de semillas y el peso de los granos pudo ser atribuida a tres factores: a) Corta estación de crecimiento. b) Baja tasa de crecimiento asociada a acortamiento de los días y a la reducción de temperatura. c) Una importante reducción en la duración de la etapa de llenado de granos, especialmente de R3 a R7. Esta reducción explicó el 77% de la variación del rendimiento, el 56% de la variación en el número de granos y el 62% de la variación en el peso de los granos.

Por el menor período vegetativo en los cultivos de siembras tardías difícilmente se logra alta cobertura con distancias entre hileras de 0.7m o mayores. En esos casos, las caídas de rendimiento por atrasos en la fecha de siembra pueden ser atenuadas reduciendo las distancias entre hileras y aumentando el número de plantas por unidad de superficie esto podría contribuir al aumento de la producción de la soja de 2da (Andrade y Calviño, 2004). Estos hallazgos apoyan la hipótesis que señala que en la soja de 2da en ambientes fríos, los componentes de rendimientos que explican la mayor parte de las variaciones del rendimiento son el número de granos/unidad de superficie (Elgi y Bruening, citados por Andrade y Calviño, 2004) y el peso de los granos (Andrade y Calviño, 2004).

En tesis de manejo del cultivo de soja Crespo y Longinotti (1988) encontraron que el único componente de rendimiento afectado por el espaciamiento fue el número de vainas por planta. Al observarse diferencias significativas solo en el número de vainas por planta, se debería esperar una respuesta significativa en el rendimiento. Sin embargo esto no ocurrió, aunque se observó una pequeña tendencia de mayor rendimiento en las parcelas sembradas a espacios entre hileras de 50 cm (contra 25 cm), que acompañó la respuesta del número de vainas por planta.

Según Bastos et al. (2007) los componentes de rendimiento que explican las diferencias en rendimiento son: el número de plantas por m², el número de vainas por planta y el número de granos por vaina, no encontrándose diferencia en el peso de los granos.

El laboreo para cultivos de invierno (trigo) aumento los rendimientos en 4.2% pero resulto en una reducción de los subsecuentes cultivos de verano (3.7% para soja y 7% para maíz). El retorno neto/ha fue mayor para doble cultivo trigo/soja/maíz bajo no laboreo que frente a sistema de laboreo convencional (Díaz-Zorita et al., 2004).

En aquellos experimentos en los que se dispone de información sobre los componentes de rendimiento que explican las diferencias, se resalta el menor número de plantas logradas en no laboreo, diferencia que ocurre dentro del rango de respuesta a la población de los cultivos estudiados, por lo que el problema podría radicar en el logro de las poblaciones objetivo planteadas (Ernst, 1999).

Los sistemas de laboreo afectan los componentes de rendimiento, con sistemas de no laboreo se cosecha 15%, 9% y 9% mayor masa de grano, No. de granos/m² y No. de vainas/m² que frente a sistemas de laboreo convencional respectivamente (Pedersen y Lauer, 2004).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO

3.1.1. Localización espacial y temporal

El trabajo fue realizado en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, Facultad de Agronomía, departamento de Paysandú, Latitud 32° 20" 57, Longitud 58° 02" 13. El trabajo de campo se realizó desde diciembre de 2005 hasta mayo 2006.

3.1.2. Suelo y antecedentes de la chacra

El suelo sobre el que se ubica el experimento es un Brunosol Eútrico Típico, formación Fray Bentos correspondiente a la unidad San Manuel, según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay escala 1:1000000 del MGAP.

El trabajo final de tesis se desarrolló sobre un experimento iniciado en el año 1993 y consiste en un factorial completo de dos sistemas de laboreo (sin laboreo y laboreo convencional) por dos sistemas de rotaciones (agricultura continua y rotación cultivos-pastura).

En el Cuadro se presenta el uso del suelo para el período invierno de 1993-invierno de 2005.

Cuadro 1.- Historia del experimento.

1993-1995	Cultivos
1995-1998	Cultivos/pasturas
1999-2001	Cultivos
2002-2004	Cultivos/pasturas
2005	Cultivos

3.1.3. Diseño experimental

El diseño experimental es bloques completos al azar con 3 repeticiones, siendo 4 los tratamientos evaluados: agricultura continua con laboreo (LCC), agricultura rotación con pasturas con laboreo (LCP), agricultura continua sin laboreo (SDC) y agricultura rotación con pasturas sin laboreo (SDP) . El tratamiento 1(LCC) tuvo solo 2 repeticiones porque se perdió en el bloque 2. El tamaño de cada parcela es de de 10x50m.

La cosecha con máquina se efectuó el día 26/05/06.

3.2. DETERMINACIONES REALIZADAS

3.2.1 Mediciones realizadas en el suelo

3.2.1.1. Humedad de suelo

Se determinó humedad gravimétrica a la siembra (08/12/05), 19 días pos-siembra (27/12/05) y 42 días pos-siembra (19/01/06) a 2 profundidades (0-10 y 10-20 cm). La muestra se tomó con un calador de 2cm de diámetro, realizando 10 submuestras por parcela. La muestra se secó en estufa a 105° C y es presentada como porcentaje en peso. A los 25 días pos-siembra (02/01/06) se determinó hasta los 60cm de profundidad, utilizando un calador hidráulico (1.8x100-cm). Las muestras tomadas se fraccionaron de 0 a 15, 15 a 30, 30 a 45 y de 45 a 60 cm.

La humedad volumétrica fue llevada a cabo por medio de una sonda de neutrones a diferentes profundidades de 15, 30, 45 y 60 cm. Ésta medición se hizo colocando tubos de aluminio en el suelo por los cuales se bajaba la sonda hasta las distintas profundidades en los momentos de medir la humedad. Estas mediciones se realizaron los días 26, 41, 62, 68, 78, 89 ,137 ,145 días pos-siembra.

Éste instrumento es una sonda modelo 503DR HIDROPROBE, mide la humedad que presenta el suelo. Para ello se utiliza una sonda que en su interior contiene una fuente de neutrones de alta energía y un detector de neutrones termalizados (desacelerados). La sonda es introducida dentro de los tubos anteriormente mencionados colocados en un agujero previamente perforado. Los átomos de hidrógeno presentes en el agua del suelo desaceleran los neutrones que chocan con ellos, lo cual permite que estos neutrones sean detectados.

Para calcular el agua disponible en el suelo se corrigió el valor de humedad gravimétrica por la densidad aparente de cada estrato de suelo. El valor de densidad determinado fue de 1.32 ,1.30 ,1.36 ,1.31 cm para la respectivas profundidades 0-15cm, 15-30cm, 30-45cm y 45-60cm, el agua disponible a capacidad de campo fue 103 mm.

3.2.1.2. Disponibilidad de nitrógeno en el suelo (N- NO_3^- a 20 cm del suelo)

En el mismo momento de muestreo de suelos para determinar humedad en los primeros 20 cm del perfil (siembra, 19 días pos-siembra (27/12/05) y 42 días pos-siembra (19/01/06) se tomó una sub muestra para cuantificar la disponibilidad de N- NO_3^- . En este caso las muestras fueron secadas a 60° C. Para cuantificar N- NO_3^- se utilizó la técnica de electrodo de nitratos, con un equipo Orion, modelo 93-07, con CaSO_4 como floculante. Los resultados finales se expresan como partes por millón.

3.2.2. Mediciones efectuadas en plantas

3.2.2.1. Implantación

Se determinó mediante el conteo de plantas en 3 hileras de 10 m en cada una de las parcelas. La determinación se realizó una sola vez a los 19 días pos-siembra obteniéndose en promedio el No. de plantas/ m lineal.

3.2.2.2. Fenología

Se determinó el desarrollo fenológico de 10 plantas consecutivas por parcela, a las cuales también se les midió altura. Para identificar el estado fenológico se utilizó la escala propuesta por Ritchie et al. (2002). Las determinaciones se realizaron en diferentes momentos de desarrollo del cultivo: 27/12/05, 08/01/06, 17/01/06, 05/02/06, 14/02/06, 28/02/06, 13/03/06.

3.2.2.3. Altura y número de nudos

En las mismas 10 plantas que se determinó fenología se midió altura y se hizo un conteo del No. de nudos/planta a partir del 05/02/06.

3.2.2.4. Índice de área foliar (IAF)

Se realizaron las mediciones con un bastón digital (modelo LAI- 2000 Plant Canopy Analyser) en todas las parcelas, se obtuvieron datos de LAI (IAF).

Las mediciones se hicieron en diferentes momentos de desarrollo del cultivo, las primeras dos medidas (08/01/06 y 17/01/06) se tomó un solo valor de LAI y DIFN por parcela, pero en las fechas siguientes (05/02/06, 14/02/06 y 13/03/06) en cada parcela se tomaron dos medidas: una con rastrojo en pie y otra con rastrojo chato solamente en los tratamientos de siembra directa (rueda de la cosechadora, fumigadora, etc.).

3.2.2.5. Peso de planta

Se determinó mediante el corte de plantas de 4 m lineales, siendo esto, 2 m en una hilera y los otros 2 m en la hilera contigua, en las siguientes fechas: 05/02/06, 14/02/06, 28/02/06 y 13/03/06.

Las plantas se pesaron en condiciones frescas, se estimó el % de materia seca en base a una submuestra de 200 g.

3.2.2.6. Cosecha manual

La misma fue realizada para obtener los componentes del rendimiento, se hizo el día 20/04/06. De cada parcela se cortaron 4 m lineales y se contó el número de plantas, número de nudos y de ramas por planta. A partir de esto se estimó el número de plantas, de nudos y de ramas por m².

Sobre 10 plantas al azar de cada tratamiento se contó el número de vainas llenas y vacías (también se calculó vainas por m²). Estas vainas se llevaron a estufa y sobre 100 granos por tratamiento, se determinó el peso de granos sanos y granos dañados a partir de los cuales se calculó el peso de 1000 granos corregido a 13 % de humedad.

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados se analizaron con el sistema Statistical Analysis Systems (Ver. 6.11 1996; SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina U.S.A.) utilizando dos modelos:

Modelo estadístico para medidas puntuales

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + S_j + R_k + (SR)_{jk} + \varepsilon_{ijk} + \tau_l + (S\tau)_{jl} + (R\tau)_{lk} + (SR\tau)_{jkl} + \delta_{ijkl}$$

$(S\tau)_{jl}$ = Efecto del j-ésimo sistema de laboreo en l-ésimo momento de muestreo.

$(R\tau)_{lk}$ = Efecto de la k-ésima rotación en l-ésimo momento de muestreo.

$(SR\tau)_{jkl}$ = Efecto de la interacción entre el j-ésimo sistema de laboreo, la k-ésima rotación en el l-ésimo momento de muestreo.

δ_{ijkl} = Error entre mediciones.

δ_{ijkl} VsAs no ind ID (0, σ^2)

Modelo estadístico para mediciones repetidas en el tiempo

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + S_j + R_k + (SR)_{jk} + \varepsilon_{ijk} + \tau_l + (S\tau)_{jl} + (R\tau)_{lk} + (SR\tau)_{jkl} + \delta_{ijkl}$$

$(S\tau)_{jl}$ = Efecto del j ésimo sistema de laboreo en l ésimo momento de muestreo.

$(R\tau)_{lk}$ = Efecto de la k ésima rotación en l ésimo momento de muestreo.

$(SR\tau)_{jkl}$ = Efecto de la interacción entre el j ésimo sistema de laboreo, la k ésima rotación en el l ésimo momento de muestreo.

δ_{ijkl} = Error entre mediciones.

δ_{ijkl} VsAs no ind ID (0, σ^2).

Para todas las variables se realizó el análisis estadístico y separación de medias mediante la prueba de la mínima diferencia significativa (DMS) al 10% de probabilidad de error. La separación de medias por DMS fue realizada solo cuando el análisis de varianza fue significativo ($p \leq 10\%$).

Cuadro 2.- Variables medidas en el experimento

Medidas puntuales	Medidas repetidas en el tiempo
Implantación	Humedad
Rendimiento	N-NO ₃ ⁻ en suelo
Componentes de rendimiento	Fenología
	Altura de plantas
	No. de nudos
	IAF
	Peso de plantas

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL AÑO

En el Cuadro 3 se presenta la temperatura media diaria y precipitaciones ocurridas durante la estación de crecimiento con relación a la media histórica.

Cuadro 3.- Promedio de 25 años de precipitaciones (mm) y Temperaturas (°C) para el período diciembre-abril y para la estación de crecimiento del cultivo de soja 2005-2006.

Meses	Precipitaciones (mm)		Temperatura media (°C)	
	Serie histórica(71-95)	2005-2006	Serie histórica(71-95)	2005-2006
Dic	103,8	96,1	23,4	22,1
Ene	102,6	111	25,0	26,4
Feb	130,3	66,1	23,8	24,7
Mar	128,5	70	22,2	21,7
Abr	121,2	70,7	18,4	19,8
Total	586,4	413,9	22,5	22,9

El promedio de las temperaturas fue similar al de la serie histórica. En cuanto a las precipitaciones, el total ocurrido durante el ciclo del cultivo fue un 29% menor que la media histórica. Considerando el período crítico de crecimiento para rendimiento del cultivo evaluado, que fue durante los meses de febrero y marzo del 2006, la deficiencia con relación a la media histórica fue del 50% y sobre fin de ciclo (abril) fue del 40%.

En la Figura 5 se presenta la distribución de lluvias relacionada con la fenología del cultivo de soja.

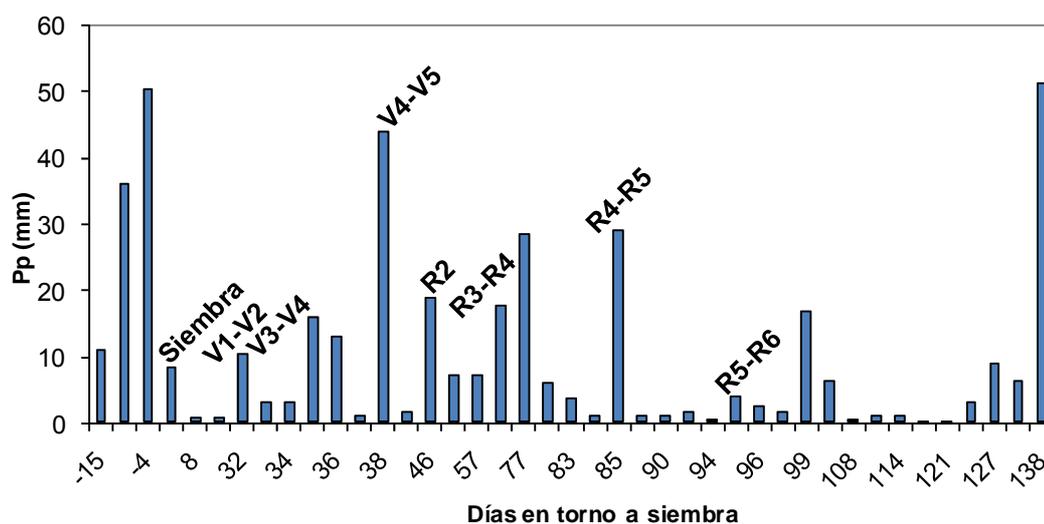


Figura 5.- Precipitaciones (mm) ocurridas en el período 15 días pre-siembra hasta madurez fisiológica del cultivo (138 días pos siembra)

La cosecha del trigo se realizó el 28/11 y la siembra de la soja el 8/12, período durante el cual llovieron 86,5 mm. Esto permitió recargar parcialmente el perfil con agua. Durante el período vegetativo no se registraron precipitaciones abundantes pero el cultivo en este estadio tiene una baja demanda y resulta menos sensible al déficit. Durante los estadios reproductivos, y en especial en el período crítico de crecimiento (R4-R6), existió un fuerte déficit de precipitaciones.

4.2. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y NITRÓGENO A LA SIEMBRA Y DURANTE LA IMPLANTACIÓN

El manejo del suelo, definido como laboreo y rotación o no con pasturas modificó la disponibilidad de agua y nitrógeno durante la fase inicial de crecimiento del cultivo de soja de segunda.

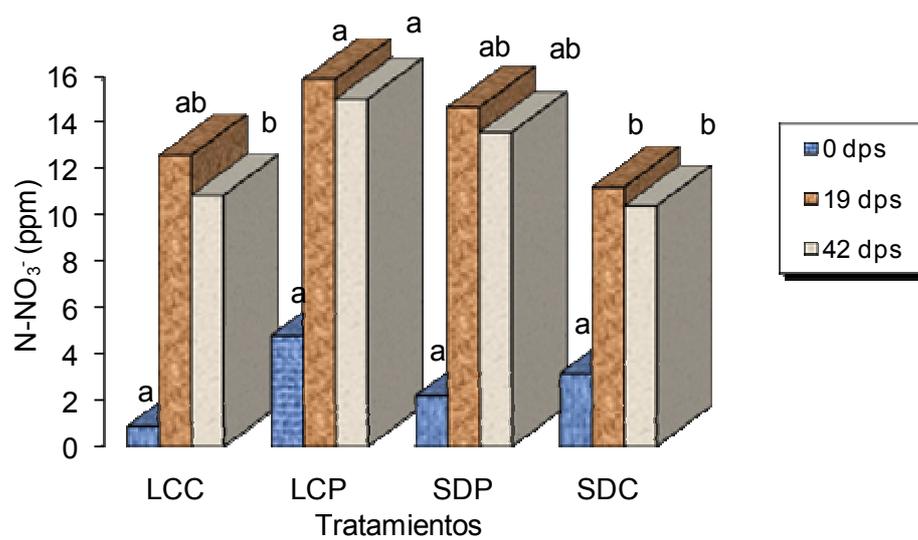
4.2.1. Nitratos en suelo

Figura 6.- Evolución del contenido de N-NO₃⁻ en los primeros 42 días pos-siembra en los primeros 10 cm del perfil.

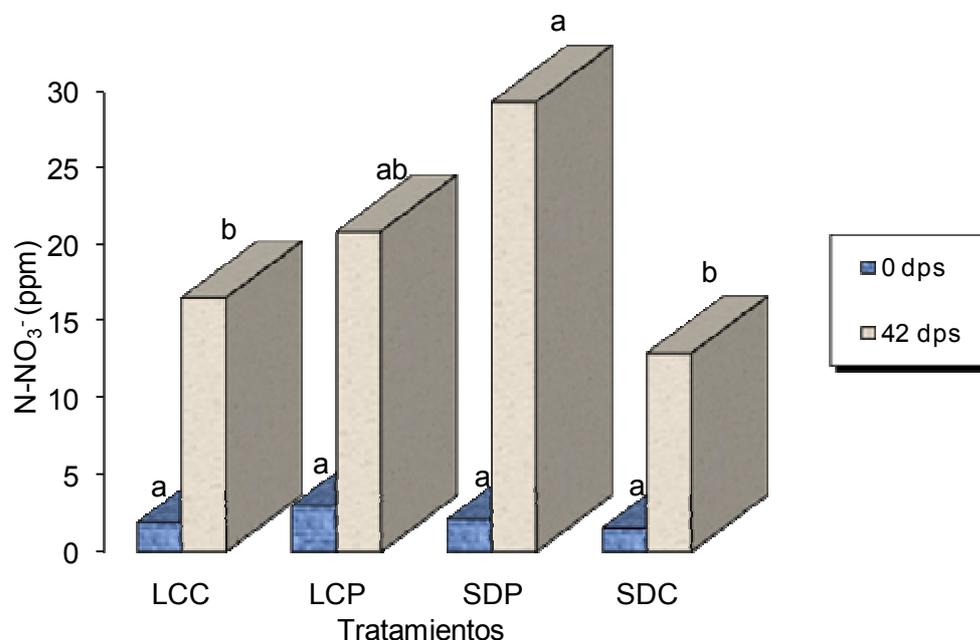


Figura 7.- Evolución del contenido de N-NO_3^- en los primeros 42 días pos-siembra entre 10 y 20 cm del perfil

La disponibilidad de N-NO_3^- a la siembra en los primeros 20cm del suelo fue muy baja independientemente del manejo del suelo (2 ppm en promedio). La determinación se realizó el mismo día de la siembra, por lo que la disponibilidad es el efecto residual del cultivo anterior (trigo). En este sentido la información es coincidente con la bibliografía (Sawchik, s.f.). Si bien el rastrojo se retiró para simular el efecto de una quema, el resultado inmediato no es el mismo y no es de prever un efecto positivo del laboreo sobre la disponibilidad del nutriente.

A los 19 días pos siembra ya se registró un aumento importante de la disponibilidad de N-NO_3^- (0-10-cm). Se cuantificó un efecto de la rotación o no con pasturas (16 ppm en la rotación con pasturas contra 11 ppm en la sin pasturas) sin llegar a tener diferencia significativa. El sistema de agricultura continua sin laboreo (SDC) fue el de menor aporte a los 19 y 42 días pos siembra. El menor incremento de LCC, aún retirando el rastrojo de trigo, se debería al efecto “años con agricultura continua” que ha sido caracterizado como “chacra vieja” por varios autores (Ernst et al., 1990).

Entre 10 y 20 cm se mantuvo el efecto residual positivo de la rotación con pasturas, tendiendo a ser mayor en siembra directa que con laboreo. En tanto, ambos manejos para agricultura continua, aportaron significativamente menos nitrógeno.

4.2.2. Residuo de agua almacenada en el suelo

A los 19 días pos siembra no se cuantificó diferencia en el agua disponible en los primeros 10 cm del perfil, presentando valores cercanos a punto de marchitez permanente (datos no mostrados).

A esta fecha el suelo estaba seco en los primeros 10 cm en todos los tratamientos, a pesar de que llovieron 86 mm durante los 15 días pre-siembra. En contradicción con lo esperado en función de los efectos positivos sobre la conservación de la humedad de no labrear y mantener el 100% del rastrojo del cultivo de trigo anterior con relación a laboreo sin cobertura de rastrojo no se cuantificaron diferencias entre tratamientos con y sin laboreo (Marelli, 1999). Posiblemente el efecto aún se mantenía en profundidad (datos no disponibles), pero como lo demuestran García Préchac (1998), Ernst (1999), Marelli (1999) la cobertura del suelo retrasa la pérdida de agua pero no la evita. Durante este período la demanda atmosférica de agua promedió 92 mm día^{-1} y el cultivo de soja ya estaba transpirando agua desde su emergencia, ocurrida a los 8 días pos siembra.

En la Figura 8 se presenta la relación entre el rendimiento en grano del trigo y el residuo de agua disponible en profundidad (30 a 60 cm) a los 26 días pos siembra, cuando aún no se había registrado ninguna lluvia capaz de modificar la disponibilidad en este estrato.

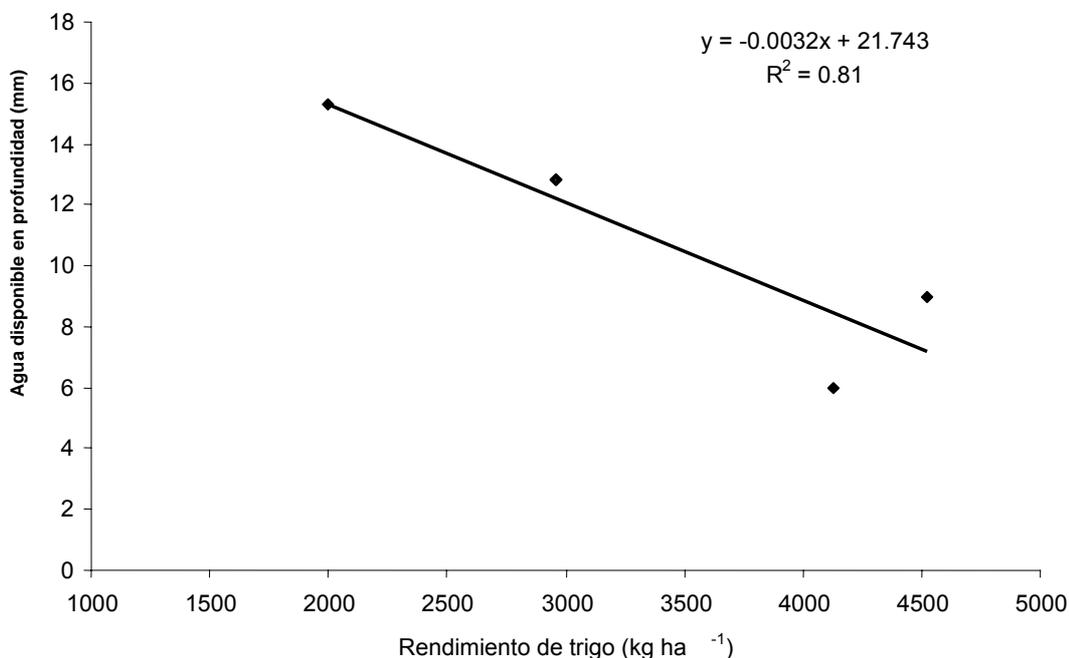


Figura 8.- Relación entre rendimiento de trigo y agua disponible (mm) entre 30 y 60 cm de profundidad a los 26 días pos siembra.

Los tratamientos de mayor rendimiento determinaron un menor residuo de agua almacenada en profundidad. La variación de rendimiento corresponde, en orden creciente, LCC, SDC, SDP y LCP.

El agua que tenga disponible el cultivo de segunda depende del balance hídrico entre el cultivo de invierno y el cultivo de verano (Ernst 1999, Andrade y Calviño 2004, Sawchik y Ceretta 2005). El rendimiento obtenido durante el cultivo de invierno determina el rendimiento del cultivo de verano, esto se asocia a que el contenido de agua que deja el cultivo de invierno es menor cuando sus rendimientos son mayores.

4.3. EFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y LA ROTACIÓN CON PASTURA SOBRE LA RECARGA Y USO DE AGUA DEL SUELO

El agua disponible en cada fecha determinada resulta de un balance entre ingresos correspondientes a las precipitaciones ocurridas en el ciclo del cultivo y los egresos correspondientes al uso del agua que hace la soja.

En la Figura 9 se presenta la evolución del agua disponible en el suelo en todo el perfil (0-60 cm) entre 26 y 145 días pos siembra.

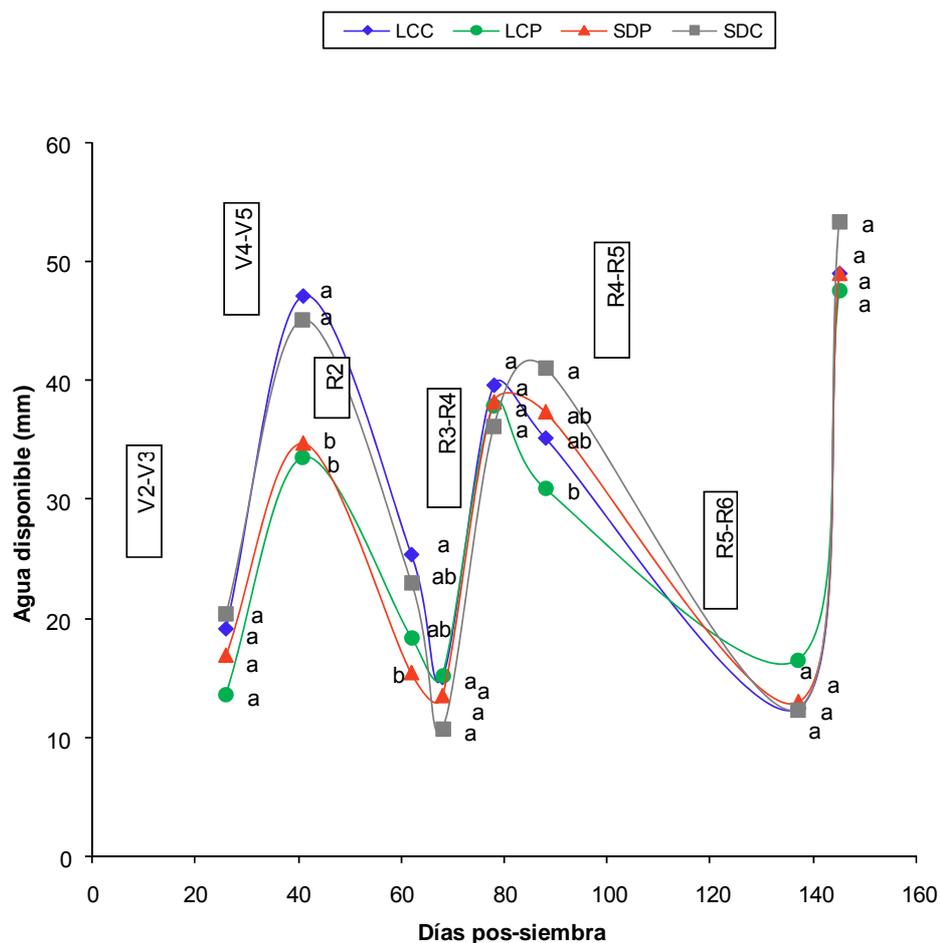


Figura 9.- Evolución del agua disponible de 0-60 cm.

Las dos primeras mediciones corresponden con el estado vegetativo de la soja, en esta etapa el agua disponible debería ser mayor a 40 % de la capacidad de campo (Giménez, s.f.) (que en el caso del suelo de este experimento es 100 mm), para que no exista estrés hídrico. A los 68 días pos siembra la soja ya había ingresado al período crítico (R4-R6), estadio en el cual el umbral hídrico manejado es mayor al 60 % de la capacidad de campo (Giménez, s.f.). Como se puede observar en el período crítico de crecimiento para definición de rendimiento el agua disponible no superó los 50 mm, por lo tanto el cultivo sufrió déficit hídrico. Hasta los 62 días pos siembra, los tratamientos en rotación con pastura (LCP y SDP) tuvieron menor disponibilidad

de agua que los de agricultura continua. Como la recarga ocurrida durante el período 26 a 41 días no saturó el suelo y la cantidad de lluvia no habría generado diferencias de escurrimiento, solo se produjeron cambios por recarga y uso del agua de manera similar entre tratamientos. El día 68 pos siembra, la disponibilidad de agua fue muy baja (menos de 20 mm.), y la absorción del cultivo habría eliminado las diferencias acarreadas desde el inicio del experimento. Entre los 78 y 145 días pos siembra tampoco se detectaron diferencias entre tratamiento en recarga y uso del agua del suelo. Este comportamiento refleja que las lluvias nunca fueron suficientes para recargar el perfil y que ningún tratamiento limitó el uso del agua almacenada. El estrés fue tan marcado que no permitió expresar los efectos positivos de la siembra directa con rastrojo en superficie con respecto al laboreo convencional y sin rastrojo como hace referencia la bibliografía.

En la Figura 10 se presenta el agua disponible en mediciones repetidas a diferentes profundidades.

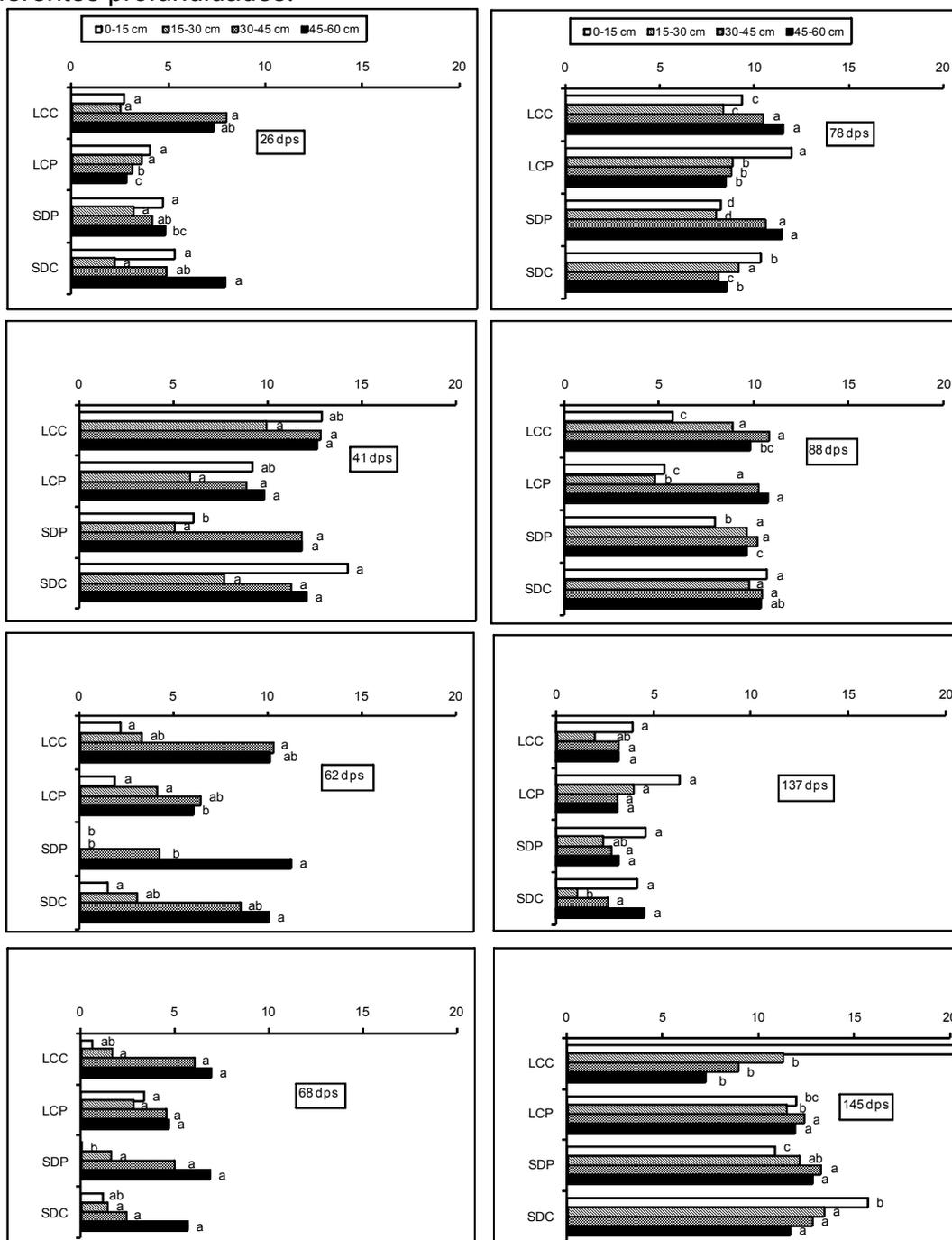


Figura 10.- Distribución del agua disponible (mm) según profundidad de suelo

A partir de los 26 días pos siembra el nivel de agua disponible en superficie (0-15 cm) fue muy bajo para todos los tratamientos. No se cuantificó ventaja en la conservación de humedad del suelo por la siembra sin laboreo con rastrojo en superficie, lo que se atribuye al gasto de agua por el cultivo durante un período en el que no existieron lluvias.

En profundidad existió mayor cantidad de agua disponible para los tratamientos de agricultura continua (LCC y SDC). Esta diferencia reflejaría un residuo diferencial de agua desde el cultivo de invierno. Ambos tratamientos rindieron significativamente menos que los manejos en rotación con pastura (LCP y SDP). Resultados similares obtuvieron (Calviño et al. 2003, Andrade y Calviño 2004).

Tres días antes de tomar la medida a 41 dps llovieron 44 mm, por lo que la determinación incluye posibles diferencias en la recarga de agua. Como puede observarse, todos los tratamientos ganaron agua. Seguramente parte del agua retenida en los primeros 30 cm del perfil ya había sido transpirada por el cultivo en los días pasados entre la lluvia y la determinación (3 días). En profundidad no se registró diferencias entre los tratamientos debido a que el nivel de agua estaba muy por debajo de la capacidad de campo. O sea que en estas condiciones de baja disponibilidad hídrica al ocurrir una lluvia las diferencias entre los tratamientos se perciben en superficie.

Entre 41-62 dps llovieron 50 mm distribuidos en cuatro eventos, en profundidad el nivel de agua se redujo ya que las precipitaciones ocurridas no alcanzaron para recargar el perfil. El cultivo utilizó agua hasta los 45 cm en todos los tratamientos. En la profundidad de 0-15 cm el tratamiento SDP tuvo significativamente menos agua que los demás tratamientos.

Entre 62 y 68 dps no se registraron lluvias los valores de agua disponible siguieron disminuyendo por extracción del cultivo. En este momento el cultivo está iniciando el período crítico y el nivel de agua disponible estuvo muy por debajo de la demanda del cultivo en esta etapa. A los 78 dps la soja ya se encuentra en el período crítico (R4). Si bien la disponibilidad de agua volvió a subir como consecuencia de precipitaciones que ocurrieron el día previo a la determinación de humedad, en este momento si existieron diferencias significativas entre tratamientos ya sea en superficie como en profundidad.

Para el periodo 78-88 dps se registraron eventos de precipitaciones que llegaron a los 38 mm (de estos, 30 mm fueron 3 días antes de tomar la medida de agua disponible). Igualmente en todos los tratamientos el agua disponible se mantuvo baja como consecuencia de la extracción por el cultivo. En este

período se registraron lluvias pero no fueron suficientes como para abastecer las demandas del cultivo en el periodo crítico.

Desde la última medición hasta 137 dps llovió 55 mm. Solo se ven diferencias significativas en el agua en superficie, el tratamiento que tuvo mayor disponibilidad es el tratamiento LCP y los de menor disponibilidad fueron SDC y SDP.

Previo a la determinación de la última fecha, llovió 51 mm siete días antes lo que, sumado a que el cultivo estaba finalizando su ciclo, se evidenció una recarga de agua del perfil.

Los resultados muestran una estación de crecimiento con déficit hídrico durante todo el ciclo del cultivo. Este se sembró ya con una reserva de agua baja, en la que solo fue posible definir una diferencia asociada al rendimiento del cultivo de invierno.

El cultivo de soja extrajo agua desde todo el perfil del suelo analizado en todos los tratamientos, lo que indicaría que no existieron restricciones diferenciales para el crecimiento radicular en profundidad.

La recarga de agua fue similar en todos los tratamientos, lo que se atribuye a la ocurrencia de lluvias de poca cantidad, sobre suelo seco y que nunca alcanzaron para saturar el perfil.

Bajo estas condiciones, no se detectó diferencia en la recarga y uso del agua desde el suelo por el cultivo de soja sembrado con o sin laboreo dentro de rotaciones que incluyó o no pasturas perennes.

4.4. EFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y LA ROTACIÓN CON PASTURA EN EL CULTIVO DE SOJA

4.4.1. Variables de crecimiento y desarrollo

4.4.1.1. Implantación inicial

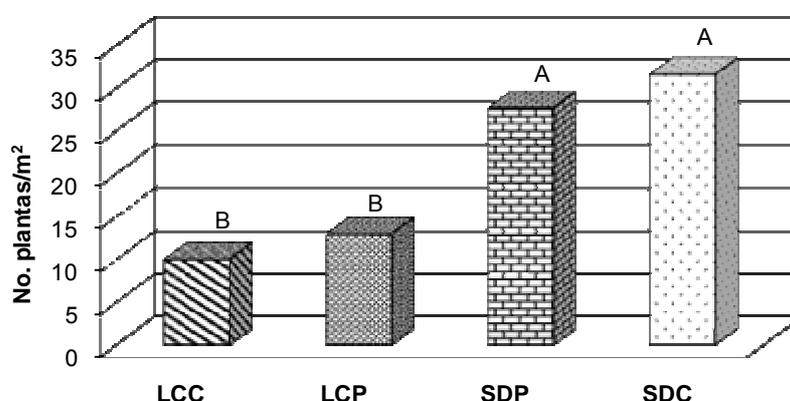


Figura 11.- Implantación

Los tratamientos con siembra directa, independientemente de la rotación con pasturas lograron significativamente mayor número de plantas por metro cuadrado que los tratamientos con laboreo convencional. Los resultados no concuerdan con experimentos anteriores en los que el laboreo convencional logró mayor implantación asociado a “suelo más suelto” y mayor temperatura (Ernst 1999, Martino 1999).

Enseguida de la siembra ocurrieron precipitaciones no muy abundantes pero si con mucha intensidad, que provocaron encostramiento en los tratamientos con laboreo convencional, dado que no se existieron diferencias en humedad del suelo entre tratamientos, la menor implantación se explica por el encostramiento del suelo, este efecto no fue cuantificado pero la costra formada en los tratamiento con laboreo, que a su vez no tienen rastrojo en superficie, dificultó la emergencia de la soja. Este efecto no fue evidente en siembra directa, posiblemente, debido a la cobertura de rastrojo que evita el impacto de las gotas de lluvia (García Préchac, 1998).

4.4.1.2. Fenología

En la figura 12 se muestra la evolución fenológica del cultivo durante la fase vegetativa.

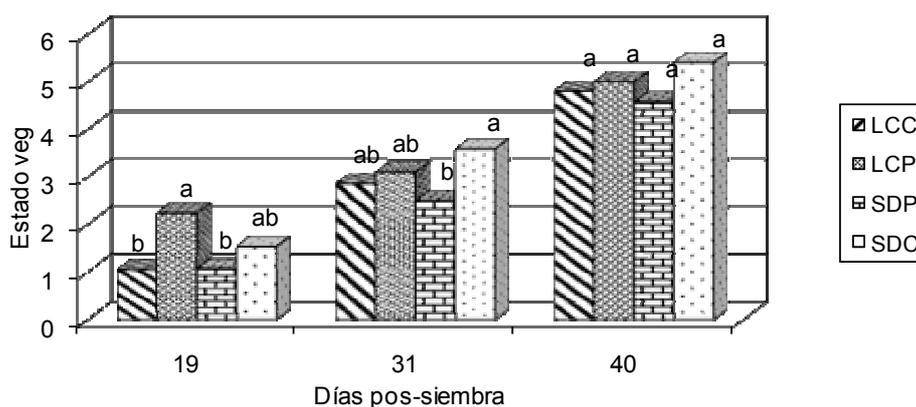


Figura 12.- Evolución del estado vegetativo

Esta fase duró 40 días en todos los tratamientos. Existieron diferencias significativas entre los tratamientos sólo a los 19 y los 31 días pos-siembra.

El tratamiento LCC y SDP estaban en promedio en V1 a los 19 días, mientras que los demás tenían un desarrollo más avanzado (V2). A los 31 días el único tratamiento retrasado en el desarrollo fue SDP y el efecto desapareció a los 40 días pos siembra.

En la figura se muestra la evolución fenológica del cultivo durante la fase reproductiva.

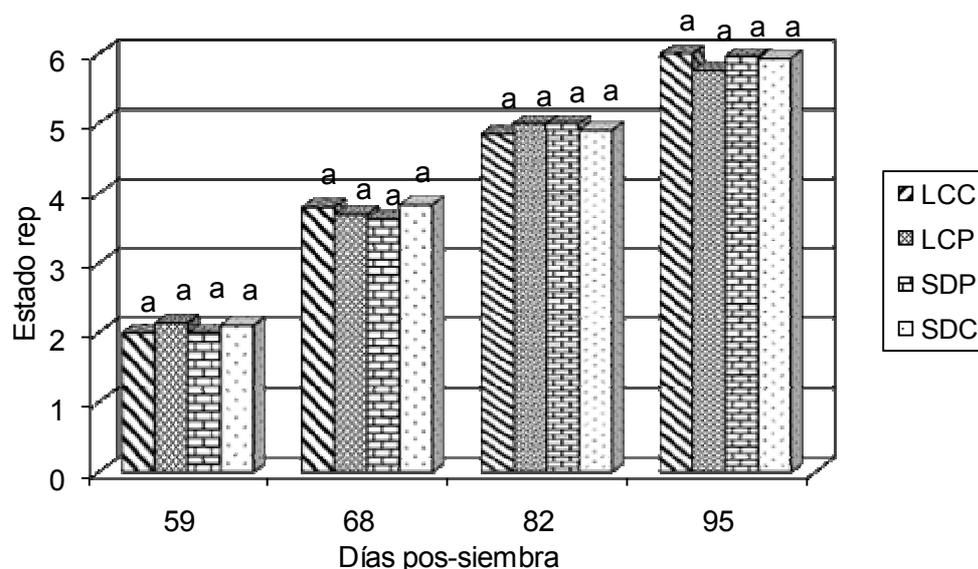


Figura 13.- Evolución del estado reproductivo

Durante el estado reproductivo del cultivo no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

Considerando todo el ciclo del cultivo se puede apreciar que los tratamientos tuvieron diferencias significativas en el inicio del estado vegetativo, y no existieron diferencias al fin del estado vegetativo ni en el estado reproductivo. Esto quiere decir que partir del día 40 pos siembra el estado fenológico no difiere entre tratamientos siendo esto coincidente con la bibliografía (Yusuf et al., 1999).

4.4.1.3. Altura y número de nudos por planta.

En la figura se muestra la evolución de la altura y número de nudos por planta del cultivo.

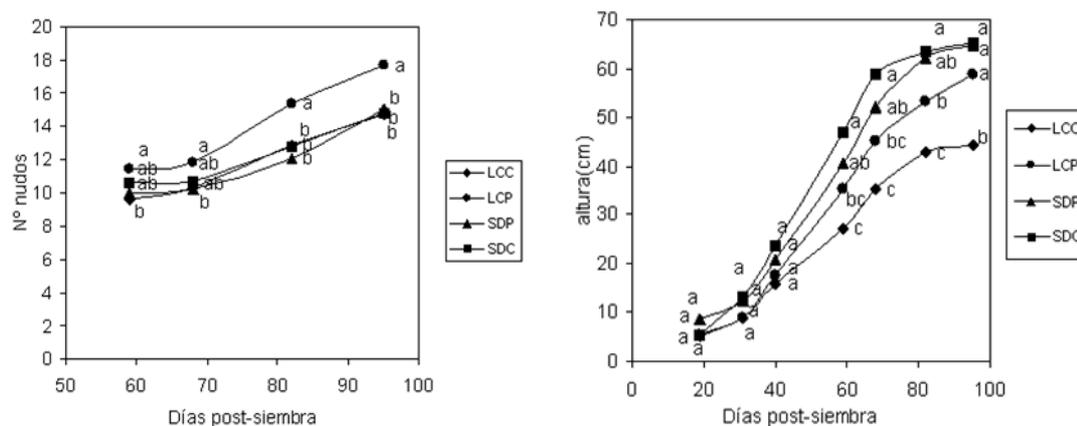


Figura 14.- Evolución del número de nudos por planta (a) y de la altura de planta (b).

Como se observa en el grafico anterior durante la etapa vegetativa no hubo diferencias significativas de altura entre tratamientos, si se observan diferencias en la etapa reproductiva. En los días 59, 68 y 82 pos siembra el tratamiento con mayor altura fue SDC y el de significativamente menor altura fue LCC. Los tratamientos LCP y SDP se ubicaron en el medio, no presentando diferencias entre ellos ni con los otros tratamientos. Para el día 94 pos siembra LCC fue significativamente más bajo que los restantes tratamientos.

Para la variable nudos por planta, el tratamiento que tuvo mayor número de nudos con diferencias significativas fue LCP, no existiendo diferencias significativas entre el resto de los tratamientos.

4.4.1.4. Nudos por m²

En la figura se muestra la evolución del número de nudos por m²

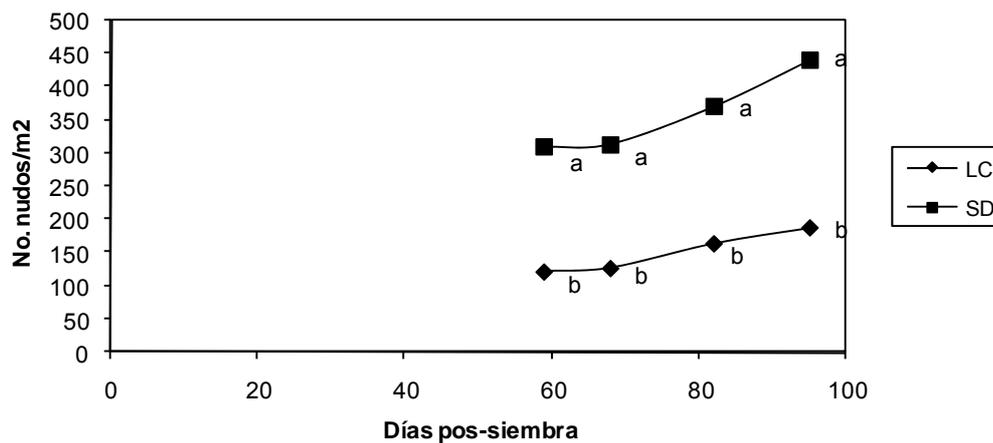


Figura 15.- Evolución del No. nudos por m²

El número de nudos se comenzó a medir cuando el cultivo alcanzó el estado reproductivo.

En el número de nudos/m² hay diferencias significativas para los distintos sistemas de laboreo, no así para los sistemas de rotaciones con pasturas, en todos los días se observa que el sistema de siembra directa tiene mayor número de nudos/m², esto se explica porque los tratamientos con siembra directa a pesar de no tener más nudos por planta tienen más plantas/m² lo cual determina un mayor número de nudos/m².

4.4.1.5. Área foliar y producción de materia seca

En la figura siguiente se muestra la evolución del peso de plantas en materia seca.

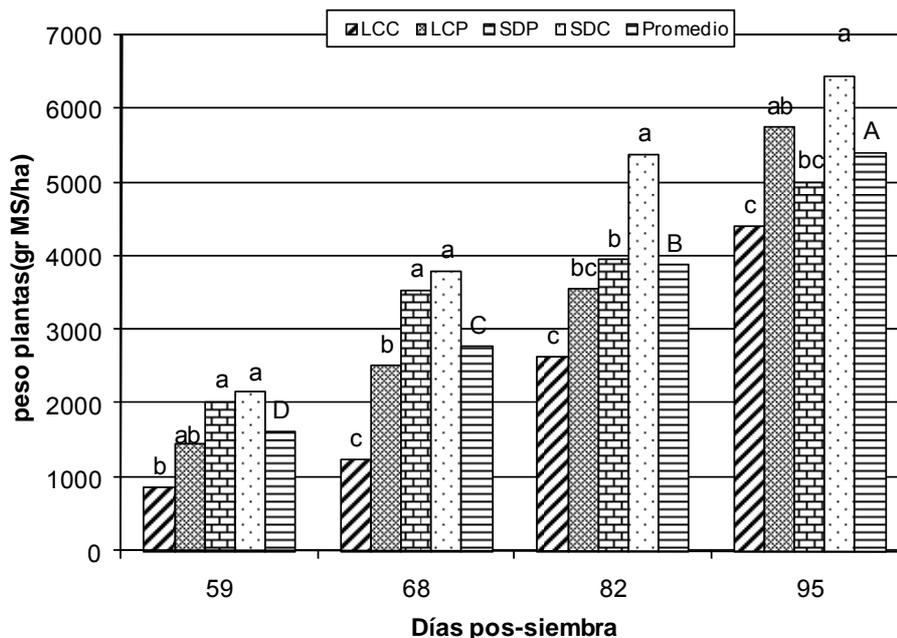


Figura 16.- Evolución del peso de plantas

Letra minúscula: diferencia de medias entre tratamientos en cada día

Letra mayúscula: diferencias de medias entre promedios de cada día

Esta variable se empezó a medir cuando el cultivo alcanzó el estado reproductivo.

Como se puede observar el tratamiento SDC logró mayor peso de plantas (gr MS/ha) y el que produjo menos fue LCC, ubicándose entre ambos los tratamientos LCP y SDP. Esto también puede ser explicado por el número de plantas, es decir, los tratamientos que tuvieron mayor número de plantas /m² lograron mayor producción de materia seca por hectárea.

Entre los días 68 y 95 pos siembra, el cultivo estaba en el período crítico de crecimiento (por planta) para definir el número de granos por planta. Como los tratamientos definieron variaciones en la población lograda, en la Figura 17 se presenta la tasa de crecimiento por planta dentro de este período.

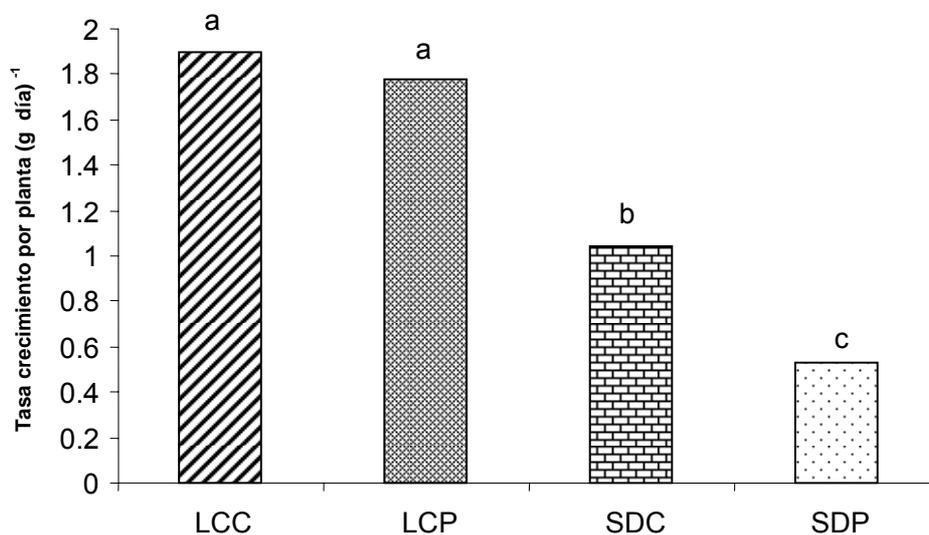


Figura 17.- Tasa de crecimiento diaria por planta durante el período crítico (68 a 95 días pos siembra)

Los tratamientos con laboreo presentaron mayor tasa de crecimiento durante el período, lo que se explica por su menor población. Para los tratamientos de siembra directa, que lograron población similar, la tasa de crecimiento de SDC fue significativamente superior a SDP.

Esta situación coincide con la evolución del IAF (Figura 18).

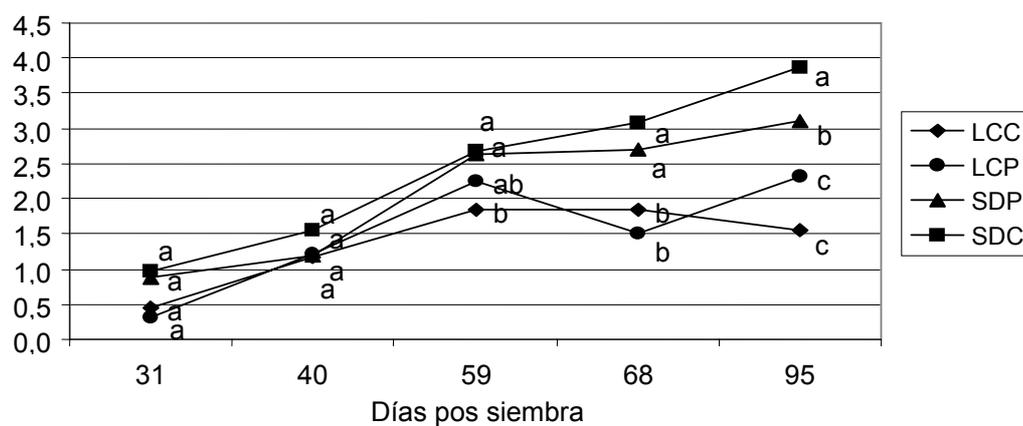


Figura 18.- Evolución del área foliar de soja con y sin laboreo en rotación o no con pastura.

Mientras que los tratamientos con laboreo perdieron área foliar entre los días 68 y 95, el de SDP lo mantuvo y el único que no perdió IAF fue SDC.

Tanto la producción por planta, la altura del cultivo (Figura 14b) como el IAF, estarían relacionados a una relativamente mejor situación hídrica de la SDC (ver Figuras 8 y 9) que se generó desde la siembra, como residuo del menor rendimiento del cultivo de invierno.

4.4.2. Rendimiento

4.4.2.1. Componentes de rendimiento

Cuadro 4.- Componentes de rendimiento según tratamientos

	LCC	LCP	SDP	SDC
Plantas/m2	10 b	13 b	28 a	32 a
Ramas/m2	65 b	86 ab	129 a	135 a
Ramas/pl	5 a	4 ab	3 b	4 ab
Nudos/m2	170 b	190 b	386 a	447 a
Nudos/pl	17 a	15 ab	14 b	14 b
Vainas totales/m2	1092 a	1068 a	1707 a	2026 a
Vainas llenas/m2	624 b	667 b	1186 ab	1644 a
Vainas vacías/m2	468 a	391 a	520 a	382 a
Vainas totales/pl	107 a	81 ab	61 b	64 b
Vainas llenas/pl	63 a	50 a	42 a	52 a
Vainas vacías/pl	44 a	31 ab	19 b	12 b
PMG totales	110 a	113 a	101 a	115 a
PMG llenos	179 a	204 a	187 a	192 a
PMG dañados	95 a	97 a	88 a	102 a
% granos llenos	18 a	18 a	12 a	17 a
% granos dañados	82 a	81 a	88 a	81a

Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si dentro de cada fila $p \leq 0,10$.

El comportamiento de los componentes cuantificados por se asocia a los cambios en la población lograda. El tratamiento LCC logró los mayores valores de Nudos/pl, Vainas totales/pl y Vainas llenas/pl, pero los menores valores por unidad de superficie. Por lo tanto, cada planta dispuso de más recursos disponibles y logró mejores componentes de rendimiento. El tratamiento que

mostró el mejor comportamiento por unidad de superficie fue SDC, definido por el significativamente mayor número de plantas por m².

Para el número de nudos los tratamientos de laboreo convencional son los que poseen significativamente mayor número de nudos/planta pero significativamente menor número de nudos/m². El tratamiento SDP y SDC tienen significativamente menor nudos/planta, pero el SDP tiene el mayor número de nudos/m², esto se explica por el mayor número de plantas/m². Observando la altura de plantas (Ver figura 14b) se puede ver que los tratamientos de SD son los que tienen mayor altura pero menor número de nudos por planta por lo tanto tienen mayor longitud entre nudos, esto se explicaría por la presencia de rastrojo que hace crecer en altura en busca de la luz.

El número de granos no explicaría la diferencia en los rendimientos obtenidos, ya que no hay diferencias significativas entre tratamientos en el peso total de mil granos, ni tampoco en el número y peso de granos sanos y dañados. El porcentaje de granos dañados estuvo en torno al 80%, explicado por el déficit hídrico durante el llenado de grano.

4.4.2.2. Rendimiento en grano

En la siguiente figura se presenta el rendimiento en grano de la soja a 13 % de humedad.

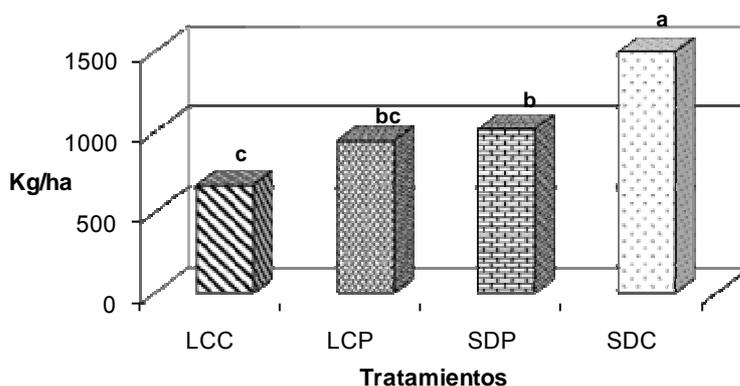


Figura 19.- Rendimiento a cosecha de la soja (humedad 13%)

Los rendimientos logrados fueron extremadamente bajos, asociado al déficit hídrico y al alto porcentaje de granos dañados (no llenos). El crecimiento del cultivo fue bueno, lográndose IAF entorno al crítico para el cultivo, número

de nudos y altura de planta dentro de lo esperado para el grupo de madurez utilizado, pero el rendimiento resultó limitado por una condición hídrica muy deficiente durante todo el ciclo del cultivo y, en especial, durante el período crítico para la definición del rendimiento por planta. El tratamiento que logró un significativamente mayor rendimiento fue el de SDC, las diferencias se asocian a una relativamente mejor disponibilidad de agua en profundidad, producto del menor rendimiento del trigo anterior. El de significativamente menor rendimiento fue LCC, determinado por su baja implantación. Los dos tratamientos de rotación con pastura rindieron de forma intermedia.

Corrigiendo el rendimiento por el peso de grano sin dañar, el rendimiento estimado sigue el mismo orden relativo, pero cuantitativamente superior.

5. CONCLUSIONES

- La disponibilidad de N-NO_3^- en los primeros centímetros del suelo, fue superior en rotación con pasturas, tendiendo a ser mayor en siembra directa que con laboreo. En tanto, ambos manejos para agricultura continua, aportaron significativamente menos nitrógeno.
- Los tratamientos de mayor rendimiento de trigo determinaron un menor residuo de agua almacenada en profundidad. La variación de rendimiento corresponde, en orden creciente, LCC, SDC, SDP y LCP.
- No se cuantificaron diferencias entre tratamientos con y sin laboreo con respecto al agua almacenada en las primeras etapas del cultivo.
- La recarga de agua fue similar en todos los tratamientos, lo que se atribuye a la ocurrencia de lluvias de poca cantidad, sobre suelo seco y que nunca alcanzaron para saturar el perfil. Bajo estas condiciones, no se detectó diferencia en la recarga y uso del agua desde el suelo por el cultivo de soja sembrado con o sin laboreo dentro de rotaciones que incluyó o no pasturas perennes.
- Los tratamientos con siembra directa (con o sin pastura) lograron significativamente mayor número de plantas m^{-2} que los tratamientos con laboreo convencional debido principalmente a problemas de encostramiento.
- Tanto la producción por planta, la altura del cultivo, como el IAF, estarían relacionados a una relativamente mejor situación hídrica de la SDC, que se generó desde la siembra, como residuo del menor rendimiento del cultivo de invierno.
- Los rendimientos logrados fueron extremadamente bajos. El crecimiento del cultivo fue bueno, lográndose IAF entorno al crítico para el cultivo, número de nudos y altura de planta dentro de lo esperado para el grupo de madurez utilizado, pero el rendimiento resultó limitado por una condición hídrica muy deficiente durante todo el ciclo del cultivo y, en especial, durante el período crítico para la definición del rendimiento por planta.
- El tratamiento que logró un significativamente mayor rendimiento fue el de SDC, las diferencias se asocian a una relativamente mejor disponibilidad de agua en profundidad, producto del menor rendimiento del trigo anterior. El de significativamente menor rendimiento fue LCC, determinado por su baja

implantación. Los dos tratamientos de rotación con pastura tuvieron un comportamiento intermedio.

6. RESUMEN

El ensayo fue realizado en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, de Facultad de Agronomía en el departamento de Paysandú, Uruguay, en el verano del 2005-2006, sobre un Brunosol Eútrico Típico, formación Fray Bentos correspondiente a la unidad San Manuel. Se evaluaron cuatro tratamientos: agricultura continua con laboreo (LCC), agricultura rotación con pasturas con laboreo (LCP), agricultura continua sin laboreo (SDC) y agricultura rotación con pasturas sin laboreo (SDP) . Se cuantificó el efecto residual del manejo del suelo y la rotación con pasturas sobre la implantación, crecimiento y rendimiento de la soja en una secuencia Trigo – Soja 2^a así como también sobre parámetros químico-físicos del suelo (agua, N). Los tratamientos de rotación con pasturas fueron los que tuvieron mayores niveles de N-NO₃⁻. Como la recarga ocurrida durante todo el período no saturó el suelo y la cantidad de lluvia no habría generado diferencias de escurrimiento, solo se produjeron cambios por recarga y uso del agua de manera similar entre tratamientos. El estrés fue tan marcado que no permitió expresar los efectos positivos de la siembra directa con rastrojo en superficie con respecto al laboreo convencional y sin rastrojo. Tanto la producción por planta, la altura del cultivo, como el IAF, y rendimiento por hectárea, estarían relacionados a una relativamente mejor situación hídrica de la SDC, que se generó desde la siembra, como residuo del menor rendimiento del cultivo de invierno. El de significativamente menor rendimiento fue LCC, determinado por su baja implantación.

Palabras clave: Siembra directa; Laboreo convencional; Rotación; Soja 2^a; Agua.

7. SUMMARY

The experiment was made in Dr. Mario A. Cassinoni experimental station of Agronomy University in Paysandú's department, Uruguay in 2005-2006 's summer over a Brunosol Eútrico Típico, Fray Bentos's Formation corresponding to San Manuel unity. Four treatments were evaluated: continuous agriculture with tillage (LCC), agriculture in rotation with pasture with tillage (LCP), no tillage agriculture (SDC), agriculture in rotation with pasture with no tillage. Pasture rotation and soil management effect on implantation, growing and soybeans (*glycine max*) wheat double cropped yields were quantified and soil chemical-physical properties (water, N). Rotation with pastures treatment where the highest N-NO₃⁻ levels. Soil recharge occurred in crop period was not enough to saturate the soil and rains quantity did not generate runoff differences so the changes occurred only for recharge and similar water use between treatment. The high stress did not allow no-tillage with stubble. Individual plant production, crop height, LAI and yield by has were related with best hydric situation of SDC, who was generated since sowing due to the low yield of the winter crop. The treatment with significant low yield was LCC determined because of its low implantation.

Key word: Not-tillage; Tillage; Rotation; Double cropping; Water.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ANDRADE, F.; CALVIÑO, P. 2004. Tecnología; “Soja de segunda” una opción que suma. (en línea). Balcarce, INTA. Consultado 03 mar. 2007. Disponible en file:///J:/art%EDculos/articulos%203%20marzo/resumidos/11%20tecnologia%20soja%20de%202%AA/INTA%20Balcarce%20-%20Tecnolog%EDa%20Soja%20de%20segunda_%20Una%20opci%F3n%20que%20suma.htm
2. ANDREANI, J.M. 2004. El consumo de agua del trigo afecta el crecimiento de la soja de segunda. (en línea). Oliveros, INTA. Consultado 19 ene. 2007. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/oliveros/actual/ant/10may2004.htm>
3. APEZTEGUÍA, H.; SERENO, R. 2002. Influencia de los sistemas de labranza sobre la cantidad y calidad del carbono orgánico del suelo. Agricultura Técnica (Chile). 62(3): 418-426.
4. BASTOS BIDEGAIN, M.; FELLER RUY LÓPEZ, D.; INGOLD LEGUÍSAMO, J. 2007. Efectos del cultivo de cobertura y grupo de madurez en el contenido de agua del suelo y rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 97 p.
5. CAVIGLIA, O.P.; SADRAS, V.O.; ANDRADE, F.H. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat–soybean. Field Crops Research. 87 (2): 117–129.
6. CALVIÑO, P.A.; SADRAS, V.O. 1999. Interannual variation in soybean yield; interaction among rainfall, soil depth and crop management. Field Crops Research. 63 (3): 237-246.
7. _____.; _____.; ANDRADE, F.H. 2003. Quantification of environmental and management effects on the yield of late-sown soybean. Field Crops Research. 83 (1): 67–77
8. CONDON PRIANO, F.; GHELFI CAYTANO, J. M.; PONS BENECH, C. J. 1995. Manejo de rastrojo de cebada para la siembra de girasol de segunda. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 103 p.

9. CRESPO CAMELO, J. L.; LONGINOTTI BOTTINO, J. J. 1988. Alternativas de manejo en el cultivo de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 172 p.
10. DIAZ-AMBRONA, C.G.H.; O'LEARY, G.J.; SADRAS; V.O.; O'CONNELL, M.G.; CONNOR, D.J. 2005. Environmental risk analysis of farming systems in a semi-arid environment: effect of rotations and management practices on deep drainage. *Field Crops Research*. 94 (2-3): 257–271.
11. DIAZ-ZORITA, M.; GROVE, J.H.; MURDOCK, L.; HERBECK, J.; PERFECT, E. 2004. Soil structural disturbance effects on crop yields and soil properties in a no-till production system. *Agronomy Journal*. 96 (6): 1651-1659.
12. ERNST, O.; GUIDO, R.; IEUDIUKOV, A. 1990. Laboreo de suelos para Trigo. Facultad de Agronomía. Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni. Documentos no. 2. s.p.
13. _____. 1999. Siembra sin laboreo de cultivos de verano. (en línea). Paysandú, Facultad de Agronomía. Consultado 03 mar. 2007. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~eemac/Siembra%20Directa/3C.pdf>
14. _____.; VILLALBA, J.; CASTIGLIONI, E.; PEREZ, C. 2004. Modelos de producción en la República Oriental del Uruguay. (en línea). s.n.t. Consultado 30 dic. 2007. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~eemac/cereales> (Módulo cultivos de verano-Tema III).
15. _____.; SIRI-PRIETO, G. 2006. Soil organic carbon and total nitrogen in relation to tillage and crop-pasture rotation. In: Horn, R.; Fleige, H.; Peth, S.; Peng, X. eds. *Soil mangement for sustainability*. Wageningen. *Advances in GeoEcology*. No. 38: 132-139.
16. FORJÁN, H.; IRIARTE, L. s.f. Siembra de “segunda” de cultivos estivales. (en línea). Buenos Aires, INTA. Consultado 20 mar. 2007. Disponible en <http://www.planetasoja.com/trabajos/trabajos800.php?id1=5905&id2=0&publi=&idSec=106>

17. GARCÍA PRÉCHAC, F. s.f. Aspectos básicos del comportamiento de suelos en siembra directa; propiedades físicas. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. Consultado 19 ene. 2007. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~eemac/Siembra%20Directa/1A.pdf>
18. _____.1998. Fundamentos de la siembra directa y su utilización en Uruguay. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. Consultado 19 ene. 2007. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~eemac/Siembra%20Directa/1B.pdf>
19. GIMENEZ, L. s.f. Estudios de la disponibilidad hídrica en cultivos de verano en el litoral. (en línea). s.l., IICA. Consultado 30 dic. 2007. Disponible en <http://www.iica.org.uy/data/documentos/370000...pdf>
20. HOFFMAN, E. 2007. Principales características del sistema agrícola extensivo en Uruguay. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. Consultado 30 dic. 2007. Disponible en http://www.fagro.edu.uy/~ira/ProdVegetal_EHoffman_2007.pdf
21. KRÜGER, H.; VENZA, S.; GALANTINI, J. 2004. Rotación y cambios en propiedades químicas de un Hapludol Típico del sudoeste bonaerense bajo labranza. (en línea). Bordenave, INTA. Consultado 03 mar. 2007. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/bordenave/contactos/autores/santi/res8.htm>
22. LATTANZI, A.; ARCE, J.; MARELLI, H.; LORENZON, C. 2005. Efecto de largo plazo de la siembra directa y de rotaciones de cultivos sobre los rendimientos, el carbono y nitrógeno orgánico en un suelo argiudol típico en Marcos Juárez. (en línea). Marcos Juárez, INTA. Consultado mar. 2007. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/MJUAREZ/info/documentos/Suelos/semlattan05.htm>
23. LIU, X.; LIU, J.; XING, B.; HERBERT, S.J.; MENG, K.; HAN, X.; ZHANG, X. 2005. Effects of long-term continuous cropping, tillage, and fertilization on soil organic carbon and nitrogen of Black Soils in China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36 (9-10): 1229-1239.
24. MARELLI, H. 1999. La siembra directa como alternativa de manejo conservacionista. (en línea). Marcos Juárez, INTA. Consultado 19 ene. 2007. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~eemac/Siembra%20Directa/7A.pdf>

25. MARTINO, D. L. s.f. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. (en línea). La Estanzuela, INIA. Consultado 03 mar. 2007. Disponible en <http://www.redepapa.org/restricciones.pdf>
26. MESA TECNOLÓGICA DE OLEAGINOSAS (1ª, 2007, Mercedes, Soriano). 2007. El girasol en el sistema de producción. s.n.t. p.irr.
27. MONZÓN, J. P.; SADRAS, V. O.; ANDRADE, F. H. 2006. Fallow soil evaporation and water storage as affected by stubble in sub-humid (Argentina) and semi-arid (Australia) environment. *Field Crops Research*. 98 (2-3): 83–90.
28. PASTORINI PONS, E. M.; PÉREZ RODRIGUEZ, C. A. 1996. Efecto de la fertilización nitrogenada y tres manejos del rastrojo de trigo sobre la implantación de girasol de segunda en siembra directa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 108 p.
29. PEDERSEN, P.; LAUER, J.G. 2004. Response of soybean yield components to management system and planting date. *Agronomy Journal*. 96: 1372-1381.
30. RITCHIE, S.W.; HANOWAY, J.J.; THOMPSON, E.H.; BENSON, G.O. 2002. Como se desarrolla una planta de soja. Ames, Iowa, Universidad de Ciencias y Tecnología del Estado de Iowa. Servicio Cooperativo de Extensión. 21 p. (Reporte especial no. 53).
31. SAWCHIK, J. s.f. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. (en línea). La Estanzuela, INIA. Consultado 19 ene. 2007. Disponible en <http://www.inia.org.uy/siembra/sawchik2.pdf>
32. URUGUAY. MINISTERIO DE GANDERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS. 2006. Cultivos de verano zafra 2005-06. (en línea). Montevideo. Consultado 08 ene. 2008. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/DIEA/Encuestas/Se237/Se237_CultivosdeVerano.htm
33. _____ . 2007. Cultivos de verano zafra 2007. (en línea). Consultado 08 ene. 2008. Disponible en _____

http://www.mgap.gub.uy/Diea/Encuestas/Se253/SE253_CultivosdeVerano.htm

34. YUSUF, R.I.; SIEMENS, J.C.; BULLOCK, D.G. 1999. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. *Agronomy Journal*. 91(6): 928-933.

9. ANEXOS

Implantación/m2			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo(SL)	1	61,13	***
Rotación(R)	1	0,05	NS
Lab*Rot	1	2,18	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	21,51		
Coefficiente de variación	17,64		

Estado vegetativo			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo(SL)	1	0,03	NS
Rotación(R)	1	0,13	NS
Lab*Rot	1	3,7	NS
Error	5		
Subtotal	10		
Tiempo	2	108,4	***
Tiempo*SL	2	0,52	NS
Tiempo*R	2	1,59	NS
Tiempo*SL*R	2	0,21	NS
Error medidas repetidas	13		
Total	31		
Media general	3,16		
Coefficiente de variación	17,33		

Estado reproductivo			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo(SL)	1	0,05	NS
Rotación(R)	1	0,16	NS
Lab*Rot	1	0,05	NS
Error	5		
Subtotal	10		
Tiempo	3	1140,79	***
Tiempo*SL	3	0,16	NS
Tiempo*R	3	1,57	NS
Tiempo*SL*R	3	1,16	NS
Error medidas repetidas	21		
Total	43		
Media general	4,16		
Coefficiente de variación	3,87		

No. nudos/pl			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo(SL)	1	2,69	NS
Rotación(R)	1	2,55	NS
Lab*Rot	1	5,21	*
Error	5		
Subtotal	10		
Tiempo	3	131,81	***
Tiempo*SL	3	2,6	*
Tiempo*R	3	1,3	NS
Tiempo*SL*R	3	0,34	NS
Error medidas repetidas	21		
Total	43		
Media general	2,57		
Coefficiente de variación	26,39		

No. nudos/m2			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo(SL)	1	37,79	***
Rotación(R)	1	0	NS
Lab*Rot	1	3,27	NS
Error	5		
Subtotal	10		
Tiempo	3	96,33	***
Tiempo*SL	3	11,08	***
Tiempo*R	3	1,01	NS
Tiempo*SL*R	3	0,76	NS
Error medidas repetidas	21		
Total	43		
Media general	266,67		
Coefficiente de variación	5,83		

Altura			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo(SL)	1	7,19	**
Rotación(R)	1	0,34	NS
Lab*Rot	1	1,46	NS
Error	5		
Subtotal	10		
Tiempo	6	379,6	***
Tiempo*SL	6	6,53	***
Tiempo*R	6	1,66	NS
Tiempo*SL*R	6	3,03	**
Error medidas repetidas	42		
Total	76		
Media general	34,39		
Coefficiente de variación	10,47		

Peso de planta (MS/ha)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo(SL)	1	29,84	***
Rotación(R)	1	0,23	NS
Lab*Rot	1	16,64	***
Error	5		
Subtotal	10		
Tiempo	3	81,19	***
Tiempo*SL	3	2,2	NS
Tiempo*R	3	0,86	NS
Tiempo*SL*R	3	1,61	NS
Error medidas repetidas	21		
Total	43		
Media general	3525,25		
Coefficiente de variación	16,56		

IAF S/RAST.			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo(SL)	1	35,33	***
Rotación(R)	1	0,44	NS
Lab*Rot	1	3,07	NS
Error	5		
Subtotal	10		
Tiempo	4	31,08	***
Tiempo*SL	4	3,23	**
Tiempo*R	4	0,43	NS
Tiempo*SL*R	4	1,08	NS
Error medidas repetidas	28		
Total	54		
Media general	1,9		
Coefficiente de variación	26,38		

N- NO₃⁻ profundidad 0-10 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1,31	NS
Laboreo(SL)	1	0,66	NS
Rotación(R)	1	8,24	**
Lab*Rot	1	0,92	NS
Error	5		
Subtotal	10		
Tiempo	2	68,97	***
Tiempo*SL	2	0,16	NS
Tiempo*R	2	0,68	NS
Tiempo*SL*R	2	0,85	NS
Error medidas repetidas	14		
Total	32		
Media general	9,72		
Coefficiente de variación	24,1		

N- NO₃⁻ profundidad 10-20 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo(SL)	1	0,13	NS
Rotación(R)	1	5,19	*
Lab*Rot	1	1,38	NS
Error	5		
Subtotal	10		
Tiempo	1	54,89	***
Tiempo*SL	1	0,4	NS
Tiempo*R	1	3,93	*
Tiempo*SL*R	1	1,72	NS
Error medidas repetidas	7		
Total	21		
Media general	11,03		
Coefficiente de variación	50,27		

Agua disponible según días pos siembra y profundidad

26 dps- profundidad 0-15 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1,25	NS
Laboreo	1	0,86	NS
Rotación	1	0,05	NS
Lab*Rot	1	0,3	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	4,32		
Coefficiente de variación	66,93		

26 dps- profundidad 15-30 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	3,42	NS
Laboreo	1	0,06	NS
Rotación	1	0,49	NS
Lab*Rot	1	0	***
Error	5		
Total	10		
Media general	2,82		
Coefficiente de variación	85,62		

26 dps- profundidad 30-45 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	3,73	NS
Laboreo	1	0,53	NS
Rotación	1	4,24	NS
Lab*Rot	1	2,3	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	4,64		
Coefficiente de variación	47,07		

26 dps- profundidad 45-60 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	1,38	NS
Rotación	1	12,21	*
Lab*Rot	1	0,41	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	5,6		
Coefficiente de variación	31,64		

41 dps- profundidad 0-15 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	2,8	NS
Laboreo	1	0,12	NS
Rotación	1	5,23	*
Lab*Rot	1	0,74	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	10,31		
Coefficiente de variación	40,79		

41 dps- profundidad 15-30 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	2,21	NS
Laboreo	1	0,72	NS
Rotación	1	3,58	NS
Lab*Rot	1	0,16	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	6,76		
Coefficiente de variación	42,8		

41 dps- profundidad 30-45 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1,4	NS
Laboreo	1	0,18	NS
Rotación	1	1,03	NS
Lab*Rot	1	1,9	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	11		
Coefficiente de variación	24,6		

41 dps- profundidad 45-60 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	0,28	NS
Rotación	1	1,17	NS
Lab*Rot	1	0,88	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	11,47		
Coefficiente de variación	19,73		

62 dps- profundidad 0-15 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	9,22	**
Rotación	1	4,42	*
Lab*Rot	1	1,96	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	1,33		
Coefficiente de variación	52,63		

62 dps- profundidad 15-30 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	2,77	NS
Laboreo	1	3,12	NS
Rotación	1	0,77	NS
Lab*Rot	1	2,37	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	2,45		
Coefficiente de variación	81,84		

62 dps- profundidad 30-45 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	1,01	NS
Rotación	1	4,3	*
Lab*Rot	1	0,01	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	7,07		
Coefficiente de variación	45,37		

62 dps- profundidad 45-60 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	3,17	NS
Rotación	1	1,04	NS
Lab*Rot	1	3,47	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	5,43		
Coefficiente de variación	25,08		

68 dps- profundidad 0-15 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	1,46	NS
Rotación	1	0,49	NS
Lab*Rot	1	2,75	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	1,37		
Coefficiente de variación	137,14		

68 dps- profundidad 15-30 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	3,2	NS
Laboreo	1	0,47	NS
Rotación	1	0,41	NS
Lab*Rot	1	0,22	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	1,85		
Coefficiente de variación	87,83		

68 dps- profundidad 30-45 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1,03	NS
Laboreo	1	0,8	NS
Rotación	1	0,09	NS
Lab*Rot	1	1,35	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	4,33		
Coefficiente de variación	66,17		

68 dps- profundidad 45-60 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	0,08	NS
Rotación	1	0,11	NS
Lab*Rot	1	1,05	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	5,96		
Coefficiente de variación	46,04		

78 dps- profundidad 0-15 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	75,14	***
Rotación	1	1,77	NS
Lab*Rot	1	229,7	***
Error	5		
Total	10		
Media general	10,02		
Coefficiente de variación	2,54		

78 dps- profundidad 15-30 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	0,03	NS
Laboreo	1	0,04	NS
Rotación	1	23,73	***
Lab*Rot	1	143,6	***
Error	5		
Total	10		
Media general	8,59		
Coefficiente de variación	1,33		

78 dps- profundidad 30-45 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	0,03	NS
Laboreo	1	12,29	**
Rotación	1	28,08	**
Lab*Rot	1	867,8	***
Error	5		
Total	10		
Media general	9,39		
Coefficiente de variación	1,26		

78 dps- profundidad 45-60 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	0,1	NS
Laboreo	1	0	NS
Rotación	1	0,13	NS
Lab*Rot	1	252,7	***
Error	5		
Total	10		
Media general	9,86		
Coefficiente de variación	3,04		

88 dps- profundidad 0-15 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	0,57	NS
Laboreo	1	77,26	***
Rotación	1	13,33	**
Lab*Rot	1	6,8	**
Error	5		
Total	10		
Media general	7,56		
Coefficiente de variación	9,44		

88 dps- profundidad 15-30 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	17,83	***
Rotación	1	9,66	**
Lab*Rot	1	8,76	**
Error	5		
Total	10		
Media general	8,17		
Coefficiente de variación	13,46		

88 dps- profundidad 30-45 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	0,46	NS
Laboreo	1	0,67	NS
Rotación	1	2,83	NS
Lab*Rot	1	0,46	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	10,35		
Coefficiente de variación	3,61		

88 dps- profundidad 45-60 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	0,23	NS
Laboreo	1	1,1	NS
Rotación	1	0,1	NS
Lab*Rot	1	9,34	**
Error	5		
Total	10		
Media general	10,17		
Coefficiente de variación	4,3		

137 dps- profundidad 0-15 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	0,36	NS
Rotación	1	1,35	NS
Lab*Rot	1	0,67	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	4,84		
Coefficiente de variación	42,04		

137 dps- profundidad 15-30 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	1,48	NS
Rotación	1	2,76	NS
Lab*Rot	1	0,11	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	2,38		
Coefficiente de variación	69,2		

137 dps- profundidad 30-45 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	0,59	NS
Rotación	1	0,01	NS
Lab*Rot	1	0,07	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	2,9		
Coefficiente de variación	32,9		

137 dps- profundidad 45-60 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1,9	NS
Laboreo	1	1,56	NS
Rotación	1	1,45	NS
Lab*Rot	1	1,28	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	3,58		
Coefficiente de variación	25,75		

145 dps- profundidad 0-15 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	4,01	NS
Rotación	1	17,25	*
Lab*Rot	1	1,85	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	14,4		
Coefficiente de variación	19,5		

145 dps- profundidad 15-30 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	4,84	*
Rotación	1	0,7	NS
Lab*Rot	1	1,25	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	12,13		
Coefficiente de variación	8,72		

145 dps- profundidad 30-45 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	6,16	*
Rotación	1	4,22	*
Lab*Rot	1	2,54	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	12,08		
Coefficiente de variación	12,66		

145 dps- profundidad 45-60 cm			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1,28	NS
Laboreo	1	3,44	NS
Rotación	1	4,16	*
Lab*Rot	1	1,5	NS
Error	5		
Total	10		
Media general	11,25		
Coefficiente de variación	20,73		

Tasa crecimiento			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Tratamiento (SL*R)	1	39,82	***
Error	7		
Total	10		
Media general	1,31		
Coefficiente de variación	12,71		

Componentes de rendimiento

pl/m2			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	35,27	NS
Tratamiento (SL*R)	1	339,45	**
Error	7		
Total	10		
Media general		28,18	
Coeficiente de variación		13,57	

nudos/m2			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	6611,67	NS
Tratamiento (SL*R)	1	53562,31	**
Error	7		
Total	10		
Media general		397,82	
Coeficiente de variación		11,43	

nudos/pl			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	1	NS
Tratamiento (SL*R)	1	4,72	NS
Error	7		
Total	10		
Media general		14,55	
Coeficiente de variación		9,39	

ramas /m2			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	5304,29	**
Tratamiento (SL*R)	1	1912,16	NS
Error	7		
Total	10		
Media general		105	
Coeficiente de variación		23,56	

ramas /pl			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	1,56	NS
Tratamiento (SL*R)	1	2,35	NS
Error	7		
Total	10		
Media general		4	
Coeficiente de variación		30,36	

vainas llenas/pl			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	69,36	NS
Tratamiento (SL*R)	1	147,98	NS
Error	7		
Total	10		
media general		50,72	
Coeficiente de variación		32,25	

vainas vacias/pl			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	27,33	NS
Tratamiento (SL*R)	1	483,96	NS
Error	7		
Total	10		
media general		24,83	
Coeficiente de variación		54,16	

vainas totales/pl			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	158,52	NS
Tratamiento (SL*R)	1	951,53	*
Error	7		
Total	10		
media general		75,55	
Coefficiente de variación		20,41	

vainas llenas/m2			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	18077,62	NS
Tratamiento (SL*R)	1	385910,71	NS
Error	7		
Total	10		
Media general		1376,7	
Coefficiente de variación		38,81	

vainas vacias/m2			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	28998,2	NS
Tratamiento (SL*R)	1	104682,82	NS
Error	7		
Total	10		
Media general		597,74	
Coefficiente de variación		36,91	

vainas totales/m2			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	92834,8	NS
Tratamiento (SL*R)	1	535422,79	NS
Error	7		
Total	10		
Media general		1974,44	
Coeficiente de variación		27,62	

PMG buenos correg.			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	2360,26	*
Tratamiento (SL*R)	1	333,03	NS
Error	7		
Total	10		
Media general		193,4	
Coeficiente de variación		12,76	

PMG malos correg.			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	449,37	NS
Tratamiento (SL*R)	1	120,09	NS
Error	7		
Total	10		
Media general		95,74	
Coeficiente de variación		17,46	

PMG totalescorreg.			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	1567,83	NS
Tratamiento (SL*R)	1	127,7	NS
Error	7		
Total	10		
Media general		111,49	
Coeficiente de variación		20,49	

No. granos buenos			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	221,44	NS
Tratamiento (SL*R)	1	24,52	NS
Error	7		
Total	10		
Media general		17,91	
Coeficiente de variación		83,21	

No. granos malos			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Significancia
Bloque	2	137	NS
Tratamiento (SL*R)	1	37,11	NS
Error	7		
Total	10		
Media general		81,18	
Coeficiente de variación		19,24	

Rendimiento a cosecha (kg/ha)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Bloque	2	1	NS
Laboreo	1	18,8	***
Rotación	1	0,97	NS
Lab*Rot	1	13,44	**
Error	5		
Total	10		
Media general	1048,86		
Coeficiente de variación	16,12		