

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SOJA DE SEGUNDA SEGÚN  
HISTORIA DE CHACRA**

**por**

**María Belén BERÓN GARCÍA  
María Inés MUZIO BRAGA**

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

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2013**

Tesis aprobada por:

Director:

-----  
Ing. Agr. Oswaldo Ernst

-----  
Ing. Agr. Guillermo Siri-Prieto

-----  
Ing. Agr. Esteban Hoffman Berasain

Fecha: 06 de agosto de 2013

Autor:

-----  
María Belén Berón García

-----  
María Inés Muzio Braga

## AGRADECIMIENTOS

- A nuestro tutor Ing. Agr. Oswaldo Ernst por acompañarnos durante la realización del trabajo.
- A Juan Pablo Izaurral, Ramiro Izaguirre y Monico por su gran ayuda y disposición durante el trabajo de campo.
- A Pilar Ferrés por su ayuda en la presentación del trabajo.
- Al personal de biblioteca de Facultad de Agronomía por su ayuda en la búsqueda de información y a Sully por sus aportes.
- Al personal de laboratorio de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni.
- A todos aquellos que de una u otra manera colaboraron para la realización del este trabajo y nos acompañaron durante toda la carrera, especialmente familia y amigos.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1. <u>SOJA DE PRIMERA VS SEGUNDA: EVOLUCIÓN EN SUPERFICIE</u> .....	3
2.1.1. <u>Características ecofisiológicas</u> .....	3
2.1.2. <u>Efecto de la temperatura</u> .....	4
2.1.3. <u>Intercepción de la luz incidente</u> .....	5
2.1.4. <u>Distancia entre hileras y densidad de plantas</u> .....	5
2.1.5. <u>Requerimiento de nutrientes</u> .....	6
2.1.5.1. Nitrógeno.....	6
2.1.5.2. Fósforo.....	6
2.1.5.3. Potasio.....	7
2.1.6. <u>Requerimientos hídricos</u> .....	7
2.1.7. <u>Período crítico</u> .....	8
2.1.7.1. Determinación de componentes de rendimiento.....	10
2.2. <u>EFFECTO DE SISTEMA DE LABOREO Y LA ROTACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO QUE PUEDEN AFECTAR A LA SOJA DE SEGUNDA</u> .....	11
2.2.1. <u>Disponibilidad hídrica</u> .....	11
2.2.1.1. Efecto del rastrojo.....	13
2.2.1.2. Efecto del doble cultivo.....	14
2.2.1.3. Cambios durante el período crítico.....	15
2.2.2. <u>Propiedades físicas</u> .....	15
2.2.3. <u>Degradación del suelo</u> .....	16
2.2.3.1. Erosión.....	16
2.2.3.2. Compactación.....	18
2.3. <u>EFFECTO DE SISTEMA DE LABOREO Y LA ROTACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES SOBRE EL DESARROLLO DEL CULTIVO</u> .....	18
2.3.1. <u>Efecto de la implantación</u> .....	18
2.3.2. <u>Rendimiento</u> .....	19

2.4.	BALANCE DE NUTRIENTES EN EL SUELO PARA DOBLE CULTIVO TRIGO/SOJA.....	21
3.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	26
3.1.	CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	26
3.1.1.	<u>Localización espacial y temporal</u> .....	26
3.1.2.	<u>Descripción del experimento</u> .....	26
3.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	27
3.2.1.	<u>Determinaciones realizadas</u> .....	28
3.2.1.1.	A nivel suelo.....	28
3.2.1.2.	A nivel planta.....	28
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	30
4.1.	CARACTERÍSTICAS DEL AÑO.....	30
4.1.1.	<u>Precipitaciones</u> .....	30
4.1.2.	<u>Temperatura</u> .....	31
4.2.	EFFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y ROTACIÓN EN DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y NUTRIENTES EN EL SUELO.....	32
4.2.1.	<u>Nutrientes</u> .....	32
4.2.2.	<u>Balace hídrico</u> .....	34
4.3.	EFFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y ROTACIÓN EN CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO.....	37
4.3.1.	<u>Implantación, población</u> .....	37
4.3.2.	<u>Índice de área foliar</u> .....	38
4.4.	EFFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y ROTACIÓN EN EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES.....	39
4.4.1.	<u>Componentes del rendimiento</u> .....	39
4.4.2.	<u>Rendimiento</u> .....	40
5.	<u>CONCLUSIONES</u> .....	43
6.	<u>RESUMEN</u> .....	44
7.	<u>SUMMARY</u> .....	45
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	46
9.	<u>ANEXOS</u> .....	55

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Promedio de 48 años de precipitación (mm) y temperatura (°C) para el período noviembre-mayo y para la estación de crecimiento del cultivo de soja 2011-2012.....	30
2. Fósforo (P) y potasio (K) disponible en suelo a la siembra de soja de segunda en la capa 0-20 cm.....	32
3. Población estimada en dos fechas.....	37
4. Componentes de rendimiento según tratamiento.....	39
<b>Figura No.</b>	
1. Componentes del rendimiento del cultivo de soja.....	10
2. Precipitaciones (mm) ocurridas durante el período de crecimiento del cultivo.....	34
3. Agua disponible (mm) en el suelo hasta 100 cm de profundidad en distintos estadios fenológicos del cultivo.....	35
4. Evolución del contenido de agua disponible (mm) en el suelo en los primeros 20cm del perfil.....	36
5. Diferencia en consumo aparente de agua (mm) por el cultivo de soja entre 55 y 79 días pos siembra (A) y entre 107 y 104 días pos siembra (B) para el estrato 0-20 cm, 20 a 100 cm y el total.....	36
6. Evolución del área foliar del cultivo.....	38
7. Rendimiento en grano según tratamiento.....	40
8. Rendimiento y vainas/planta según población.....	41

## 1. INTRODUCCIÓN

En el Uruguay, al igual que en toda la región, actualmente se está dando un proceso de intensificación y expansión de la agricultura. En particular, el incremento del área agrícola ha sido sostenido desde hace años y tiene a la siembra directa como sistema de labranza predominante (Dabalá, 2009).

Éste proceso se basa en el aumento de la producción, el cual según la FAO (2002), proviene de tres fuentes principales: expansión de la superficie de labranza, aumento de la intensidad de los cultivos (la frecuencia a la que se cosechan los cultivos de una superficie determinada) y mejoras de rendimiento.

Para lograr la sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuarios y del medio ambiente, es básico controlar la erosión de los suelos, que es el problema ambiental más importante en Uruguay, relacionado a las actividades agropecuarias (Dumanski y Smyth, citados por Hill, 2012). Según estudios de Cayssials et al., citados por Hill (2012), el 30% del territorio nacional sufrió algún grado de degradación por erosión. Considerando esta situación, el incremento general de la producción agropecuaria y su creciente importancia, es necesario introducir una dimensión ambiental a la actividad para que sea sostenible. Esto implica mantener o aumentar la producción en actividades económicamente viables y socialmente aceptables, reduciendo el nivel de riesgo y protegiendo el potencial de los recursos naturales (Dumanski y Smyth, citados por Hill, 2012).

Este deterioro de las propiedades físicas debido a la expansión agrícola también repercute en la capacidad de almacenaje de agua de los suelos. Andreani, citado por Autino y Coccola (2008), afirma que 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 puede extraerla.

Otro aspecto de la intensificación de la producción es que se realizó sin adaptar las técnicas de producción de los cultivos a este uso más intensivo, no existiendo tampoco una adecuada planificación de las rotaciones y predominando el laboreo excesivo. Esta situación, sumada a la

susceptibilidad natural de los suelos a degradarse, ocasionó un deterioro generalizado de sus propiedades físico-químicas que afectaron su productividad y determinaron una disminución en los rendimientos de los cultivos (Fontanetto y Keller, 2001).

Las hipótesis planteadas previas al trabajo fueron que rendimientos bajo siembra directa son mayores que bajo laboreo convencional variando estos en función de los componentes de la rotación planteada; y en casos de ocurrencia de degradación de los suelos, producto del manejo diferencial, se afecta la absorción de agua y nutrientes por la planta.

El objetivo de este trabajo es estudiar la influencia de la intensidad de uso del suelo (rotación de cultivos y sistema de laboreo) sobre el rendimiento del cultivo y sus componentes.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. SOJA DE PRIMERA VS SEGUNDA: EVOLUCIÓN EN SUPERFICIE

La expansión de la agricultura en Uruguay ha sido un factor relevante del dinamismo del sector agrícola en los últimos 10 años, generando grandes cambios en el entorno económico doméstico e importantes transformaciones en la base productiva. Bajo este contexto, el cultivo de soja pasa de ser un cultivo marginal a ser el principal cultivo en cuanto a área sembrada y uno de los principales productos de exportación, desplazando a otros cultivos tradicionales, expandiéndose por la región litoral oeste del país y extendiéndose rápidamente a otras áreas con menos historia agrícola como el centro, noreste y este del país (Arbeleche et al., 2010).

Por otro lado el área de los cultivos de invierno en este mismo período se multiplica por 3, y para un área sembrada de cultivos de verano mayor al 1.100.000 has (80 % de la cual habría sido sembrada con soja en el verano 2011-12), nos ubica por encima de las 0.5 has de cultivo de invierno por cada 1 ha sembrada con cultivos de verano. Esto lleva a que el componente cultivos de segunda, sea muy elevado aunque variable entre años. En particular para el cultivo de soja, la relación del área de soja de primera/ soja de segunda fue 40/60, 64/36 y 43/57 %, para las zafas 2009-10, 2010-11 y 2011-12, respectivamente. Esta situación de elevada intensidad lleva a que factor intensidad oscile entorno a 1.4 cultivos por ha agrícola por año (Hoffman, 2012).

### 2.2 CONSIDERACIONES SOBRE EL CULTIVOS DE SOJA: PRIMERA Y SEGUNDA

#### 2.2.1. Características ecofisiológicas

Según Venturi y Amaducci, citados por Aguirrezabal et al. (2000), en soja, el primer par de hojas verdaderas es simple (unifoliadas) y se dispone de manera opuesta, apareciendo en el nudo posterior al de los cotiledones. Las hojas que aparecen posteriormente son compuestas (trifoliadas), alternas y dispuestas de manera dísticas.

Evans (1975), describe el sistema radicular de la soja, compuesto principalmente por raíces secundarias, ramificadas y de distribución lateral.

Estas desarrolladas a partir de los 10-15 cm superiores de la raíz primaria, hacia afuera de la parte engrosada.

En la soja, la raíz primaria deja de crecer algún tiempo después de la germinación, lo que también ocurre en otras leguminosas como la arveja (Yorke y Sagar, citados por Aguirrezabal et al., 2000). La exploración de nuevas zonas del suelo es, en consecuencia, principalmente realizadas por raíces secundarias (Venturi y Amaducci, citados por Andrade et al., 2000).

La iniciación floral está controlada por el fotoperiodo, la temperatura y el genotipo. El crecimiento del tallo y el hábito de floración de la soja son de dos tipos: determinado e indeterminado (Geoffrey, 1983).

Por su parte, el período de aparición de hojas finaliza previo a la floración en plantas de hábito de crecimiento determinado como el maíz y el girasol y continúa luego de la floración en plantas de hábito de crecimiento indeterminado como la soja adaptada al sudeste bonaerense (Andrade, 2000).

#### 2.2.2. Efecto de la temperatura

Según Cirilo y Andrade, citados por Aguirrezabal et al. (2000) las temperaturas bases durante el período de crecimiento vegetativo son aproximadamente 8°C para el maíz. Brown, Hesketh et al., Wikerson et al., citados por Aguirrezabal et al. (2000), la temperatura base para soja es de 6 a 10°C.

Las hojas se desarrollan a partir de primordios que aparecen sobre el meristema caulinar. Luego de la emergencia de la plántula, el meristema se encuentra sobre la superficie del suelo en el girasol y en la soja y ligeramente por debajo de la superficie del suelo en el maíz. Debido a esta diferencia en la posición espacial de los ápices, la velocidad de aparición de hoja es afectada por el ambiente aéreo en girasol y soja mientras que maíz también es afectado por el ambiente edáfico, al menos hasta que los entrenudos comienzan a elongarse y el ápice se eleva por encima de la superficie del suelo (Aguirrezabal et al., 2000).

Sobre este factor Andrade y Calviño (2004) afirma que en el caso de soja de segunda, la etapa de crecimiento reproductivo ocurre en condiciones de menor temperatura y radiación que en el cultivo de primera. La etapa de llenado de grano ocurre con bajas temperaturas lo que disminuye la eficiencia de conversión y la posibilidad de fijar vainas y llenar los granos.

### 2.2.3. Intercepción de la luz incidente

Maíz, girasol y soja interceptaron durante el ciclo del cultivo 820, 700 y 720 MJ m<sup>-2</sup> de radiación fotosintéticamente activa (RFA) (Aguirrezabal et al., 2000).

Según Evans (1983), luego de un retraso inicial, la producción de superficie foliar se incrementa con rapidez y casi linealmente hasta el final de la floración, alcanzándose valores máximos de índice de área foliar (IAF) de 5-8. Más adelante, el IAF declina progresivamente durante el llenado de la semilla, por abscisión de las hojas inferiores, hasta alcanzar valores de 4-6 cerca de la madurez fisiológica, luego de la cual las hojas restantes amarillean rápidamente y pronto caen.

Andrade y Calviño (2004), sobre soja como cultivo de segunda, afirman que la reducción en el largo de los días juntamente con la del período de llenado de granos mermó la radiación interceptada.

En soja y girasol, el IAF presenta una respuesta de tipo asintótica ante aumentos en la densidad como consecuencia de una alta capacidad de ajuste del área foliar por planta (Cardinali et al., Sadras y May, Wells, citados por Andrade y Vega, 2000).

### 2.2.4. Distancia entre hileras y densidad de plantas

La soja es una especie con alta plasticidad a la densidad de siembra, debido a que tiene buena capacidad de compensación a través de número de ramas y frutos por planta (Baigorri, 2004).

Andrade y Calviño (2004) afirman que en soja, en sistemas de doble cultivo anual, por el menor período vegetativo difícilmente se logra alta cobertura con distancias entre hileras de 0,7 m o mayores. En esos casos, las caídas de rendimiento por atrasos en la fecha de siembra pueden ser atenuadas reduciendo la distancia entre hileras y aumentando el número de plantas por unidad de superficie. Algunas prácticas de manejo, por ejemplo, vinculadas al diseño espacial del cultivo, pueden contribuir al aumento de la producción de la soja de segunda. Coincidente con este concepto Bodrero (2003) estudio que la elección de la densidad de plantas y el espaciamiento entre hileras es clave para optimizar la productividad de los sistemas agrícolas (Valentinuz, citado por Bodrero, 2003).

En siembras anticipadas o tardías, con menores espaciamientos se logra una mayor tasa de crecimiento del cultivo (TCC) la que está positivamente relacionada con la cantidad total de materia seca (B) en R5 y a su vez con un mayor rendimiento en granos (GR) (Bodrero, 2003).

En soja, la regulación del IAF y del AFP ante variaciones en la densidad de plantas responde a aumentos o disminuciones significativas en ramificaciones y, por ende, en el número de nudos y de hojas por planta (Andrade y Vega, 2000).

En el caso de adecuada disponibilidad hídrica, el rendimiento de soja es poco sensible a la variación en la densidad (Carpenter y Borad, citados por Andrade y Vega, 2000) debido a la gran plasticidad que muestran las plantas (Andrade y Vega, 2000).

Según Valentinuz et al., citados por Andrade y Vega (2000) en ausencia de deficiencias hídricas y nutricionales densidades de 30 plantas m<sup>-2</sup> en soja permiten lograr valores de intercepción de radiación del 95 % que se asociaron con altos valores de producción de materia seca.

#### 2.2.5. Requerimientos de nutrientes

Massigoge y Ross (2012) afirman que en cultivo de soja de segunda, al ser un sucesor de un cultivo de invierno comienza su ciclo en condiciones especiales que afectan su crecimiento y desarrollo. Debemos diferenciar dos razones determinantes sobre la performance del cultivo, por un lado el atraso en la fecha de siembra que se traduce en pérdida de rendimiento potencial y por otro la ausencia de barbecho que determina un comienzo con baja reserva de agua y nutrientes.

##### 2.2.5.1. Nitrógeno

La soja, como otras leguminosas cubre sus requerimientos de N a través de la fijación simbiótica atmosférica y de la absorción del N inorgánico del suelo (Harper, citado por Gutiérrez y Scheiner, 2006)

Entre el 25% y el 75% de las necesidades de N son logrados por FBN (Díaz-Zorita y Duarte, 2004).

##### 2.2.5.2. Fósforo

Según Barbagelata et al. (2002), Morón (2003, 2005), el nivel crítico por debajo del cual hay probabilidad de respuesta al agregado de fósforo en el cultivo de soja es entre 10-12 ppm en los primeros 20 cm del suelo (en suelos vertisólicos y brunosoles éutricos).

Una deficiencia fosforada en soja puede provocar una caída en los rendimientos por su efecto sobre la formación de área foliar y, por lo tanto, sobre la cantidad de radiación capturada y también por su efecto sobre la eficiencia de conversión de la radiación en materia seca (Harper, citado por Gutiérrez y Scheiner, 2006).

#### 2.2.5.3. Potasio

Según Barbazán et al. (2011) aún no se ha percibido la existencias de problemas importantes al K en Uruguay, pero la presencia de síntomas visuales de deficiencia ha llevado a la realización de estudios más específicos. Estos fueron resumidos por Barbazán et al. (2010) quienes concluyeron que el nivel crítico orientativo del k en el suelo es de 0,34 meq/100g, sin discriminar por textura ni cultivo. Por encima de este valor, sin embargo algunos cultivos presentaron respuesta al agregado de K, mientras otros con valores menores, ya habían alcanzado un rendimiento superior al 90% del máximo.

#### 2.2.6. Requerimientos hídricos

Según Smith, citado por de Melo et al. (2011), el requerimiento de agua (ETm) para una máxima producción, varía entre 450 y 700 mm durante el ciclo, según el clima y la longitud del período de crecimiento. El rendimiento de soja aumenta con precipitaciones crecientes, volviéndose asintótica por encima de 700 mm (De Melo et al., 2011). Gardener et al., citados por Della Maggiore et al. (2000), afirman que la cantidad de agua usada por un cultivo está relacionada con la producción de materia seca total (MS) y con el rendimiento. El cociente entre MS y la ET se denomina eficiencia de uso de agua (EUA) y se puede expresar como g de MS Kg<sup>-1</sup> de agua o Kg de MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> de agua. Por su parte Massigoge y Ross (2012), estudiaron que los requerimientos hídricos potenciales de un cultivo de soja sembrado a fines de diciembre superan los 400 mm, siendo que como ocurre con la mayoría de los cultivos, las precipitaciones no son suficientes para cubrir los requerimientos del cultivo.

Sawchik y Ceretta (2005), realizaron estudios en los que concluyo que en las siembras de segunda se obtuvieron eficiencias de uso de agua algo mayores a las siembras de primera. En ese sentido el consumo de agua promedio para los 5 cultivares seleccionados en ambientes medios de rendimiento fue de aproximadamente 270 mm resultando en eficiencias promedio de entre 8 y 9 kg grano / mm.

Giménez y García (2009), afirman que las consecuencias de las deficiencias hídricas sobre el crecimiento y el rendimiento en grano de los

cultivos, depende de los momentos en el ciclo en que ocurran y de las magnitudes que presenten las mismas. De Melo et al. (2011), afirman que para una óptima producción debe haber agua disponible a la siembra, para la germinación, entre 15 y 50% de la capacidad de retención hídrica del suelo. Andrade (2004) en un trabajo sobre con soja como segundo cultivo anual afirma que el agua disponible para el cultivo en etapas tempranas se relacionó con el rendimiento del mismo. Vincula este factor con el muy reducido contenido de agua al inicio del cultivo, por la gran extracción del cultivo antecesor. Sobre este mismo tema Massigoge y Ross (2012) observaron que a medida que transcurre el tiempo desde la cosecha del cultivo antecesor hasta la siembra de la soja de segunda se reduce el potencial de rendimiento pero aumenta la probabilidad de recarga hídrica. Este balance entre rendimiento potencial y rendimiento obtenible (función del déficit hídrico) varía entre años y zonas de producción con fuerte implicancia sobre las tecnologías de manejo del cultivo.

Sawchik y Ceretta (2005), comparando la situación inicial entre cultivos de primera con aquellos sembrados luego de cultivo de invierno mostró un fuerte contraste con lo ocurrido en los de primera. En todos los casos, los períodos de recarga de agua previo a la siembra no lograron alcanzar valores de AD mayores al 50 % en ninguno de los cuatro casos estudiados.

#### 2.2.7. Período crítico

Según De la Fuente et al. (2003) el número de granos está claramente limitado por la disponibilidad de asimilados. Limitaciones principalmente durante la etapa R4- R6 (según la escala de Fehr y Caviness) tienen un efecto directo sobre el rendimiento al reducir el número de granos, sin permitir compensaciones a través de un mayor peso de los granos.

De la Fuente et al. (2003) afirman que los subcomponentes del número de granos se definen durante un período muy extenso del ciclo, desde la emergencia hasta que se determina la supervivencia de los granos de las últimas vainas que aparecen en el cultivo. Sin embargo, no todo el ciclo resulta igualmente crítico para definir el rendimiento. Generalmente, condiciones ambientales adversas durante las etapas tempranas del cultivo pueden ser compensadas si la calidad del ambiente mejora y el número final de granos no resulta afectado. Esto coincide con lo mencionado por Vega, citado por Andrade et al. (2000), que afirman que el número final de granos por individuos se determina alrededor de la floración y está asociada con la tasa de crecimiento de la planta (TCP) en esta etapa.

A su vez, Andrade (1995) afirma y agrega que luego de la realización de un experimento en Balcarce (Argentina) concluyó, que el período donde es afectado mayoritariamente el rendimiento de soja (período crítico) es el llenado de grano, y atrasos en la fecha de siembra afectan al mismo. Esto lleva a una reducción en el número granos por m<sup>2</sup> y peso del grano. Los manejos del cultivo óptimos deben aspirar a maximizar la intercepción de la radiación, la eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa y la partición a la estructura reproductiva en las etapas críticas de la definición del rendimiento.

El período de llenado de la chaucha es aquél en el cual un estrés hídrico afecta más el rendimiento (Doss et al., citados por Geoffrey, 1983). La irrigación iniciada durante la floración es tan efectiva para lograr un aumento del rendimiento como la irrigación dada durante todo el ciclo (Matson, citado por Geoffrey, 1983).

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. 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 (Andrade et al., 2004):

- Corta estación de crecimiento.
- Baja tasa de crecimiento asociada a acortamiento de los días y a la reducción de temperatura.
- Una importante reducción en la duración de la etapa de llenado de granos, especialmente de R3 a R7.

Massigoge y Ross (2012) en base a estudios concluyen que a medida que retrasamos la siembra, se reduce de manera casi proporcional la duración de cada etapa, según grupo de madurez.

1-Vegetativa: durante esta etapa ocurre el crecimiento vegetativo inicial. Los cultivos de segunda presentan poco crecimiento en este período producto de las condiciones iniciales. En el inicio del cultivo debemos considerar que el grupo de madurez, el arreglo y la densidad de siembra van a determinar la estructura del cultivo para capturar los recursos del ambiente.

2-Floración y formación de vainas: en esta etapa ocurre la transición gradual del crecimiento vegetativo al reproductivo. Con más frecuencia que en cultivos de primera, los efectos del estrés hídrico en soja de segunda limitan el cuaje de las primeras flores, razón que determina un retraso en alcanzar la etapa reproductiva, alargando la fase vegetativa. Esta etapa es muy importante porque interactúa el crecimiento de la cobertura, necesaria para capturar recursos y crecer a mayor tasa; y la fijación de los granos, futuros destinos del crecimiento y gestores del rendimiento. Desde mediados de esta etapa, marcado por la presencia de chauchas desarrolladas, es donde la tasa de crecimiento del cultivo debe ser máxima y sostenida, aquí comienza el período crítico.

3-Llenado de granos: a comienzos de este período la planta tiene su altura final, cesa el crecimiento vegetativo y todos los fotoasimilados van hacia estructuras reproductivas. Al tener el cultivo de soja mucho solapamiento entre etapas, el inicio de llenado convive con el fin de floración, la fijación de vainas y de granos. Aquí el cultivo se encuentra en pleno período crítico, es decir cualquier factor que afecte sensiblemente su crecimiento va a limitar el número de granos fijados y su el rendimiento final. La segunda mitad del período no es considerada período crítico, pese a que es muy importante para lograr altos rendimientos y se hace notar en la soja de segunda.

### 2.2.7.1 Determinación de componentes de rendimiento

El componente más asociado con variaciones en rendimiento del cultivo de soja es el número de semillas por unidad de área de suelo el que a su vez es función de la tasa de crecimiento de cultivo (TCC) entre plena floración y comienzo de llenado de los granos (Quijano et al., citados por Bodrero, 2003).

Valentinuz et al., Borrada et al., citados por Andrade y Vega (2000), estudiaron el peso del grano, que ante cambios en la densidad, este segundo componente del rendimiento presenta escasa variación en soja.

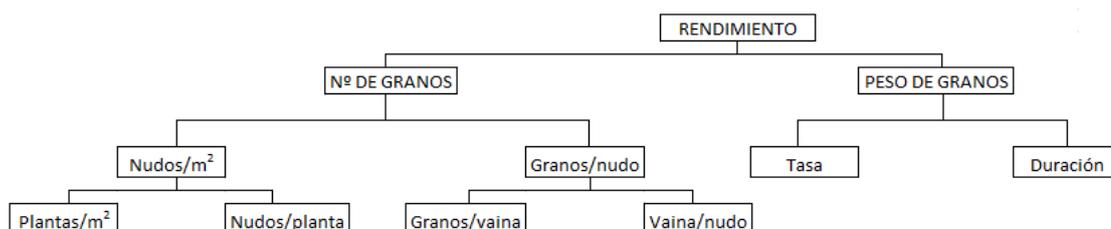


Figura 1.- Componentes del rendimiento del cultivo de soja (tomado de Díaz-Zorita y Duarte, 2004).

Debemos considerar que el peso por grano tiene mucha plasticidad y que habitualmente la soja fija más granos de los que puede llenar. De no haber fijados una cantidad suficiente de granos el peso final de los mismos puede compensar en gran proporción la pérdida de número. Esto ocurre si hay buenas condiciones en el llenado y el cultivo tiene buena cobertura foliosa, es decir, el cultivo está capacitado para compensar los efectos de cualquier estrés a principio del período crítico (Massigoge y Ross, 2012).

Estas consideraciones son esenciales en un cultivo de soja de primera, donde la estación de crecimiento es amplia, permitiéndole a la soja activar todos sus mecanismos compensatorios. Sin embargo, en los cultivos de soja de segunda la estación de crecimiento resulta muy acotada y, habitualmente, el llenado ocurre en condición desfavorable para el cultivo. Consideremos dos razones para ampliar el período crítico en cultivos de segunda. Por un lado, la escasa duración de la etapa de crecimiento vegetativo, que habitualmente ocurre con estrés, determina una planta de menor tamaño. Por otro, el llenado de granos ubicado en condiciones de temperatura y radiación desfavorable que limita el crecimiento individual de los granos, quedando estos con un peso inferior al de los cultivos de primera (Massigoge y Ross, 2012).

El rendimiento en grano se reduce ante atrasos en la fecha de siembra del cultivo de soja de segunda. Las mermas pueden atribuirse a una disminución del crecimiento vegetativo causado por una prematura floración, una menor duración de las etapas vegetativa y reproductiva y a la caída de la tasa de crecimiento durante las etapas reproductivas. Variaciones en el número de granos por unidad de superficie explican la mayor parte de las modificaciones de rendimiento en sojas tardías. A su vez, la duración del período entre R1 y R5 explicaría más de la mitad de la variación en el número de granos (Andrade y Claviño, 2004).

## 2.3. EFECTOS DEL SISTEMA DE LABOREO Y LA ROTACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO QUE PUEDEN AFECTAR A LA SOJA DE 2<sup>da</sup>

### 2.3.1. Disponibilidad hídrica

Es notoria, la baja autonomía hídrica de los suelos agrícolas, en relación a las necesidades de agua de los cultivos, por lo que existe una elevada dependencia de las recargas, para lograr un abastecimiento ajustado a las demandas hídricas, y en condiciones de secano, las recargas provienen solamente de las PP (Giménez y García, 2009).

El agua disponible depende de factores climáticos y de la capacidad del suelo para almacenarla y liberarla; la determinación de la disponibilidad está dada por el balance final entre las precipitaciones recibidas; el agua evaporada desde el suelo y la superficie vegetal; el agua infiltrada en el suelo y la que escurre en forma superficial y profunda. Este balance está determinado por la evapotranspiración potencial, la real, el exceso y déficit hídrico (Letey, 1985).

Si consideramos las necesidades de agua promedio de los cultivos de verano (alrededor de 500 mm), resulta obvio que el almacenaje de agua máximo para los suelos de nuestro país solo cubre 1/3 de las necesidades de los cultivos. Esto significa que las prácticas de manejo ante un escenario de intensificación deberían tender a reducir el perfil de riesgo esencialmente en estos cultivos (Sawchik, 2004).

Langdale et al. (1988), afirman que después que la superficie se seca, el agua bajo la superficie y permeabilidad del aire sobre la superficie del suelo se convierten en factores muy importantes en el proceso de evaporación. Esto fue demostrado por Smika (1976), quien comparó las pérdidas por evaporación del laboreo, mínimo laboreo, y la labranza cero durante un período de 34 días después de la caída de 165 mm de lluvia. En el día después de la lluvia, el contenido de agua fue similar para todos los tratamientos. Después de 34 días sin lluvia, el contenido de agua del suelo, se redujo a  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  a una profundidad de 12, 9 y 5 cm con tratamiento de labranza convencional, mínima, y no laboreo respectivamente. La profundidad del suelo en la que se encontró mayor secado, tanto en mínimo laboreo como en laboreo convencional, coincidió con la profundidad a la cual se introdujo la cuchilla al realizar los labores de labranza (10 cm), 8 días antes de ocurridas las precipitaciones. Los residuos en superficie que se encuentran en los tratamientos de mínimo y cero laboreo, reducen la evaporación si se compara con el tratamiento de laboreo convencional (Langdale et al., 1988).

Incerti et al., citados por Ernst et al. (2009) menciona que en regiones húmedas y en años de precipitaciones no limitantes, el efecto del manejo del suelo y de la secuencia de cultivos tiene bajo impacto sobre el rendimiento.

Para cultivos de verano de segunda, siempre hay dependencias de las lluvias ya que el cultivo de invierno en la mayoría de los años entrega el suelo con baja disponibilidad de agua a la siembra. Esto no determina necesariamente rendimientos inferiores que cultivos de primera que se inicien sobre un perfil a capacidad de campo, en especial si la capacidad de almacenaje del suelo no es alta. Para estos casos las precipitaciones que ocurran en el periodo crítico de los cultivos son las principales determinares del rendimiento final (Ernst et al., 2009).

Autino y Cocco (2008), en su tesis de grado, encontraron que la recarga de agua fue similar en todos los tratamientos, lo que se atribuye a la ocurrencia de lluvias de poca cantidad, sobre el suelo seco y que nunca alcanzaron para saturar el perfil. Bajo estas condiciones, no se detectó diferencias 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.

#### 2.3.1.1. Efecto rastrojo

La presencia de rastrojo genera un mejor balance de agua en el suelo. El mismo proporciona una disminución del impacto de las gotas de lluvia, una mayor agregación (mayor porosidad, dependiendo el tipo de suelo) y una menor tasa de evaporación de agua desde el suelo; generando mayor infiltración en el perfil y menores pérdidas tanto de agua como de suelo (Ernst, May y Schmith, Álvarez y Micucci, Singh y Malhi, citados por Franzluebbbers y Stuedemann, 2008).

A su vez Sawchik y Ceretta (2005) agregan que aun considerando las diferencias de tipo de suelo existentes, es muy probable que la presencia de una alta cantidad de residuos en superficie (trigo o cebada) permitiera aumentar la relación infiltración/escurrimiento en comparación con las siembras de primera.

Al comparar el efecto del laboreo o no del suelo sobre la infiltración de agua en el suelo, se cuantificó el "efecto rastrojo" para condiciones de suelo imperturbado. 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 labreado fue superior a la del no laboreo sin rastrojo en superficie. Al avanzar el proceso de humedecimiento y en suelo saturado, ambas situaciones se igualaron, destacándose la mayor infiltración del suelo no perturbado con cobertura de rastrojo (Ernst, 1998).

Mayor agotamiento bajo siembra directa, en la zona de 0,6-1,0 m de profundidad, en comparación con labranza convencional en la zona de 1,0-1,2 m de profundidad, se correlacionó con las diferencias de rendimiento, el coeficiente de correlación entre el discutido agotamiento de agua del suelo y el rendimiento de maíz fue significativo al nivel de 5% ( $r = 0,7$ ) (García Préchac, 1991).

### 2.3.1.2. Efecto del doble cultivo

El cultivo dispone del agua almacenada a la siembra en el suelo (Micucci et al., citados por Álvarez y Micucci, 2003), y de las precipitaciones que ocurren durante el ciclo de crecimiento. La CAD almacenada a la siembra genera mayor o menor autonomía, o dependencia de las lluvias. El agua acumulada durante el período de barbecho afecta el crecimiento en los primeros estadios de los cultivos, y puede asegurar la disponibilidad de agua en el período crítico del cultivo, donde el déficit hídrico afecta los procesos de generación y definición de rendimiento (Andrade y Sadras, citados por Álvarez y Micucci, 2003). El manejo de la reserva hídrica de agua en el perfil del suelo es esencial en los cultivos de verano en regiones áridas y semiáridas (Álvarez y Micucci, 2003).

Cuando se implementan sistemas de producción que incluyen doble cultivo anual, el agua disponible a la siembra del cultivo de verano es el residuo del consumo realizado por el cultivo de invierno y la cantidad y distribución de lluvias durante el último mes de su estación de crecimiento (Ernst et al., 2009). Esto es reafirmado por Andrade y Calviño (2004) cuando menciona que 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.

Según Ernst (1998) en los cultivos “de segunda”, el cultivo de invierno consume el agua y opera como cobertura de suelo. Las lluvias 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.

Por otro lado, el consumo de agua de las diferentes especies invernales no parece ser demasiado diferente, aun cuando se comparan cultivos que difieren mucho en la longitud de su ciclo, como por ejemplo trigos de ciclo largo y corto (Albarenque et al., citados por Caviglia et al., 2011). El consumo de agua se relaciona con la cobertura del suelo y el período de ocupación, que en general es bastante similar aunque desfasado entre colza y trigo (Caviglia et al., 2011).

A partir del experimento realizado en el INTA Rafaela por Cencig y Villar (2010) se pudo confirmar que en años de oferta de lluvias estivales abundantes, existe potencial para implementar el doble cultivo anual, incluyendo opciones de doble cultivo estivales.

### 2.3.1.3. Cambios durante el período crítico

Los cultivos de verano particularmente el maíz, son muy sensibles durante el periodo próximo a floración (Andrade y Sadras, citados por Álvarez y Micucci, 2003). Esto fue demostrado por Bidegain (2012) en su tesis de grado quien concluye que, a partir de los rendimientos potenciales, precipitaciones menores a los 100 mm ocurridos durante el período R3-R6 determinan rendimientos reales menores al 50% del potencial y precipitaciones mayores a los 300 mm determinan rendimientos mayores al 70% del potencial. Para estos casos hay un doble efecto, ya que a menores precipitaciones menores rendimientos reales y mayor rendimiento potencial consecuencia de la mayor radiación interceptada.

Andrade y Sadras, citados por Álvarez y Micucci (2003) mencionan que todas las prácticas tendientes a minimizar las pérdidas de agua o el consumo de agua previo a este período, impactan positivamente en la EUA. El consumo de agua está relacionado con el índice de área foliar (IAF). A su vez Bidegain (2012) afirma que el factor que puede ser manejado previo a la siembra, con el objetivo de tener mayor probabilidad de obtener un buen rendimiento, es el agua acumulada en el suelo en los primeros 30 cm.

### 2.3.2. Propiedades físicas

Durante la etapa de cultivos arados, de las rotaciones de cultivos y pasturas, la estructura y las propiedades que ella determina se deterioran porque: 1) se hace deficitario el balance de materia orgánica, generando menor actividad biológica 2) disminuye la cobertura de suelo, por lo que se produce encostramiento y erosión y 3) el tráfico de maquinaria y su pasaje dentro del suelo produce compactación y traumatismos físicos a los agregados. Durante la etapa de pasturas, la reversión o la desaparición de los efectos anteriores conduce a la recuperación de la agregación, mejorando la estructura y las propiedades por ellas determinadas (García Préchac, citado por García Préchac, 2003).

Díaz Roselló, García Préchac, citados por Ernst y Siri-Prieto (2008), estudiaron que durante la fase agrícola, basada en el laboreo del suelo, se produce una reducción en la fertilidad y pérdida de estructura del suelo, la que se recupera durante la fase de pastura.

En cuanto a la densidad aparente, los mayores valores los presentaban los sistemas de cultivos continuos y los menores las rotaciones de cultivos y pasturas de larga duración, siendo intermedios los valores de las rotaciones de cultivos y pasturas de corta duración (García Préchac et al., Díaz et al., citados por García Préchac, 2003). Así mismo, Florentino et al. (1998) en experimentos realizado concluyeron que luego de 5 años de SD, mejoró en un 30% la EE (estructura de suelo), disminuyó la DA y aumentó el contenido de humedad en comparación al suelo con manejo convencional, atribuyéndose principalmente a la presencia de una cobertura de residuos.

García Préchac y Beloqui, citados por García Préchac (2003) afirman que el deterioro de las propiedades físicas asociadas a la estructura se produjo paulatinamente a medida que se incrementó el número de cultivos arados sobre el mismo suelo y fue independientemente del tipo de cultivo (García Préchac y Beloqui, citados por García Préchac, 2003). A su vez, la recuperación de la estructura también fue continua con la duración del ciclo de pasturas de la rotación.

Ernst, citado por Sawchik (2001), encontró que las secuencias de cultivo sin laboreo determinaron una mayor estabilidad estructural de agregados que bajo laboreo convencional. Los cambios en la POM están muy asociados a esta medida (Chan, citado por Sawchik, 2001).

### 2.3.3. Degradación del suelo

#### 2.3.3.1. Erosión

Con LC, la incorporación de pasturas significó una reducción en la erosión estimada del 18%. La eliminación del laboreo la redujo en un 22% con relación al anterior cuando se retiró el rastrojo de la superficie del suelo y en un 97% cuando se dejó el rastrojo del cultivo anterior sobre el suelo. Este efecto de la cobertura del suelo por rastrojo también se manifestó para sistemas de agricultura continua, lo que confirma que si bien la eliminación del laboreo tiende a reducir las pérdidas de suelo por erosión, el efecto depende de mantener el suelo cubierto por rastrojos o cobertura verde (Ernst y Siri-Prieto, 2008). Para esto en sistema agrícolas que no cumplan con el aporte mínimo de rastrojo en cantidad como en calidad, las pasturas con gramíneas perennes parecen ser una forma viable de recuperar el potencial productivo de los suelos degradados por la agricultura con laboreo (García Préchac, citado por Dabalá, 2009).

Las pérdidas de fertilidad asociadas a la erosión siguieron la misma tendencia, confirmando que la pérdida de suelo por erosión tiene implícita la pérdida de fertilidad, por lo que toda práctica de manejo que controle a aquella aportará al mantenimiento del potencial de producción del suelo (Ernst y Siri-Prieto, 2008).

Cuando un suelo es cultivado con laboreo convencional el nivel de materia orgánica del suelo disminuye debido a que una parte de la producción es removida, la erosión se incrementa y se acelera los procesos microbiológicos de mineralización de la materia orgánica. El efecto de la rotación de cultivos anuales en la materia orgánica del suelo está dado principalmente por la cantidad de rastrojo que se produce y se devuelven al suelo (Morón, 2001).

La siembra sin laboreo aporta al control del proceso de la erosión hídrica si el esquema de producción mantiene el suelo cubierto con rastrojo. Si esto no sucede, la pérdida de suelo igual se reduce, pero la concentración de nutrientes en el suelo que sale de la chacra producto de la estratificación de la fertilidad que se produjo por no laborear, es mayor que en situaciones con laboreo (Legelen, 1998), lo que plantea la necesidad de no descuidar este aspecto en el diseño de las secuencias de cultivos (Ernst, 2003). Esto es reafirmado por Baethgen et al. (2004) cuando mencionan aún con SD, en soja continua se estiman tasas de erosión por encima de las tolerables. Este problema tiende a corregirse al incluir un cultivo o cobertura de invierno entre los cultivos de soja. Las rotaciones de cultivos y pasturas, con o sin laboreo, arrojan estimaciones de erosión por debajo de los niveles tolerables, salvo que la rotación alargue en demasía la fase de cultivos con alta participación de la soja; ya que del análisis de la participación de cada cultivo en la erosión total generada en los sistemas de producción, surge la soja como el contribuyente mayoritario (62%) (Baethgen et al., 2004).

El deterioro de los suelos no sólo se ha producido por el empleo de rotaciones pobres en aportes de residuos sino también por uso de agresivos sistemas de laboreo del suelo, como los basados en arados y/o discos pesados. Estos sistemas de laboreo han promovido las pérdidas oxidativas de materia orgánica, el deterioro físico y químico de muchos de nuestros suelos y lo que es más dramático, la pérdida del suelo por erosión. Varios millones de hectáreas de suelos fértiles fueron degradados por procesos de erosión. La adopción más reciente de la siembra directa ha contribuido a disminuir los procesos de degradación iniciados por el laboreo convencional (AACS, 2008).

### 2.3.3.2. Compactación

Calonegoa y Rosolemb (2010) observaron la limitación en la absorción de agua y nutrientes por las plantas cuando capas del subsuelo se encuentran compactadas. Estudiaron entonces métodos tanto biológicos (utilizando plantas con sistemas radiculares fuertes) como mecánicos (cincel), para evaluar efectos de corto y largo plazo. Los resultados obtenidos mostraron que el cincelado resultó de menor resistencia a la penetración del suelo, obteniendo mejores rendimientos durante el primer año. Sin embargo, en el siguiente año, el cultivo desarrolló más raíces en profundidad cuando se introdujo en la rotación Triticale y Pennisetum. Esto es debido a la mayor presencia de bioporos y a una disminución en la resistencia a la penetración del suelo. Es por esto que en los siguientes años se revierten los resultados, disminuyendo los rendimientos en las parcelas cinceladas en comparación con las parcelas con rotaciones.

Micucci y Taboada (2006) estudiaron el efecto a largo plazo de la labranza convencional, los cuales resultaron en pérdidas de las capas más superficiales del suelo, disminución de carbono orgánico del suelo y la estabilidad de los agregados; siendo esta última la única que se recuperó completamente después de varios años de labranza cero. También concluyeron que el sistema de labranza y las propiedades del subsuelo (compactación, cantidad de arcilla, etc.) son los principales factores que afectan el crecimiento de las raíces.

## 2.4. EFECTOS DEL SISTEMA DE LABOREO Y LA ROTACIÓN SOBRE EL DESARROLLO DEL CULTIVO

### 2.4.1. Efecto sobre la implantación

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 deficiencia de nutrientes y a frecuentes deficiencias de agua (Ehlrs et al., Blevins y Frye, citados por Martino, 2001). 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 mesofauna del suelo (Martino, 2001).

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 y la implantación final (Ernst, citado por Autino y Cocco, 2008).

Para sistemas de siembra directa se ha reportado que los suelos se presentan más fríos, más húmedos, menos aireados y más densos que bajo laboreo convencional. Esto determina un enlentecimiento en la germinación, emergencia y crecimiento inicial de los cultivos por menor temperatura (May y Schmitz, 1997).

#### 2.4.2. Rendimiento

Luego de años de comparación de rendimiento entre cultivos sembrados con y sin laboreo no se encontraron diferencias significativas entre el rendimiento acumulado en grano. En los primeros años de la rotación de cultivos con pasturas, los rendimientos de los cultivos sembrados sin laboreo tendieron a ser menores a los logrados con laboreo, luego esta situación se revirtió. Cuando se realizó rotación cultivos/pasturas con siembra directa versus agricultura continua (con o sin pasturas), hubo mayores rendimientos con pasturas que sin las mismas. En tanto, en sistemas de agricultura continua (AC SD-LC), el manejo sin laboreo superó al con laboreo convencional en todos los años. La diferencia de rendimiento entre sin laboreo y con laboreo fue mayor en cultivos de verano que en cultivos de invierno (Ernst 2000, Ernst y Siri-Prieto 2008).

Según Galarza (2007), Morón (2007) las razones por las cuales los rendimientos obtenidos en siembra directa son inicialmente menores que en laboreo convencional se desconocen, pero estarían relacionadas con el tiempo requerido para lograr cambios favorables en las propiedades físicas del suelo. Se requieren de 3 a 6 años para que los rendimientos de maíz obtenidos sin laboreo, iguallen a los obtenidos con laboreo, para un mismo suelo. Luego de este período, los rendimientos en siembra directa excederían a los obtenidos con laboreo convencional. Esto se debe a que la siembra directa permite aumentar y estabilizar los niveles de carbono orgánico y nitrógeno en los primeros centímetros de suelo en comparación con el laboreo convencional; y el suelo se comporta como sumidero sólo si cuenta con suficiente carbono y nitrógeno para formar más materia orgánica que la que se necesita como proveedor de nutrientes de los cultivos (Galarza, 2007).

A su vez, Gallaher et al. (1989) observaron que la producción de soja disminuye después del segundo o tercer año de un sistema de siembra directa de soja continua, evaluaron diferentes sistemas de labranza y la compactación del suelo y su asociación con el rendimiento de la soja. Los tratamientos fueron siembra directa (SD), siembra directa más subsolado del surco (SDS), labranza convencional (LC) y labranza convencional más subsolado en el surco (LCS).

El sistema de laboreo afectan los componentes de rendimiento, con sistema de no laboreo se cosecha 15%, 9%, 9% mayor masa de grano, n° de granos/m<sup>2</sup> y n° de vainas/m<sup>2</sup> que frente a sistemas de laboreo convencional respectivamente (Pedersen y Lauer, 2004).

El comportamiento diferencial de la agricultura con o sin rotación con pastura muestra la clara ventaja de no laborear en sistemas agrícolas y el menor impacto de esta práctica cuando se mantienen sistemas mixtos de producción (Ernst y Siri-Prieto, 2008).

Chena et al. (2009) estudiaron los principales factores que influyen en la variabilidad del rendimiento del cultivo de soja, entre ellos está el suelo y el manejo del cultivo. Los resultados obtenidos mostraron que a pesar de considerarse el suelo como el principal colaborador para producir variabilidad, sólo una pequeña parte de rendimiento de la soja podría explicarse por la variación del suelo, observando efectos a largo plazo. En cambio la diferencia de rendimiento de campo a campo se explicaba por las prácticas de manejo realizadas. Por lo tanto concluyen que la producción puede ser ajustada con prácticas de manejo adecuadas como podría ser análisis de suelo o variedades tolerantes a la sequía, entre otros.

Caviglia et al. (2011) a partir de un experimento realizado en el INTA encontraron que no hay diferencias significativas entre el rendimiento de la soja de primera y el resto de las sojas sembradas más tarde (NA 5990 RR). Es probable que el déficit hídrico sufrido durante la implantación y el período crítico para la determinación del número de granos hayan afectado al rendimiento de la soja de primera, de grupo de madurez más corto. La probabilidad de implantar la soja sobre colza y cebada es, sin embargo, mayor que en el caso de trigo debido a la mayor probabilidad de precipitaciones en los días posteriores a la cosecha. Asimismo, en esquemas en los que es posible asegurar la provisión de agua es posible aspirar a mayores rendimientos de soja sobre colza y cebada que sobre trigo.

Si se considera que el período crítico para la determinación del rendimiento del cultivo de soja de segunda (final de la floración y llenado de granos) ocurre a partir de febrero en nuestra zona, resulta poco probable que pequeñas diferencias en el contenido de agua total en el suelo a la implantación de soja de segunda entre las distintas alternativas invernales produzcan algún efecto en el rendimiento de soja (Caviglia et al., 2011). Según Peltzer, citado por Caviglia et al. (2011), diferencias de 52 mm de agua útil a la siembra de soja entre tratamientos con y sin barbecho se redujeron a 1 mm en plena fructificación (R4), generando rendimientos similares.

## 2.5. BALANCE DE NUTRIENTES EN EL SUELO PARA DOBLE CULTIVO TRIGO/SOJA

No existen diagnósticos actuales de cuál es la situación de manejo de P en el cultivo de soja de segunda en Uruguay, el relevamiento acerca del manejo del P en soja de segunda realizado en el verano 2010-11, podría ser una pista de lo que puede estar ocurriendo actualmente (Hoffman, 2012). La información muestra que menos de un 25% de la superficie fue fertilizada con P a la siembra de la soja de segunda en esta zafra, aunque los valores de P disponible para las chacras con información fueron en promedio bajos (9 ppm). Para el 67 % de las chacras con menor P disponible en suelo a la siembra de la soja de segunda (por debajo de las 10 ppm), el área sin fertilización fosfatada se ubico en un 56 % del área sembrada (Hoffman, 2012).

En las chacras con información de P a la siembra de la soja de segunda (30 %), más del 90 % se ubicó por debajo de 16 ppm de P disponible en suelo 0-20 cm. Considerando los niveles de P en suelo a la siembra por encima del cual no se obtuvo respuesta a la fertilización fosfatada en cultivos de soja de segunda (16 ppm), en la zafra 2010-11 para la mayor parte del área relevada sin fertilización fosfatada, los cultivos de soja crecieron en un ambiente deficiente en P. Estos ambientes se ubicaron en regiones con escasa historia agrícola, y en la zona tradicionalmente bajo agricultura asociado al mayor rendimiento de los cultivos de invierno antecesores, sobre todo cuando el nivel de P en suelo a la siembra del cultivo de invierno fue muy bajo (< 8 ppm), particularmente cuando la fertilización fosfatada fue en promedio desajustada (< 33 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>) (Hoffman, 2012).

Para los casos analizados, que tienen una secuencia de doble cultivo anual, que se fertilizan con P en base a los resultados del análisis de suelo, y que como consecuencia de los rendimientos obtenidos el balance aparente es cercano a cero, podría decirse que no se modificó la disponibilidad de P en el suelo. Esta estrategia tendría la ventaja de mantener cercano al valor crítico de respuesta considerado a aquellas chacras con nivel inicial alto, pero no sería capaz de levantar rápidamente la limitante de P en chacras con bajo nivel inicial (Ernst y Hoffman, 2008).

Ernst y Hoffman (2008) plantean que si bien no se dispone de información que cuantifique la superficie sembrada con cultivos de segunda en los que no se fertiliza con P, está ampliamente incorporado al manejo de secuencias agrícolas el concepto de “*capitalizar el efecto residual de la fertilización realizada al cultivo de invierno*”. Tanto los resultados presentados en este trabajo como el de Cano et al. (2006) indican que esta estrategia determinaría balances negativos de P cuando el cultivo de verano es soja o con sorgo y maíz de altos rendimientos. Para la secuencia

invierno/verano con fertilización fosfatada en ambos cultivos estaría en un balance aparente neutro. A su vez, Cano et al., citados por Ernst y Hoffman (2008), determinaron que en sistemas de agricultura continua sin laboreo, las chacras que reciben fertilización con P en una alta proporción de los cultivos, tienen balance aparente positivo. En tanto aquellas en que sistemáticamente se omite la fertilización a algún componente de la secuencia, como ser los cultivos de verano de segunda, resultan en balance aparente que van de neutros a negativos, dependiendo del cultivo de segunda y de su rendimiento.

Las respuestas de los cultivos a los distintos nutrientes y, especialmente, a las interacciones, se han ido ampliando a través de los años debido a la acumulación de fertilidad en los tratamientos fertilizados y la pérdida de la misma en el Testigo o en aquellos tratamientos sin aplicación de algún nutriente en particular (García, citado por Boxler et al., 2012).

Estos conceptos fueron estudiados también por Albrecht et al. (2012) en los cuales los resultados mostraron que la producción acumulada de trigo/soja en 10 años de evaluación mostró los mayores rendimientos de trigo con el tratamiento NPS. En soja de 2da, los rendimientos más altos se lograron en los tratamientos con S. También observaron que las franjas de fertilización de las 10 campañas previas generaron condiciones nutricionales residuales que contribuyeron a lograr incrementos en los rendimientos de trigo en el año 2010, destacándose la residualidad del S. Por último concluyeron que la MO tuvo una tendencia creciente en los tratamientos de fertilización NPS y se asoció con las franjas más productivas de trigo. La fertilización combinada NPS durante 10 años, además de potenciar los rendimientos de trigo en 2010, permitió mejoras en la fertilidad del suelo, reflejadas en los valores de P y MO.

Sobre este mismo tema investigaron Albrecht et al. (2007), donde concluyeron que los niveles de P extractable, luego del doble cultivo trigo-soja, demostraron la necesidad de volver a suplir con este nutrimento a los próximos cultivos de la secuencia (maíz-soja) con las dosis usadas de hasta P40+P40. También afirman que la fertilización cada dos cosechas demostró ser eficiente para satisfacer los requerimientos de P y S de los cultivos; pero en el caso de la fertilización y refertilización con P40+P40, en conjunto con los niveles de S, fueron los únicos tratamientos que posibilitaron un residuo de P superior a 15 ppm, obtuvieron importantes beneficios económicos y proveyeron en forma adecuada los requerimientos nutricionales de la producción, aspecto fundamental para la sustentabilidad de un sistema bajo agricultura continua.

Poder contar con P suficiente en suelo a la siembra de un cultivo de segunda debería ir de la mano del concepto de residualidad, partiendo de valores de P en suelo más el agregado vía fertilizante, que aseguren al

menos estar por encima de las necesidades reales de los cultivos de invierno previos. Sin embargo que exista residualidad no es garantía de que el P disponible en suelo a la siembra de un cultivo de segunda asegure siempre suficiencia, aun cuando el P agregado al cultivo de invierno previo este por encima de sus necesidades y contemple a ambos cultivos (Hoffman, 2012).

Para un suelo con alto contenido de P inicial, la aplicación anual de P o en forma única, a la rotación de cultivos, no generó diferencias en el rendimiento de los cultivos que integraron los dos ciclos de rotación evaluados. Tampoco existieron diferencias en la EUPcult ni en la EUProt debidas a la estrategia de fertilización. En cambio, durante el primer ciclo, la ERP resultó mayor para el tratamiento fertilizado a la rotación respecto de la aplicación anual, mientras que en el segundo ciclo no se detectaron diferencias entre ambos (Divito et al., 2010).

En cuanto al balance de nitrógeno en soja, los estudios han logrado cuantificar cuánto N proviene del suelo y cuánto aporta la fijación biológica, en comparación con la extracción del cultivo demostraron que el cultivo de soja tiene un balance fuertemente negativo en suelos que tienen una capacidad de aporte de N media a alta (INIA, citado por de Melo et al., 2011). Hill et al. (1994), afirman que en situaciones de no-laboreo, donde no existe un período de barbecho que permita acumular N-NO<sub>3</sub> y no se quema el rastrojo, la disponibilidad del nutriente está determinada por el residuo de fertilidad del cultivo anterior.

En cuanto al azufre, García Lamothe (2011), afirma que debido a la mayor extracción de los cultivos, a consecuencia de la intensificación agrícola sin reposición de lo extraído, se ha hecho cada vez más frecuente encontrar respuesta al agregado del mismo; en este sentido se ha contribuido el uso de fertilizantes con poco o ningún contenido de S. Por su parte, Arias y de Battista (2003), tratando sobre el mismo macronutriente, afirman que es fundamental el mantenimiento de los elevados contenidos de materia orgánica de estos suelos a través de la SD y de las rotaciones con cultivos de alto volumen de rastrojo.

García Lamothe et al. (2009) coincidiendo con el efecto (sobre el Azufre) de la intensificación agrícola aportan que, encontrar respuesta al S en el cultivo de soja es menos frecuente que en cultivos de invierno. En el 2002-03 Morón, observó una tendencia positiva en 3 de 8 sitios en campos de productores con 15 kg de S/ha y en el 2003-4 uno de 5 mostró efecto significativo del S sobre el rendimiento con un incremento de 5 %. Albrech et al. (2007), también encontraron que las dosis de S incrementaron la producción de las cosechas tanto de trigo como maíz y soja de primera y segunda, aún con niveles muy bajos de P extractable en el suelo.

Para los otros nutrientes como potasio, magnesio y micronutrientes, que por el momento no hay evidencias que sean deficitarios, sería conveniente el monitoreo de los mismos mientras se mantenga el proceso de intensificación agrícola actual (Arias y De Battista, 2003). García Lamothe et al. (2009) afirman que la intensificación de la producción causa gran extracción de nutrientes y suelos de texturas medias antes ricos en K hoy presentan valores significativamente más bajos, aunque aún mayores al nivel crítico de 0.3 meq/100 g de suelo. Pero la mayoría de los suelos de texturas arenosas que se están cultivando en la actualidad son pobres en K (<0.25 meq/100 g de suelo). Estos autores afirman que en las dos zafas anteriores al año de publicación del artículo no se encontró respuesta positiva al agregado de KCl en soja.

Albrecht et al. (2012), en un experimento que contaba con tratamientos diferenciados por su fertilización sobre la secuencia trigo/soja encontraron que, los mayores incrementos en rendimiento, de soja, sobre el Testigo (sin fertilización), se observaron con P, NS o NPS pero las diferencias fueron menos notables que con trigo (posiblemente, entre otras causas, por ser una cosecha muy dependiente de las precipitaciones de estación (Lehrsch et al., citados por Albrecht, 2012), de las variedades y su grupo de maduración y de las enfermedades propias del cultivo). Albrecht et al. (2007) en otra experiencia sobre la misma temática afirman que los beneficios residuales, que generalmente son altos en la soja de 2<sup>o</sup>, en ocasiones de marcado déficit hídrico no se expresan en la misma magnitud. Es así entonces que en investigaciones sobre el tema, Albrecht et al. (2007), encontraron que en general, el P y el S tuvieron respuestas directas y residuales en todos los cultivos de la secuencia, con excepción en la soja de segunda después de trigo y en la soja de 1<sup>o</sup> en relación con P, por deficiencias hídricas durante el ciclo.

Albrecht et al. (2012) surgieron que en la rotación trigo/soja de 2da, el mayor beneficio es esperable en el trigo y el menor en soja. Las necesidades de fertilización deberían ser optimizadas para trigo y esperar efectos residuales en la soja de 2da. Otra conclusión sobre este mismo experimento fue que los rendimientos fueron menores en los tratamientos P y NP, indicando la deficiencia de S del sistema. Los tratamientos T y N alcanzaron rendimientos similares a los tratamientos con S (NS y NPS), probablemente porque la extracción acumulada de S en los 10 años previos fue menor. También Albrecht et al. (2012), observaron un aumento gradual del porcentaje de MO con las combinaciones de nutrientes NPS y los mayores rendimientos de trigo/soja entre 2000 y 2009. Para la profundidad de 0-20 cm, la MO varió de 2.5% en el tratamiento T hasta 2.9% en el tratamiento NPS. Para 0-5 cm, la tendencia fue más pronunciada variando de 3.1% en T hasta 4.5% en NPS. En ambas profundidades, el mayor contenido de MO presenta efectos positivos sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, sirviendo como reservorio para N, P y S y fuente

energética para los microorganismos (Stevenson, citado por Albrecht et al., 2012). Para la experiencia que se discute, las franjas con valores superiores de MO se observaron en los tratamientos de mayores rendimientos, probablemente a partir de diferencias en el aporte de carbono a través una mayor producción de materia seca.

Un aspecto clave para determinar el impacto del cultivo sobre el deterioro del suelo es el balance de la materia orgánica. En tal sentido, el maíz y el doble cultivo trigo-soja tienen balance anual más positivo que la soja como monocultivo, debido a la cantidad de carbono devuelto al suelo a través de los restos vegetales. Por lo tanto, los sistemas de cultivo con alta frecuencia de soja contribuyen a una disminución más marcada de la materia orgánica y, consecuentemente, son más sustentables los sistemas que incluyen una equilibrada rotación de diferentes cultivos (AACCS, 2008).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

##### 3.1.1. Localización espacial y temporal

El experimento fue realizado en potrero No. 27 de la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni. Facultad de Agronomía, en el departamento de Paysandú, Latitud 32° 23´ S, 58° 03´ O. Sobre suelo de la formación Fray Bentos, correspondiente a unidad San Manuel según la carta de reconocimiento de suelo del Uruguay 1:1000000 (Altamirano et al., 1976). El suelo donde se desarrollo el trabajo es clasificado por Duran et al. (1999) o según sistema de clasificación USDA como un Brunosol Eutrico Típico.

El trabajo de campo se realizó desde diciembre de 2011 hasta mayo 2012.

##### 3.1.2. Descripción del experimento

El experimento se inicio con la siembra de soja de segunda, antecesor trigo, el 2 de diciembre del 2011. La misma fue realizada a una densidad de 25 semillas viables/m<sup>2</sup>. Las variedades utilizadas fueron A6200. El 4 de mayo del 2012 finalizó el trabajo con la cosecha a máquina.

Los tratamientos son un factorial de laboreo y rotación o no con pasturas (parcela mayor) y dos tratamientos de fertilización al cultivo previo de trigo 1. definidos por análisis de suelo (Testigo) y 2. con una combinación de P, K y S (parcela menor) definidos como no limitante (No limitante). Los tratamientos de laboreo y rotación fueron: agricultura continua con laboreo convencional continua (AC-LC), , rotación cultivos-pastura con laboreo convencional (AP-LC), agricultura continua en siembra directa con barbecho invernal (AC-SDbcho), agricultua-pasturas sin laboreo (AP-SD) y agricultura continua en siembra directa con soja en verano (AC-SD).

Las dosis de fertilizante fueron para el manejo “no limitante” de 90-60-20 kg/ha contra 20-0-0 kg/ha en “testigo” de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K y S aplicados en trigo.

Se controlaron tanto malezas, enfermedades y plagas de manera similar para todos los tratamientos con el fin de eliminar el efecto de dichas variables en el resultado del experimento.

### 3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental se realizó en parcelas divididas en bloques completos al azar. Los bloques fueron tres, los cuales se definieron según profundidad de suelo. Cada bloque se encuentra dividido en seis parcelas, de 5m de ancho por 30 de largo, las cuales se diferencian por historia de chacra y se clasifican como parcela mayor. Dentro de cada una de éstas hay dos subdivisiones o parcelas menores, diferenciadas por la fertilización como se detallo anteriormente. Siendo entonces la unidad experimental, cada subdivisión, con una historia de chacra determinada y un criterio de fertilización.

El modelo experimental utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + H C_i + E(a) + F_j + E(b) + (H C.F)_{ij} + E(c)$$

Siendo;

i= 1,2,3,4,5 (Historia de chacra)

j= 1,2 (Fertilización)

k=1,2,3 (Bloque)

### 3.2.1. Determinaciones realizadas

#### 3.2.1.1. A nivel de suelo

- **Humedad volumétrica:** la humedad volumétrica se determinó a través de una sonda de neutrones modelo 503 DR HIDROPROBE a profundidades diferentes en todas las parcelas (0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm), exceptuando el tratamiento I del bloque III que se midió hasta los 80 cm. Las mediciones se realizaron introduciendo la sonda en tubo de aluminio que se encontraban en cada una de las parcelas. De esta forma se realizaban las mediciones correspondientes en cada profundidad mencionada anteriormente.
- **Disponibilidad de Fósforo y Potasio en el suelo:** la determinación de los niveles de fósforo y potasio en el suelo se realizó en los primeros 20 cm del mismo el día 8 de diciembre de 2012. Para cuantificar el fósforo se utilizó el método de P-Bray I en el caso de K en seco. Los resultados fueron expresados en ppm y meq/100g respectivamente.

#### 3.2.1.2. A nivel planta

- **Implantación:** en primera instancia se midió la implantación. La misma se realizó contando el número de plantas en dos hileras en un metro al azar en tres repeticiones tanto en la parte fertilizada como no. Estas mediciones se realizaron en dos fechas (9 y 26 de enero del 2012) debido a la falta de agua que hubo en las primeras etapas post plantación, la causa por la cual se consideró que podría haber pérdida de plantas. Estas mediciones permitieron obtener en promedio el número de plantas/ m lineal.
- **Fenología:** la fenología se realizó a partir de la observación de diez plantas consecutivas por parcela, para ambos manejos de fertilización, utilizando la escala desarrollada por Fehr et al. (1971), Las observaciones se realizaron los días: 38, 55, 84, 91, 101, 119 dps.
- **Índice de Área Foliar (IAF):** para la medición del IAF se utilizó un instrumento modelo LAI- 2000 Plant Canopy Analyser. Las mismas se realizaron en todas las parcelas con tres repeticiones. Las mediciones se realizaron a los 84, 101, 119 y 144 post siembra. Para el análisis de datos se utilizaron los valores de LAI y DIFN.

- Componentes del rendimiento: para estimar los componentes del rendimiento se cosecharon manualmente diez plantas al azar por parcela tanto en “no limitante” como en “testigo”. Se hizo un conteo del número de vainas por planta y el número de granos por planta. Por último se pesaron los granos de las diez plantas y se estimó la humedad tomando como referencia una submuestra de granos de las diez plantas.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AÑO

En el Cuadro 1 presenta las precipitaciones y temperaturas medias mensuales durante el período experimental. Como forma de comparación se toma como referencias las medias históricas mensuales entre los años 1980-2009, tanto de precipitación como de temperatura. Estos datos fueron obtenidos de información recabada en Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC).

Cuadro 1.- Promedio de 48 años de precipitación (mm) y temperatura (°C) para el período noviembre-mayo y para la estación de crecimiento del cultivo de soja 2011-2012.

Meses	Precipitaciones		Temperatura	
	Media histórica (1961-2009)	2011-2012	Media histórica (1961-2009)	2011-2012
Noviembre	122	131,8	20,8	22,1
Diciembre	118	72,6	23,4	22,9
Enero	115	73	25,2	26,1
Febrero	100	410	24	23,9
Marzo	131	185,83	22,6	21,1
Abril	147	90,83	18,7	17,4
Mayo	103	119,3	15,1	16,5

#### 4.1.1. Precipitaciones

Si comparamos las precipitaciones totales del período en estudio y el total de las medias históricas para cada mes, podemos caracterizar el año con relativamente buena disponibilidad hídrica, ya que lo supera por un 25%. Sin embargo, durante los meses de diciembre, enero y abril las precipitaciones ocurridas fueron menores a la media histórica. Éste puede haber sido un factor negativo en la implantación y crecimiento inicial del cultivo en los dos primeros meses de la estación de crecimiento. En abril, la falta de precipitaciones también pudo haber afectado la concreción del rendimiento en la última etapa del ciclo.

Febrero se destaca por su cantidad de precipitaciones. Por lo tanto en esta etapa del cultivo sí puede suponerse que no existieron limitante hídrica, permitiendo también acumular agua a lo largo del perfil del suelo para etapas posteriores.

Tomando un promedio de todos los tratamientos en estudio, el período crítico para la concreción del rendimiento del cultivo (R3 hasta R6 de la escala de Fehr) ocurrió durante el mes de marzo, con 185 mm de lluvia acumulada.

#### 4.1.2. Temperatura

La temperatura media mensual fue similar a los de la media histórica. Por lo tanto lo podemos definir como un año normal en lo que respecta al factor temperatura.

## 4.2. EFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y ROTACIÓN EN DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y NUTRIENTES EN SUELO

### 4.2.1. Nutrientes

En el Cuadro 2 se presenta la disponibilidad de potasio (meq/100 g de suelo) y fósforo (ppm) en suelo para los distintos tratamientos.

Cuadro 2.- Fósforo (P) y potasio (K) disponibles en suelo a la siembra de soja de segunda en la capa 0-20 cm.

Tratamiento	Fertilización al trigo	K meq/100 g		P ppm	
AC-LC	no	0,54 a	0,51 b	23 a	16 b
AP-LC	no	0,53 a		14 a	
AC-SDC Bcho	no	0,48 a		16 a	
AP-SD	no	0,56 a		13 a	
AC-SD	no	0,46 a		13 a	
Promedio Testigo					
AC-LC	si	0,59 a	0,59 a	16 a	19 a
AP-LC	si	0,59 a		24 a	
AC-SDC Bcho	si	0,54 a		17 a	
AP-SD	si	0,64 a		19 a	
AC-SD	si	0,60 a		18 a	
Promedio No limitante					

AC-LC= Agricultura continua con laboreo convencional, AP-LC= rotación cultivos-pastura con laboreo convencional, AC-SDbcho= agricultura continua en siembra directa con barbecho invernal, AP-SD= agricultura-pasturas sin laboreo y AC-SD= agricultura continua en siembra directa con soja en verano. Valores seguidos por la misma letra dentro de columnas no difieren entre sí ( $p \leq 0,05$ ).

Ninguno de los tratamientos de la combinación de manejo del suelo por rotación modificó significativamente la disponibilidad de P y K a la siembra de soja de segunda. Sin embargo, la fertilización aplicada al cultivo previo de trigo incrementó significativamente la disponibilidad de ambos nutrientes. De todas formas, ningún tratamiento presentó valores inferiores a los niveles críticos en suelo considerados para definir la necesidad de fertilizar la soja con estos nutrientes. En el caso de Fósforo el nivel crítico es definido entre 10-12 ppm en los primeros 20 cm del suelo (Barbagelata et al. 2002, Morón 2003, 2005).

Lo mismo sucede con el Potasio, en donde estudios resumidos por Barbazán et al. (2010) concluyeron que el nivel crítico orientativo del Potasio en el suelo es de 0,34 meq/100g, sin discriminar por textura ni cultivo; por lo que tampoco encontramos en los análisis de suelo ningún tratamiento con valores por debajo de los requeridos en este nutriente por los cultivos.

Sabiendo que los valores iniciales de K que caracterizan a los suelos en estudio están en torno a 0,6 meq/100g de suelo (Barbazán et al., 2013) podemos observar la marcada tendencia a disminuir, siendo los tratamientos fertilizados aquellos que se encuentran más cerca de los valores iniciales. García Lamothe et al. (2009) afirma que la intensificación de la producción causa gran extracción de nutrientes y suelos de texturas medias antes ricos en K hoy presentan valores significativamente más bajos, aunque aún mayores al nivel crítico de 0,3 meq/100 g de suelo.

La disponibilidad de P y K a la siembra en los tratamientos “Fertilizados” fue significativamente superior (19 ppm y 0,59 meq/100 g contra 16 ppm y 0,51 meq/100 g de P y K en “Fertilizados” y “Testigo” respectivamente). Esta tendencia coincide con experimentos realizados por Albrecht et al. (2012) en los que la fertilización fue combinada NPS durante 10 años y los resultados fueron además de potenciar los rendimientos de trigo, mejoras en la fertilidad del suelo, reflejadas en los valores de P y MO.

Los resultados del tratamiento “testigo” corresponden a una secuencia de doble cultivo anual, que se fertilizan con P en base a los resultados del análisis de suelo, y que como consecuencia de los rendimientos obtenidos el balance aparente es cercano a cero, podría decirse que no se modificó la disponibilidad de P en el suelo. Esta estrategia tiene la ventaja de mantener la disponibilidad de los nutrientes cercano al valor crítico de respuesta considerando a aquellas chacras con nivel inicial alto, pero no sería capaz de levantar rápidamente la limitante de P en chacras con bajo nivel inicial (Ernst y Hoffman, 2008). Estos estudios coinciden también con trabajos realizados por Divito et al. (2010), por lo tanto no es de esperar respuesta residual de la fertilización en el cultivo estudiado ya que partimos de suelos con fertilidad alta y que se manejaron de manera de mantener esa fertilidad.

#### 4.2.1. Balance hídrico

En la Figura 2 se presentan los eventos de lluvia ocurridos durante el ciclo del cultivo.

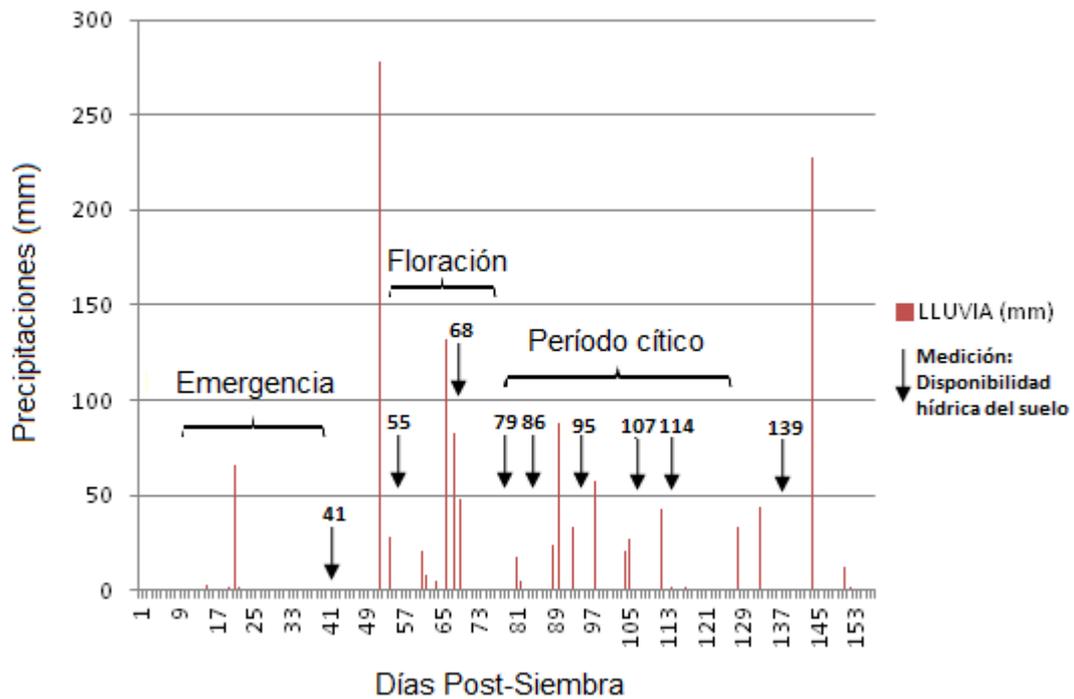


Figura 2.- Precipitaciones (mm) ocurridas durante el período de crecimiento del cultivo.

Durante el período crítico (80 y 120 días post siembra) la cantidad de lluvia acumulada fue de 320 mm aproximadamente, lo que correspondió a una capacidad de campo mayor al 60 % durante este periodo en todos los tratamientos. Para la obtención de altos rendimientos en el cultivo de soja las precipitaciones deberán ser mayores a 290 mm durante el lapso donde se define el rendimiento (Bidegain, 2012) y una capacidad de campo mayor al 60 % (Giménez, 2009).

En la Figura 3 se muestra el agua disponible en el suelo hasta 100 cm de profundidad en distintos estadios fenológicos del cultivo.

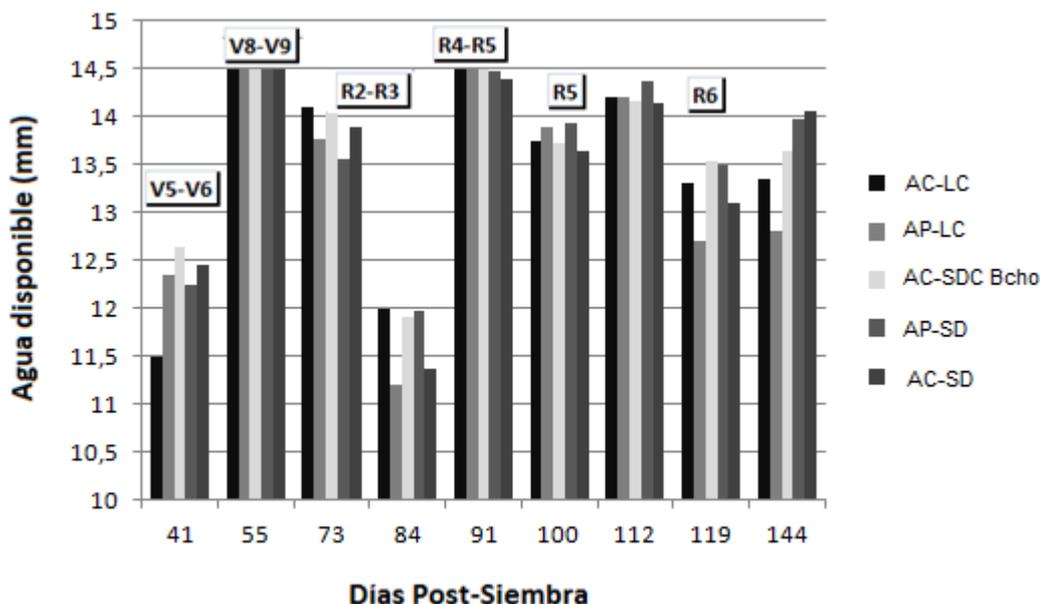


Figura 3.- Agua disponible (mm) en el suelo hasta 100 cm de profundidad en distintos estadios fenológicos del cultivo.

Los momentos en donde hubo menor disponibilidad hídrica fueron los estadios próximos V5-V6 y en R2-R3, determinación previa al inicio del período crítico para la definición del rendimiento en grano. A pesar de lo mencionado anteriormente esta disponibilidad fue mayor al 40% de la capacidad de campo (145 mm en 0-10 cm) en todos los momentos evaluados, (Cuadro 3) por lo que puede ser considerada como adecuada para García y Giménez (2009), Bidegain (2012).

Durante los primeros 40 días pos siembra la precipitaciones fueron escasas como se observó en la figura 2. Esto, sumado a que es un cultivo de segundo ocasionó disponibilidad hídrica menores a las medidas posteriormente, lo que coincide con lo indicado por Ernst et al. (2009), quienes afirman que en sistemas de doble cultivo anual, el agua disponible a la siembra del cultivo de verano, en este caso soja, es el residuo del consumo realizado por el cultivo de invierno, trigo, y la cantidad y distribución de lluvias durante el último mes de su estación de crecimiento. Así mismo concluyen que para cultivos de verano de segunda, siempre hay dependencia de la ocurrencia de lluvias ya que el cultivo antecesor en la mayoría de los años entrega el suelo con baja disponibilidad de agua a la siembra. En la Figura 3 se muestra la evolución del contenido de agua disponible del suelo durante el ciclo del cultivo en función de los tratamientos de manejo del suelo para los primeros 20 cm del perfil.

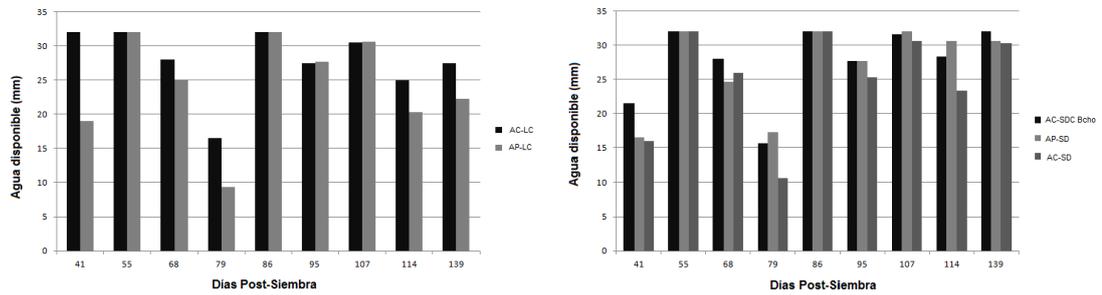


Figura 4. Evolución del contenido de agua disponible (mm) en el suelo en los primeros 20 cm del perfil.

Analizando la evolución se pueden definir momentos en que el perfil del suelo estuvo recargado con agua en todos los manejos y otros en los que la disponibilidad hídrica se redujo. La ubicación relativa de los tratamientos no cambió, por lo que no hubo interacción en esta variable. No se encontraron diferencias significativas a mayor profundidad del suelo. Resultados similares fueron obtenidos por Langdale et al.(1988).

Analizando la recarga de agua en el suelo, no hubo diferencias significativas entre tratamientos cuando las determinaciones se realizaron luego de eventos de lluvia capaces de recargar el perfil del suelo (55, 86 y 107 días pos siembra). En tanto, el consumo de agua, estimado como diferencia de agua almacenada en una fecha con el perfil recargado y la última determinación realizada previa a una nueva lluvia, muestra diferencias entre tratamientos (Figura 5).

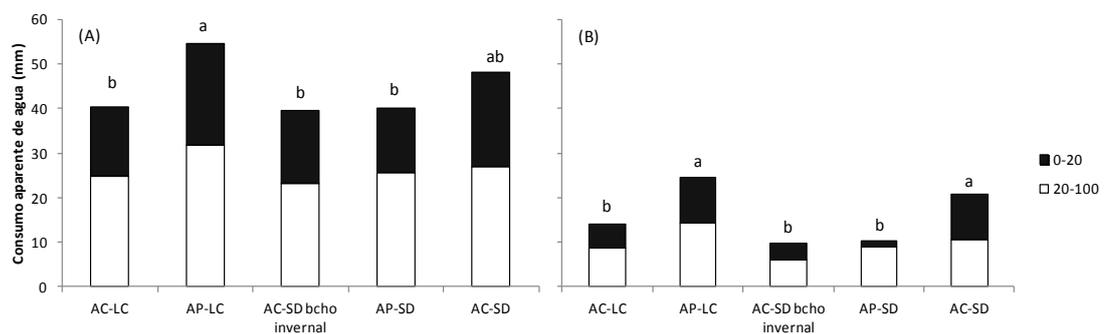


Figura 5. Diferencia en consumo aparente de agua (mm) por el cultivo de soja entre 55 y 79 días pos siembra (A) y entre 107 y 114 días pos siembra (B) para el estrato 0-20 cm, 20 a 100 cm y el total. Columnas con igual letra dentro de figuras no difieren entre sí ( $p \leq 0,05$ ).

En los dos momentos evaluados AP-LC y AC-SD fueron los que extrajeron más agua, tanto en los primeros 20cm del perfil como al considerar todo el perfil del suelo. No hubo diferencias entre AC-LC y AC-SDBcho, lo cual es un comportamiento esperado en base a la posible degradación del suelo producto del laboreo continuo o un esquema de agricultura continua basado en soja. Por lo contrario el comportamiento de AP-SD no está dentro de lo esperado ya que, teóricamente, sería la mejor combinación de rotación y manejo del suelo evaluado. El resultado se relaciona con el IAF de éstos tratamientos. Mientras que AC-LC siempre tuvo menor IAF que los demás manejos, AP-SD tuvo menos IAF durante los primeros 100 días del ciclo, alcanzando su máximo IAF recién a los 120 días pos siembra (ver Figura 6).

#### 4.3. EFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y ROTACIÓN EN LA IMPLANTACIÓN E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

##### 4.3.1. Implantación, población

En el siguiente cuadro se presenta la población estimada en dos fechas diferentes: 09/01 y 26/01. La repetición se realizó debido a las escasas precipitaciones ocurridas durante ese período, con el fin de detectar posibles diferencias en la velocidad de implantación y/o sobrevivencia de plántulas. No hubo efecto significativo de la fertilización ni de la interacción por lo que se presenta el efecto medio de los manejos de suelo.

Cuadro 3.- Población estimada en dos fechas.

	Fecha de muestreo	
	9 de enero	26 de enero
AC-LC	81487 b	77281 b
AC-SD	117204 ab	204093 ab
AC-SD Bcho	152409 a	288158 a
AP-LC	77062 b	134502 b
AP-SD	99497 ab	197514 ab
Promedio	112932	180309

Si comparamos el conjunto de datos de cada fecha, con la excepción de AC-LC que redujo su población, el número de plantas se incrementó en un 40%. Esto se explica ya que luego de la primer medición (09/01/2013)

hasta la segunda medición (26/01/2013) llovieron aproximadamente 73 mm, lo que permitió que emergieran mas plantas.

Los tratamientos con siembra directa fueron los que lograron la mayor implantación y número final de plantas, lo que se asocia con la mayor humedad disponible en el suelo. Sobre este efecto estudiaron, Ernst, May y Schmith, Álvarez y Micucci, Singh y Malhi, citados por Franzluebbbers y Stuedemann (2008), quienes afirman que la presencia de rastrojo genera un mejor balance de agua en el suelo, proporcionando una disminución del impacto de las gotas de lluvia, una mayor agregación (mayor porosidad, dependiendo el tipo de suelo) y una menor tasa de evaporación de agua desde el mismo. Por lo tanto se genera mayor infiltración en el perfil y menores perdidas tanto de agua como de suelo. Como resultado final se observan mejores condiciones hídricas para un mayor número de plantas logradas.

#### 4.3.2. Índice de área foliar

En la Figura 6 se presenta la evolución del IAF durante el ciclo.

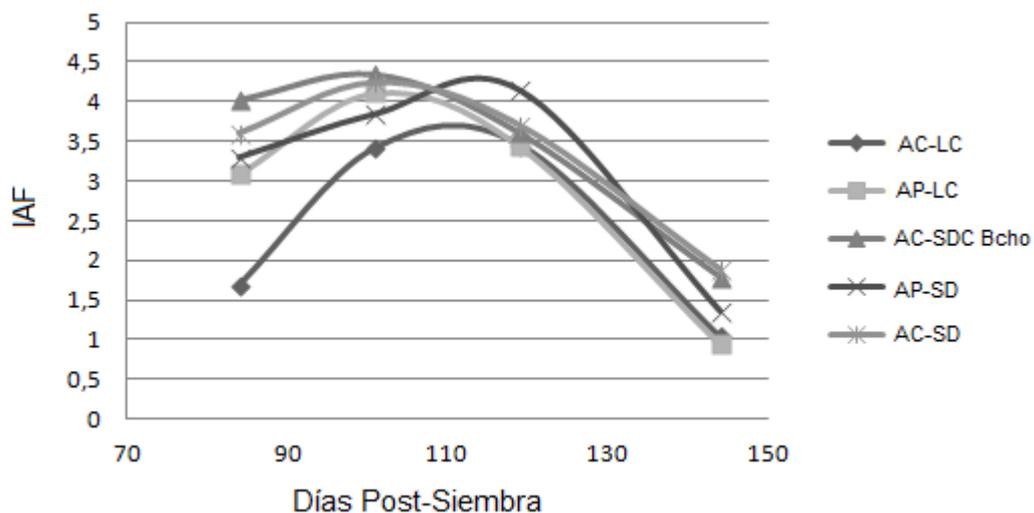


Figura 6.- Evolución del área foliar del cultivo.

Todos los tratamientos llegaron al IAF óptimo tal como afirma Bodrero (2003): la soja alcanza el 95 % de la intercepción de la radiación con un IAF de entre 3.1 y 4.5; dependiendo de la arquitectura de las plantas, densidad de siembra y espaciamiento. Si bien todos los tratamientos muestran un crecimiento del IAF con el tiempo, AC-LC tuvo una IAF inicial bajo, su IAF

máximo fue menor a  $4 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ , y lo alcanzó más retrasado en el tiempo. AP-SD también alcanzó su IAF máximo más tarde, pero a valores similares a los demás manejos.

En el experimento en estudio los valores más altos se dieron entre los 90 y 110 días incrementando linealmente y luego llegando a sus máximos como fue descrito por Evans (1983). Luego, el IAF declina progresivamente como se observa en la figura 6 próximo a los 120 días, coincidiendo con la abscisión de las hojas inferiores durante el llenado de la semilla (Evans, 1983). Por último, en el experimento, alrededor de los 144 días las hojas restantes amarillean rápidamente y pronto caen (Evans, 1983).

Los datos tomados el 30 de abril (144 días post-siembra) reflejan una caída del IAF en todos los tratamientos, nuevamente sin encontrar diferencias significativas. La disminución en los valores de índice de área foliar se explican por la senescencia del cultivo al final del ciclo, como fue mencionado anteriormente.

#### 4.4. EFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO Y ROTACIÓN EN EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

##### 4.4.1. Componentes de rendimiento

No hubo efecto significativo de la fertilización ni interacción con los tratamientos. Por tanto, en el Cuadro 4 se presentan los componentes del rendimiento de grano en función de los tratamientos de manejo de suelo y rotación.

Cuadro 4.- Componentes de rendimiento según tratamiento.

Tratamiento	Población	Vainas/planta	Granos/planta	Gr/vaina	PMG
AC-LC	77281 b	79ab	178a	2,6a	182a
AP-LC	134502 b	73a	176a	2,5a	194a
AC-SDC Bcho	288158 a	43b	104b	2,4a	186a
AP-SD	197514 ab	61ab	153ab	2,5a	186a
AC-SD	204093 ab	47ab	118ab	2,5a	182a

Los tratamientos con laboreo convencional fueron los que tuvieron mayor número de vainas y granos por planta. Por lo contrario los tratamientos bajo siembra directa mostraron lo menores valores en ambas variables sin encontrar diferencias significativas entre las diferentes rotaciones.

Ni el número de granos ni el peso de los mismos explicaría las variaciones en rendimiento entre los tratamientos, debido a que no se encontraron diferencias significativas entre los resultados de los mismos, al igual que Valentinuz et al., Borrad et al., citados por Andrade y Vega (2000), Massigoge y Ross (2012).

A partir de lo analizado anteriormente en la figura 3, se puede observar que mayor número de plantas, como fue en la mayoría de los tratamientos de siembra directa, menor es el número vainas y granos por planta, y viceversa. Esto coincide con lo demostrado por Massigoge y Ross (2012).

#### 4.4.1. Rendimiento

En el siguiente gráfico se muestran los rendimientos obtenidos para cada tratamiento, para el promedio de los tratamientos de fertilización.

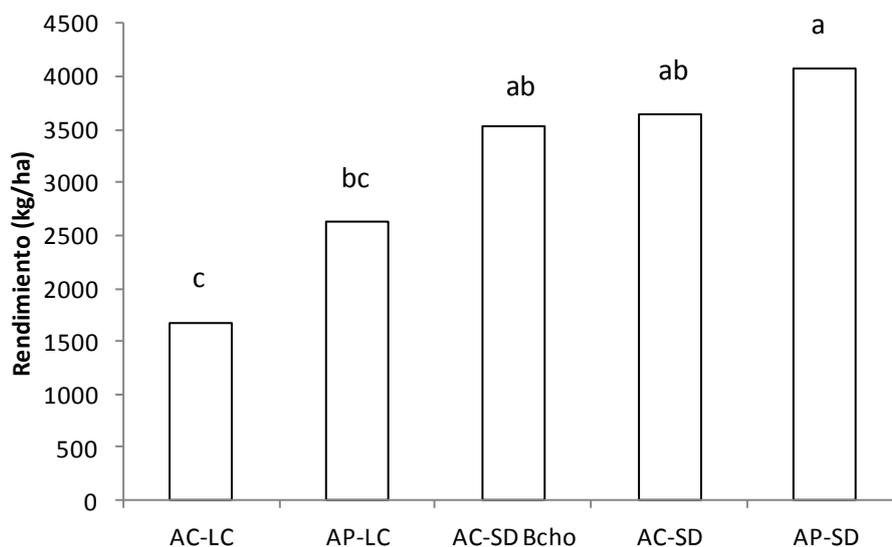


Figura 7. Rendimiento en grano según tratamiento.

Los menores rendimientos se lograron en los tratamientos con laboreo convencional y no hubo efecto rotación dentro de labranza. Esto implica que el rendimiento fue afectado por 17 años de agricultura continua cuando fue realizada sin laboreo. No obstante, AP-SD logró el máximo rendimiento y AC-SD no se diferenció significativamente ni del mejor tratamiento ni de AP-LC. Las precipitaciones antes, durante y posteriormente al periodo crítico fueron abundantes, por lo que es de esperar altos rendimientos en todos los tratamientos. En años de precipitaciones abundantes, el efecto de manejo de suelo y de la secuencia del cultivo tienen bajas respuestas en el rendimiento (Ernst et al., 2009).

En el caso de AC-LC, como se analizó anteriormente, fue el que logró el IAF máximo menor ( $<4 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ ) y lográndolo más tarde que el resto de los tratamientos. Ambos factores determinan que el cultivo tenga menor fuente durante una mayor parte del ciclo de crecimiento, impidiendo concretar mayores rendimientos. Por su parte el tratamiento AP-LC, en cual sí se llegó a valores óptimo de IAF en el momento indicado del ciclo, el menor rendimiento puede ser explicado por los menores valores en población lograda. Este bajo valor de implantación no pudo ser compensado por el resto de los componentes de rendimiento (Figura 8).

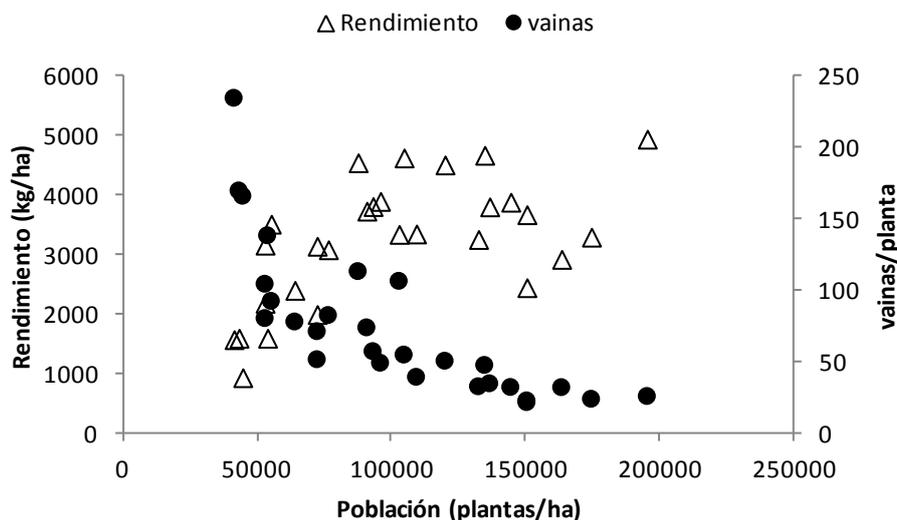


Figura 8. Rendimiento y vainas/plata según población

En los tratamientos en los que se logró una población menor a 100000 plantas/ha los componentes del rendimiento por planta no lograron compensar la falta de plantas. Por tanto, la falla en la implantación determinada en AC-LC y AP-LC aparece como la responsable de los menores rendimientos con relación a los tratamientos sin laboreo. Resultados similares fueron obtenidos por Quijano et al., citados por Bodrero (2003), Chena et al. (2009), quienes atribuyen los bajos rendimientos obtenidos con laboreo al deterioro causado en las propiedades del suelo por este manejo, cuando se realiza por varios años.

Los mayores rendimientos fueron logrados con siembra directa, no encontrado diferencias significativas entre la rotación realizadas. Esto se corresponde con lo afirmado por García (2011) en cuanto al manejo, debido a que las mejores condiciones de suelo se dan con el sistema de siembra directa. En cuanto a la rotación encontramos contradicciones, debido a que García (2011) afirma que el tipo de rotación va influir en las propiedades físicas, químicas, biológicas y la fertilidad, generando una interacción entre el manejo y la secuencia de cultivos, reflejando variación en los rendimientos.

Como fue analizado anteriormente, las precipitaciones no fueron abundantes durante las primeras etapas del desarrollo del cultivo en contraste con lo que sucedió en el periodo crítico. Peltezer, citado por Caviglia et al. (2011) afirma que diferencias de 52mm de agua útil a la siembra entre tratamientos con o sin barbecho se redujeron a 1mm en plena fructificación, generando rendimientos similares. A su vez Bidegain (2011) afirma que las condiciones que permiten obtener altos rendimientos, son altas ocurrencias de precipitaciones en el período crítico. Las mismas deben de ser mayor a 290mm y un porcentaje de disponibilidad hídrica mayor al 60% durante el mismo y un 40% de disponibilidad desde la siembra a R3, como ya fue analizado anteriormente. Por tanto, las escasas precipitaciones iniciales no explicarían la diferencias obtenidas en el rendimiento del cultivo, sino que el efecto a través de la implantación en suelos laboreados y/o con deterioro de su condición física, al comprometer el número de plantas, comprometió el IAF y la posibilidad de compensar por comportamiento individual, la falta de población.

## 5. CONCLUSIONES

- Las variables sistema de laboreo y rotación no tuvieron efecto significativo sobre los niveles de nutrientes en el suelo a la siembra. Siendo todos los tratamientos, tanto en Fósforo como en Potasio, mayores a los niveles críticos para el cultivo.
- Manejo de fertilización como “no limitante” muestra tendencia a aumentar niveles de nutrientes frente a “Testigo”.
- A pesar de las escasas precipitaciones iniciales, la disponibilidad hídrica durante período crítico fue suficiente para lograr altos rendimientos en todos los tratamientos. Por lo tanto este factor no explicarían las variaciones obtenidas en rendimiento de los diferentes manejos.
- La baja implantación en suelos labreados y/o con deterioro de su condición física, al comprometer el número de plantas, comprometió el IAF y la posibilidad de compensar por comportamiento individual, la falta de población.
- Si observamos los componentes del rendimiento, tanto el mayor valor de número de vainas y granos por plantas lo muestra el tratamiento de AC-LC. Este mismo tratamiento es el que muestra la menor población lograda. Por lo tanto podemos concluir que la compensación del cultivo a través de vainas y granos por plantas no pudo evitar que el bajo número de plantas actúe como una limitante para lograr un alto rendimiento, ocasionando diferencias de hasta más de 2 tt.
- No se puede afirmar que el deterioro de las propiedades físicas del suelo impidan el aprovechamiento del agua disponible.

## 6. RESUMEN

El manejo del suelo tanto bajo siembra directa como laboreo convencional da como resultado diversos rendimientos. Estas variaciones son determinadas según como se realicen los mismos, la rotación planteada y sus diversos componentes. En los diferentes tratamientos observamos variables que pueden explicar estos cambios en el resultado. Dentro de estos encontramos, agricultura continua tanto como con cultivo de Maíz como de Soja, Soja continua pero agregando la variable de barbecho durante el invierno. Tanto la siembra directa como el laboreo convencional bajo agricultura continua generan un desbalance nutricional que ocasiona menores rendimientos. En cada tratamiento se planteo la fertilización con PKS, con el fin de poder eliminar ese desbalance y poder ver su influencia en los resultados. El experimento fue realizado en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, perteneciente a la Facultad de Agronomía, en el departamento de Paysandú, Uruguay. El objetivo fue cuantificar el efecto residual de la fertilización, la rotación y el sistema de laboreo utilizado sobre la implantación, Índice de Área foliar, rendimiento así como la disponibilidad hídrica y de nutrientes para el cultivo de soja de 2<sup>a</sup>. Los mejores rendimientos se observaron en aquellos tratamientos que tenían como sistema de laboreo la siembra directa. Estos no fue explicado ni por la disponibilidad hídrica (debido a que las precipitaciones ocurrieron de forma abundante) ni por los niveles de nutrientes ya que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Por su parte los menores rendimientos bajo laboreo convencional pueden ser explicados por el menor número de plantas logradas bajo laboreo convencional, lo que causa que el cultivo obtenga menor fuente durante el ciclo de crecimiento, debido a un menor IAF, provocando menores rendimientos.

Palabras clave: Siembra directa; Laboreo convencional; Fertilización residual; Disponibilidad hídrica; Soja de 2da; Rotación.

## 7. SUMMARY

We were able to obtain different yields as a result of different soil management. These variations depend on how the rotation and its component is made. During the experiment we observed the different factors that may account for these changes at the time of the yield. Among these factors we have to take into account the continuous cropping with Maize cultivation such as Soybean but adding to it the variable of continuous fallow during the winter. No- tillage and conventional tillage, under continuous cropping, generate nutritional imbalance that causes lower yields. PKS fertilization was increased in each treatment; so to eliminate this imbalance and see their influence on the results. The experiment was carried out at the Experimental Station Dr. Mario A. Cassinonini, belonging to the Faculty of Agriculture in the Province of Paysandú, Uruguay. The aim was to quantify the effect of the residual effect of fertilization, the rotation and tillage system on the implantation, Leaf Area Index, yields and availability of water and nutrients to the soybean as a second crop. The highest yields were observed in those treatments where the tillage system was no-tillage. This was not explained either by water availability (because rainfall occurred abundantly) or by nutrient levels as no significant differences between treatments were seen. Meanwhile the lower yields under conventional tillage can be explained by the lower number of plants achieved under conventional tillage, which causes lower growing source obtained during the growth cycle, due to lower LAI, causing lower yields.

Keywords: Not-tillage; Conventional-tillage; Residual fertilization;  
Available water; Double cropping; Rotation.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRREZABAL, L.; ANDRADE, F.; RIZZALLI, R. 2000. Crecimiento y rendimiento comparados. In: Andrade F.H.; Sadras V.O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Balcarce, INTA. pp. 61-96.
2. ALBRECHT, R.; GASTALDI, L.; HOTIÁN, J.L.; VIVAS, H. S. 2007. Residualidad del fósforo y el azufre. Estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos. (en línea). *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 35: 11-16. Consultado 9 abr. 2013. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/79CBC625EA7AB7A78525799500784FE3/\\$FILE/3.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/79CBC625EA7AB7A78525799500784FE3/$FILE/3.pdf)
3. \_\_\_\_\_; HOTIÁN, J.L.; MARTINS, L.; VIVAS, H. 2012. Alternativas de fertilización del doble cultivo trigo/soja. Efecto sobre la productividad y algunas propiedades del suelo. (en línea). *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 7: 7-15. Consultado 26 jun. 2013. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/5BCD98E5B9CBF59285257A800051F237/\\$FILE/11.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/5BCD98E5B9CBF59285257A800051F237/$FILE/11.pdf)
4. ALTAMIRANO, A.; DA SILVA, H.; DURÁN, A.; ECHEVERRÍA, A.; PANARIO, D.; PUENTES, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de suelos. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
5. ALVAREZ, C.; MICUCCI, F. 2003. El agua en la producción de cultivos extensivos; III. Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. Archivo Agronómico. no. 8: 1-4.
6. ANDRADE, F. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*. 41: 1-12.
7. \_\_\_\_\_; VEGA, C. 2000. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. In: Andrade F. H; Sadras V.O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Balcarce, INTA. pp. 97-126.

8. \_\_\_\_\_.; CAVIGLIA, O.; SADRAS, V. 2004a. 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: 117-129.
9. \_\_\_\_\_.; CALVIÑO, P. 2004b. Soja de segunda. Una opción que suma. (en línea). Balcarce, INTA. 1 p. Consultado 10 may. 2013. Disponible en [http://www.elsitioagricola.com/articulos/andrade/Soja%20de%20Se\\_gunda.asp](http://www.elsitioagricola.com/articulos/andrade/Soja%20de%20Se_gunda.asp)
10. ARBELECHE, P.; ERNST, O.; HOFFMAN, E. 2010. La Agricultura en Uruguay y su evolución. *In*: García, F. ed. Intensificación agrícola; oportunidades y amenazas para un país productivo y natural. Montevideo, Universidad de la República. cap. 1, pp. 13-27.
11. ARIAS, N.; DE BATTISTA, J.J. 2003. Fertilización de soja en vertisoles. *In*: Jornada Nacional de Soja (2003, La Estanzuela, Colonia, UY). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 77-82 (Actividades de Difusión no. 325).
12. ASOCIACION ARGENTINA DE LA CIENCIA DEL SUELO. 2008. ¿Cuál es el impacto de la soja sobre el suelo? (en línea). Buenos Aires, Argentina, Comisión Directiva de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 1 p. Consultado 14 may. 2013. Disponible en [http://www.elsitioagricola.com/articulos/aacs/Impacto%20de%20la\\_%20Soja%20sobre%20el%20Suelo.asp](http://www.elsitioagricola.com/articulos/aacs/Impacto%20de%20la_%20Soja%20sobre%20el%20Suelo.asp)
13. AUTINO, L.; CÓCCOLO, A. 2008. Determinantes de la respuesta en rendimiento de una secuencia trigo-soja 2ª en sistemas agrícolas con y sin laboreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 55 p.
14. BAETHGEN, W.; CLÉRICI, C.; GARCÍA-PRÉCHAC, F.; HILL, M. 2004a. El cultivo de soja y la conservación del suelo. *Cangüé*. no. 26: 20-27.
15. \_\_\_\_\_.; CLÉRICI, C.; GARCÍA-PRÉCHAC, F.; HILL, M. 2004b. Estimación del impacto de la soja sobre erosión y C orgánico en suelos agrícolas del Uruguay. *In*: Jornada Técnica de Cultivos de Verano (2004, La Estanzuela, Colonia, UY). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 17-22 (Actividades de Difusión no. 371).

16. BAIGORRI, H. 2004. Criterios para la elección y el manejo de cultivares de soja. (en línea). Marcos Juárez, INTA. 21 p. Consultado 20 may. 2013. Disponible en <http://www.elsitioagricola.com/articulos/baigorri/criteriosEleccionManejoSoja.pdf>
17. BARBAZÁN, M; BORDOLI, J; CALIFRA, A; del PINO, A; ERNST, O; MAZZILLI, S. 2011. La problemática del K en Uruguay; situación actual y perspectivas de corto y mediano plazo. In: Simposio Nacional de Agricultura (2º, 2011, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Hemisferio Sur. pp. 21-33.
18. BIDEGAIN, S. 2012. Cuantificación de la respuesta en rendimiento en grano en el cultivo de soja en función de la capacidad de almacenaje de agua del suelo, contenido de agua inicial y distribución de precipitaciones durante el ciclo del cultivo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 34 p.
19. BODRERO, M. 2003. Algunos factores genéticos y ambientales que influyen sobre el rendimiento de la soja. In: Jornada Nacional de la Soja (2003, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1-13 (Actividades de Difusión no. 325).
20. BOXLER, M.; CORRENDO, A.; GARCÍA, F. 2012. Oferta hídrica y respuesta a la fertilización de maíz, trigo y soja en el norte de la región pampeana argentina. (en línea). In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (23º, 2012, Mar del Plata, Argentina). Latinoamérica unida protegiendo sus Suelos. Mar del Plata, IPNI Cono Sur. pp. 1-16. Consultado 20 may. 2013. Disponible en [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/D09A89A26555EAF9842579F1002A6B02/\\$FILE/C3-T-Correndo,%20A%20\(2\)-RE-00223.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/D09A89A26555EAF9842579F1002A6B02/$FILE/C3-T-Correndo,%20A%20(2)-RE-00223.pdf)
21. CALONEGO, J.; ROSOLEM, C. 2010. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. *European Journal of Agronomy*. 33: 242–249.
22. CAVIGLIA, O.; COLL, L.; VAN OPSTAL, V. 2011. Rendimiento de soja de segunda sobre diferentes antecesores invernales. INTA. Actualización Técnica SOJA. no. 62: 75-82.

23. CENCIG, G.; VILLAR, J. 2010. Secuencias agrícolas; recursos para mejorar el uso del agua y la productividad del suelo (en línea). Información Técnica de Cultivos de Verano. no. 118: 24-35. Consultado 13 may. 2013. Disponible en [http://inta.gob.ar/documentos/secuencias...para.../misc118\\_p024.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/secuencias...para.../misc118_p024.pdf)
24. CHENA, L.; HANB, X.; MAA, Y.; ZHAOA, X.; ZHENG, H. 2009. Classification and regression tree (CART) for analysis of soybean yield variability among fields in Northeast China; the importance of phosphorus application rate under drought conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* . 132: 98–105.
25. DABALÁ, L. 2009. Guía de siembra directa. La rotación de cultivos en siembra directa. Montevideo, MGAP. pp. 30-34.
26. DE LA FUENTE, E.; GIMÉNEZ, P.; KANTOLIC, A. 2003a. Ciclo ontogénico. dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. *In:* de la Fuente, E.B.; Gil, A.; Giménez, P.I.; Kantolic, A.G.; López Pereira, M.; Ploschuk, E.; Sorlino, D.M.; Vilariño, M.P.; Wassner, D.F.; Windauer, L. B. eds. Producción de granos; bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Facultad de Agronomía. pp. 164-201.
27. \_\_\_\_\_; GARDIOL, J.; IRIGOYEN, A. 2003b. Requerimientos hídricos. *In:* de la Fuente, E.B.; Gil, A.; Giménez, P.I.; Kantolic, A.G.; López Pereira, M.; Ploschuk, E.; Sorlino, D.M.; Vilariño, M.P.; Wassner, D.F.; Windauer, L. B. eds. Producción de granos; bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Facultad de Agronomía. pp. 16-20.
28. DE MELO V.; MELGAR, R.; VITTI, G. 2011. Soja en latinoamérica; fertilizando para altos rendimientos. Buenos Aires, Argentina, Agroeditorial. 180 p.
29. DÍAZ-ZORITA, N.; DUARTE, G. 2004. Manual práctico para la producción de soja. Buenos Aires, Hemisferio Sur. pp. 29-30.
30. DI RENZO, J.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, W. 2012. Grupo InfoStat, FCA. (en línea). Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. Consultado 30 dic. 2012. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>

31. DIVITO, G.; SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRIA, H. 2010. Estrategias de fertilización fosforada en una rotación de cultivos en el sudeste bonaerense (en línea). *Ciencias del Suelo*. 28: 47-55. Consultado 3 abr. 2013. Disponible en [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672010000100006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672010000100006&lng=es&nrm=iso). 1850-2067.
32. DURÁN, A.; CALIFRA, A.; MOLFINO, J. 1999. Suelos del Uruguay según Soil Taxonomy. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 14 p. Consultado 06 mar. 2013. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/suelosROU.pdf>
33. ERNST, O. 1998. Siembra sin laboreo de cultivos de verano. *In*: Ernst O.; García Préchac, F.; Martino, D. eds. Siembra sin laboreo de cultivos y pasturas. Montevideo, PROCISUR. 1 disco compacto.
34. \_\_\_\_\_. 2000a. Siembra sin laboreo; manejo de período de barbecho. *Cangüé*. no. 20: 19-21.
35. \_\_\_\_\_. 2000b. Siete años de siembra sin laboreo. *Cangüé*. no. 20: 9-13.
36. \_\_\_\_\_. 2003. Nota de opinión; uruguayizando argentinos. *Cangüé*. no. 24: 27-30.
37. \_\_\_\_\_.; HOFFMAN, E. 2008a. Diagnóstico del manejo de la fertilización en cultivos de secano en Uruguay. *Cangüé*. no. 30: 9-16.
38. \_\_\_\_\_.; SIRI-PRIETO, G. 2008b. Sistema de laboreo y rotación de cultivos en Uruguay; resumen de resultados. *Cangüé*. no. 30: 2-8.
39. \_\_\_\_\_.; MAZZILLI, S.; SIRI-PRIETO, G. 2009. Manejo de la reserva de agua de suelo para situaciones de estrés hídrico. *In*: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1°. 2009, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 33-48.
40. EVANS, L. 1983. Fisiología vegetal. Buenos Aires, Hemisferio Sur. pp. 167-173.
41. FAO. 2002. Perspectivas por sectores principales. Producción de cultivos. *In*: Hacia los años 2015/2030 agricultura mundial; informe resumido. Roma. pp.32-37.

42. FONTANETTO, H; KELLER, O. 2001. Efecto de diferentes labranzas sobre propiedades edáficas de un Argiudol y los rendimientos de trigo y soja con dos secuencias agrícolas en la región pampeana norte de Argentina. In: Díaz Rosello, R. ed. Siembra directa en el Cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 269-274.
43. FRANZLUEBBERS, A.; STUEDEMANN, J. 2008. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. *Soil and Tillage Research*. 100: 141-153.
44. GALARZA, C. 2007. Indicadores biológicos. Balances de carbono en suelos agrícolas pampeanos con manejos contrastantes como indicadores de sustentabilidad. In: Díaz Rosello, R. ed. Aportes de la ciencia y la tecnología al manejo productivo y sustentable de los suelos del cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 31-38.
45. GALLAHER, R.; HANLON, E.; MYHRE, D.; PORTIER, K.; VAZQUEZ, L. 1989. Soil compaction associated with tillage treatments for soybean. *Soil and Tillage Research*. 13: 35-45.
46. GARCÍA, F. 2011. Balance de carbono y de nutrientes: buscando el equilibrio en la agricultura del Cono Sur. In: Simposio Nacional de Agricultura (2º, 2011, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Hemisferio Sur. pp.135-147.
47. GARCÍA, M.; GIMÉNEZ, L. 2009. Estudio de las necesidades hídricas de los cultivos de verano en Uruguay. In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º, 2009, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 17-31.
48. GARCÍA LAMOTHE, A; MORÓN, A; QUINCKE, A. 2009. Requerimientos de fertilización en soja. In: Jornada de Cultivos de Verano (2009, La Estanzuela, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 9-12 (Actividades de Difusión no. 583).
49. \_\_\_\_\_. 2011. Recomendaciones de manejo de la fertilización para soja. *Revista INIA*. no. 26: 53-55.
50. GARCÍA PRÉCHAC, F. 1991. Strip position, tillage, and water regime effects on a strip intercropping rotation. Ph. D. Thesis. Ames, USA. Iowa State University. 274 p.

51. \_\_\_\_\_. 2003. Propiedades físicas y erosión en los trabajos de larga duración de la Estanzuela. *In*: Simposio 40 Años de de Rotaciones Agrícolas-Ganaderas (1º., 2003, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 19-23 (Serie Técnica no. 134).
52. GEOFFTEY NORMAN, A. 1983. Fisiología, mejoramiento, cultivo y utilización de la soja. Buenos Aires, Hemisferio Sur. pp. 28-100.
53. GIMÉNEZ, L. s.f. Maíz. Montevideo, Facultad de Agronomía. 76 p.
54. GUTIÉRREZ, F.; SCHEINER, J. 2006. Soja. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Buenos Aires, INTA. pp. 283-300.
55. HILL, M.; MARQUES, A.; PUCHKARIOV, K. 1994. Efectos de distintos manejos de cebada y trigo en el desarrollo del cultivo de girasol de segunda. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 115 p.
56. HOFFMAN, E.; ERNST, O. 2008. Diagnóstico del manejo de la fertilización en cultivos de secano en Uruguay. Facultad de Agronomía. Cangüé. no. 30: 9-16.
57. \_\_\_\_\_. 2012. Criterios y estrategias de fertilización que apunten a asegurar el suministro de fósforo en cultivos de soja segunda. (en línea). *In*: ISTRO Conference (19th., 2012, Montevideo). Proceedings. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 1-11. Consultado 13 may. 2013. Disponible en [http://istro2012.congresosrohr.info/programa/ponencias/15\\_1\\_Esteban\\_Hoffman.doc](http://istro2012.congresosrohr.info/programa/ponencias/15_1_Esteban_Hoffman.doc)
58. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. UNIDAD DE AGROCLIMA Y SISTEMA DE INFORMACIÓN (INIA. GRAS). 2013. Precipitaciones acumuladas medias mensuales y anuales (mm.). (en línea). Montevideo. 2 p. Consultado 30 may. 2013. Disponible en [http://www.inia.org.uy/gras/agroclima/cara\\_agro/tablas/tabla\\_precip.pdf](http://www.inia.org.uy/gras/agroclima/cara_agro/tablas/tabla_precip.pdf)
59. LANGDALE, G.; PAPENDICK, R.; UNGER, P. 1988. Role of crop residues-improving water conservation and use. *In*: Hargrove, W. L. ed. Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. Madison, ASA. pp. 69-100 (ASA. Special Publication no. 51).

60. LEGELEN, I. 1998. Efecto residual del laboreo del suelo para el cultivo de invierno sobre el cultivo de sorgo de segunda. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Facultad de Agronomía. 69 p.
61. LETEY, J. 1985. Relationship between soil properties and crop production. *Advances of Soil Science*. 1: 273-294.
62. MALLARINO, A. 2013 Factores que determinan incertidumbre en los análisis de suelos para potasio y opciones de mejora. In: Simposio Potasio en Sistemas Agrícolas de Uruguay (Mercedes, 2013). Trabajos presentados. Mercedes, El Toboso. pp. 1-10.
63. MARTINO, D. 2001. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. In: Díaz Rosello, R. ed. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 225-257.
64. MASSIGOGUE, J.; ROS, F. 2012. Soja de segunda: manejo de grupos según fecha para maximizar el rinde. (en línea). Buenos Aires, INTA. 4 p. Consultado 14 may. 2013. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/soja-de-segunda-manejo-de-grupos-segun-fecha-para-maximizar-el-rinde-1/>.
65. MAY, Z.; SCHMITZ, S. 1997. Efecto de la edad de chacra y secuencia de laboreo sobre el crecimiento y rendimiento de sorgo granífero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 81 p.
66. MICUCCI, F.; TABOADA, M. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*. 86: 152-162.
67. MORÓN, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. In: Díaz Rosello, R. ed. Siembra directa en el Cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 387 – 405.
68. \_\_\_\_\_. 2007. Efecto de las rotaciones y el laboreo en la calidad del suelo. PROCISUR. In: Díaz Rosello. R. ed. Aportes de la ciencia y la tecnología al manejo productivo y sustentable de los suelos del cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 57-68.
69. PEDERSEN, P.; LAUER, J. 2004. Response of soybean yield components to management system and planting date. *Agronomy Journal*. 96: 1372-1381.

70. SAWCHIK, J. 2001. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo – pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. In: Díaz Rossello, R. ed. Siembra directa en el Cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp.323 – 345.
- 71.\_\_\_\_\_. 2004. La intensificación agrícola y el manejo del agua en los sistemas. In: Simposio Sustentabilidad de la Intensificación Agrícola en el Uruguay (2004, Mercedes). Resúmenes. Montevideo, INIA. pp. 11-17 (Actividades de Difusión no. 365).
- 72.\_\_\_\_\_.; CERETTA, S. 2005. Consumo de agua por soja de distintos grupos de madurez en diferentes ambientes de producción (CALMER, AUSID, INIA). In: Jornada Técnica de Cultivos de Verano (2005, Mercedes). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 41-51 (Actividades de Difusión no. 417).
- 73.URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. 2012. Conferencia de prensa de los directores de la Dirección de Recursos Naturales Renovables y de la Dirección Forestal. Montevideo. 12 p.

## 9. ANEXOS

<b>Implantación/ha (09/01/2013)</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	20	4,51	0,0243
Bloque	2	34,76	0,0002
Tratamiento	4	2,53	0,1344
Fertilización	1	0,03	0,8737
Bloque*Tratamiento	7	0,86	0,5742
Bloque*Fertilización	2	0,35	0,716
Tratamiento*Fertilización	4	0,97	0,4816
Error	7		
Total	27		
Media con fertilización	111186,71		
Media sin fertilización	113883,86		
Coefficiente de variación	38,45		

<b>Implantación/ha (26/01/2013)</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	20	8,25	0,0041
Bloque	2	0,21	0,8159
Tratamiento	4	26,35	0,0003
Fertilización	1	12,8	0,009
Bloque*Tratamiento	7	6,15	0,0143
Bloque*Fertilización	2	0,92	0,4416
Tratamiento*Fertilización	4	0,36	0,8268
Error	7		
Total	27		
Media con fertilización	111186,71		
Media sin fertilización	113883,86		
Coefficiente de variación	18,7		

<b>Evolución disponibilidad hídrica (0-20 cm)</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	46	8,86	<0,0001
Bloque	2	10,34	0,0001
Tratamiento	4	5,79	0,0004
Días	8	40,9	<0,0001
Tratamiento*Días	32	1,15	0,3069
Error	79		
Total	125		
Coeficiente de variación	7,62		

<b>Evolución disponibilidad hídrica (20-40 cm)</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	46	5,48	<0,0001
Bloque	4	4,58	0,0022
Tratamiento	2	3,54	0,0338
Días	8	24,63	<0,0001
Tratamiento*Días	32	0,92	0,5907
Error	79		
Total	125		
Coeficiente de variación	4,11		

<b>Evolución disponibilidad hídrica (40-60 cm)</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	46	8,44	<0,0001
Bloque	4	2,3	0,0663
Tratamiento	2	9,46	0,0002
Días	8	42,7	<0,0001
Tratamiento*Días	32	0,58	0,9547
Error	79		
Total	125		
Coeficiente de variación	2,74		

<b>Evolución disponibilidad hídrica (60-80 cm)</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	46	5,98	<0,0001
Bloque	4	5,42	0,0007
Tratamiento	2	10,81	0,0001
Días	8	27,44	<0,0001
Tratamiento*Días	32	0,38	0,9984
Error	79		
Total	125		
Coeficiente de variación	3,53		

<b>Evolución disponibilidad hídrica (80-100 cm)</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	46	1,96	0,0053
Bloque	4	0,69	0,6022
Tratamiento	2	2,95	0,0589
Días	8	7,47	<0,0001
Tratamiento*Días	32	0,68	0,8843
Error	70		
Total	116		
Coeficiente de variación	6,5		

<b>Evolución Índice de Área Foliar</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	31	11,46	<0,0001
Dps	3	37,31	0,0003
Bloque	2	1,09	0,3455
Tratamiento	5	20,79	<0,0001
Dps*Bloque	6	1,74	0,1392
Dps*Tratamiento	15	2,91	0,0044
Error	36		
Total	67		
Coeficiente de variación	18,02		

<b>Vainas/Planta</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	16	6,11	0,0003
Bloque	2	0,87	0,4361
Tratamiento	5	17,64	<0,0001
Bloque*Tratamiento	9	0,88	0,5618
Error	17		
Total	33		
Coeficiente de variación	31,48		

<b>PMG</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	13	1,71	0,167
Bloque	2	0,85	0,4476
Tratamiento	4	3,61	0,032
Bloque*Tratamiento	7	0,86	0,5571
Error	14		
Total	27		
Coeficiente de variación	30,75		

<b>Granos/Planta</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	13	2,32	0,0656
Bloque	2	2,63	0,1069
Tratamiento	4	4,75	0,0125
Bloque*Tratamiento	7	0,84	0,5718
Error	14		
Total	27		
Coeficiente de variación	25,35		

<b>Fósforo (ppm)</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	11	2,24	0,0517
Tratamiento	5	1,49	0,2325
Fertilización	1	2,72	0,113
Tratamiento*Fertilización	5	2,57	0,0561
Error	22		
Total	33		
Coeficiente de variación	23,84		

<b>Potasio (meq)</b>			
Fuente de variación	Grados de libertad	Valor F	Significancia
Modelo	11	2,24	0,0517
Tratamiento	5	1,61	0,1984
Fertilización	1	5,47	0,0288
Tratamiento*Fertilización	5	0,19	0,9646
Error	22		
Total	33		
Coeficiente de variación	23,84		