

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final presentado
para optar al Grado de Ingeniera Agrónoma”

**“NODULACIÓN Y BALANCE RELATIVO DE
NITRÓGENO DE DIFERENTES CULTIVARES DE
SOJA EN SECANO Y BAJO RIEGO”**

Alumna: D’Adan, Yamila

DNI: 34.052.132

Director: Giayetto, Oscar

Co-directora: Rosso, María Belén

Río Cuarto - Córdoba

2013

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice General.....	iii
Índice de cuadros.....	iv
Índice de figuras.....	v
Resumen.....	vi
Summary.....	vii
Introducción.....	8
Hipótesis.....	12
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos.....	12
Materiales y Métodos.....	13
Evaluaciones.....	14
<i>Fenología del cultivo</i>	14
<i>Balance de Nitrógeno</i>	14
<i>Nodulación</i>	15
<i>Componentes del rendimiento</i>	15
<i>Clima</i>	15
<i>Análisis de datos</i>	15
Resultados y discusión.....	16
<i>Condiciones meteorológicas de la campaña</i>	16
<i>Nodulación</i>	17
<i>Balance de Nitrógeno</i>	21
<i>Componentes del rendimiento</i>	23
<i>Algunas relaciones funcionales</i>	26
Conclusiones.....	28
Bibliografía.....	29

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Análisis de suelo.....	13
Cuadro 2. Balance de Nitrógeno.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Datos de precipitaciones, evapotranspiración y temperaturas media y máxima para el ciclo del cultivo (2010/11).....	16
Figura 2. Número promedio de nódulos en raíz principal, raíces secundarias, y totales por planta del GM III, GM IV y GM V en función del tiempo desde la emergencia con riego y en secano.....	18
Figura 3. Peso promedio de nódulos en raíz principal, raíces secundarias, y totales por planta del GM III, GM IV y GM V en función del tiempo desde la emergencia con riego y en secano.....	19
Figura 4. Número de semillas por metro cuadrado en R8 para la interacción grupo de madurez* condición hídrica.....	24
Figura 5. Peso de 100 granos en R8 para la interacción grupo de madurez*condición hídrica.....	24
Figura 6. Rendimiento de semillas en R8 para la interacción grupo de madurez*condición hídrica.....	25
Figura 7. Relaciones entre el número y peso seco de nódulos/planta y el aporte relativo de la FBN (%) en la etapa R5.....	26
Figura 8. Relaciones entre la contribución relativa de la FBN a la nutrición nitrogenada de la soja, y el número de semillas.m ⁻² y rendimiento de semillas (kg.ha ⁻¹).	27

RESUMEN

En soja el nitrógeno es el nutriente más requerido por tonelada de grano producida y su disponibilidad afecta fuertemente el rendimiento en grano y sus componentes numéricos. Las fuentes de N para la planta son el suelo y la fijación biológica (FBN), producto de la simbiosis con bacterias del género *Bradyrhizobium*. Estas fuentes son complementarias y la variación relativa entre ellas depende de factores ambientales y de manejo. En este trabajo se evaluó el efecto de la condición hídrica y el genotipo sobre la nodulación y sus influencias en el balance relativo de N y el rendimiento de granos. El experimento se realizó en 2011/12 en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC (Río Cuarto, Córdoba) y los factores evaluados fueron: grupo de madurez (GM) del cultivar, con 3 niveles (III, IV y V), y la condición hídrica con 2 niveles (secano y riego suplementario). En las etapas R1, R5 y R7 se cuantificó la nodulación mediante el número y peso seco de nódulos por planta, discriminados en raíz principal (RP) y raíces secundarias (RS). En R8 se determinaron el número de semillas.m⁻², el peso de 100 granos y el rendimiento en granos. Se calculó un Balance Relativo de Nitrógeno para estimar el aporte por FBN y las variaciones de su contenido en el sistema suelo-planta resultante de los cambios en las entradas y salidas del sistema y las transformaciones internas durante el ciclo del cultivo.

La nodulación en los tres cultivares fue mayor bajo riego, con una proporción superior en RS respecto al total por planta. El número de nódulos aumentó de R1 a R5, donde se registraron valores mayores a 20 nódulos sobre RP en los tres genotipos y entre 30 y 40 sobre RS. El número máximo de nódulos.planta⁻² se produjo en el GM III (59), seguido del IV (50) y el V con 40. Los tres cultivares mostraron una disminución posterior hasta R7. La biomasa nodular siguió un patrón similar, aumentó de R1 a R5, donde se registraron los valores mayores (GM III 0,25 y GM V 0,11 g.planta⁻¹), excepto el GM IV que aumentó hasta R7 (IV 0,22 g.planta⁻¹) y también con una participación superior de RS. El N total extraído por el cultivo bajo riego (414 kg.ha⁻¹) duplicó al de secano y, de ese total, casi 70% fue aportado por la FBN (en secano el aporte promedio fue de 52%). La variación de N del suelo fue negativa (-28 kg.ha⁻¹) con riego y positiva en secano (14 kg.ha⁻¹).

El rendimiento de los tres GM fue menor en secano, pero la mayor diferencia entre esta condición y bajo riego se registró en el GM III con 3117 kg.ha⁻¹, seguido por el GM IV con 2783 kg.ha⁻¹ y, finalmente, el GM V con la menor diferencia (1182 kg.ha⁻¹).

Se cuantificaron relaciones lineales y positivas entre los parámetros de la nodulación y la FBN; y entre ésta y los componentes directos del rendimiento de granos. Los resultados obtenidos validan regionalmente conocimientos previos sobre los efectos del N y el agua sobre el rendimiento de soja, y las respuestas genotípicas, como bases para el diseño de prácticas de manejo del cultivo.

SUMMARY

Nitrogen is the most required nutrient in soybean per ton of grain produced. That is why its availability strongly affects grain yield and its numerical components. The sources of N to the plant are soil and biological fixation (FBN) which is the product of the symbiosis with bacteria of the genus *Bradyrhizobium*. These sources are complementary and the relative variation between them depends on environmental and management factors. In this study, water status and genotypes effects on nodulation, and their influences on the N's relative balance and grain yield was evaluated. The experiment was conducted in 2011/12 in Experimental Field of Agronomy and Veterinary's Faculty, UNRC (Río Cuarto, Córdoba). Factors evaluated were: the cultivar's maturity group (GM), with 3 levels (III, IV and V), and hydrological condition with 2 levels (rainfed and supplementary irrigation). In crop stages R1, R5 and R7, nodulation was quantified by the number and dry weight of nodules per plant, separating into main root (RP), and secondary roots (RS). Seeds.m⁻², 100 grain's weight and grain yield were determined in R8. Nitrogen related balance was calculated to estimate FBN relative contribution and changes in its content in the soil-plant system, resulting from changes in the system's inputs and outputs and internal transformations during the crop cycle.

Nodulation in the three cultivars was higher under irrigation, with a higher proportion of the total RS per plant. The number of nodules increased from R1 to R5, where higher values were recorded ≈ 20 nodules in RP and between 30 and 40 in RS in the three genotypes. The maximum number of nodules.plant⁻¹ was produced in the GM III (59), followed by IV (50) and V (40). The three cultivars showed a subsequent decrease to R7. Nodular biomass followed a similar pattern, it increased from R1 to R5, where higher values were recorded (GM III 0.25 and GM V 0.11 g.pl⁻¹), except MG IV that increased to R7 (0.22 g.pl⁻¹) with higher participation of RS. The total of N removed by the crop under irrigation (414 kg.ha⁻¹) doubled rainfed; of that total, $\approx 70\%$ was supply by the FBN (in rainfed the average contribution was 52%). The soil N variation was negative (-28 kg.ha⁻¹) in irrigated and positive in rainfed (14 kg.ha⁻¹) conditions.

Yield grain of the three GM was lower in rainfed but the biggest difference between this condition and irrigation was recorded in the GM III with 3117 kg.ha⁻¹, followed by the IV with 2783 kg.ha⁻¹ and finally the GM V with the smallest difference (1182 kg.ha⁻¹). Positive linear relationships were quantified between nodulation parameters and FBN, and between FBN and direct components of soybean's grain yield. The results validate regionally prior knowledge about the effects of N and water on yield and genotypic responses, which are the bases for designing crop management practices.

INTRODUCCIÓN

En Argentina, la difusión del cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) comenzó a principio de la década del 70', y durante los últimos 20 años su desarrollo fue creciente y sostenido.

Actualmente, se cultiva en una amplia región ecológica de Argentina que va desde los 23° a los 39° de latitud sur, con una mayor concentración en la denominada Región Pampeana, siendo las principales provincias productoras Córdoba (36%), Santa Fe (26%) y Buenos Aires (21%).

En el ciclo agrícola 2009/10 la superficie sembrada a nivel nacional fue de 18.343.272 ha, cosechándose 18.130.904 ha, con una producción total de 52.677.371 t y un rendimiento promedio de 2.905 kg.ha⁻¹. En la provincia de Córdoba, para el mismo período la superficie sembrada fue de 5.128.904 ha, de las cuales se cosecharon 5.033.690 ha, con una producción total de 12.993.225 t y un rendimiento promedio de 2.581 kg.ha⁻¹. Al mismo tiempo, la superficie sembrada con maíz a nivel nacional fue de 3.671.260 ha, con una producción de 22.663.095 t; y para trigo la superficie sembrada fue de 3.556.705 ha y su producción de 9.023.138 t. Por lo expresado, la soja es hoy el cultivo más importante a escala nacional y, sus derivados (aceite y harina), los principales productos de exportación (SIIA, 2011). El aceite, luego de ser refinado, se destina principalmente para uso comestible, y también para la producción de biodiesel; mientras que la harina es utilizada en alimentación humana y animal, principalmente en forma de "pellets" (Passarella y Savin, 2003).

La calidad del grano de soja, está determinada por sus características químicas o físicas, entre las primeras el contenido de aceite y de proteínas corresponden al 20% y 40% de su peso, respectivamente. El aceite es rico en ácido linoleico y la proteína posee un contenido alto de lisina (Kantolic *et al.*, 2003a).

Una limitante de tipo cualitativo para decidir el momento de siembra es la disponibilidad de agua, esto se debe a que la mayoría de la superficie cultivada con soja se realiza en condiciones de secano (Kantolic, 2008a).

El periodo crítico de la soja durante el cual se define el rendimiento es entre las etapas R3-R6, porque limitaciones en este periodo reducen el número de granos, sin permitir su compensación a través de un peso mayor, reduciendo, incluso su peso final. Por ello se debe incrementar la cantidad de recursos disponibles durante este periodo y aumentar la eficiencia de captura y utilización de los mismos (Kantolic, 2008b).

La correcta caracterización del ambiente, el manejo de la fecha de siembra y la elección del grupo de madurez (GM) adecuado definen el 80% del rendimiento del cultivo, pudiendo ser mejorado con otras prácticas de manejo como el sistema de siembra, la rotación

con cereales y la fertilización. En la región central de Argentina las fechas de siembra para la obtención de máximos rendimientos van desde el 25-30 de septiembre al 10 de noviembre. Los rendimientos decaen con siembras posteriores al 20 de noviembre y hasta el 30 de diciembre. Respecto a los cultivares comerciales, existe un rango muy amplio de duración del ciclo que se incluye 13 (del 000 al X) grupos de madurez (de los cuales en Argentina se siembra del II al IX). En las últimas dos campañas, los grupos IV y III ocuparon el 54% de la superficie cultivada y el GM V indeterminado ocupó el resto del área sembrada en la región central (Tkachuk, 2008).

La elección del ciclo adecuado según la zona, se puede basar en 3 criterios. El primero de ellos es que explore al máximo posible la estación de crecimiento; el segundo, que permita ubicar los periodos críticos de definición del rendimiento en momentos de buena disponibilidad de recursos y, por último, que permita escapar de algunas adversidades. Un ciclo de la mayor duración permite una mayor intercepción de la radiación, mayor acumulación de biomasa y, por ende, podría producir mayor rendimiento. Pero esto no es siempre así, ya que si en la etapa crítica del cultivo se produce una disminución de los recursos, el rendimiento se afectará. Por otro lado, los GM más cortos, que ubiquen ese periodo en condiciones adecuadas de radiación y temperatura pueden lograr rendimientos iguales, o incluso mayores, al de un ciclo intermedio-largo (Vega y De la Fuente, 2003). Pero requieren fechas de siembras más tardías, mejores ambientes y menores espaciamientos entre surcos (Baigorri y Martini, 2008).

El nitrógeno es el nutriente más importante de los cultivos, debido al rol que cumple en los sistemas biológicos, la complejidad de su ciclo y su participación en los sistemas de producción. Comúnmente limita la producción de los cultivos de grano (Maddonni *et al.*, 2003). La deficiencia de nitrógeno provoca una disminución del crecimiento del cultivo y un amarillamiento de la planta. Los primeros síntomas aparecen en las hojas más viejas, porque se trata de un nutriente móvil en la planta (Gutiérrez Boem, 2008).

En términos generales, para producir una tonelada de grano, el cultivo de soja requiere unos 80 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, 8 kg.ha⁻¹ de fósforo y 7 kg.ha⁻¹ de azufre. Con el grano se exportan 60 kg.ha⁻¹ de nitrógeno; 5,5 kg.ha⁻¹ de fosforo y 3,2 kg.ha⁻¹ de azufre por tonelada de grano. Por esta razón, tanto los requerimientos como la exportación de nutrientes con el grano van a depender del rendimiento alcanzado (Gutiérrez Boem, 2008).

La disponibilidad de recursos, principalmente nitrógeno y agua, pueden modificar la calidad química de los granos, aunque el mayor efecto se produce en el rendimiento y sus componentes numéricos. Sin embargo, aplicaciones de N tardías, o el aporte de la fijación simbiótica, pueden aumentar significativamente el porcentaje de proteína (Kantolic *et al.*, 2003b).

La soja, como otras leguminosas, tiene dos fuentes de aprovisionamiento de nitrógeno. Una es absorber formas de nitrógeno fijadas o combinadas químicamente, tomándolas directamente del suelo a través de sus raíces; y la otra es mediante la fijación biológica del nitrógeno (FBN) en asociación simbiótica con bacterias (Norman, 1983). La FBN ocupa el segundo lugar, después de la fotosíntesis, entre los procesos bioquímicos más importantes de la tierra (González y Racca, 2012). Es un proceso energéticamente más costoso para la planta, que su asimilación a partir de nitratos del suelo. La energía para sostener la fijación es provista por la planta, por lo que hay una estrecha relación entre el crecimiento del cultivo y la cantidad de nitrógeno fijado, ya que ambos procesos dependen de la fotosíntesis (Gutiérrez Boem, 2008).

La provisión de nitrógeno a la planta mediante la simbiosis incluye dos procesos principales: la infección y nodulación, y la fijación biológica del nitrógeno. El primero de los procesos conduce a la formación de los nódulos, estructuras de la planta donde se alojan las bacterias para efectuar la FBN. La formación del nódulo y la FBN están influenciadas por procesos fisiológicos debidos, principalmente, a la interacción de la bacteria, la planta hospedante y el ambiente (Madonni *et al.*, 2003).

El proceso de FBN durante el ciclo del cultivo muestra tres etapas diferentes. La primera, desde la emergencia hasta el cambio de ápice (30 días), donde el aporte de la FBN es muy bajo debido a que los nódulos se están desarrollando y tienen baja funcionalidad. La provisión de N al cultivo depende en gran medida del aporte del suelo. Cuando los suelos presentan baja disponibilidad de N, esta etapa puede ser crítica para el establecimiento de los nódulos, debido al área foliar mínima necesaria para el crecimiento inicial del cultivo y de los nódulos. A partir de los 30 días (segunda etapa) los nódulos son capaces de trabajar a la máxima tasa y es donde la FBN es clave para la acumulación del nutriente. Cualquier factor que afecte la actividad de los nódulos durante este periodo impactará sobre la FBN. La tercera etapa ocurre desde R5 (comienzo de llenado de granos); allí los granos se vuelven el destino principal del carbono y nutrientes dentro de la planta, y los nódulos pasan a ser un destino secundario. La tasa de FBN va decayendo y podría llegar a limitar el aporte de N al cultivo (Salvagiotti *et al.*, 2009).

La FBN puede aportar entre el 25 y 75% del N requerido por el cultivo. La demanda de nitrógeno hasta floración es cubierta mayormente por la oferta edáfica; mientras que los aportes por fijación biológica son muy importantes luego de la floración y durante el llenado de los granos (Díaz-Zorita, 2003).

Cualquier factor que limite el crecimiento va a restringir la fijación por una disminución en la provisión de asimilados a los nódulos (Gutiérrez Boem, 2008). Incluso utilizando inoculantes de excelente calidad, si existe déficit hídrico inmediatamente después de la siembra, se produce la muerte de las bacterias que aún no han iniciado el proceso de

infección y, si éste se prolonga, promueve la autorregulación de la planta para evitar la formación de nódulos. Una vez establecido el sistema nodular, la ocurrencia de estrés hídrico durante el ciclo del cultivo, produce, si es extremo, la abscisión de nódulos ya formados y si es moderado, el compromiso de la actividad de la enzima nitrogenasa, disminuyendo el rendimiento del cultivo, a través del control de la fijación biológica del nitrógeno. Además del efecto directo sobre el metabolismo de la planta (Racca, 2003). Los nódulos deben tener más del 80% de peso fresco del tejido totalmente turgente para que no se afecte la capacidad de reducir nitrógeno atmosférico (Perticari *et al*, 2003).

En los suelos de la región pampeana no se encuentran cepas nativas de *Bradyrhizobium japonicum* (bacteria específica para la FBN en soja), por lo que es frecuente observar aumentos de rendimientos al inocular en lotes sin antecedentes recientes de soja inoculada (Díaz- Zorita, 2004). Al contrario, en campos con historia sojera, donde seguramente existirán cepas naturalizadas de *Bradyrhizobium*, la acumulación de nitrógeno atmosférico será producto de una actividad combinada entre esas cepas naturalizadas preexistentes y las introducidas con el inoculante, con neto predominio de las primeras (González y Racca, 2012).

Para maximizar la eficiencia de uso del N debemos conocer la dinámica del nutriente en el sistema suelo-planta-atmósfera. Una aproximación para ello es utilizar un *balance de nutriente*, que cuantifica las entradas y salidas del sistema suelo-planta, de tal modo de lograr una variación neta del contenido del nutriente igual a cero. Este método se utiliza para nutrientes móviles como es el caso del nitrógeno.

Para su formulación, se asume que la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y para el cultivo, depende de entradas y salidas del sistema. Entre las primeras se pueden considerar: aportes internos (nitrógeno inicial en el suelo) y externos (fertilizantes, precipitaciones y fijación biológica de nitrógeno), transformaciones internas de nitrógeno en el suelo (mineralización- nitrificación y humificación-inmovilización), y entre las salidas: la extracción de nitrógeno por el cultivo y las pérdidas de nitrógeno por volatilización, lixiviación y denitrificación (Cholaky *et al.*, 1986).

HIPÓTESIS

Las condiciones hídricas durante el ciclo del cultivo y el grupo de madurez de la soja afectan la nodulación y modifican el balance relativo del N y el rendimiento de granos.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la condición hídrica y el genotipo sobre la nodulación del cultivo de soja y su influencia en el balance relativo del N y el rendimiento de granos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el número y biomasa de nódulos y su relación con el aporte de la FBN al cultivo de soja en seco y bajo riego.
- Cuantificar el balance relativo de nitrógeno en el cultivo de soja en seco y bajo riego.
- Cuantificar el rendimiento de grano de soja y sus componentes numéricos en seco y bajo riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC (33° 07' Latitud Sur, 64° 14' Longitud Oeste y a 421 msnm), sobre un suelo Haplustol típico de textura franca arenosa fina, profundo y bien drenado con aptitud de uso agrícola-ganadero (Clase IV) y un contenido de MO de 1,8%.

Los factores evaluados fueron dos: el GM del cultivar, con tres niveles (GM III, IV y V todos de hábito crecimiento indeterminado), y la condición hídrica con dos niveles (secano y riego). Los tratamientos resultantes de la combinación de estos factores se dispusieron en parcelas divididas asignadas a un diseño de bloques al azar con tres repeticiones; siendo la parcela principal la condición hidrológica (riego y secano) y la subparcela el GM del cultivar. Los genotipos seleccionados como representativos de los GM involucrados fueron Tj 2137 (III), Tj 2146 (IV) y NA 5509 (V). El método de riego fue por aspersión con un equipo de avance frontal y una frecuencia suficiente como para mantener el contenido de agua útil del suelo por encima del 50% de su capacidad. Para ello, se monitoreó el balance semanal entre el porte de lluvias y la evapotranspiración a partir de los datos de la estación agrometeorológica instalada en el predio experimental. Además, se dispuso de mediciones a de contenido de agua gravimétrica del suelo realizadas por otra estudiante que se emplearon para verificar el estado hídrico de las parcelas.

La siembra se realizó el 2 de noviembre de 2011 con una máquina de siembra directa y distribución neumática de 9 surcos, distanciados 0,52 m con una densidad de 30 plantas por m². Se realizaron los controles fitosanitarios requeridos para mantener al cultivo libre de malezas, plagas y enfermedades.

Previo a la siembra se realizó un análisis químico del suelo (capas de 0-20 y 20-40 cm) para determinar los contenidos de N, P y MO. Los resultados (Cuadro 1) mostraron niveles de disponibilidad suficientes por lo que no fue necesario aplicar fertilizantes.

Cuadro 1: Datos del análisis de suelo del sitio experimental realizado antes de la siembra en un laboratorio privado.

Profundidad	P	N-NO₃⁻	Humedad	M.O.
cm	ppm		%	
0-20	25,3	29,0	13,4	1,80
20-40	-	13,3	11,4	-

Referencias: N-NO₃⁻ reducción por Cadmio
P Método Kurtz y Bray I
MO Método Walkley - Black

Evaluaciones:

Fenología del cultivo

Se identificaron las etapas fenológicas reproductivas R1, R5 y R7 mediante el uso de la clave del cultivo de soja desarrollada por Fehr y Caviness (1977). Las mismas se consideraron cumplidas cuando el 50% o más de las plantas de cada parcela estaban en la respectiva etapa.

Balance de nitrógeno

Se aplicó un Balance Relativo de N (Cholaky *et al.*, 1986), para estimar las variaciones de su contenido en el sistema suelo-planta resultante de los cambios en las entradas y salidas del sistema y de las transformaciones internas durante el ciclo del cultivo. El objetivo principal fue estimar el aporte por FBN mediante la siguiente ecuación:

$$\text{FBN} = \text{Npc} - [(\text{Nss} + \text{Nm} + \text{NII}) - \text{Nsc}] \quad (1)$$

donde: FBN= Fijación biológica del nitrógeno.

Npc= Contenido total de N en la planta a la cosecha.

Nss= Contenido de N-NO₃ en el suelo a la siembra.

Nm= N derivado de la mineralización de la materia orgánica del suelo. Este valor fue 1,5% para los 6 meses de duración el ciclo del cultivo (Bongiovanni, M. *comunicación personal*).

NII= N aportado por la lluvias registradas durante el ciclo, estimando en 2,5 ppm de N por cada mm (Harpaz, 1975).

Nsc= Contenido de N-NO₃ en el suelo a la cosecha.

También se calculó la variación del N en el suelo según:

$$\text{VNS} = (\text{Nss} + \text{Nm}) - (\text{Nsc} + \text{Nrastrojo}) \quad (2)$$

donde: VNS: Variación del N en el suelo.

N rastrojo: Contenido de N del rastrojo.

Para cuantificar las variables de las ecuaciones anteriores se realizó un análisis químico del suelo a la siembra y otro después de la cosecha del cultivo para medir el contenido de N-NO₃. Se tomaron muestras compuestas (integradas por 10 submuestras) en dos estratos superiores del perfil del suelo (0-20 y 20-40 cm). Los datos de densidad aparente necesarios para expresar los resultados en kg.ha⁻¹ se tomaron de estudios previos realizados en la misma área donde se realizó este estudio (Bongiovanni, M. *comunicación personal*).

Para cuantificar el contenido de nitrógeno en la planta a la cosecha, en las etapas fenológicas R7 y R8 se recolectaron muestras de plantas de 1 m² cada una por tratamiento y

repetición. Posteriormente, en laboratorio se separaron los órganos (tallo + ramas, hojas, frutos y granos), se secaron en estufa de circulación de aire forzado a 40°C hasta peso constante. Muestras de este material se usaron luego para determinar el contenido de N por el método de Kjeldahl y calcular la cantidad total del nutriente extraída por el cultivo de soja.

Nodulación

En las etapas fenológicas R1, R5 y R7 se determinó el número y peso de los nódulos por planta, para lo cual se tomaron 3 muestras de 1m² cada una por tratamiento y repetición. Las plantas fueron extraídas con especial cuidado para recuperar la mayor parte del sistema radical. Luego, se procedió al recuento de nódulos discriminados en raíz principal (RP), raíces secundarias (RS) y total por planta. Estos mismos nódulos fueron secados en estufa con circulación de aire forzado hasta peso constante, registrando los respectivos pesos secos.

Componentes del rendimiento

En madurez de cosecha (R8) se tomaron tres muestras de 1m² cada una y se realizaron las siguientes mediciones:

- Número de plantas por m²
- Número de frutos y semillas por planta
- Peso de 100 granos

Con estos datos se calculó el número de semillas por metro cuadrado y el rendimiento de granos por hectárea.

Clima

Durante el ciclo del cultivo se obtuvieron datos diarios de las variables meteorológicas registradas en la estación agrometeorológica instalada en el área experimental (CAMDOCEX) ubicada en cercanías del ensayo. Se utilizaron datos de precipitaciones (mm), evapotranspiración y temperaturas del aire, medias y máximas (°C).

Análisis de datos

A los fines de detectar diferencias significativas entre los tratamientos se aplicó un ANOVA para el rendimiento de granos y sus componentes numéricos y los respectivos promedios se compararon mediante el test de Duncan (0,05), utilizando el programa estadístico INFOSTAT versión 2011 (Di Renzo *et al.*, 2012). También se calcularon regresiones lineales entre variables de la nodulación, los componentes del rendimiento y el rendimiento de semillas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones meteorológicas de la campaña

Las precipitaciones de esta región se caracterizan por tener un régimen monzónico, con una media anual de 800 mm, presentando, en los meses del ciclo de cultivos primavero-estivales (noviembre-abril), una media de 665 mm para el período 1977-2006 (serie histórica) y un valor para la campaña 2011/12 de 525 mm. La temperatura media anual para el período normal es 16,3°C, y para los meses que abarcó el estudio fue de 20-21°C; mientras que la media de la campaña 2011/12 fue de 22,6°C.

En la figura 1 puede observarse la distribución decádica de la precipitación y la evapotranspiración durante el ciclo del cultivo, observándose la mayor diferencia entre ambos parámetros en los meses de diciembre y enero, cuando las lluvias fueron muy inferiores a los valores históricos.

Por su parte, la temperatura media decádica de la campaña 2011/12 mostró valores superiores a los datos históricos (no mostrados), particularmente en los meses de diciembre, enero y febrero.

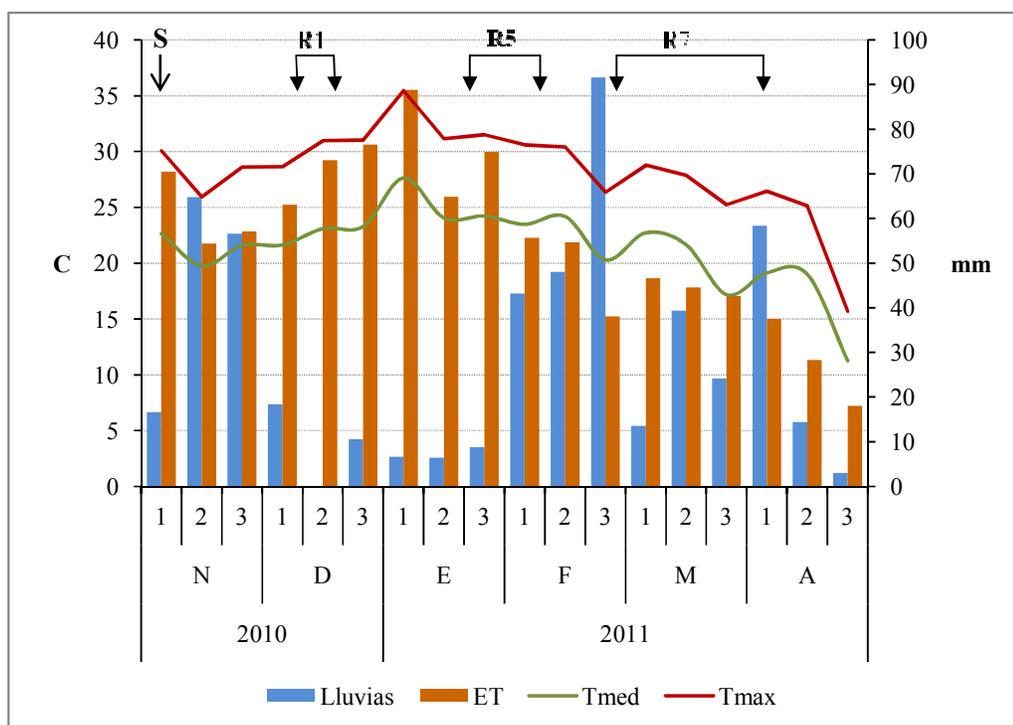


Figura 1. Datos decádicos de precipitaciones, evapotranspiración y temperaturas, media y máxima, para el ciclo del cultivo (2010/11). Las flechas verticales indican el rango temporal de ocurrencia de las etapas fenológicas (S: siembra, R1: inicio de floración, R5: inicio de llenado de granos y R7: primer fruto maduro) de los tres cultivares evaluados, correspondiendo la flecha izquierda al GM III y la flecha derecha al GM V.

En general, la fenología de los cultivares estuvo influenciada por el genotipo y no por la condición hídrica, la cual sólo afectó al cultivar GM V que tuvo una ligera extensión de su etapa R5-R7 con una duración 6 días superior bajo riego que en seco.

Siguiendo la propuesta metodológica, y para mantener la condición hídrica no limitante, se aplicaron riegos en cinco oportunidades en las fechas que se indica a continuación:

23 de Diciembre de 2011

31 de Diciembre de 2011

6 de Enero de 2012

17 de Enero de 2012

1 de Febrero de 2012

En la condición de seco, y debido a la sequía extrema ocurrida en los meses de diciembre y enero, se decidió aplicar un sólo riego el día 17 de enero de 2012 con la finalidad de asegurar la continuidad del ensayo. Todos los riegos realizados fueron de 70 mm cada uno.

Nodulación

A continuación se presentan los datos de número y peso seco de nódulos por planta medidos en las etapas fenológicas R1, R5 y R7 para los factores en estudio (GM y condición hídrica) y discriminados según su localización en raíz principal (RP), raíces secundarias (RS) y totales por planta.

Se observó un patrón de respuesta similar descrito por las curvas que grafican el número de nódulos en RP, RS y total por planta en los GM III, IV y V (Figura 2). La mayor cantidad de nódulos se produjo en la condición hídrica no limitante en las tres mediciones, excepto el GM V que registró los valores más altos (RP y total por planta) en la etapa R7. La dinámica temporal alcanzó su pico máximo en la etapa R5 bajo riego, con valores de 20 nódulos sobre RP en los genotipos y entre 30 y 40 sobre RS, correspondiendo el valor más alto al GM III. El número de nódulos en raíz principal fue inferior, tanto bajo riego como en seco, comparado con el de raíces secundarias, situación que se reprodujo en los tres grupos de madurez. Es decir, que el número de nódulos totales por planta estuvo dado, en su mayoría, por los nódulos formados en las raíces secundarias.

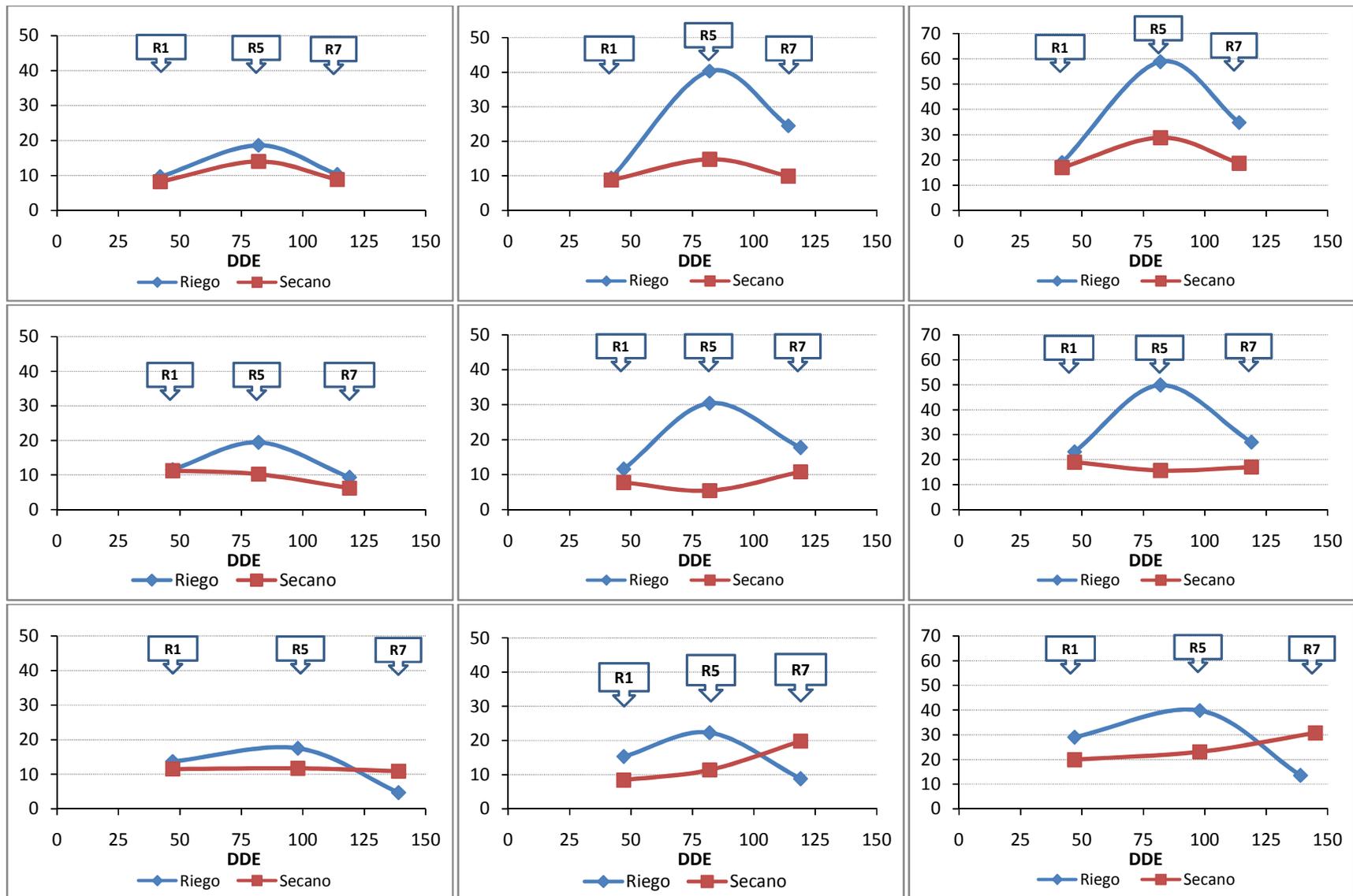


Figura 2. Número promedio de nódulos en raíz principal, RP (columna izquierda); raíces secundarias, RS (columna central) y totales por planta (columna derecha) del GM III (fila superior), GM IV (fila central) y GM V (fila inferior) en función del tiempo desde la emergencia (DDE) con riego y en seco.

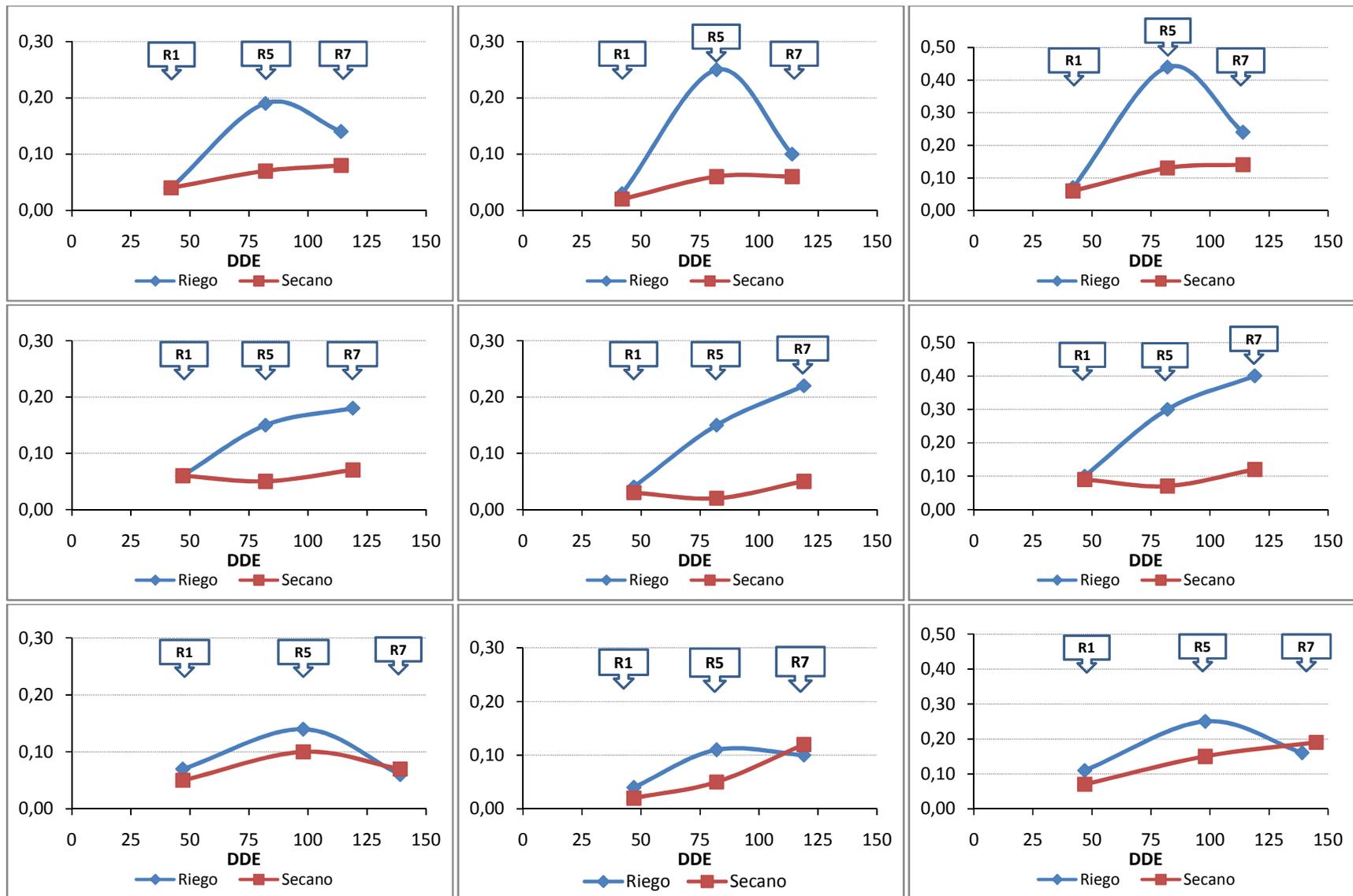


Figura 3. Peso promedio de nódulos (g/planta) en raíz principal, RP (columna izquierda); raíces secundarias, RS (columna central) y totales por planta (columna derecha) del GM III (fila superior), GM IV (fila central) y GM V (fila inferior) en función del tiempo desde la emergencia (DDE) con riego y en secano.

El desarrollo de los nódulos en raíz principal es importante porque, como señalan Salvagiotti *et al.* (2009), son los de mayor actividad entre las etapas R1 y R5 y, en consecuencia, los que harán la mayor contribución de N vía la FBN. De manera similar, Micucci *et al.* (2010) señalaron que la mejora en la nodulación impactará sobre el rendimiento si se incrementan los nódulos sobre la raíz principal hasta un número no mayor a 14/16 nódulos.planta⁻¹. Sin embargo, en el presente estudio se encontró un mayor número de nódulos en RS para la condición con riego. Este resultado puede explicarse debido a que las condiciones de sequía retardan el proceso de nodulación, provocando que la misma se desplace hacia las raíces secundarias, ya que sólo las porciones muy jóvenes de las raíces pueden ser infectadas exitosamente por la cepa de rizobio específica (González y Racca, 2012). Además, cabe señalar que en el presente estudio no se inoculó la semilla.

Esta diferente topótesis nodular es importante desde el punto de vista productivo, ya que a igualdad de masa nodular, los nódulos desarrollados en raíz primaria tienen una actividad de la nitrogenasa específica varias veces superior a la de aquellos sobre raíces secundarias (Racca *et al.*, 2003). Por su parte, la actividad de los nódulos en raíces secundarias tiene más importancia durante el llenado de granos, cuando las tasas de FBN decrecen (Salvagiotti *et al.*, 2009).

Los datos arrojados en las investigaciones realizadas por Díaz-Zorita y Fernández-Canigia (1999) muestran que el número y el peso seco total de los nódulos en la porción superior de la raíz principal disminuyen al avanzar el estado fenológico del cultivo. Esto se puede visualizar en los gráficos de la figura 2, donde se ve una disminución luego de R5 hasta R7. Estos autores mostraron aumentos significativos en el resto del sistema radical en la segunda fecha de muestreo (R5); comportamiento que se debería a la senescencia natural de los nódulos y a la infección de las raíces secundarias con cepas naturalizadas.

Similar a lo ya descrito para número nódulos, el peso seco de los mismos, medido en los estadios fenológicos R1, R5 y R7, aumentó con los días desde la siembra, siendo el pico en R5, tanto en raíz principal, raíces secundarias y totales por planta (Figura 3). Este comportamiento se reprodujo en los GM III y V bajo riego; mientras que el GM IV no alcanzó su peso máximo en R5, sino que siguió aumentando hasta R7.

En el GM III, en secano, el peso seco de los nódulos en raíz principal, secundarias y totales por planta aumentó a medida que pasaron los días desde la siembra. Pero la diferencia entre el peso seco con riego y en secano fue elevada para los grupos de madurez III y IV. Además, el GM IV mostró una leve disminución del peso seco en R5, con respecto a los valores medidos en R1 y R7.

Se pudo ver el efecto del estrés hídrico sobre la nodulación ya que los pesos secos que se registraron, tanto en raíz principal, como secundarias y, por lo tanto en el total por planta, fueron inferiores a los considerados adecuados en el sur y centro de Córdoba cuando se dispone de buena humedad (0,8-1 gr.planta⁻¹) (Pietraelli *et al.*, 2008).

En otros experimentos, Arias (2006) determinó que las condiciones hídricas durante el ciclo del cultivo afectaron principalmente el número de nódulos en raíz principal y, en menor medida, la nodulación en raíces secundarias. Pero su mayor efecto fue sobre el tamaño de los nódulos, ya que los pesos fueron inferiores a los que se hubieren obtenido si las condiciones hídricas hubiesen sido buenas.

Balance de nitrógeno

A continuación se presenta el balance relativo de nitrógeno, teniendo en cuenta los distintos grupos de madurez y las condiciones hídricas estudiadas (Cuadro 2).

El N-NO₃ disponible a la siembra, medido a mediados de noviembre de 2011, fue de 109,2 kg.ha⁻¹, con un contenido de MO promedio de 1,8% del cual se estimó una mineralización durante el ciclo del cultivo de aproximadamente 35,2 kg.ha⁻¹ en los 40 cm superficiales del perfil. A ello, se adicionó el nitrógeno aportado por las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo, estimado en 12,7 kg.ha⁻¹, considerando 2,5 ppm de N por cada milímetro de lluvia entre siembra y R8, las que totalizaron 509 mm. Este aporte provendría de tres fuentes: N orgánico e inorgánico absorbido en las partículas de polvo, amonio volatilizado de aéreas agrícolas, urbanas e industriales y NO₃, NO₂ y N₂O de las reacciones fotoquímicas producidas en las tormentas eléctricas (Cholaky *et al.*, 1986). Según estos autores, una disponibilidad de nitrógeno en el suelo entre 75 y 100 kg.ha⁻¹ de N-NH₄O N-NO₃ podría inhibir completamente la nodulación; sin embargo esto no ocurrió en el presente estudio aunque el nitrógeno disponible en el suelo a la siembra fue de 109,2 kg.ha⁻¹.

El cultivo de soja, en sus primeros estadios fenológicos, requiere cierta provisión de nitrógeno mineral del suelo, ya que la fijación simbiótica no comienza sino después de, al menos, 10 ó 20 días de producida la infección (Gutiérrez Boem, 2008).

A partir de los datos de N en el suelo, se pudo calcular la cantidad total del nutriente disponible, el cual surge de la diferencia entre el nitrógeno que quedó en el suelo a la cosecha y el nitrógeno inicial medido a la siembra. Esta diferencia es parte de lo que utilizó el cultivo, más el aporte por lluvia y el N mineralizado de la MO durante el ciclo. El nitrógeno disponible para el cultivo de soja fue mayor en el tratamiento bajo riego con un valor, promedio de los tres grupos de madurez, de 122,0 kg.ha⁻¹ versus un 94,4 kg.ha⁻¹ de promedio en la situación de secano.

Cuadro 2. Balance relativo de nitrógeno según condiciones hídricas y grupos de madurez (GM).

GM	Condición Hídrica	Nitrógeno en el suelo		Aportes de Nitrógeno			Nitrógeno disponible	Nitrógeno extraído por el cultivo		Variación de nitrógeno en el suelo	Aporte de la FBN
		A la siembra	A la cosecha	Lluvias	Mineralización	Fijación Biológica		Semillas	Rastrojo (hoja+tallo+Vainas)		
		kg/ha									
III	Riego	109,2	33,7	12,7	35,2	296,3	123,4	294,3	125,4	-14,7	70,6
IV		109,2	36,0	12,7	35,2	298,9	121,1	290,2	129,7	-21,3	71,2
V		109,2	35,6	12,7	35,2	280,5	121,5	244,9	157,1	-48,4	69,8
Promedio		109,2	35,1	12,7	35,2	291,9	122,0	276,5	137,4	-28,1	70,5
III	Secano	109,2	80,6	12,7	35,2	86,9	76,5	105,3	58,0	5,7	53,2
IV		109,2	54,6	12,7	35,2	74,4	102,5	120,5	56,3	33,4	42,1
V		109,2	52,9	12,7	35,2	162,6	104,2	178,3	88,5	3,0	60,9
Promedio		109,2	62,7	12,7	35,2	108,0	94,4	134,7	67,6	14,1	52,1

Por otra parte, se estimó el nitrógeno acumulado por las plantas en el grano y la biomasa aérea, parámetro que varió con el ciclo del cultivar pero más marcadamente según la condición hídrica. Así, bajo riego el N extraído por las plantas fue, en promedio, de 276,5 kg.ha⁻¹ en grano y 137,4 kg.ha⁻¹ en la biomasa vegetativa o rastrojo; comparado con la situación de secano cuyos valores promedios fueron 134,7 kg.ha⁻¹ en grano y 67,6 kg.ha⁻¹ de nitrógeno en biomasa aérea o rastrojo. Los cultivos que crecen mejor y rinden más, tienen mayores requerimientos de nitrógeno, pero también fijan mayor cantidad de este nutriente (Gutiérrez Boem, 2008).

El nitrógeno aportado por el suelo más el proveniente de las lluvias, no cubrió lo requerido por la planta, acumulado en grano y en la biomasa, y la diferencia entre ambos representa el aporte de la FBN. Éste fue de 291,9 kg.ha⁻¹ bajo riego en promedio de los tres GM y de 108,0 kg.ha⁻¹ también en promedio para la condición en secano. Expresados en porcentaje dichos aportes fueron de 70,5 y 52,1% con riego y en secano, respectivamente. El menor aporte relativo de la FBN en secano, puede explicarse debido a que la condición hídrica deficitaria afecta el sistema nodular en cualquier momento que ocurra a lo largo del ciclo del cultivo. La planta reacciona rápidamente ante esta condición, pudiendo anular la fijación biológica de nitrógeno (González y Racca, 2012).

En experimentos realizados en la región pampeana, se observó que la FBN contribuyó con 50 a 70% de los requerimientos totales del cultivo. Como esta contribución suele ser menor que el índice de cosecha de nitrógeno del cultivo (aproximadamente un 75%), la cantidad que se exporta con el grano resulta ser mayor que la fijada (Gutiérrez Boem, 2008).

Respecto a la variación del nitrógeno en el suelo, estimada con la ecuación (2), se obtuvo un valor negativo bajo riego y en todos los grupos de madurez estudiados, siendo el promedio de esa condición -28,1 kg.ha⁻¹. En secano, se estimaron valores positivos, siendo el promedio de 14,1 kg.ha⁻¹. Esto puede explicarse porque con riego se alcanzó un mayor rendimiento de granos, siendo los requerimientos y la exportación de nutrientes con el grano mayores (Gutiérrez Boem, 2008). Esto también explica la menor cantidad de nitrógeno en el suelo a cosecha, que fue en promedio de 35,1 kg.ha⁻¹ bajo riego y 62,7 kg.ha⁻¹ en secano.

Componentes del rendimiento

A continuación se presentan los componentes directos del rendimiento del cultivo de soja, número de granos por m² y peso de 100 granos, y sus respuestas a los factores en estudio (GM y condición hídrica), medidas en la etapa fenológica R8.

El número de granos por metro cuadrado varió estadísticamente ($p < 0,0001$) en respuesta a la interacción grupo de madurez*condición hídrica (Figura 4). Las semillas por metro cuadrado bajo riego fueron superiores, en los tres grupos de madurez, sin diferencias entre ellos, pero sí con respecto a la condición de secano. En ésta última cabe señalar la diferencia entre genotipos, donde el GM V superó a los otros dos con un N° de semillas.m⁻² significativamente mayor.

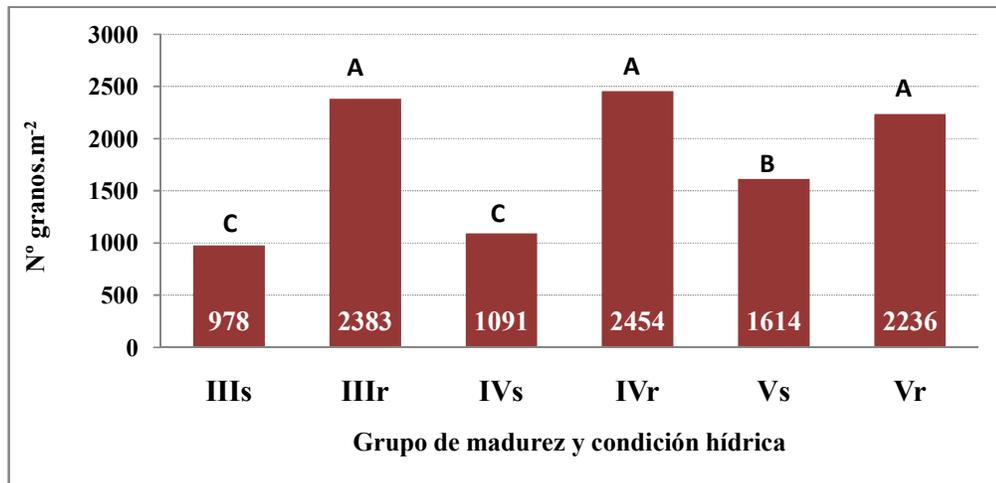


Figura 4. Número de granos por metro cuadrado en R8 para la interacción grupo de madurez*condición hídrica.

El peso de 100 granos también respondió significativamente ($p = 0,0001$) al efecto de la interacción grupo de madurez*condición hídrica (Figura 5).

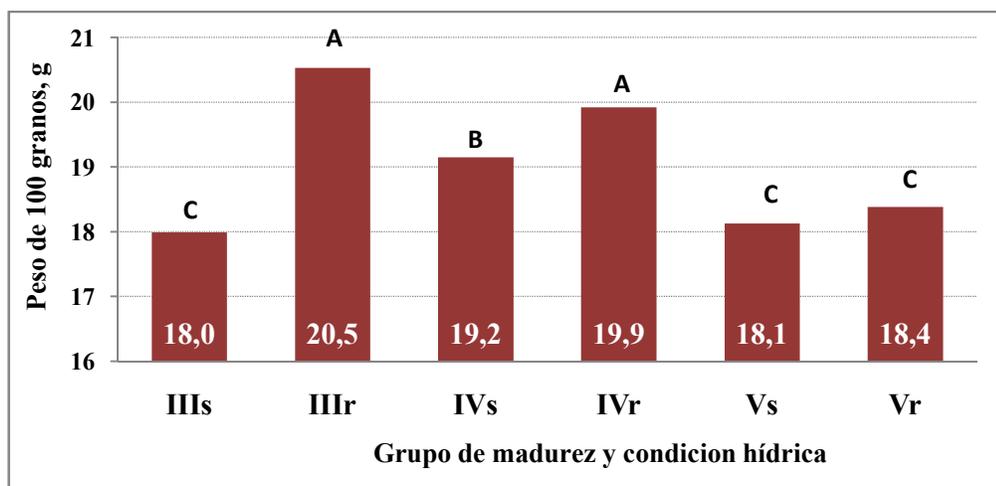


Figura 5. Peso de 100 granos (g) en R8 para la interacción grupo de madurez*condición hídrica.

Los GM III y IV bajo riego alcanzaron el mayor peso individual de granos, seguidos del GM IV y III en seco. Nuevamente el GM V mostró un patrón de respuesta diferente con valores de peso de 100 granos similares entre ambas condiciones hídricas.

El peso final del grano de soja está limitado por fuente. Cuando se producen restricciones durante la floración y a comienzos de la fructificación, aumentan el aborto de vainas y granos, por esto la disponibilidad de asimilados por unidad de granos puede aumentar si las condiciones son buenas durante el llenado, consecuentemente se puede llegar a compensar parcialmente la disminución en el número de granos. Pero a medida que el ciclo progresa, esta posibilidad de compensación disminuye (Kantolic, 2008a). El mayor déficit hídrico en el ciclo del cultivo de soja ocurrió en enero, esto explicaría la diferencia entre riego y seco para los distintos grupos de madurez.

Hubo diferencias estadísticamente significativa ($p < 0,0001$) en el rendimiento de granos para la interacción grupo de madurez*condición hídrica (Figura 6). El patrón de respuesta observado fue similar al descrito para el número de semillas.m⁻², componente de mayor influencia en la determinación del rendimiento del cultivo. Es así que bajo riego los tres GM produjeron los rendimientos más altos, destacándose los GM III y IV. En seco, ocurrió lo contrario ya que el GM V superó a los otros dos GM, mostrando una mayor plasticidad expresada en una diferencia menor entre las dos condiciones hídricas. Los diferentes grupos de madurez fueron inferiores para la condición hídrica seco. La mayor diferencia se vio en el GM III ya que en seco el rendimiento fue de 1763 kg.ha⁻¹ y con riego de 4879 kg.ha⁻¹.

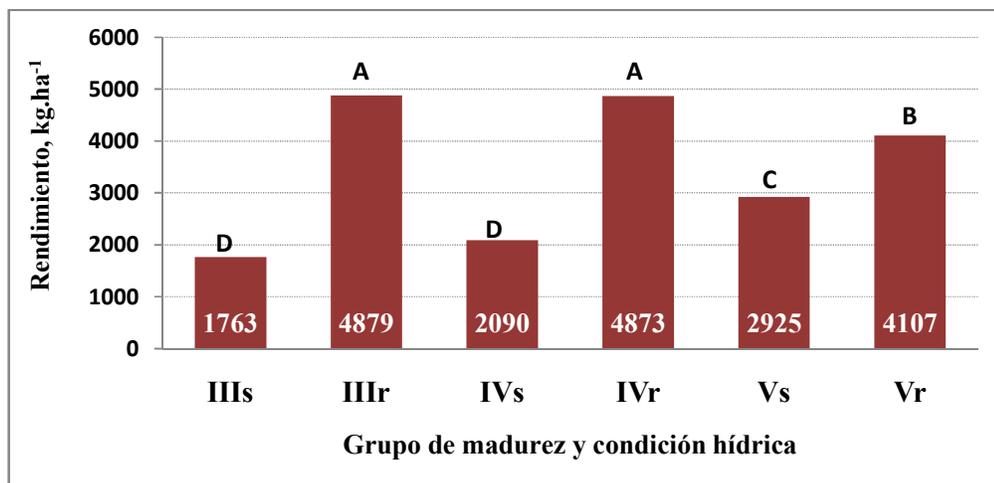


Figura 6. Rendimiento de granos (kg.ha⁻¹) en R8 para la interacción grupo de madurez*condición hídrica.

En un sitio con baja cantidad de recursos durante el período crítico (R3-R6), no es posible obtener altos rendimientos, debido al menor número de granos formados (Kantolic, 2008b). Esto explica las diferencias entre secano y riego encontradas en el presente estudio.

Cualquier evento ambiental adverso como estrés térmico, sequía o anegamiento prolongado, que comprometa la fijación biológica de nitrógeno como la mineralización del nitrógeno, compromete la acumulación de este nutriente en la biomasa y, como consecuencia el rendimiento en granos (González y Racca, 2012).

Algunas relaciones funcionales

La contribución de la FBN (%) a la nutrición nitrogenada del cultivo de soja presentó una relación positiva con la nodulación, evaluada en la etapa R5 a través del número y peso seco de nódulos.planta⁻¹ (Figura 7), y esta relación se correspondió con las condiciones hídricas evaluadas.

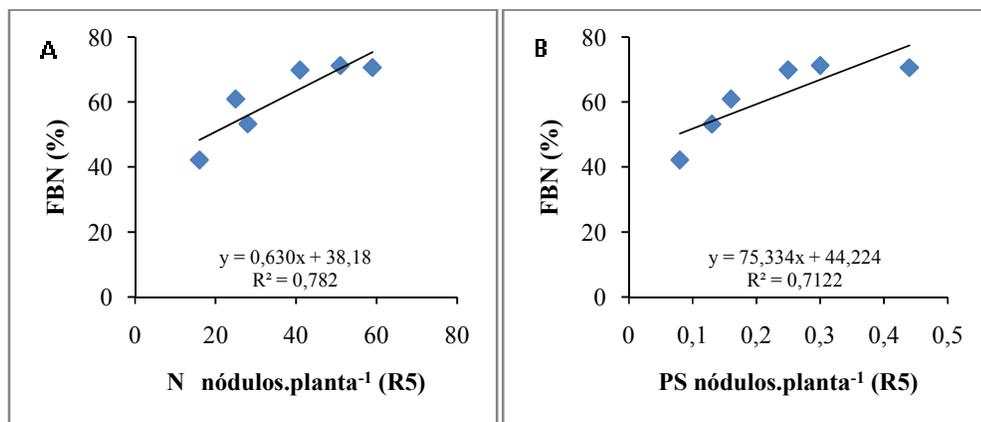


Figura 7. Relaciones entre el número (A) y el peso seco (B) de nódulos.planta⁻¹ y el aporte relativo de la FBN (%) en la etapa R5.

Por su parte, el número de semillas.m⁻² y el rendimiento de semillas (kg.ha⁻¹) se correlacionaron lineal y positivamente con la contribución de la FBN a la nutrición nitrogenada del cultivo (Figura 8). Además, existió una diferenciación entre la condición bajo riego y secano, ya que como se explicó anteriormente, en la condición hídrica no limitante se observó mayor número de nódulos.planta⁻¹ y mayor peso seco de nódulos.planta⁻¹, lo que contribuyó a una mayor FBN reflejada en mayor número de semillas.m⁻² y rendimiento de semillas (kg.ha⁻¹) superior.

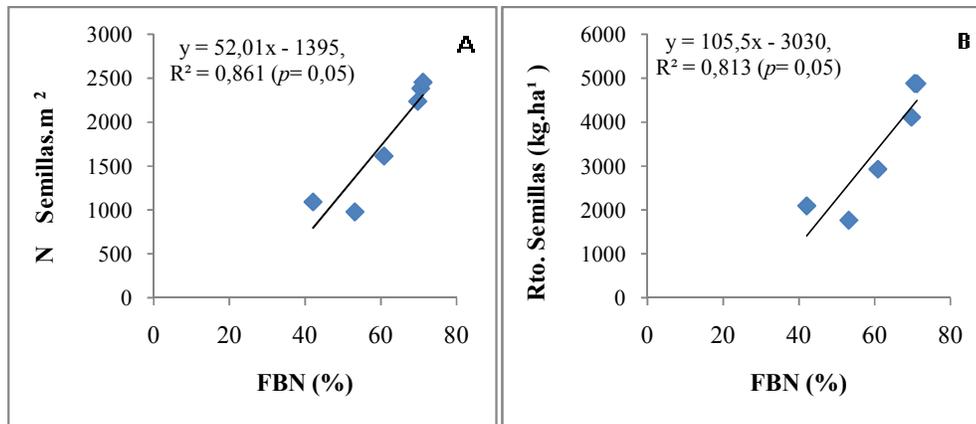


Figura 8. Relaciones entre la contribución relativa de la FBN a la nutrición nitrogenada de la soja y el número de semillas.m⁻² (A) y el rendimiento de semillas (kg.ha⁻¹) (B).

CONCLUSIONES

- El número y peso seco de nódulos por planta de los tres cultivares de soja (GM III, IV y V indeterminados), fueron mayores bajo la condición hídrica no limitante (riego suplementario), con una proporción superior sobre RS respecto al total por planta de ambos componentes de la nodulación.
- La dinámica temporal de la nodulación aumentó entre las etapas fenológicas R1 y R5, donde se registró el pico máximo, y una disminución posterior hasta la etapa R7.
- El número de nódulos totales y su peso seco fueron mayores en el GM III, seguido del IV y, por último, el GM V.
- El balance relativo de N mostró una contribución relativa de la FBN mayor bajo riego, con un aporte promedio del 70,5% del N acumulado por el cultivo.
- La variación de N en el suelo para la condición hídrica bajo riego fue negativa, y en secano positiva. Esto indica más cantidad de N extraído por el cultivo con riego, cuya disponibilidad también fue mayor en esa condición.
- El número de semillas.m² y el rendimiento de granos respondieron significativamente a la interacción GM*condición hídrica con un patrón de respuesta similar. La brecha de ambos parámetros entre riego y secano para los GM III y IV fue mayor a la registrada en el GM V. En secano éste cultivar superó en rendimiento de granos y N° semillas.m² a los otros dos materiales.
- La mayor nodulación (número y peso seco de nódulos/planta) registrada en los diferentes GM bajo riego se relacionó positivamente con una contribución relativa superior de la FBN a la nutrición nitrogenada de la soja. A su vez, esta mayor contribución relativa de la FBN se relacionó positiva y significativamente con el número de semillas.m² y el rendimiento en grano obtenidos bajo esa condición.

BIBLIOGRAFÍA

- ARIAS, N. 2006. Evaluación de inoculantes para soja campaña 2005/06. Estación Experimental Agropecuaria, Concepción del Uruguay.
- BAIGORRI, H.E.J. y E. MARTINI. 2008. Elección de variedades. **Producción de soja. CREA**. Cap. 3. p: 33-44.
- CHOLAKY S., L., A. CANTERO GUTIERREZ; O. GIAYETTO, E. BONADEO y E.C. NEUMAN, 1986. Fertilización nitrogenada y modelos de siembra en soja de hábito determinado. **Rev. UNRC 6 (2):**133-166.
- DI RIENZO, J.A., F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- DÍAZ-ZORITA, M. y M.V. FERNÁNDEZ-CANIGIA. 1999. Patrones de nodulación de soja en relación con propiedades de suelos bajo tres sistemas de labranza. **Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata:** 53-59.
- DIAZ- ZORITA, M. 2003. Soja: Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. **El libro de la soja. Actualización 2003. CREA**. Cap. 8. p: 82-90.
- DÍAZ-ZORITA, M. 2004. Requerimientos nutricionales del cultivo de soja. **Manual práctico para la producción de soja. Editorial Hemisferio Sur S.A.** Cap. 3. p: 81.
- FEHR, W.R. and C.E. CAVINESS 1977. Stages of soybean development. **Special Report 80**. Iowa State University, Ames, Iowa, 11 p.
- GARCIA, F.O. y M.F. GONZÁLEZ. 2011. Balance de nutrientes en argentina. **Fertilizar IPNI**
- GONZÁLEZ, N. y R. RACCA. 2012. Fijación biológica de nitrógeno en soja. **El cultivo de soja en Argentina Baigorri y Salados. Agroeditorial**. Cap. p: 113-105.
- GUTIÉRREZ BOEM, F. 2007. Fertilización de soja. **Fertilización de cultivos de granos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la región pampeana**. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Cap. 10. p: 157-171.
- GUTIERREZ BOEM, F.H. 2008. Nutrición del cultivo. **Producción de soja. CREA**. Cap. 4. p: 45-53.
- KANTOLIC, A.G., P.I. GIMENEZ y E.B. DE LA FUENTE. 2003a. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. **Producción de granos. Bases funcionales para su manejo**. Editorial facultad de agronomía. UBA. Cap: 9. p: 167-195.
- KANTOLIC, A.G., P.I. GIMENEZ y E.B. DE LA FUENTE. 2003b. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. **Producción**

- de granos. Bases funcionales para su manejo.** Editorial facultad de agronomía. UBA. Cap: 9. p: 167-195.
- KANTOLIC, A.G. 2003. Bases funcionales de la determinación del rendimiento y manejo del cultivo de soja. **El libro de la soja. Actualización 2003. CREA.** Cap. 2. p: 31-38.
- KANTOLIC, A.G. y E. SATORRE. 2004. Elementos centrales de ecofisiología del cultivo de soja. **Manual práctico para la producción de soja. Editorial Hemisferio Sur S.A.** Cap. 1. p: 20-37
- KANTOLIC, A.G. 2008a. Fecha y densidad de siembra. **Producción de soja. CREA.** Cap.1. p. 13-21.
- KANTOLIC, A.G. 2008b. Fecha y densidad de siembra. **Producción de soja. CREA.** Cap.2. p. 20-31.
- MADONNI, G.A., P. VILLARIÑO e I. GARCÍA DE SALOMONE. 2003. Dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta. **Producción de granos. Bases funcionales para su manejo.** Editorial facultad de agronomía. UBA. Cap: 17. p: 443-464
- MICUCCI, F.G; J. AMIGO, F. LEDESMA y M. DÍAZ-ZORITA. 2010. Aportes de tratamientos biológicos de semillas de soja en lotes con antecedentes del cultivo en la región del NOA. **El suelo pilar de la agroindustria en la pampa argentina. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.** p.93.
- NORMAN, G. 1983. Manejo y producción. **Fisiología, mejoramiento, cultivo y utilización de la soja.** Editorial hemisferio sur. Cap. 6. p: 162-163.
- PASSARELLA, V.S. y R. SAVIN. 2003. Características físico-químicas de los granos y usos principales. **Producción de granos. Bases funcionales para su manejo.** Editorial facultad de agronomía. UBA. Cap: 2. p: 11-21.
- PERTICARI, A. 2003. Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de la soja. **El libro de la soja. Actualización 2003. CREA.** Cap. 7. p. 69-78.
- PIETRARELLI, L.; H.L. ZAMAR, E.E. LEGUÍA, J. ALESSANDRIA, M. SÁNCHEZ, M. ARBORNO y S.M. LUQUE. 2008. Efectos de diferentes prácticas de manejo en la nodulación y en el rendimiento del cultivo de soja. **Agriscientia Vol. XXV.** p: 81-87.
- RACCA, R.W. 2003. Algunos Conceptos sobre la Fijación de Nitrógeno en los Cultivos. IV Reunión Científico Técnica de Biología de Suelo. IV Encuentro de Fijación Biológica de Nitrógeno. Termas de Rio Hondo. Argentina.
- SALVAGIOTTI, F.; J. CAPURRO y J.M. ENRICO. 2009. El manejo de la nutrición nitrogenada en soja. **INTA EEA Oliveros.** p. 45-51.
- SIIA, 2011. Sistema integrado de Información Agropecuaria. En <http://www.sii.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura>.

Consultado: 15/08/2011

SIIA, 2011. Sistema integrado de Información Agropecuaria. En <http://www.sii.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura>.

Consultado el 25/06/2013.

TKACHUK, R. 2008. Modelos zonales de producción en el movimiento CREA. **Producción de soja. CREA.** Cap. 11. p: 109-111.

VEGA, A. B. y E.B. DE LA FUENTE. 2003. Elección de genotipos. **Producción de granos. Bases funcionales para su manejo.** Editorial facultad de agronomía. UBA. Cap: 14. p: 342-343.