

RELACIÓN BIOMASA DE RAÍZ/BIOMASA TOTAL DE SOJA (*Glycine max*) EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA

Root Biomass/Total Ratio in Soybean (*Glycine max*) Under Two Tillage Systems

Mónica Beatriz Barrios^{1‡}, Alfonso Buján^{1,2}, Silvina Patricia Debelis¹, Ana Clara Sokolowski¹,
Ángel Domingo Blasón¹, Hernán Adrián Rodríguez¹, Silvia Concepción López¹, Javier De Grazia¹,
Carolina Rocío Mazo³ y María Cristina Gagey¹

RESUMEN

La soja es el principal cultivo en Argentina debido a su adaptación a los suelos, la incorporación de tecnología con el empleo de la siembra directa y el precio del mercado internacional. Las propiedades físicas, químicas y biológicas de cada suelo se ven modificadas por el tipo de sistema de laboreo empleado. El entorno generado por la labranza altera el crecimiento y el equilibrio funcional de los cultivos herbáceos. En el año 2006, se instaló un ensayo en el Partido de Ezeiza (Pampa Ondulada), con el objetivo de evaluar los efectos del sistema de laboreo en el equilibrio funcional entre biomasa de raíces/biomasa total en soja (*Glycine max*) durante la campaña 2012/2013. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos que consistieron en: labranza convencional (LC) y siembra directa (SD), con cuatro repeticiones. Se midió: peso de biomasa aérea, área foliar, rendimiento en grano, peso de raíces de 0-10 y 10-20 cm de profundidad, y se calculó biomasa total y la relación biomasa de raíces/biomasa total. El peso de raíces se determinó con el método del cilindro, el área foliar con el paquete estadístico Iproplus y el rendimiento con el cuadrado de corte. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y las medias de los tratamientos fueron comparadas según Tukey ($P < 0.05$). El efecto del sistema de labranza generó diferentes respuestas en función de la variable evaluada y la fecha de muestreo. LC resultó significativamente superior ($P < 0.05$) respecto a SD en biomasa total y biomasa aérea en las etapas fenológicas

R3 y R5; biomasa de raíces en R1 y R3; IAF en R2, R3 y R5. El rendimiento en grano fue mayor en LC respecto de SD, sin embargo el sistema de labranza no afectó la relación biomasa de raíz/biomasa total.

Palabras clave: laboreo, propiedades edáficas, crecimiento radical, equilibrio funcional.

SUMMARY

Soybean is the main crop in Argentina due to adaptation to soils, the incorporation of technology with the use of no tillage and the international market price. Physical, chemical and biological properties of each soil are modified by tillage system. These environments generated by tillage affect the growth and functional balance of herbaceous crops. In the year 2006, a test was set up in Ezeiza (Rolling Pampa) to evaluate the effects of tillage system on the functional balance between root biomass and total biomass in soybean (*Glycine max*) during 2012/2013 growing cycle. A randomized complete block design was used with two treatments: no tillage (SD) and conventional tillage (LC) and four blocks. Weight of aboveground biomass, leaf area, yields and root weight (0-10 and 10-20 cm) of each individual plot were measured, and total biomass and the relationship between root biomass and total biomass was determined. Root weight was determined with the method of the cylinder, leaf area with Iproplus software and yield was estimated with square sample. Results were subjected to analysis of variance (ANOVA) and treatment means were compared using the Tukey test ($P < 0.05$). The effect of tillage systems generated different responses depending on the evaluated variable and sampling date. In LC total biomass, aboveground biomass, root and LAI were significantly ($P < 0.05$) higher than in SD at different phenological stages of the crop cycle. Grain yield was higher in LC than in SD; however, the tillage system did not affect the root biomass/total biomass ratio.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Kilómetro 2, Camino de Cintura, 1836, Buenos Aires, Argentina.

[‡] Autor responsable (monicabarrios4@yahoo.com.ar)

² Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Av. Del Libertador 8250 (1429) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

³ INTA-AUDEAS-CONADEV (becaria). Buenos Aires, Argentina.

Index words: *tillage, soil properties, root growth, functional balance.*

INTRODUCCIÓN

La soja es el producto que mayor crecimiento ha tenido en los últimos años en el mercado argentino, ganando terreno frente a cultivos más tradicionales, como trigo, girasol o maíz, pasando desde 11 millones de hectáreas en 2001/2002 a 20 millones en la campaña 2012/2013 (SAGyP, 2013). Desde finales de los años 90's la adopción de la siembra directa en Argentina, como sistema productivo, ha ido en constante aumento. Esto se vio acompañado por el empleo de un paquete tecnológico que incluye, entre otros, el uso de herbicidas como el glifosato y de semillas de soja genéticamente modificadas, tolerantes a los herbicidas (Barrios, 2011). Con dicha expansión durante los últimos 30 años, la soja ha pasado a ser el principal cultivo en Argentina, concentrado en la región pampeana (Martínez, 2010).

La morfología del sistema radical de un cultivo está definida por la genética, mientras que las condiciones físicas del suelo modifican la distribución espacial de las mismas. El crecimiento de las raíces en el suelo está influenciado por la densidad aparente, porosidad, aireación, agua, temperatura, materia orgánica e impedancia, así como la naturaleza de los horizontes del perfil. Los suelos varían ampliamente en sus propiedades físicas y en su habilidad para favorecer el crecimiento de la raíz.

El laboreo del suelo afecta la biomasa de la raíz, la biomasa de la parte aérea y el equilibrio funcional (relación) entre ambos. En condiciones normales de humedad edáfica la actividad de raíces del cultivo de maíz, es superior en LC que en SD. En cambio, en períodos con déficit hídricos dicha actividad resulta superior en SD (Barrios, 2011).

El crecimiento aéreo está asociado al contenido hídrico del suelo y a una serie de procesos bioquímicos y biofísicos, que a su vez están afectados por el ambiente. Krizek *et al.* (1985) observaron en soja que la elongación foliar disminuye cuando se restringe el crecimiento de las raíces y que este crecimiento disminuye como consecuencia del estrés al que está sometido el sistema radical.

El crecimiento de las raíces depende del suministro de nutrientes del suelo (Macklon *et al.*, 1994). A su vez, el crecimiento de la parte aérea depende del transporte de nutrientes desde las raíces. Las raíces requieren de

los carbohidratos producidos en la parte aérea por la fotosíntesis, mientras que la parte aérea requiere los nutrientes y el agua absorbidos por las raíces. Mitchell y Russell (1971) encontraron en ocho variedades de soja que la mayor tasa de crecimiento de raíces se produce en los primeros estadios.

Los estudios que relacionan las raíces con la parte aérea (biomasa de raíz/biomasa de parte aérea) muestran que existe una interdependencia entre el sistema radical y la parte aérea de la planta y, resaltan la importancia del equilibrio funcional entre las dos partes (Van Noordwijk y Willigen, 1987). Russell (1977) afirma que cuando las condiciones del medio donde se desarrollan las plantas no son limitantes, se encuentra una relación logarítmica entre el crecimiento de las raíces y de la parte aérea en la fase de crecimiento vegetativo. Por otra parte, un sistema radicular más corto y menos proliferado es capaz de explorar menos volumen de suelo para la obtención de agua y nutrientes. Una menor longitud de raíces por unidad de volumen de suelo o una menor densidad radicular requieren que la tasa de absorción de agua y nutrientes se mantengan más elevadas de lo normal a fin de satisfacer las demandas (Bennie, 1991).

Algunos trabajos indican que las fitohormonas de crecimiento producidas en la raíz influyen en el crecimiento de la parte aérea (Davies y Zhang, 1991). Peuke y Jeschke (1993) explican esta relación directa que existe entre el crecimiento de la raíz y de la parte aérea en el estudio con *Ricinus communis*, desarrolladas con diferentes fuentes de nitrógeno (nitrato y amonio) obteniendo como resultado diferencias en la morfología de sus raíces, relacionadas directamente con una menor o mayor producción de materia seca de la parte aérea, respectivamente.

La distribución de biomasa (aérea/raíces) en gramíneas forrajeras, fue estudiada por Guevara y Guenni (2004), observaron que hasta los 60 días de la siembra, la producción de asimilados se derivó hacia la raíz lo cual era importante para garantizar el establecimiento de la planta, sobre todo si hay limitaciones edáficas y de competencia por nutrientes y agua. Por otra parte, al final del establecimiento la especie destinaba mayor cantidad de recursos fotosintéticos a la producción de hojas que al crecimiento de tallos y raíces, lo que en consecuencia generaba un incremento sostenido en la producción de la biomasa forrajera.

La mayoría de los estudios hacen referencia a la biomasa aérea de los cultivos, sin considerar que en

realidad el rendimiento es una función integrada del crecimiento de la parte aérea y de las raíces. En la literatura se reportan pocos trabajos con medidas directas del crecimiento radical o su respuesta bajo distintos sistemas de labranza. La relación raíz/parte aérea se encuentra fuertemente condicionada por las características tanto del ambiente edáfico como del climático y la ontogenia del cultivo (Campbell y Jong, 2001). La nodulación también afecta la relación entre biomasa de raíz y de la parte aérea. Trabajos realizados respecto al cultivo de soja en Córdoba, Argentina, en plantas noduladas y no noduladas presentaron variaciones en la relación raíz/parte aérea que van de 0.24 a 0.26 respectivamente (Faggioli y Cazorla, 2007). El propósito de este trabajo fue evaluar los efectos del sistema de laboreo en el equilibrio funcional raíz/parte aérea, y establecer un índice a partir de la relación entre biomasa de raíces y biomasa total que represente el peso relativo de la biomasa de raíces bajo condiciones de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Sitio de Trabajo y Cultivo

Este trabajo forma parte de un ensayo de rotación de cultivos y de diferentes sistemas de labranza durante seis años. La rotación previa estuvo compuesta por el doble cultivo trigo/soja para el primer año, y los cultivos de maíz, soja, trigo, maíz, soja y soja en los años siguientes. El ensayo se encuentra localizado en el Partido de Ezeiza, Campo Experimental de Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), 34° 49' 00" S, 58° 34' 17" O, Argentina.

El clima es templado húmedo, la precipitación media anual es de 1050.4 mm, con un coeficiente de variación del 20.2% (fuente: Estación Meteorológica de Ezeiza serie: 1959-2009). La pluviometría anual oscila entre los 800 y 1000 mm y una ETP anual de 826 mm, sin presentar déficit hídrico en ningún momento del año. La estación con mayor precipitación es la primavera con una media estacional de 331.1 mm y un coeficiente de variación de 55.7%, con un máximo en noviembre de 115.1 mm y una mínima pluviometría en invierno. La precipitación media estacional es de 162 mm con un coeficiente de variación de 67.5%, particularmente en el mes de julio con una precipitación media mensual de 46.5 mm. La temperatura media anual es de 16.7 °C,

la temperatura media de verano es de 22.3 °C y la de invierno de 10.7 °C.

El suelo es un Argiacuol vértico (Soil Survey Staff, 2010), con la siguiente configuración del perfil: Ap, A2, BA, Bt1, Bt2, BC. Posee un contenido moderado de fósforo y nitrógeno, relieve normal y una pendiente media de 1%, está moderadamente bien drenado. La reacción en todo el perfil es neutra a ligeramente ácida y el contenido de materia orgánica es aproximadamente 4.31% (con un rango entre 2.99 a 5.78%). Presenta rasgos de hidromorfismo (moteados de Fe y Mn) a partir del horizonte BA.

El cultivo fue sembrado el 15 de noviembre de 2012, con una sembradora experimental, con una distancia entre surcos de 50 cm. Se utilizó una variedad comercial de soja del grupo III largo, de la empresa Don Mario DM3810. La semilla fue tratada previamente con RIZOPACK 202, este tratamiento preventivo contiene un inoculante a base de *Bradyrhizobium japonicum* y un fungicida-curasemilla de amplio espectro de control, el Maxim XL (fludioxonil 2.5% - metalaxil-m 1%).

Diseño Experimental

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados, con dos tratamientos y cuatro repeticiones. El tamaño de cada parcela (unidad experimental) fue aproximadamente de 300 m². Los efectos del sistema de labranza sobre los parámetros analizados, fueron sometidos a análisis de varianza y las medias de los tratamientos fueron comparadas según Tukey ($P < 0.05$) utilizando el paquete estadístico Analytical Software (Statistix 8, 2003), para cada fecha de muestreo.

Los tratamientos consistieron en Siembra Directa (SD) y Labranza Convencional (LC), cada parcela fue sometida al mismo tratamiento desde que el ensayo fue instalado. La SD se realizó sin laboreo del suelo y con aplicación de glifosato a una dosis de 3 L ha⁻¹, aplicado previo a la siembra y luego de la emergencia del cultivo. La LC consistió en un paso de arado de reja y vertedera a 14 cm de profundidad, el 7 de noviembre de 2012, y dos pasos de rastra de disco a 7 cm de profundidad, previo a la siembra con el suelo en estado friable.

Determinaciones

Los muestreos se realizaron periódicamente cada 15-20 días aproximadamente. Las fechas de muestreo

para la determinación de biomasa de raíces pueden observarse en la Cuadro 1.

Se realizaron evaluaciones sobre la biomasa aérea y de raíces, y área foliar de tres plantas tomadas al azar de cada parcela. De la biomasa aérea se determinó el peso de la materia seca vegetativa (sin granos) y el rendimiento en grano. Del sistema radical se determinó el peso total de raíces de 0-20 cm de profundidad. Se obtuvo la biomasa total como la suma de las masas de hojas, tallos, raíces, pecíolo y vainas sin considerar granos. Al final se determinó la relación entre la biomasa radical (Br) y la biomasa total (Ba + Br) y se generó un índice ($Br / (Ba + Br)$), que representó el peso relativo de la biomasa de raíces con respecto a la biomasa total.

Para obtener las determinaciones arriba mencionadas las plantas fueron seccionadas en hojas, raíces, tallos, pecíolos y vainas, cada fracción fue secada hasta peso constante en estufa a 70 °C. La producción de materia seca se expresó en $kg\ ha^{-1}$.

El área foliar se determinó a partir del muestreo de las hojas de tres plantas por parcela, con el programa IPROPLUS, con la ayuda de un escáner y el índice de área foliar se expresó como $m^2\ m^{-2}$. El rendimiento se determinó a partir del peso del grano obtenido de tres plantas por parcela (unidad experimental), al final del ciclo del cultivo, los datos fueron expresados en $kg\ ha^{-1}$.

La obtención de las raíces para la determinación de la biomasa radical se realizó abriendo una trinchera transversal a los surcos, siguiendo el método descrito por Smith (1998) y Barrios (2011), con modificaciones. Se emplearon cilindros de acero inoxidable de 4.85 cm de diámetro y 3.55 cm de altura para la extracción de las muestras (suelo + raíces) a las profundidades de 0-10 y 10-20 cm en la línea de plantas. Las mismas fueron llevadas en bolsas cerradas al laboratorio, se colocaron

en una batea y se dejaron en remojo durante 48 h en una solución de hexametáfosfato de sodio ($50\ g\ L^{-1}$), para producir la dispersión del material y eliminar partículas de suelo adheridas a las raíces. Posteriormente, se lavó el material con una fuente de agua continua (manguera) sobre un tamiz de malla de 500 μ (ZONYTEST), y con ayuda de un pincel muy fino y una pinza se separaron del suelo. Las raíces se colocaron en una bandeja de aluminio y se secaron en estufa a 70 °C hasta obtener peso constante. Los resultados se expresaron en kg de raíces ha^{-1} .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La duración de los diferentes estadios fenológicos del cultivar de soja utilizado presentó un comportamiento similar al descrito por Barrios (2011). La biomasa total mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos a los 83 y 127 días después de la siembra (DDS), cuando el cultivo se encontraba en las etapas fenológicas R3 y R5 respectivamente, resultando mayor en LC que en SD. Estos datos coinciden con los señalados por Yusuf *et al.* (1999) y Ressia *et al.* (2003). En la Figura 1 se observa la evolución estacional de la biomasa total del cultivo de soja para los dos tratamientos.

La biomasa aérea a los 83 y 127 DDS fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en LC respecto de SD. En la Figura 2 puede observarse la evolución de la biomasa aérea, a lo largo del ciclo del cultivo en los dos tratamientos estudiados.

En la Figura 3 puede observarse cómo evolucionó el IAF a lo largo del ciclo del cultivo en cada tratamiento. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre sistemas de labranza (LC y SD) a los 67 DDS (6.36 y 4.64 respectivamente), a los 83 DDS (5.31 y 3.32

Cuadro 1. Fechas de muestreo en el cultivo de soja 2012-2013.

Fecha	2012				2013					
	Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero	Marzo		Abril
	15	27	13	28	8	21	6	5	22	9
	- - - - - Estadios vegetativos - - - - -				- - - - - Estadios reproductivos - - - - -					
DDS	0	12	24	43	54	67	83	110	127	145
EF	Siembra	VC	V2	V5-V6	R1	R2	R3	R4	R5-R6	R8
		Cotiledonar	2° nudo	5°- 6° nudo	Inicio floración	Plena floración	Inicio formación vaina	Plena formación vaina	Inicio-Fin llenado grano	Cosecha

DDS = días desde la siembra; EF = estado fenológico, según escala de Fher y Cavinnes (1980).

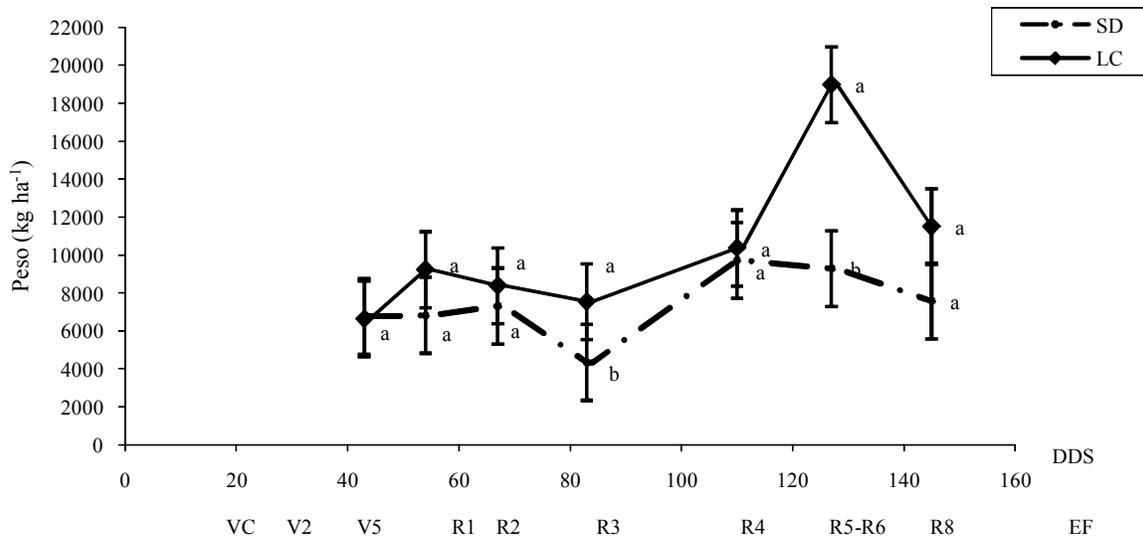


Figura 1. Biomasa total en kg ha⁻¹ (promedio y desviación estándar) en labranza convencional (LC) y siembra directa (SD) a lo largo del ciclo de cultivo. DDS = días después de la siembra; EF = estado fenológico. Para una misma fecha, letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($P < 0.05$).

respectivamente) y a los 127 DDS (7.10 y 3.92 respectivamente). Los valores de IAF bajo LC resultaron ser superiores respecto de SD.

En este trabajo se observó un aumento del IAF y de la biomasa aérea a lo largo de gran parte del ciclo independientemente del sistema de labranza. El máximo IAF se registró tanto para LC como para SD en la etapa fenológica R5. Esto coincide con lo observado por Rincón y Carballo de Silva (1992), Urosa y Ascencio (1993) y Bodrero *et al.* (1997). Se ha reportado que la tasa de

producción de materia seca de un cultivo se incrementa a medida que el IAF aumenta, hasta un valor máximo alcanzado, como consecuencia de que las hojas inferiores comienzan a ser sombreadas y su contribución fotosintética es menor que su respiración, antes y durante la floración (Magalhaes y Montojos, 1971; Fiez *et al.*, 1991; Andrade, 1995).

El valor de IAF con el cual se intercepta el 95% de la radiación solar (Gardner *et al.*, 1985; Well, 1991), es denominado IAF crítico. Según la bibliografía en soja

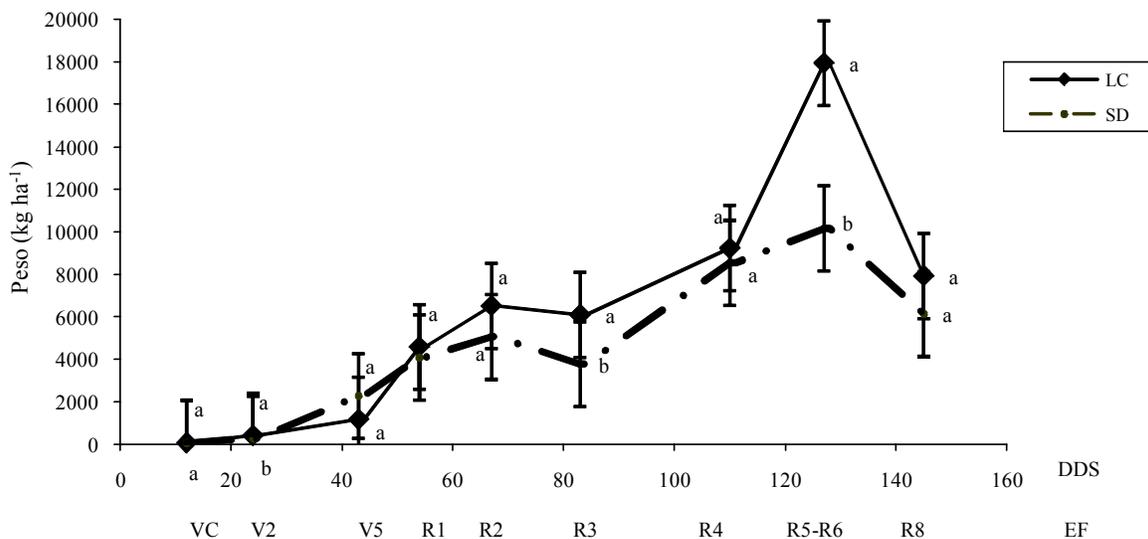


Figura 2. Biomasa aérea en kg ha⁻¹ (promedio y desviación estándar) en labranza convencional (LC) y siembra directa (SD) a lo largo del ciclo de cultivo. DDS = días después de la siembra; EF = estado fenológico. Para una misma fecha, letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($P < 0.05$).

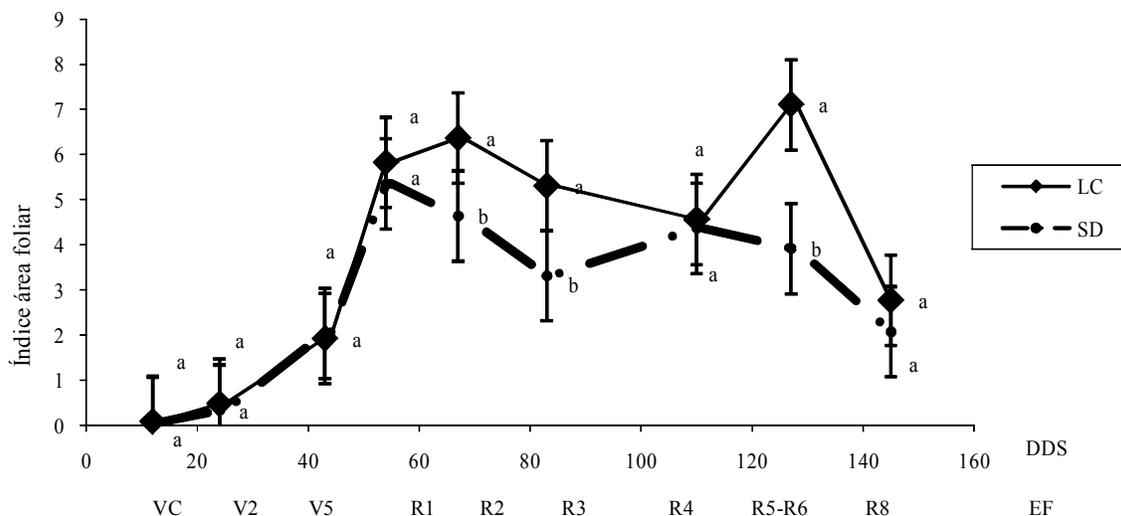


Figura 3. Índice de área foliar en soja (promedio y desviación estándar) para LC y SD a lo largo del ciclo del cultivo. DDS = días después de la siembra; EF = estado fenológico. Para una misma fecha, letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($P < 0.05$).

oscila entre 3.1 y 4.5 (Board y Harville, 1992) dependiendo de la arquitectura de las plantas, la densidad de siembra y el espaciamiento. Valores inferiores al IAF crítico determinan una disminución de la radiación interceptada, reduciendo la tasa de crecimiento del cultivo y el rendimiento en grano (Bodrero *et al.*, 1997). En este trabajo los valores de IAF superaron ampliamente estos valores críticos desde la etapa fenológica R1 hasta la R5, luego de ese período volvieron a presentar valores como los indicados anteriormente. Se ha reportado previamente que en soja el IAF puede alcanzar valores muy superiores al necesario para la máxima interceptación de la luz (Shibles y Weber, 1965; Morandi *et al.*, 1994; Barrios, 2011).

El valor máximo de IAF se alcanza generalmente al comienzo del llenado del grano. Cabe mencionar que con valores de IAF superiores al crítico no se obtienen incrementos significativos del rendimiento, debido a que las hojas superiores sombrean a las inferiores, reduciendo su tasa fotosintética, acelerando la senescencia foliar, observándose amarillamiento y posterior caída de las hojas inferiores. En consecuencia los frutos inferiores se abastecen de forma insuficiente y pueden abortar (Andrade, 1995; Giorda y Baigorri, 1997).

La biomasa de raíces solo mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos a los 54 DDS (4653 y 2734 kg ha⁻¹ respectivamente) y a los 83 (1446 y 861.51 kg ha⁻¹ respectivamente), con valores superiores en LC respecto de SD (Figura 4).

Normalmente es difícil definir relaciones exactas entre biomasa de raíces y de parte aérea, pero se acepta que debe existir un equilibrio entre las actividades de los dos sistemas. Trabajos desarrollados por Russell y Wild (1992) así lo confirman. En este trabajo se realizó una comparación entre la biomasa de raíces y la biomasa aérea a lo largo del desarrollo fenológico de la soja. La biomasa de raíces analizada fue la correspondiente a la profundidad de 0 a 20 cm. En LC (Figura 5) se observa cómo la biomasa aérea aumentó hasta 127 DDS (R5-R6), momento en que la materia seca acumulada alcanzó su máximo valor, disminuyendo posteriormente hasta la cosecha debido a que a partir de ese momento los fotoasimilados comienzan a repartirse hacia los granos (Andrade, 1995; Giorda y Baigorri, 1997; De Grazia *et al.*, 2008). La biomasa de raíces desde el inicio hasta los 54 DDS registró mayor peso respecto de la biomasa aérea. Asimismo, la biomasa de raíces registró el mínimo crecimiento alrededor de 110 DDS, un estadio antes de que la biomasa aérea alcanzara su máximo peso. En SD (Figura 6) el máximo crecimiento aéreo se produjo un período antes que en LC (110 DDS) (Figura 5), registrándose el mínimo peso de raíces a los 83 DDS.

A partir de la etapa R4 es donde ocurren los cambios más importantes en la partición de asimilados, debido a que buena parte de los productos fotosintetizados se dirigen al fruto en crecimiento (Mishoe *et al.*, 1986; Hume *et al.*, 1989). Algunos investigadores señalan a este período como el más crítico para la formación del

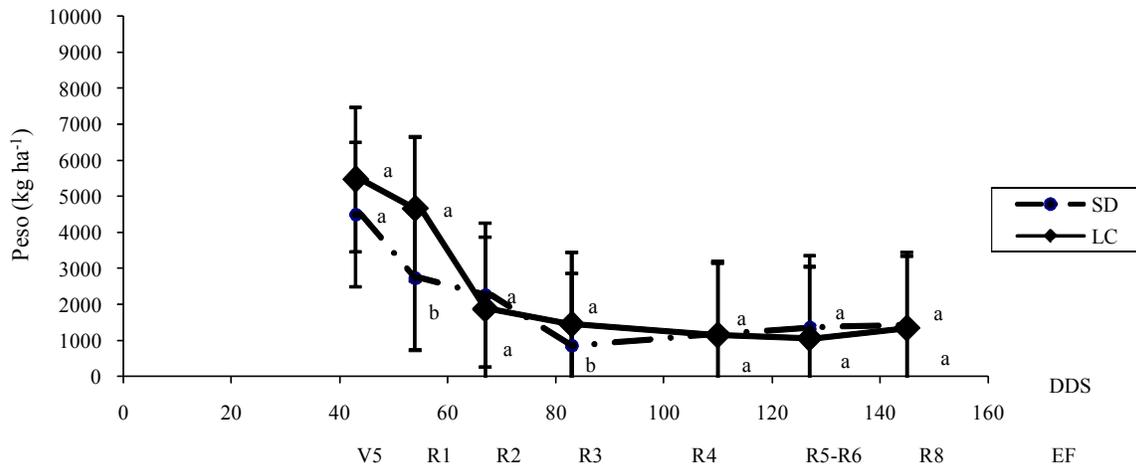


Figura 4. Biomasa radical en kg ha⁻¹ (promedio y desviación estándar) para labranza convencional (LC) y siembra directa (SD) a lo largo del ciclo del cultivo. DDS = días después de la siembra; EF = estado fenológico. Para una misma fecha, letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($P < 0.05$).

rendimiento del cultivo de soja (Egli y Zhen-Wen, 1991; Andrade, 1995). La mayor producción de materia seca se registró en nuestro estudio en R5-R6 a los 110-127 DDS, en concordancia con Rincón y Carballo de Silva (1992), quienes encontraron la mayor biomasa aérea en ese período en varios cultivares de soja estudiados.

La producción de biomasa aérea y radical presentó diferencias significativas en algún momento del ciclo del cultivo entre los sistemas de labranza aplicados en este trabajo, probablemente como consecuencia del cambio de las condiciones edáficas generadas por las labranzas. Esto coincide con lo observado por Senigagliesi y Ferrari

(1993) y no coincide con lo reportado por Golik y Chidichimo (2002). La floración aparece como una etapa particularmente importante en muchos cultivos, pues tras ella los compuestos asimilados se necesitan prioritariamente para llenar las estructuras reproductivas en crecimiento. El peso de las raíces de los cereales alcanza con frecuencia su máximo próximo a la etapa de floración y puede incluso reducirse posteriormente (Russell y Wild, 1992). Otros autores mencionan que el crecimiento de las raíces puede llegar a ser máximo alrededor del estado fenológico R3, y puede decaer enseguida hasta R6.

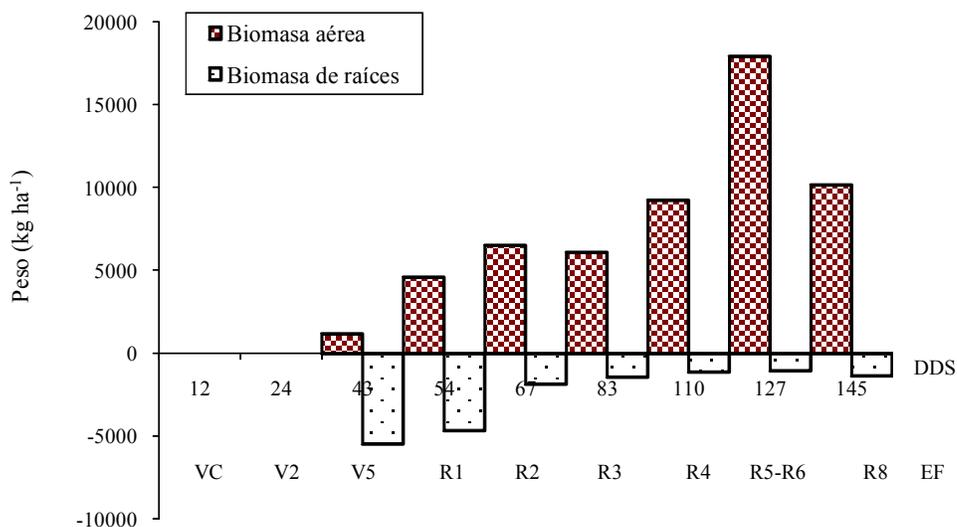


Figura 5. Biomasa aérea y de raíces en kg ha⁻¹ en labranza convencional (LC) a lo largo del ciclo del cultivo. DDS = días después de la siembra; EF = estado fenológico.

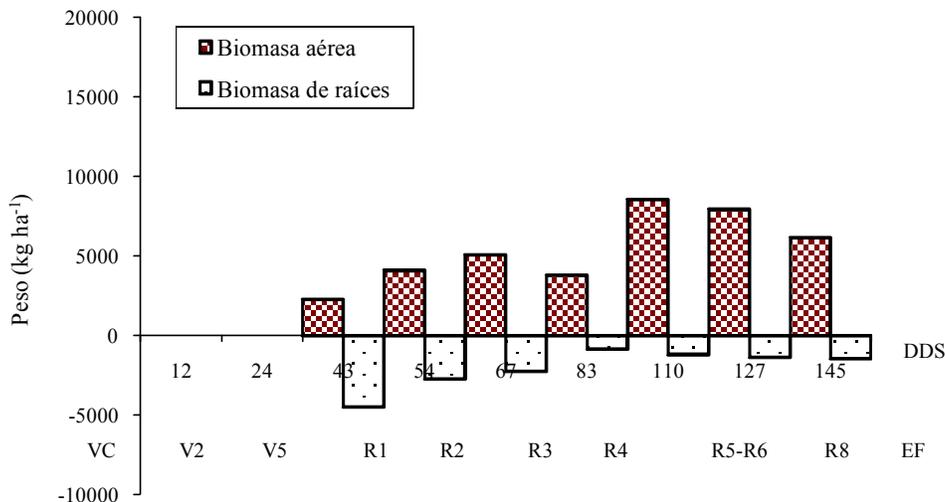


Figura 6. Biomasa aérea y de las raíces en kg ha⁻¹ en siembra directa (SD) a lo largo del ciclo del cultivo. DDS = días después de la siembra. EF = estado fenológico.

En este trabajo, en los dos sistemas de labranza empleados se observó que la biomasa aérea creció hasta los 127 DDS (R5-R6) siendo significativamente mayor en LC que en SD. La LC mostró una tendencia a ser superior respecto a la SD en todo el ciclo del cultivo. La biomasa de raíces desde el inicio hasta los 45 DDS presentó mayor peso respecto a la parte aérea, registrando su máximo crecimiento a los 93 DDS, un estadio anterior de registrarse el máximo peso aéreo.

La relación raíz/parte aérea es un factor dependiente de la distribución de los fotoasimilados, cuya producción y distribución está supeditada a los estímulos ambientales (Rogers *et al.*, 1996). En este trabajo cuando se estudió la relación entre la biomasa de raíces y la biomasa total ($Br / (Ba + Br)$) se observaron variaciones conforme avanzó el desarrollo fenológico del cultivo. Inicialmente el valor de la relación fue alto, indicando que la mayor proporción de la biomasa total estuvo conformada por la biomasa de raíces. A partir de R1 se produce una disminución en la relación, mostrando que las raíces detienen su crecimiento a expensas del crecimiento

aéreo, por lo cual la relación se reduce considerablemente hasta R8, independientemente del sistema de labranza utilizado.

En el Cuadro 2 se detallan los resultados obtenidos a partir de este índice durante el ciclo de la soja. La relación biomasa de raíz / (biomasa de raíz + biomasa aérea) se comportó de manera similar en ambos tratamientos sin encontrarse diferencias significativas entre los sistemas de labranza para cada fecha de muestreo. Este comportamiento fisiológico, demostraría que independientemente de las condiciones del cultivo, existe un equilibrio funcional entre el crecimiento radical y el de la biomasa aérea en soja.

Los rendimientos en grano obtenidos para cada sistema de labranza fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$) resultando mayor en LC respecto de SD (Figura 7), con un incremento a favor de LC del 28%. Estos resultados coinciden con los enunciados por Eck y Jones (1992), Senigagliaesi y Ferrari (1993) y Barrios (2011). Es sabido que una de las principales ventajas que presenta la SD sobre otros sistemas de labranza, es

Cuadro 2. Biomasa de raíz/(biomasa de raíz + biomasa aérea). Promedio ± desviación estándar (DE).

DDS	43		54		67		83		110		127		145	
EF	V5-V6	DE	R1	DE	R2	DE	R3	DE	R4	DE	R5-R6	DE	R8	DE
LC	0.82	0.04	0.5	0.14	0.22	0.02	0.19	0.11	0.11	0.05	0.06	0.07	0.12	0.06
SD	0.66	0.14	0.4	0.06	0.31	0.12	0.19	0.06	0.12	0.05	0.15	0.07	0.19	0.04

LC = laboreo convencional; SD = siembra directa; DDS = días después de la siembra; EF = estado fenológico; DE = desviación estándar (+/-).

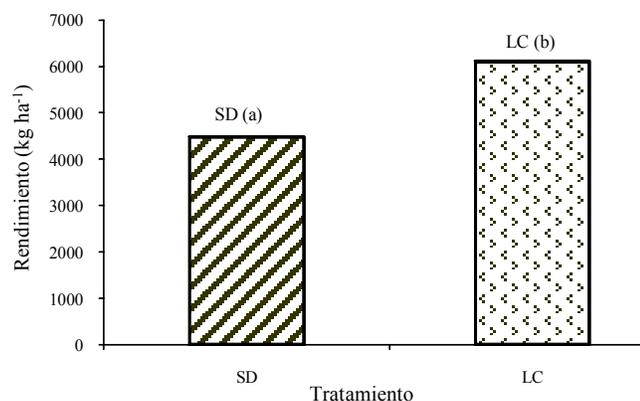


Figura 7. Rendimientos (kg ha⁻¹) del cultivo de soja bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD). Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($P < 0.05$).

su mayor capacidad para captar y almacenar agua disponible para el cultivo. Pero este mayor nivel de humedad edáfica, genera temperaturas del suelo más bajas y por ende menor actividad de microorganismos y ciclado de nutrientes. En el presente trabajo, las diferencias observadas en rendimiento en grano a favor de LC, podrían estar dadas por la adecuada distribución de lluvias durante el ciclo del cultivo.

CONCLUSIONES

- Bajo las condiciones de este estudio, el cultivo de soja bajo labranza convencional produjo mayor biomasa total y aérea que en siembra directa en las etapas fenológicas R3 y R5, mayor IAF en las etapas R2, R3 y R5, mayor biomasa de raíces en R1 y R3, y mayor rendimiento en grano. La relación raíz/parte aérea mostró variaciones conforme avanzó el desarrollo fenológico de la planta en ambos tratamientos, sin diferencias significativas entre los sistemas de labranza estudiados.

- En ambos sistemas de labranza, la mínima biomasa de raíces se presentó en un periodo anterior al de máxima producción de biomasa aérea. Asimismo, bajo las condiciones de siembra directa tanto la mínima biomasa de raíces como la producción máxima de biomasa aérea, se produjo de manera anticipada, respecto del cultivo bajo condiciones de labranza convencional.

- El sistema de labranza no afecta el equilibrio funcional entre la biomasa de raíces y la biomasa total en el cultivo de soja, lo que permitiría diseñar estrategias de manejo acordes a este comportamiento fisiológico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sr. Máximo Petti, por la provisión de semillas y su colaboración en las tareas de campo.

LITERATURA CITADA

- Analytical Software. 2003. Statistix 8 for Windows. Analytical Software. Tallahassee, FL, USA.
- Andrade, F. H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Res.* 41: 1-12.
- Barrios, M. B. 2011. Efecto del laboreo sobre el desarrollo de raíces y productividad. Editorial Académica Española. ISSN: 978-3-8443-4125-6. España.
- Bennie, A. T. 1991. Growth and mechanical impedance. pp. 393-416. *In: Y. Waisel, A. Eshel, and U. Kafkafi (eds.). Plants root: The hidden half.* Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Board, J. E. and B. G. Harville. 1992. Explanation for greater light interception in narrow-vs. wide-row soybean. *Crop Sci.* 32: 198-202.
- Bodrero, M. L., E. Morandi, R. A. Martignone y H. E. J. Baigorri. 1997. Ecofisiología del cultivo. pp. 29-50. *In: L. M. Giorda y H. E. J. Baigorri (eds.). El cultivo de soja en la Argentina.* INTA C. R. Córdoba, San Juan, Argentina.
- Campbell, C. A. and R. de Jong. 2001. Root to straw ratios influence of moisture and rate of N fertilizer. *Can. J. Soil Sci.* 81: 39-43.
- Davies, W. J. and J. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42: 55-76.
- De Grazia, J., A. Buján, M. B. Barrios, S. C. López, H. A. Rodríguez, H. I. Andrada, C. Leiba y F. Fernández. 2008. Efecto del sistema de labranza sobre la partición de la biomasa aérea, rendimiento en grano y actividad de raíces en soja 2°. *Actos del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.
- Eck, H. V. and O. R. Jones. 1992. Soil nitrogen status as affected by tillage, crops, and crop sequences. *Agron. J.* 84: 660-668.
- Egli, D. B. and Y. Zhen-Wen. 1991. Crop growth rate and seeds per unit area in soybean. *Crop. Sci.* 31: 439-442.
- Faggioli, V. y C. Cazorla. 2007. Evaluación agronómica de inoculación de soja con productos BILAB. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. INTA EEA Marcos Juárez. Argentina.
- Fiez, T. E., O. S. Norberg, and G. D. Jolliff. 1991. Dry matter production and carbohydrate accumulation in tree meadowfoam lines. *Crop Sci.* 32: 1008-1014.
- Gardner, F. P., R. B. Pearce, and R. L. Michell. 1985. *Physiology of crop plants.* Iowa State University Press. Ames, IA, USA.
- Giorda, L. M. y H. E. J. Baigorri. 1997. *El cultivo de la soja en Argentina* INTA. San Juan, Argentina.
- Golik, S. I. y H. O. Chidichimo. 2002. Producción y distribución radical bajo dos sistemas de labranza y nutrición nitrogenada en trigo. *Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 18.* Puerto Madryn, Argentina.

- Guevara, E. y O. Guenni. 2004. Acumulación y distribución de biomasa en *Leucaena leucocephala* (lam) de Wit., durante la fase de establecimiento. I. Repartición de biomasa. *Zootec. Trop.* 22: 147-156.
- Hume, D. J., D. E. Feindel, J. P. Winter, D. Blair, and S. Pararajasinghan. 1989. Assimilate partitioning in soybean. pp. 177-182. *In:* A. J. Pascale (ed.). *Proceeding 1 of the world soybean research conference IV.* Orientación Gráfica Editora S.R.L. Buenos Aires, Argentina.
- Krizek, D. T., A. Carmi, R. M. Mirecki, F. W. Snyder, and J. A. Bunce. 1985. Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological responses of Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *J. Exp. Bot.* 36: 25-38.
- Macklon, A. E. S., L. A. Mackie Dawson, A. Sin, C. A. Shand, and A. Lylli. 1994. Soil P resources, plant growth and rooting characteristics in nutrient poor upland grasslands. *Plant Soil* 163: 257-266.
- Magalhaes, A. C. and J. C. Montojos. 1971. Effect of solar radiation on the growth parameters and yield of two varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turrialba* 21: 165-166.
- Martínez, F. F. 2010 *Crónica de la soja en la región pampeana argentina.* INTA EEA Oliveros. Argentina.
- Mishoe, J. W., K. J. Boote, and J. W. Jones. 1986. Crop development and phenology. p. 129. *In:* Workshop on Crop Simulation Models and Data Base Management for Agrotechnology Transfer (Proceedings). Food and Fertilizer Technology Center. Taichung, Taiwan.
- Mitchell, R. L. and W. J. Russell. 1971. Root development and rooting patterns of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) evaluated under field conditions. *Agron. J.* 63: 313-316.
- Morandi, E. N., M. L. Bodrero, R. A. Martignone, and A. Quijano. 1994. Sowing date and irrigation effects on soybean dry matter partitioning and yield in the southern Santa Fe area of Argentina. p. 128. *In:* Proceedings of the World Soybean Research Conference V. Chiang Mai, Thailand.
- Peuke, A. D. and W. D. Jeschke. 1993. The uptake and flow of C, N and ions between roots and shoots in *Ricinus communis* L. I. Grown with ammonium or nitrate as nitrogen source. *J. Exp. Bot.* 44: 1167-1176.
- Ressia, J. M., L. Lazaro, L. C. Lett, G. O. Mendivil, G. R. Portela y R. H. Balbuena. 2003. Sistemas de labranza e inoculación en soja. Efecto sobre crecimiento y rendimiento del cultivo. *Agrociencia* 37: 167-176.
- Rincón, C. A. y L. C. Carballo de Silva. 1992. Fenología, área foliar y producción de materia seca de tres variedades de soja *Glycine max* (L.) Merr bajo riego en condiciones de sabana. *Agron. Trop.* 42: 175-190.
- Rogers, H. H., S. A. Prior, G. B. Runion, and R. J. Mitchell. 1996. Root to shoot ratio of crops as influenced by CO₂. *Plant Soil* 187: 229-248.
- Russell, E. J. y A. Wild. 1992. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas según Russell. Mundi Prensa. Madrid, España.
- Russell, R. S. 1977. *Plant root system: Their function and interaction with the soil.* McGraw-Hill Book. Maidenhead, Berkshire, UK.
- SAGyP (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca). 2013 Estimaciones agrícolas. www.Siia.gov.ar/series (Consulta: abril 5, 2013).
- Senigagliesi, C. and M. Ferrari. 1993. Soil and crop responses to alternative tillage practices. *Int. Crop. Sci.* 133: 27-35.
- Shibles, R. M. and C. R. Weber. 1965. Leaf area, solar radiation interception and dry matter production by soybeans. *Crop Sci.* 5: 575-578.
- Smith, M. 1998. Assessing root system properties. pp. 1-5. *In:* Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Estación experimental de zonas áridas (ed.). 4th International Workshop Field Techniques for Environmental Physiology. Almería, Spain.
- Soil Survey Staff. 2010. *Claves para la taxonomía de suelos.* 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service. Washington, DC, USA.
- Urosa, R. y J. Ascencio. 1993. Arquitectura y caracterización fisiológica de la cobertura de plantas de soja *Glycine max* (L.) Merr. var Júpiter en condiciones de campo. *Agron. Trop.* 43: 145-172.
- Van Noordwijk, M. and P. Willigen. 1987. Agricultural concepts of roots: from morphogenetic to functional equilibrium between root and shoot growth. *Neth. J. Agric. Sci.* 35: 487-496.
- Well, R. 1991. Soybean growth response to plant density: Relationships among canopy photosynthesis, leaf area and light interception. *Crop Sci.* 31: 755-761.
- Yusuf, R. I., J. C. Siemens, and D. G. Bullock. 1999. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. *Agron. J.* 91: 928-933.