

SISTEMAS DE LABRANZA E INOCULACIÓN EN SOJA. EFECTOS SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO

TILLAGE SYSTEMS AND INOCULATION IN SOYBEAN. EFFECTS ON GROWTH AND YIELD

Juan M. Ressia¹, Laura Lázaro¹, Lina C. Lett¹, Gustavo O. Mendivil¹, Gabriela R. Portela¹ y Roberto H. Balbuena²

¹Facultad de Agronomía, UNCPBA. Av. República de Italia 780 (7300) Azul, Argentina. (jmressia@faa.unicen.edu.ar). ²Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales UNLP.

RESUMEN

El deterioro del suelo que la agricultura continua ha generado en la Pampa Húmeda, Argentina despierta gran interés por sistemas de labranza conservacionista, especialmente la siembra directa. Por otra parte, la biofertilización de semillas de leguminosas con cepas eficientes permite aprovechar una fuente económica de N. El objetivo del trabajo fue determinar cómo los sistemas de labranza y la inoculación de semillas afectan el crecimiento y el rendimiento del cultivo de soja. En el ciclo 1998 a 1999, se realizó en Azul (36° 42' S, 59° 50' O), Provincia de Buenos Aires, Argentina, un experimento con sistemas de labranza (tratamiento): con arado de reja y vertedera (AR), con escarificador de cincel (EC) y siembra directa (SD); e inoculación [sin y con *Bradyrhizobium japonicum* cepa eficiente USDA 138 (E109)] como subtratamiento. El crecimiento temprano del cultivo fue mayor en AR; en el estadio vegetativo V4, el peso seco fue 54% mayor que en los sistemas restantes. En el estadio reproductivo R2 no se encontraron ventajas de AR sobre SD, pero el peso seco del cultivo bajo EC fue 30% menor. En esta etapa, el peso seco fue mayor en los subtratamientos inoculados que en los testigos. El rendimiento de los subtratamientos sin inoculación fue mayor en AR (219 g m⁻²), y 10% y 28% inferior en EC y SD. La inoculación aumentó el rendimiento del cultivo, siendo significativa la interacción entre ambos factores. El mayor incremento en el rendimiento fue en SD, mientras que en AR y EC fueron significativamente menores.

Palabras clave: *Bradyrhizobium*, *Glycine max*, labranza conservacionista, rendimiento y sus componentes, siembra directa.

INTRODUCCIÓN

El deterioro que la agricultura continua ha generado en gran parte de los suelos de la Pampa Húmeda, Argentina, ha generado una fuerte adopción de sistemas de laboreo conservacionista, entre los que se destaca la siembra directa. Este sistema tiene una alta difusión debido a sus ventajas: menor costo de

ABSTRACT

Soil deterioration caused by continued agriculture in the Argentine Humid Pampas has awakened interest in conservationist practices and particularly in no tillage. Moreover, biofertilization of legume seeds with efficient bacterial strains allows for economical use of N. The purpose of this study was to determine how agricultural systems and the seed inoculation practice affect soybean plant growth and yield. This experiment took place during the 1998 to 1999 cropping season in the Azul district (36° 42' S, 59° 50' W), Buenos Aires Province, Argentina. Three tillage systems with (AR) moldboard plow, (EC) chisel plow and (SD) no tillage were treatments; with and without *Bradyrhizobium japonicum* USDA 138 (E 109) strain as sub-treatment. The initial growth of plants was greater with AR; in V4 vegetative stage the dry matter weight was 54% greater than in the other two systems. In the reproductive R2 stage there was no advantage of AR over SD, but dry matter under EC was 30% less. At this stage of growth crop dry matter weight was higher with the seed inoculation sub-treatment. The yield of non inoculated plots was greatest in AR (219 g m⁻²) and 10% and 28% less in EC and SD. The inoculation increased the yield. A significant interaction between tillage system and inoculation was found. The higher yield increase was in SD, whilst AR and EC were significantly lower.

Key words: *Bradyrhizobium*, *Glycine max*, conservation tillage, yield and its components, direct tillage.

INTRODUCTION

The deterioration that continual agriculture has produced in most soils of the Humid Pampa, Argentina, has generated massive adoption of conservationist tillage systems; among them, no tillage stands out. This system has high adoption due to its advantages: lower crop implantation cost, decrease in soil erosion, and water conservation. In the first years of implementation of no tillage, crop yields tend to be lower than in those of conventional tillage (Rice *et al.*, 1986; Eck and Jones, 1992; Knowles *et al.*, 1993). For the initial stages of this system N availability is usually low;

implantación de los cultivos, la reducción de la erosión del suelo, y la conservación del agua. En los primeros años de implantación del sistema de siembra directa, los rendimientos de los cultivos suelen ser más bajos que en los sistemas de labranza convencional (Rice *et al.*, 1986; Eck y Jones, 1992; Knowles *et al.*, 1993). En las etapas iniciales de este sistema la disponibilidad de N suele ser baja; como consecuencia, los cultivos de grano, generalmente más deficientes en este elemento, rinden menos que bajo sistemas de labranza convencional (Grant *et al.*, 1985; Knowles *et al.*, 1993; Huggins y Pan, 1993). Las limitaciones en la disponibilidad de N pueden reducir la generación del área foliar, la captación de energía solar, el crecimiento, el número de semillas por unidad de superficie y, por ende, el rendimiento (Vasilas *et al.*, 1989; Andrade, 1995). Según Wells (1984), los bajos rendimientos podrían deberse a una mayor inmovilización del N del fertilizante, pérdidas por desnitrificación o lavado, baja mineralización del N orgánico, o alguna combinación de estos factores. Por otra parte, la biofertilización de los cultivos de leguminosas es una práctica simple, de bajo costo y ampliamente convalidada. La simbiosis del cultivo de soja con cepas eficientes permite aprovechar una fuente económica de N, como lo es el atmosférico, en remplazo de la fertilización química. Estos efectos podrían ser mayores en zonas con escasos antecedentes de producción de soja, como el sudeste de la provincia de Buenos Aires, donde son poco frecuentes los suelos con cepas naturalizadas de *Bradyrhizobium*.

Bajo sistemas de labranza conservacionista, la respuesta del cultivo de soja a la inoculación es poco conocida; sin embargo, altos niveles de nitratos en el suelo inhiben la formación de nódulos y la actividad nitrogenasa (Gibson y Harper, 1985). Por tanto, podría esperarse un beneficio importante de la inoculación en el sistema de siembra directa, ya que la menor disponibilidad de N mejoraría su eficiencia y el aporte de N biológico aumentaría la tasa de crecimiento del cultivo en las etapas críticas para la formación del rendimiento, entre R2 y R5 (Egli y Zhen-Wen, 1991; Andrade, 1995). Con altas dosis de N los altos rendimientos de los cultivos en siembra directa se explicarían por una mejor disponibilidad hídrica, en comparación con la labranza convencional (Wells, 1984).

El objetivo de este trabajo fue determinar si en el cultivo de soja los distintos sistemas de labranza y la inoculación afectan el crecimiento, el rendimiento y sus componentes ecofisiológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo del cultivo 1998 a 1999 se llevó a cabo en Azul, Argentina (36° 42' S, 59° 50' O) un experimento en un lote

therefore, grain crops, usually more deficient in N, have a lower yield than in conventional tillage (Grant *et al.*, 1985; Knowles *et al.*, 1993; Huggins and Pan, 1993). Limitations in N availability can reduce the generation of leaf area, sunlight capture, growth, number of seeds per area units, and therefore, yield (Vasilas *et al.*, 1989; Andrade, 1995). According to Wells (1984), low yields could be due to a greater immobilization of fertilizer N, loss due to de-nitrification or leaching, low mineralization of organic N, or a combination of these factors. On the other hand, biofertilization of leguminous crops is a low cost and widely accepted simple practice. Symbiosis of soybean crops with efficient strains makes use of an economical source of N, as it is the case of the atmosphere instead of chemical fertilization. These effects could be greater in areas with little history in soybean production, as it in the southeast of the province of Buenos Aires, where soils with naturalized strains of *Bradyrhizobium* are unusual.

In conservationist tillage systems, soybean crop response to inoculation is not well known. Nevertheless, high levels of nitrates in soil inhibit the formation of nodules and nitrogenase activity (Gibson and Harper, 1985). Therefore, a significant benefit could be expected from inoculation in no tillage since a lower availability of N would improve its efficiency and the contribution of biological N would increase growth rate of the crop in critical stages for yield formation, between R2 and R5 (Egli and Zhen-Wen, 1991; Andrade, 1995). When N availability is high, better crop yields in no tillage, in comparison with conventional tillage, could be explained because of better water availability (Wells, 1984).

The aim of this paper was to determine if different tillage systems and inoculation affect growth, yield and their ecophysiological components, in the soybean crop.

MATERIALS AND METHODS

During the 1998 to 1999 crop season an experiment was carried out in Azul, Argentina (36° 42' S, 59° 50' W) in an agricultural extensively used plot, where a trial of tillage systems has been applied since 1995. Soil is a Petrocalcic Paleudol with 5.5% of organic matter, moderately deficient in phosphorus and free from naturalized *Bradyrhizobium* population. At sowing it was fertilized with 55 kg de P₂O₅ ha⁻¹ which was incorporated in the sowing line. The experimental design was incomplete random blocks with an arrangement of divided plots with four replicates. The main plot treatments had types of tillage: with mouldboard plow (AR), which is the usual tillage system; with plow bottoms of 0.36 m wide at a depth of 0.18 m; tillage with chisel plow (EC) at a depth of 0.27 m, working the land twice with an implement with flexible tines whose adjacent shanks were 0.35 m apart; no tillage (SD) was done going over the land once with the planter, without

con prolongado uso agrícola, donde se realiza un ensayo de sistemas de labranza desde 1995. El suelo es un Paleudol Petrocálcico, con 5.5% de materia orgánica, moderadamente deficiente en fósforo y libre de población naturalizada de *Bradyrhizobium*. A la siembra se fertilizó con 55 kg de P_2O_5 ha^{-1} , incorporándolo en la línea de siembra. El diseño experimental fue de bloques incompletos al azar con un arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones. Los tratamientos de las parcelas principales fueron tres tipos de labranzas: con arado de reja y vertedera (AR), que es la labranza común en la zona, empleando un arado con cuerpos de 0.36 m de anchura a una profundidad de 0.18 m; labranza con escarificador de cincel (EC) a una profundidad de 0.27 m, realizando dos pasadas con un implemento de arcos flexibles cuyos planos de acción estaban separados 0.35 m entre sí; y siembra directa (SD) en una única pasada con la sembradora, sin laboreo previo del suelo. La cama de siembra en los dos primeros tratamientos se completó con rastra de discos de doble acción (35 kg $disco^{-1}$) y de dientes. En el tratamiento de siembra directa, previo a la siembra, se aplicó glifosato 48% (3 L PC ha^{-1}). Los subtratamientos fueron inoculación: sin y con la cepa USDA 138 (E 109) (*Bradyrhizobium japonicum*). La bacterización se realizó por el método húmedo con adherente a razón de 10^5 - 10^6 rizobios por semilla, sobre soporte turba esterilizado.

Cada parcela principal tenía 30 m de anchura y 70 m de longitud, con surcos espaciados a 0.7 m; el tamaño de las subparcelas fue 15 m de anchura por 70 m de longitud. Se utilizó el cultivar de soja Don Mario DM4700 (resistente a glifosato); la densidad fue 26 plantas m^{-2} . El control de malezas luego de la siembra se realizó con dos aplicaciones de glifosato 48% (5 y 2.5 L de PC ha^{-1}).

Al momento de la emergencia se marcaron, dentro de cada subparcela, tres unidades de muestreo de cuatro surcos y 15 m de longitud, donde se realizaron todas las determinaciones de crecimiento; los valores para cada subparcela se obtuvieron del promedio de las tres unidades de muestreo. El crecimiento se estudió a partir de muestras de material vegetal aéreo en varios momentos a lo largo del ciclo del cultivo (V4, R2, R4, R6 y luego de R8; Fher y Caviness, 1977). Las muestras se tomaron de los dos surcos centrales de la unidad y los cortes fueron de 1 m de longitud. Estas muestras se secaron en estufa hasta peso constante a de 60 °C. La tasa de crecimiento del cultivo (TCC, $g\ m^{-2}\ día^{-1}$) se calculó como el cociente entre la diferencia del peso seco total entre muestreos y el intervalo en días entre éstos. El porcentaje de la radiación fotosintéticamente activa (0.5 de la radiación total) interceptada (RFAi) por el cultivo se obtuvo con un sensor cuántico lineal Li-Cor 191 SB (Lincoln, Nebraska, EE.UU), conectado a un radiómetro Li-Cor 188 B. A intervalos de 10-15 d a partir del estadio vegetativo V4 se midió la radiación que atravesó el cultivo (I') e inmediatamente la incidente por encima del mismo (I_0), alrededor del medio día. Se realizaron cinco pares de mediciones por subunidad de muestreo, atravesando perpendicularmente con el sensor el surco de cultivo. El porcentaje de intercepción se calculó como $100[1-(I'/I_0)]$; el porcentaje de intercepción en los días restantes se calculó interpolando linealmente entre mediciones

previous tillage of the soil. The sowing bed in the two first treatments was completed with a disk harrow (35 kg $disk^{-1}$) and a teeth harrow. In the no tillage treatment, before planting, glyphosate 48% (3 L PC ha^{-1}) was applied. Subtreatment were inoculation: with and without the USDA 138 (*Bradyrhizobium japonicum*) strain. Bacterization was carried out by means of the wet method with adherent at a rate of 10^5 to 10^6 rhizobium per seed on a sterilized peat basis.

Each experimental unit was 30 m wide and 70 m long, with rows 0.7 m apart; the size of the subplots was 15 m long and 70 m wide. A Don Mario DM 4700 soybean cultivar (resistant to glyphosate) was used; density was 26 plants m^{-2} . Weed control after planting was done with two applications of glyphosate 48% (5 and 2.5 L PC ha^{-1}).

At emergence, three samplings units of four rows and 15 m long were marked within each experimental subplot, where all growth determinations were made. Values for each subplot were obtained from the average of the three sampling units. Growth was studied from samples of above ground plant material at several times along the crop cycle (V4, R2, R4, R6 and after R8; Fher and Caviness, (1977)). The samples were taken from two central rows of the unit and cuts were 1m long. These samples were dried on a heater up to a constant weight at 60 °C. Crop growth rate (CGR, $g\ m^{-2}\ d^{-1}$) was calculated as the quotient between the difference of total dry weight between samplings and their interval in days. The photo-synthetically active radiation percentage (0.5% of total radiation) intercepted (PARi) by the crop was obtained with a Li-Cor 191 SB (Lincoln, Nebraska, USA) connected to a Li-Cor 188B radiometer. At 10 to 15 day intervals starting at vegetative stage V4, radiation which passed through the crop (I') was measured, and immediately after the incident radiation above it (I_0), around midday. Five pairs of measurements per sampling subunits were carried out by crossing the row with the sensor perpendicularly. Interception percentage was calculated as $100[1-(I'/I_0)]$; interception percentage in the remaining days was estimated by interpolating linearly between successive measurements. The PAR intercepted by the crop ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) for each day was calculated as the product of the quotient between the PAR intercepted and the PAR incident of the day. The efficiency of conversion of the intercepted PAR in biomass or efficiency of radiation use (EUR, $g\ MJ^{-1}$), was calculated as the quotient between CGR and the intercepted PAR during the same period. The green area index (GAI) was measured by non-destructive method with a canopy analyzer LAI-2000 Li-Cor (Lincoln, Nebraska, USA). The bar with the sensor was placed above the crop and at ground level in four pairs of measurements per plot, crossing diagonally the inter-row.

Total daily radiation and maximum and minimum temperatures were measured in the meteorological station in the Centro Regional de Agrometeorología de Facultad de Agronomía de Azul.

During the crop cycle water content was recorded in soil and records were published by Balbuena *et al.* (2000). The amount of soil nitrates at planting time and the dry weight of nodules per plant in V4 were also measured, (Lett *et al.*, 1999).

sucesivas. La RFA interceptada por el cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) para cada día, se calculó como el producto de la fracción de RFA interceptada y la RFA incidente del día. La eficiencia de conversión de la RFA interceptada en biomasa, o eficiencia de uso de la radiación (EUR, g MJ^{-1}), se calculó como el cociente entre TCC y la RFA interceptada durante un mismo período. El índice de área verde (IAV) se midió por un método no destructivo con un analizador de dosel LAI-2000 Li-Cor (Lincoln, Nebraska, EE.UU.). La barra con el sensor fue colocada por encima del cultivo y al nivel del suelo en cuatro pares de mediciones por parcela, atravesando diagonalmente el entresurco.

La radiación total diaria y las temperaturas máximas y mínimas se midieron en la estación meteorológica del Centro Regional de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía de Azul.

Durante el ciclo de cultivo fue monitorizado el contenido de humedad en el suelo; los datos fueron publicados por Balbuena *et al.* (2000). También se midió la cantidad de nitratos en el suelo a la siembra y el peso seco de nódulos por planta en V4 (Lett *et al.*, 1999).

En madurez se cosechó manualmente en cada subparcela una superficie de 10.5 m^2 , y se trillaron las vainas para determinar el rendimiento. El peso de la semilla se obtuvo pesando dos submuestras de 500 semillas cada una. El número de semillas m^{-2} se calculó a partir del rendimiento y el peso de la semilla.

Los datos se analizaron a través del análisis de varianza, y se utilizó la diferencia mínima significativa para comparar las medias de los tratamientos. La relación entre las variables se analizó mediante regresiones lineales y correlaciones. En todos los casos se utilizó un nivel de significancia $p \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El crecimiento del cultivo en los primeros estadios fue mayor en el sistema de labranza convencional (AR), independientemente del nivel de inoculación, lo que permitió que en V4 la acumulación de materia seca fuera 54% mayor (Cuadro 1) que el promedio de los dos sistemas restantes (siembra directa, SD; escarificador de cincel, EC). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Yusuf *et al.* (1999), quienes encontraron que el crecimiento inicial del cultivo de soja fue mayor en AR que en SD. Este efecto de las labranzas sobre el crecimiento se debió, principalmente, a la diferente disponibilidad de N generada por cada sistema. La concentración de nitratos en los primeros 20 cm de suelo en el sistema AR, al momento de la siembra, fue el doble que en los otros dos sistemas ($53.8, 29.6$ y 23.3 mg. kg^{-1} para AR, EC y SD). El peso seco en V4 se relacionó positivamente con dicha concentración de nitratos ($r=0.70, gl=4$), independientemente del sistema de labranza o del nivel de inoculación. Estos datos coinciden con los de otros autores (Grant *et al.*, 1985; Knowles *et al.*, 1993; Huggins y Pan, 1993) quienes encontraron mayor deficiencia de nitrógeno en SD. En este estado de desarrollo la inoculación no

When ripe, an area of 10.5 m^2 was hand harvested in each subplot and pods were thrashed in order to determine yield. Seed dry weight was obtained weighing two subsamples of 500 seeds each. The number of seeds m^{-2} was calculated using yield and seed weight.

Data were analyzed by analysis of variance and the minimum significant difference was used to compare treatments means. The relationship between variables was analyzed by means of linear regressions and correlations. In all cases a level of significance of $p \leq 0.05$ was used.

RESULTS AND DISCUSSION

Crop growth in the first stages was greater in the conventional tillage system (AR), independently from the level of inoculation, which allowed dry matter accumulation in V4 to be 54% greater (Table 1) than the average of the other two systems (no tillage, SD; chisel plow, EC). These results agree with those obtained by Yusuf *et al.* (1999), who found that the initial growth of the soybean crop was greater in AR than in SD. This effect of tillage systems on growth was due mainly to a different level of N availability generated by each system. The nitrate concentration in the top 0.2m of soil in AR, at sowing was double the other two systems ($53.8, 29.6$ and 23.3 mg kg^{-1} for AR, EC and SD). Dry weight in V4 was positively related with the nitrate concentration ($r=0.70, df=4$), independently from the tillage system or the level of inoculation. These data coincide with those of other authors (Grant *et al.*, 1985; Knowles *et al.*, 1993; Huggins and Pan, 1993) who found greater N deficiency in SD. In this stage of development, inoculation did not have effects on crop dry weight (Table 1), but nodulation was already significantly different (data presented in Lett *et al.*, 1999) since nodule dry weight per plant was 21.6, 19.9 and 40.9 mg in AR, EC and SD.

In R2, at the beginning of the critical period for yield determination (Egli and Zhen-Wen, 1991; Andrade, 1995) there were no advantages of AR over SD; the cause would be the greater amount of water in the SD soil profile (data presented by Balbuena *et al.*, 2000). Crop growth in EC was lower than with the other two systems (Table 1), in subplots without inoculation as well as in those inoculated. Without inoculation, growth in EC was 25% lower than the average of the other two systems; in biofertilized plots it was 44% and 22% lower than SD and AR. Under the environmental conditions of the experiment, EC was the treatment with worst combination of N and water deficit effect. Nitrate concentration at sowing was as low as in SD and nodulation in V4 was similar to that in AR. The amount of water up to 0.6m depth was lower than SD and similar to AR (except in December, in the early stages of the crop, where it had lower absolute values for the top layer

Cuadro 1. Peso seco en etapa vegetativa (V4) y reproductivas (R2 y R6), índice de área verde (IAV) en R2 y R6, tasa de crecimiento del cultivo (TCC), radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) y eficiencia de uso de la radiación (EUR) en el período R2-R6, de distintos sistemas de labranza con y sin biofertilización de soja.

Table 1. Dry weight in vegetative (V4) and reproductive stages (R2 and R6), green area index (IAV) in R2 and R6, crop growth rate (TCC), intercepted photosynthetically active radiation (RFAi) and radiation use efficiency (EUR) from R2 to R6, from different tillage systems and biofertilization in soybean.

Labranza	Inoc.	PS V4 (g m ⁻²)	PS R2 (g m ⁻²)	IAV R2	PS R6 (g m ⁻²)	TCC (g m ⁻² d ⁻¹)	RFAi (MJ m ⁻² d ⁻¹)	EUR (g MJ ⁻¹)	IAV R6
AR	-	59	68	2.3	581	13.5	9.4	1.4	2.8
EC	-	37	48	1.5	454	10.7	8.0	1.3	2.3
SD	-	40	61	2.0	509	11.8	9.0	1.3	2.7
AR	+	60	74	2.5	747	17.7	9.6	1.8	3.3
EC	+	31	58	1.7	607	14.4	8.8	1.6	2.7
SD	+	47	104	3.6	760	17.3	10.8	1.6	5.0
DMS1		20.5	19.3	0.14	65.6	1.64	0.32	0.16	0.29
DMS2		10.5	33.6	0.19	111.5	2.80	0.41	0.31	0.59
Int. L×I		NS	*	*	NS	NS	*	NS	*

DMS1: Diferencia mínima significativa para comparar labranzas; DMS2: Diferencia mínima significativa para comparar inoculación dentro de un mismo nivel de labranzas; Int. L×I. Interacción labranza por inoculación; NS: No significativo; *: Significativo ($p \leq 0.05$); AR: Arado de reja y vertedera; EC: Escarificador de cincel; SD: Siembra directa. (-): sin inoculación, (+): con inoculación ♦ DMS 1: Minimum significant difference to compare tillage; DMS 2: Minimum significant difference to compare inoculation within the same level of tillage; Int. L×I: Interaction tillage by inoculation; NS: not significant; *: Significant ($p \leq 0.05$).

produjo efectos sobre el peso seco del cultivo (Cuadro 1), pero la nodulación ya era significativamente diferente (datos presentados en Lett *et al.*, 1999), ya que el peso seco de nódulos por planta fue 21.6, 19.9 y 40.9 mg en AR, EC y SD.

En R2, al inicio del período crítico para la determinación del rendimiento (Egli y Zhen-Wen, 1991; Andrade, 1995), no hubo ventajas del sistema AR sobre el SD; la causa sería la mayor cantidad de agua en el perfil del suelo en SD (datos presentados por Balbuena *et al.*, 2000). El crecimiento del cultivo en EC fue inferior al de los otros dos sistemas (Cuadro 1), tanto en las subparcelas sin inoculación como en las inoculadas. Sin inoculación el crecimiento en EC fue 25% inferior al promedio de los dos sistemas restantes; en las subparcelas biofertilizadas fue 44% y 22% inferior a SD y AR. En las condiciones ambientales del experimento, EC fue el tratamiento con la peor combinación de efectos de déficit de N y agua. La concentración de nitratos a la siembra fue tan baja como en SD y la nodulación en V4 fue similar que en AR. La cantidad de agua hasta 60 cm de profundidad fue inferior a SD y similar a AR (salvo en diciembre, en las primeras etapas del cultivo, donde EC alcanzó valores absolutos más bajos para el estrato superior del suelo); datos presentados en Balbuena *et al.* (2000). En ese momento, R2, el índice de área verde en EC fue 1.6, que le permitió interceptar sólo 64% de la radiación fotosintéticamente activa incidente; el promedio del IAV para los otros dos sistemas fue 2.6 y la RFA interceptada fue 81.5%. En esta etapa el efecto de la biofertilización, tanto en biomasa seca como en IAV

of soil); data presented in Balbuena *et al.* (2000). At that time, R2, the green area index in EC was 1.6, which let it intercept only 64% of the incident photosynthetically active radiation; average GAI for the other two systems was 2.6 and intercepted PAR was 81.5%. In this stage the effect of biofertilization in dry biomass as well as in GAI (Table 1) was different among tillage systems, which generated interaction between tillage and inoculation. The greater increase in crop dry weight and GAI, was in SD; this shows the greater efficiency, since the early stages, of the symbiotic system in SD.

Between stages R2 and R6, crop growth rate was affected by the tillage system and inoculation. The fast increase in the percentage of PARi in inoculated SD, after R2, allowed to obtain a high CGR, similar to that of AR (Table 1). The lowest CGR were observed in EC which, combined with the low initial weight in R2, caused dry weight in R6 to be significantly lower than that of the other two systems (Table 1). At this time, crop dry weight was affected by tillage system and inoculation. Although interaction was not significant, dry weight increase due to inoculation was 28% in AR, 34% in EC and 49% in SD. The green area index in R6 (Table 1) was greater in inoculated SD; the same was true for the accumulated PARi between R2 and R6.

In the subtreatments without inoculation, the EUR was significantly lower than in those biofertilized, which would be explained by lower N availability. Photosynthetic efficiency decreases when N availability is low (Sinclair and Horie, 1989) and reduces crop EUR (Andrade *et al.*, 2000b). In inoculated subtreatments, the

(Cuadro 1), fue diferente según el sistema de labranza, lo que provocó interacción entre labranza e inoculación. El mayor incremento en peso seco del cultivo e IAV, fue en SD; esto evidencia la mayor eficiencia, desde etapas más tempranas, del sistema simbiótico en SD.

Entre los estadios R2 y R6, la tasa de crecimiento del cultivo resultó afectada por el sistema de labranza y la inoculación. El rápido incremento en el porcentaje de la RFAi en SD inoculada, luego de R2, permitió obtener una elevada TCC, similar a la de AR (Cuadro 1). Las menores TCC se observaron en EC lo que provocó, sumado al bajo peso inicial en R2, que el peso seco en R6 fuera significativamente menor al de los otros dos sistemas (Cuadro 1). En este momento, el peso seco del cultivo resultó afectado por el sistema de labranza y la inoculación. Aunque la interacción no fue significativa, el incremento de peso seco debido a la inoculación fue 28% en AR, 34% en EC y 49% en SD. El índice de área verde en R6 (Cuadro 1) fue mayor en SD inoculado, al igual que la RFAi acumulada entre R2 y R6.

En los subtratamientos sin inoculación, la EUR fue significativamente menor que en los biofertilizados, lo que se explicaría por una menor disponibilidad de N. La eficiencia fotosintética disminuye cuando la disponibilidad de N es baja (Sinclair y Horie, 1989) y reduce la EUR en el cultivo (Andrade *et al.*, 2000b). En los subtratamientos inoculados, la mayor EUR se alcanzó en AR (1.8 g MJ^{-1}), valor que no difiere de $1.74 \pm 0.06 \text{ g MJ}^{-1}$ reportado por Andrade (1995) para soja creciendo sin limitaciones hídricas ni nutricionales, en la misma zona agroecológica. Los menores valores en siembra directa y en escarificador de cincel se deberían a diferentes causas. En SD podría deberse al mayor costo energético de la fijación simbiótica, si se la compara con la asimilación de N a partir del nitrógeno del suelo. Según Sprent (1987), este costo es 2.5 a 3.6 veces mayor, aunque las plantas en simbiosis tendrían una serie de ventajas adaptativas que reduciría esta diferencia. En este sentido, el subtratamiento SD inoculado mantuvo un mayor peso nodular que los dos sistemas de labranza con remoción de suelo (Lett, comunicación personal); sin embargo, tanto EC como AR tuvieron similar biomasa nodular. Una posible explicación para la menor EUR en EC podría ser la menor disponibilidad hídrica en el estrato superficial del suelo en EC respecto a AR (datos presentados por Balbuena *et al.*, 2000), lo que habría afectado a los dos componentes de la simbiosis. La sensibilidad de la simbiosis al estrés hídrico es alta (Graham, 1992), y hay diferencias en EUR asociadas al mismo (Dardanelli *et al.* 1991).

El número de semillas m^{-2} fijadas (Cuadro 2) estuvo asociado con la TCC entre R2 y R6 ($r=0.86$, $gl=4$), habiéndose fijado 116 semillas por cada unidad de TCC. El intercepto no difiere de cero, lo que concuerda con

greater EUR was reached in AR (1.8 g MJ^{-1}), a value that does not differ from $1.74 \pm 0.06 \text{ g MJ}^{-1}$ reported by Andrade (1995) for soybean growing without water or nutritional limitations in the same agroecological area. The lower values in no tillage and in chisel plow could be due to different causes. In SD it could be attributed to a greater energetic cost of the symbiotic fixation, if compared with N assimilation from soil nitrogen. According to Sprent (1987) this cost is 2.5 to 3.6 times greater, although plants in symbiosis would have a number of adaptative advantages that would reduce this difference. In this sense, the inoculated SD subtreatment maintained greater nodule weight than in the two tillage systems with soil removal (Lett., personal communication); however, EC as well as AR had similar nodular biomass. A probable explanation for the lower EUR in EC could be lower water availability in the superficial soil layer in EC with respect to that in AR (data presented by Balbuena *et al.*, 2000), which would have affected the two components of symbiosis. Symbiosis sensitivity to water stress is high (Graham, 1992) and there are associated differences in EUR (Dardanelli *et al.*, 1991).

The number of seeds m^{-2} fixed (Table 2) was associated with CGR between R2 and R6 ($r=0.86$, $df=4$), having fixed 116 seeds per CGR unit. The intercept does not differ from zero, which agrees with Egli (1988), who related growth rate per plant with the number of seeds fixed. This situation would also indicate little change in the partition of photoassimilates among the different treatments throughout this period. The number of seeds was associated with CGR between R2 and R6; however, there was a better association with the accumulated PARi throughout this period or with GAI in R6 ($r=0.93$, $df=4$).

In most of the variables measured in the reproductive period there was a strong interaction between tillage and inoculation, but it could be detected neither in CGR nor in dry weight in R6. A possible explanation could be that N_2 fixation consumes, approximately, 10% of photosynthesis products (Imsande, 1989). Therefore, as SD had a greater nodular weight than in the other systems, part of the photosynthesis products in this stage of strong biologic fixation would be partitioned to nodules rather than to growth of the aerial part, in spite of the better nitrogen and water condition of this system. Soybean yield is usually limited by the capacity of the photosynthetic source as from R4 (Andrade *et al.*, 2000a). Therefore, a greater GAI in SD would indicate a better growth condition towards the end of the stage, which was not reflected in the crop growth rate, but would have allowed lower abortion of small pods or seeds in pods. The use of a cultivar of indeterminate growth habit would also have contributed to show these differences.

In subtreatments without inoculation yield was greater (Table 2) in AR with respect to EC (10% lower)

Egli (1988), quien relacionó la tasa de crecimiento por planta con el número de semillas fijadas. Esta situación también indicaría poco cambio en la partición de fotoasimilados entre los distintos tratamientos durante este período. El número de semillas se asoció con la TCC entre R2 y R6, pero se encontró una mejor asociación con la RFAi acumulada durante este período o con el IAV en R6 ($r=0.93$, $gl=4$).

En la mayoría de las variables medidas en el período reproductivo existió una fuerte interacción entre labranza e inoculación, pero ésta no pudo detectarse en TCC ni tampoco en peso seco en R6. Una posible explicación podría ser que la fijación de N_2 consume, aproximadamente, 10% de los productos de la fotosíntesis (Imsande, 1989). Entonces, como SD tenía una carga nodular mayor que la de los otros sistemas, parte de los productos de la fotosíntesis en esta etapa de fuerte fijación biológica sería particionada a los nódulos más que al crecimiento de la parte aérea, pese a la mejor condición nitrogenada e hídrica de este sistema. El rendimiento de soja está limitado generalmente por la capacidad de la fuente fotosintética a partir de R4 (Andrade *et al.*, 2000a). Por tanto, un mayor IAV en SD indicaría una mejor condición de crecimiento hacia el final de la etapa, que no alcanzó a reflejarse en la tasa de crecimiento del cultivo, pero que habría posibilitado un menor aborto de vainas pequeñas o de semillas en las vainas. La utilización de un cultivar de hábito de crecimiento indeterminado también contribuiría a manifestar estas diferencias.

En los subtratamientos sin inoculación el rendimiento fue mayor (Cuadro 2) en AR respecto a EC (10% menor) y SD (28% menor). En ausencia de aportes extra de N mediante la fijación biológica, el rendimiento estaría relacionado con la capacidad de cada sistema de labranza para mineralizar nitrógeno. Por ello, el menor rendimiento en SD, como se encontró en cultivos de trigo (Eck y Jones, 1992), sorgo (Knowles, *et al.*, 1993) y maíz (Rice *et al.*, 1986). La mayor humedad del suelo alcanzada por la SD durante el ciclo del cultivo (datos presentados por Balbuena *et al.*, 2000), no benefició la producción de granos cuando no se inoculó la semilla.

La inoculación aumentó el rendimiento del cultivo (Cuadro 2) con SD, mientras que con AR y EC los incrementos fueron significativamente menores. El aumento en el rendimiento producido por la inoculación en los sistemas con remoción de suelo resultó similar a lo mencionado por González *et al.* (1998) en la misma zona agroecológica. Estos efectos de la inoculación, hasta alrededor 1000 kg ha^{-1} de incremento, se obtienen cuando se inocula por primera vez un cultivo en suelos desprovistos de rizobios (González, 2000), como ocurrió en este caso. En siembra directa, sin embargo, el incremento sobre el subtratamiento sin inocular fue más de dos veces superior a los hallados en los sistemas con remoción de suelo (Cuadro 2). Este infrecuente

Cuadro 2. Rendimiento, número de semillas m^{-2} y peso de semilla de soja, proveniente de tres sistemas de labranza y dos niveles de inoculación, en Azul, 1998.

Table 2. Yield, number of seeds m^{-2} and seed weight, from different tillage systems and levels of inoculation of a soybean crop in Azul (Argentina), in 1998.

Labranza	Inoculación	Rendimiento (g m^{-2})	Número de semillas (m^{-2})	Peso de de semilla (mg)
AR	-	218.7	1555	141.2
EC	-	197.3	1321	149.2
SD	-	157.3	1381	113.9
AR	+	318.4	1822	175.0
EC	+	306.0	1794	170.7
SD	+	387.3	2368	163.8
DMS1		25.27	153.38	3.49
DMS2		23.40	150.6	4.70
Int. L×I		*	*	*

DMS1: Diferencia mínima significativa para comparar labranzas; DMS2: Diferencia mínima significativa para comparar inoculación dentro de un mismo nivel de labranzas; Int L×I. Interacción labranza por inoculación; AR: Arado de reja y vertedera; EC: Escarificador de cincel; SD: Siembra directa; (-): sin inoculación; (+): con inoculación; *: Significativo ♦ DMS1: Minimum significant difference to compare tillage systems. DMS2: Minimum significant difference to compare inoculation within the same level of tillage. Int. L×I: Interaction tillage by inoculation. Ns: not significant. *: significant ($p \leq 0.05$).

and SD (28% lower). In absence of extra N contributions by means of biological fixation, yield would be related to the capability of each tillage system to mineralize nitrogen. Therefore, yield in SD was lower, as found in wheat (Eck and Jones, 1992), sorghum (Knowles *et al.*, 1993) and corn (Rice *et al.*, 1986) crops. Greater soil humidity reached by SD during the crop cycle (data presented by Balbuena *et al.*, 2000) did not help grain production when seed was not inoculated.

Inoculation increased crop yield (Table 2) with SD, whereas increases were significantly lower with AR and EC. Yield increase produced by inoculation in systems with soil removal was similar to that mentioned by González *et al.* (1998) in the same agroecologic area. These effects of inoculation, up to about 1000 kg ha^{-1} increase, are obtained when soils without rhizobium are inoculated for the first time (González, 2000), as it happened in this case. In no tillage, however, increase over subtreatment without inoculation was more than twice higher than those found in the systems with soil removal (Table 2). This unusual increase in yield because of inoculation could not only be due to the beneficial effect of bacteria, but also because of a yield depression in SD when not inoculated, due to lower N availability compared to the other systems.

Tillage systems and inoculation significantly modified the two main yield components. Yield can be

incremento en el rendimiento por acción de la inoculación podría deberse no solamente al efecto benéfico de las bacterias, sino también a una depresión del rendimiento en SD cuando no se lo inocula, debido a la menor disponibilidad de N comparado con los otros sistemas.

Las labranzas y la inoculación modificaron significativamente los dos principales componentes del rendimiento, lo cual puede explicarse mejor por cambios en el número de semillas m^{-2} ($r=0.95$, $gl=4$) que por el peso de las mismas ($r=0.83$, $gl=4$). Esta mejor asociación con el número de semillas m^{-2} coincide con otros autores (Egli, 1988; Andrade, 1995), quienes encontraron que el número de semillas es el componente más asociado con el rendimiento. Sin embargo, en ensayos específicos de inoculación en suelos bajo labranza convencional, hubo un gran efecto sobre el peso de las semillas (Imsande, 1989; Lett *et al.*, 1998)

La inoculación aumentó (76%) el rendimiento, debido a efectos tanto sobre el número de semillas m^{-2} (40%) como sobre su peso (25%). El número de semillas estuvo asociado con las condiciones de crecimiento del cultivo entre R2 y R6, en etapas tempranas del período reproductivo. El aumento en el peso de las semillas se debería a una mayor duración del área foliar. González³ (1994) encontró que el área foliar de cultivos de soja inoculados se mantuvo verde 5 a 6 d más que la de los testigos sin inocular, lo que corresponde con lo observado visualmente en este experimento.

En los subtratamientos inoculados, donde el número de semillas m^{-2} fijadas fue mayor (Cuadro 2, Figura 1), existió una relación inversa entre el peso y el número de semillas ($r=-0.81$). Esto indicaría algún grado de limitación por fuente y podría explicarse por la elevada demanda de C y N originada por la mayor cantidad de destinos (receptáculos) fijados. Lo anterior fue más evidente en SD, donde la mejor condición hídrica permitió fijar mayor cantidad de destinos; la radiación interceptada y la duración del área foliar fueron mayores, pero la fuente fue insuficiente para alcanzar un peso de semillas similar al de AR. Entonces es posible el éxito de una fertilización complementaria, especialmente en SD, donde el N proveniente de la inoculación no sería suficiente para lograr un elevado peso de semillas.

En los subtratamientos sin inocular la disponibilidad de nitrógeno durante la fijación de las semillas habría sido suficientemente escasa como para limitar el número de destinos fijados. De este modo la menor demanda habría estado balanceada con la menor fuente disponible, como lo sugiere la ausencia de correlación entre ambos componentes del rendimiento.

better explained by changes in the number of seeds m^{-2} ($r=0.95$, $df=4$) than their weight ($r=0.83$, $df=4$). This better association with the number of seeds m^{-2} agree with other authors (Egli, 1988; Andrade, 1995) who found that the number of seeds was the component best associated with yield. Nevertheless, in specific trials of inoculation in soils with conventional tillage, there was great effect on weight of seeds (Imsande, 1989; Lett *et al.*, 1998).

Inoculation increased yield (76%) due to effects on the number of seeds m^{-2} (40%) as well as on their weight (25%). The number of seeds was associated with the crop growth conditions between R2 and R6 in early stages of the reproductive period. The increase of seed weight would be due to greater duration of leaf area. González³ (1994) found that leaf area of soybean crops kept green 5 to 6 d longer than that of control without inoculation, which agrees with that visually observed in this experiment.

In inoculated subtratamientos, where the number of seeds m^{-2} fixed was greater (Table 2, Figure 1), there was an inverse relationship between weight and number of seeds ($r=-0.81$) This would indicate a certain degree of source limitation and could be explained by the high demand of C and N originated by a greater number of fixed destinations (receptacles). The aforementioned was more evident in SD, where the better water condition allowed the fixation of more destinations; the intercepted radiation and the leaf area duration were longer, but the source was insufficient to reach a seed weight similar to

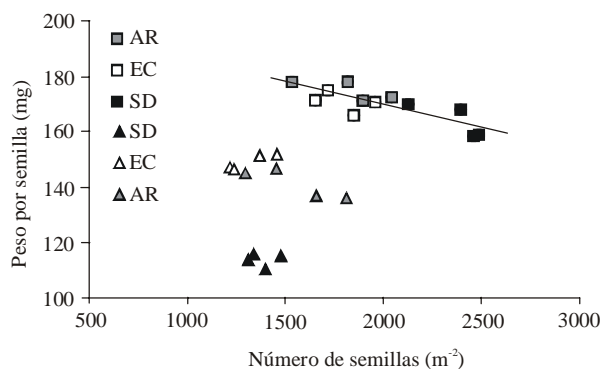


Figura 1. Relación entre el peso y el número de semillas m^{-2} de soja bajo distintos sistemas de labranzas. Símbolos oscuros, siembra directa; grises, arado de reja y vertedera; blancos, escarificador de cincel; con (■) y sin (▲) inoculación con *Bradyrizobium japonicum*.

Figure 1. Relationship between weight and number of seeds m^{-2} of soybean in different tillage systems with (■) and without (▲) inoculation with *Bradyrizobium* in Azul, 1998.

³ González, N. 1994. Dinámica de la fijación de nitrógeno en soja, en suelos con alta fertilidad nitrogenada. Tesis Mg. Sc. Facultad de Ciencias Agrarias. UNMDP, Argentina. 60 p.

CONCLUSIONES

Los sistemas de labranza modifican el crecimiento y el rendimiento del cultivo de soja en la Pampa Húmeda (Azul, Argentina).

Sin inoculación, los rendimientos son menores en cultivos bajo siembra directa, intermedios bajo escarificador de cincel y mayores bajo arado de reja y vertedera.

La biofertilización aumenta el crecimiento durante etapas críticas y el rendimiento del cultivo.

El efecto de la fijación biológica de nitrógeno es mayor en el sistema de siembra directa que en los otros dos; esto permite sostener una mejor condición para el crecimiento del cultivo en la etapa crítica de determinación del rendimiento, originando mayor número y peso de semillas en este sistema.

LITERATURA CITADA

- Andrade, F. H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Res.* 41: 1-12.
- Andrade, F. H., L. A. N. Aguirrezábal, y R. H. Rizzalli. 2000 a. Crecimiento y rendimiento comparados. *In: Bases para el Manejo del Maíz, el Girasol y la Soja.* Andrade F. H. y V. O. Sadras (eds.). Editorial Médica Panamericana. Balcarce, Argentina. pp: 61-96.
- Andrade, F. H., H. E. Echeverría, N. S. González y S. Uhart. 2000 b. Requerimientos de nutrientes minerales. *In: Bases para el Manejo del Maíz, el Girasol y la Soja.* Andrade F. H. y V. O. Sadras. (eds). Editorial Médica Panamericana. Balcarce, Argentina. pp: 207-233.
- Balbuena, R., J. Ressia, G. Mendivil, M. de Pablo y J. Domínguez Brito. 2000. Sistemas de labranza y tráfico durante la siembra. Efectos sobre la impedancia mecánica. (En prensa) *Revista Agro Ciencia*, Chile. Diciembre de 2000. ISSN N° 0716-1689
- Dardanelli, J. L., E. E. Suero, F. H. Andrade and J. M. Andreani. 1991. Water deficits during reproductive growth of soybeans. II. Water use and water deficiency indicators. *Agronomie.* 11: 747-756.
- Eck, H. V., and O. R. Jones. 1992. Soil nitrogen as affected by tillage, crops and crops sequences. *Agron. J.* 84:660-668.
- Egli, D. B. 1988. Alterations in plant growth and dry matter distribution in soybean. *Agron. J.* 80:86-90.
- Egli, D. B., and Y. Zhen-Wen. 1991. Crop growth rate and seeds per unit area in soybean. *Crop Sci.* 31:439-442.
- Fher, W. R., and C. E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. SR-80, Iowa Agric. Exp. St. Ames IA, 11 p.
- Gibson, A. H. and J. E. Harper. 1985. Nitrate effect on nodulation of soybean by *Bradyrhizobium japonicum*. *Crop Sci.* 25:497-501.
- González, N. 2000. Fijación de nitrógeno en soja. uso de inoculantes. *In: XVII Jornadas de actualización profesional de cosecha gruesa.* Mar del Plata, Argentina. pp: 100-103.
- González, N., A. Peticari, B. Stegman de Gurfinkel, y E. Rodríguez Cáceres. 1998. Nutrición nitrogenada. *In: El Cultivo de Soja en la Argentina.* Giorda, L y H Baigorri (eds.). Editar, San Juan, Argentina. pp: 188-198.
- Graham, P. H. 1992. Stress tolerance in Rhizobium and Bradyrhizobium, and nodulation under adverse soil conditions. *Can. J. Microbiology.* 38: 475-484.

that of AR. Then, it is possible a successful complementary fertilization, especially in SD, where N from inoculation would not be enough to reach high seed weight.

In subtreatments without inoculation, nitrogen availability during seed fixation would have been low enough to limit the number of fixed destinations. Thus, low demand would have been balanced with the lowest available source, as suggested by the lack of correlation between both yield components.

CONCLUSIONS

Tillage systems modify growth and yield of soybean crops in the Humid Pampa (Azul, Argentina).

Without inoculation, yield is lower in no tillage crops, intermediate with chisel plow and greater with moldboard plow.

Biofertilization increases growth during critical stages and crop yield.

The effect of biological fixation of nitrogen is greater in the no tillage system than in the other two; this allows to keep better conditions for crop growth in the critical stage of yield determination, generating greater number and weight of seeds in this system.

—End of the English version—



- Grant, C. A., E. H. Stobbe and G. J. Racz. 1985. The effect of fall applied N and P fertilizer and timing of N application on yield and protein content of winter wheat grown on zero-tilled land in Manitoba. *Can. J. Soil Sci.* 65: 621-628.
- Huggins, D. R., and W. L. Pan. 1993. Nitrogen efficiency component analysis. An evaluation of cropping system differences in productivity. *Agron. J.* 85: 898-905.
- Imساند, J. 1989. Rapid dinitrogen fixation during soybean pod fill enhances, net photosynthetic output and seed yield: a new perspective. *Agron. J.* 81: 549-556.
- Knowles, T. C., B. S. Hipp, P. S. Graff, and D. S. Marshall. 1993. Nitrogen nutrition of rainfed winter wheat in tilled and no till sorghum and wheat residues. *Agron. J.* 85: 886-893.
- Lett, L., W. Draghi, A. Peticari, y J. Pacheco Basurco. 1998. Tolerancia de la simbiosis *Bradyrhizobium japonicum-Glycine max* (L.) Merr. bajo diferentes condiciones de fertilización nitrogenada en la zona centro de la Provincia de Buenos Aires (Rep. Argentina). *In: Memorias de la XIX Reunión Latinoamericana de Rhizobiología.* Venezuela. pp: 98-100.
- Lett L., G. Portela., J. Ressia, G. Mendivil, L. Lázaro, y R. Balbuena. 1999. Alternativas en el manejo cultural de soja (*Glycine max* L. Merr) sobre la nodulación y el rendimiento. *In: Biología del Suelo. Fijación Biológica de Nitrógeno.* A. Stegmayer, A., S. Pernasetti y C. Gómez Bello. (eds.) Universidad Nacional de catamarca. Catamarca, Argentina. pp: 313-316.
- Rice, C. J., M. S. Smith, and R. L. Bleuins. 1986. Soil nitrogen availability after long-term continuous no tillage and conventional tillage corn production. *Soil Sci. Am. J.* 50:1206-1210.

- Sinclair, R. T., and T. Horie. 1989. Crop physiology and metabolism. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Sci.*, 29: 90-98.
- Sprent, J. I. 1987. *The Ecology of Nitrogen Cycle*. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 151 p.
- Vasilas, B. L., J. Fuhrmann, and L. E. Gray. 1989. Response of soybean to lower-canopy defoliation during seed fill. *Can. J. Plant Sci.* 69:17-22.
- Wells, K. L. 1984. Nitrogen management in the No-till system. *In: Nitrogen in Crop Production*. R. D. Hauck ed. ASA. Madison, Wisconsin USA. pp: 535-550.
- 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.