

Efectos de los sistemas de labranza y la inoculación en soja en siembra tardía

Lázaro, L.; J. Ressia, L. Lett, G. Mendivil, M. Agostini, C. de Pablo y R. Balbuena

RESUMEN

En siembra directa (SD) temprana de soja, la biofertilización permite mayores rendimientos que en labranza convencional. Poco se sabe del comportamiento en siembras tardías. El objetivo del trabajo fue estudiar el efecto de los sistemas de labranza y la inoculación, en condiciones de siembra tardía y suelo con rizobios. El experimento se realizó en Azul (Buenos Aires, Argentina), y la siembra fue el 29/12/00. El tratamiento principal consistió en sistemas de labranza: i) arado de reja y vertedera, ii) escarificador de cincel y iii) SD; el subtratamiento: inoculación (sin *Bradyrhizobium japonicum* —E109— y con éste). El crecimiento temprano del cultivo fue 13 % mayor en los sistemas con remoción de suelo que en SD. Sin embargo, el rápido incremento en el porcentaje de interceptación producido en SD, al inicio del período reproductivo permitió que, entre R3 y R6, la tasa de crecimiento del cultivo fuese similar entre sistemas. No se detectaron diferencias entre tratamientos en el número de semillas ni en el rendimiento, probablemente debido a que la estación de crecimiento resultó muy corta en este ambiente (95 días). El rendimiento de soja en siembras tardías no se afectó ni por las labranzas ni por la inoculación.

Palabras clave: Sistemas de labranza, biofertilización, soja

Lázaro, L.; J. Ressia, L. Lett, G. Mendivil, M. Agostini, C. de Pablo and R. Balbuena. Effects of tillage systems and inoculation in late planted soybean. Agriscientia XXI (2): 59-66

SUMMARY

The no tillage system of early sowings of inoculated soybean seeds allow for higher

Fecha de recepción: 15/07/04; fecha de aceptación: 21/12/04

yields than conventional tillage systems. However, little is known about the performance of different systems in late sowings. A field experiment was carried out in Azul (Buenos Aires, Argentina) with soybean (planted on 29/12/00) to study the crop growth and yield of late sowings in three tillage systems in a colonized rhizobial soil. The tillage systems were: moldboard plow, chisel plow and no tillage with and without strain *Bradyrhizobium japonicum* —E 109— seed inoculant. In terms of dry weight, early growth was 13 % higher in moldboard plow and chisel plow as compared with no tillage. During the R3 to R6 growth stages, the growth rate was similar for all inoculation treatments and tillage systems, with direct tillage showing a rapid increase in the percentage of solar radiation interception rate at early reproductive stages. The number of seeds and crop yield were not significantly affected. The crop cycle was shortened to 95 days overall. The soybean yield, in late sowing was not affected neither by the tillage systems or the inoculation treatments.

Key words: tillage systems, inoculation, soybean.

L. Lázaro, J. Ressia, L. Lett, G. Mendivil, M. Agostini y C. de Pablo. Facultad de Agronomía, UNCPBA. Av. República de Italia 780, 7300 Azul, Argentina. R. Balbuena. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. (llazaro@faa.unicen.edu.ar)

INTRODUCCIÓN

La gran expansión del cultivo de soja y del doble cultivo trigo-soja intensificó la agricultura en la mayoría de las áreas cultivables del país y acentuó en los últimos años la degradación de los suelos. La adopción de la siembra directa por parte de muchos agricultores en los últimos 15 años ha atenuado los procesos de degradación física de los suelos aunque en general no se ha complementado con un adecuado programa de fertilización (Darwich, 2003). La gran difusión de la siembra directa se debe a las ventajas que presenta en cuanto al menor costo de implantación de los cultivos, a paquetes tecnológicos adaptados para este sistema, a la reducción de la erosión del suelo y a la conservación del agua. Sin embargo, varios autores coinciden en señalar que, en general, en los primeros años de adopción 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 & Jones, 1992; Knowles *et al.*, 1993). A bajas dosis de N, los cultivos de grano en siembra directa son generalmente más deficientes en N y rinden menos que en sistemas de labranza convencional (Huggins & Pan, 1993; Knowles *et al.*, 1993). Los menores rendimientos podrían deberse a una mayor inmovilización del N, pérdidas por desnitrificación o lavado, baja mineralización del N orgánico o alguna combinación de estos factores (Wells, 1984).

El cultivo de soja puede ser biofertilizado por medio de la inoculación con cepas eficientes de rizobios. La baja disponibilidad inicial de N, propia del

sistema de siembra directa, favorece la nodulación (Herridge *et al.*, 1984); esto constituye una ventaja sobre los sistemas con remoción de suelo (Wheatly *et al.*, 1995), ya que la fijación biológica puede aportar hasta el 84% del N acumulado por el cultivo a madurez (González, 1994).

En siembras tempranas, Ressia *et al.* (2003) encontraron que en siembra directa el incremento en el rendimiento producido por la biofertilización del cultivo de soja fue el doble que bajo sistemas de labranza con remoción de suelo. En este caso, el aporte de N biológico, sumado a una mejor condición hídrica en siembra directa, permitió aumentar la tasa de crecimiento del cultivo en las etapas críticas para la determinación del rendimiento, incrementando tanto el número de semillas por unidad de superficie como el peso de éstas. En este trabajo, el suelo se encontraba libre de rizobios, aunque no es la situación más común en los suelos donde se cultiva soja; en situaciones más generales podría esperarse un menor incremento en el rendimiento debido a la biofertilización (Alexander, 1980). Por otra parte, la soja es un cultivo que admite un amplio rango de fechas de siembra, aunque en siembras tardías el cultivo está expuesto a condiciones ambientales adversas que reducen la tasa de crecimiento durante el período vegetativo y el reproductivo (Board & Harville, 1996). Una de esas condiciones es el estrés hídrico que suele presentarse al inicio del verano, época en que se siembran las sojas tardías. Tanto la colonización por bradirrizobios, que es crítica durante los primeros 15 días desde la emergencia (Bennett & Albrech, 1984), como la fija-

ción simbiótica son muy sensibles al estrés hídrico (Serraj *et al.*, 1999), incluso más que otros procesos fisiológicos como la fotosíntesis (Venkateswarlu *et al.*, 1989), por lo que en siembras tardías la nodulación y la fijación biológica pueden verse particularmente afectadas. No está estudiado para el sudeste bonaerense si los beneficios de la biofertilización y de la siembra directa obtenidos en siembras tempranas se mantienen en siembras tardías.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de los sistemas de labranza y la inoculación en el cultivo de soja, en condiciones de siembras tardías y en suelos con presencia de rizobios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2000/01 se llevó a cabo en Azul (Buenos Aires, Argentina), L36° 42' S, 59° 50' O, un experimento en un lote con prolongado uso agrícola sobre el que se realiza desde el año 1995 un ensayo de sistemas de labranza. El cultivo inmediatamente anterior fue maíz y previo a éste fue sembrada soja biofertilizada. El suelo es un Paleudol Petrocálcico, con un contenido de materia orgánica de 5,5 %, moderadamente deficiente en fósforo (5,5 ppm). A la siembra se fertilizó con 55 kg de P_2O_5 ha⁻¹, incorporando el fertilizante en la línea de siembra. El diseño experimental fue de parcelas divididas con cuatro repeticiones. El tratamiento principal consistió en tres sistemas de labranza: i) con arado de reja y vertedera (AR), empleando un arado con cuerpos de 0,36 m de ancho a una profundidad de 0,18 m; ii) labranza con escarificador de cincel (EC) a una profundidad de 0,27 m, realizando una pasada con un implemento de arcos flexibles cuyos planos de acción estaban separados 0,35 m entre sí; y iii) siembra directa (SD), sin laboreo previo del suelo. Las labranzas se realizaron 59 días antes de la siembra. La cama de siembra en los dos primeros tratamientos se completó con rastra de discos de doble acción (35 kg por disco) y de dientes. En el tratamiento de siembra directa se realizaron previo a la siembra dos aplicaciones de glifosato 48 % (1,92 L IA ha⁻¹ el 12/9/00 y 1,4 L IA ha⁻¹ el 21/11/00). El subtratamiento consistió en dos niveles de inoculación, sin la cepa USDA 138, E109, (*Bradyrhizobium japonicum*) y con ésta. La bacterización se realizó por el método húmedo con adherente a razón de 10⁵ - 10⁶ rizobios por semilla, sobre soporte turba esterilizado. Cada unidad experimental fue de 30 m de ancho y 70 m de largo, con surcos espaciados a 0,35 m; este espaciamiento se logró mediante dos pasadas con una máquina de siete cuerpos distanciados a 0,7 m. Se utilizó el cultivar de soja A4100 de Nidera (resistente a glifosato). Al momento de la siembra

se tomaron muestras compuestas de la capa superficial del suelo hasta los 0,4 m de profundidad para determinar la concentración de nitratos y el contenido de agua en el suelo por el método gravimétrico. Para estimar la cantidad de rizobios compatibles con soja se extrajeron ocho cilindros de suelo de la profundidad 0-0,15 m de cada parcela. El análisis se realizó sobre una alícuota inicial de 10 g de la muestra compuesta según la técnica del número más probable (NMP) (Alexander, 1965) con diluciones seriadas hasta 10⁶ con cinco replicas por dilución (Vincent, 1975).

Los datos de radiación total diaria y de temperaturas máxima y mínima fueron obtenidos de la estación meteorológica del Centro Regional de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía de Azul.

La siembra se realizó el 29 de diciembre de 2000 y la fecha de emergencia fue el 17 de enero de 2001; se lograron 57 plantas m⁻². El control de malezas se realizó con una aplicación de glifosato (0,96 kg IA ha⁻¹). Al momento de la emergencia, dentro de cada unidad experimental se marcaron subunidades de muestreo homogéneas de cuatro surcos por 12 m de largo, donde se realizaron todas las determinaciones de crecimiento.

En V4 (Fher & Caviness, 1977) se determinó el número y peso seco de nódulos en raíz principal y laterales. Las raíces con su pan de tierra fueron llevadas al laboratorio, lavadas cuidadosamente sobre tamiz de 1 mm y posteriormente se extrajeron los nódulos. Además, se evaluó la infectividad como el porcentaje de plantas con al menos un nódulo en raíz principal; el tamaño de la muestra fue de 1 m lineal de surco por parcela.

Se realizaron muestreos del material vegetal aéreo en varios momentos a lo largo del ciclo del cultivo. Las muestras se tomaron de los dos surcos centrales de la subunidad. Los cortes fueron de 1 m de largo. Estas muestras se secaron en estufa hasta peso constante a una temperatura 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) (RFA) interceptada por el cultivo, se obtuvo con un sensor cuántico lineal Li-Cor 191 SB (Lincoln, Nebraska, USA) conectado a un radiómetro Li-Cor 188 B. A intervalos de 10-15 días a partir del estadio de V4 se midió la radiación que atravesó el cultivo (I') e inmediatamente la incidente por encima de éste (I₀), alrededor del medio día. El porcentaje de intercepción se calculó como 100[1-(I'/I₀)]. El porcentaje de intercepción en los días entre mediciones sucesivas, se

estimó interpolando linealmente. 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. Como en los últimos estados de desarrollo resulta poco confiable la medida de interceptación de la radiación, por la presencia de hojas senescentes en la parte superior del dosel, se midió el porcentaje de hojas verdes sobre cuatro plantas por parcela.

En madurez se cosechó manualmente una superficie de $5,6 \text{ m}^2$, y luego 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 por 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 el test de la mínima diferencia significativa para comparar las medias de los tratamientos. En todos los casos se utilizó un nivel de significancia $p \leq 0,10$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas durante el ciclo del cultivo se presentan en la Tabla 1. Si bien las precipitaciones fueron mayores a las históricas, hubo un estrés hídrico severo durante la última semana de

diciembre, previo a la siembra. También hubo estrés moderado durante enero, mientras que en las primeras tres semanas de febrero el estrés fue de mediana a alta intensidad (Boletín Agrometeorológico del Centro Sur de la Provincia de Buenos Aires, 2000, 2001). Otra característica importante fue la ocurrencia de heladas de fin de ciclo, que se produjeron en la última semana de marzo y la primera de abril.

La cantidad de rastrojo acumulado al inicio de las labores fue alta en todos los sistemas, pero resultaron diferentes entre ellos. En SD la materia seca fue 1178 g m^{-2} mientras que en AR 923 g m^{-2} y en EC 844 g m^{-2} . Luego de la siembra, las coberturas remanentes del rastrojo fueron 8 % en AR, 25 % en EC y 88 % en SD. En los sistemas con remoción, no obstante el gran volumen de rastrojo incorporado, la disponibilidad de nitratos en los primeros 0,4 m de suelo al momento de la siembra fue alta (Tabla 2). Por otra parte, la concentración de nitratos en SD, hasta los 0,2 m, fue 30 % menor que en los sistemas con remoción.

La población de rizobios del suelo al momento de la siembra, medida por la técnica del NMP fue mayor en EC, intermedia en AR y menor en SD ($2 \cdot 10^2$; $1,1 \cdot 10^2$ y $0,5 \cdot 10^2$ rizobios g^{-1} suelo, respectivamente). Todos los valores se encuentran por debajo de

Tabla 1: Principales elementos agroclimáticos durante el ciclo del cultivo de soja (Diciembre 2000 - Abril 2001) y las medias mensuales del período 1994-2001 de Azul.

Elemento	Dic		Ene		Feb		Mar		Abr	
	Hist	2000	Hist	2001	Hist	2001	Hist	2001	Hist	2001
Temp. Mín. ($^{\circ}\text{C}$)	12,2	10,5	13,8	15,2	13,1	14,4	12,3	14,2	8,5	7,4
Temp. Máx. ($^{\circ}\text{C}$)	26,5	27,2	28,3	28,3	26,8	29,3	25,4	24,8	20,4	19,5
Temp. Media ($^{\circ}\text{C}$)	19,5	19,3	21,0	21,9	19,9	21,9	19,0	21,1	14,4	13,4
Rad. ($\text{mj/m}^2/\text{día}$)	24,7	32,4	24,6	24,6	24,5	27,1	18,8	16,3	13,7	13,7
Humedad Relat. (%)	60,8	53,2	66,5	64,2	61,1	58,1	73,9	78,6	78,0	74,5
Precip. (mm)	83,0	95,3	105	137	47	73	113	176	90,9	45,3

Tabla 2: Concentración de nitratos y % de agua gravimétrica a la siembra del cultivo de soja en distintos sistemas de labranza en el perfil del suelo hasta los 0,4 m de profundidad en Azul.

Labranza	NO_3 (ppm)		Agua (%)	
	0-0,2 m	0,2-0,4 m	0-0,1 m	0,2-0,4 m
AR	55,1 a	39,1 a	22,4 ab	18,9 b
EC	53,1 a	34,6 a	23,3 a	21,0 ab
SD	38,2 b	11,5 b	20,5 b	24,0 a
DMS ¹	11,4	12,1	2,0	4,5

DMS¹: diferencia mínima significativa.

Tabla 3: Número y peso de nódulos por planta en V4, proveniente de distintas labranzas con inoculación (+) y sin (-) inoculación, en un cultivo de soja tardía en Azul.

Labranza	Nº Nod (pl^{-1})		PS Nod (mg pl^{-1})	
	-	+	-	+
AR	17,5 a	14,6 b	12,8 b	10,1 b
EC	22,6 a	25,2 a	25,1 a	21,8 a
SD	17,9 a	13,6 b	21,9 a	26,0 a
DMS ¹	13,2	7,7	8,9	12,1

DMS¹: diferencia mínima significativa. Letras diferentes dentro de una columna indican diferencias entre tratamientos

lo que se considera una población estable de rizobios, alrededor de $1 \cdot 10^6$, en tal sentido, Díaz-Zorita y Fernández-Canigia (1999) consideran alta presencia de *B. japonicum* naturalizado en el suelo a poblaciones del orden de entre $8,5 \cdot 10^5$ y $8,5 \cdot 10^7$ rizobios por gramo de suelo. Estos autores también mencionan que en labranza vertical la población de rizobios fue mayor. La mayor cantidad de rizobios en EC puede estar relacionada a la cantidad de humedad del suelo en el estrato superior (0 a 0,1 m) en este sistema. Sólo se encontraron ventajas a favor de EC en este estrato y momento en el contenido de humedad gravimétrica (Tabla 2). La menor cantidad de rizobios en SD pudo deberse al incremento de la actividad biológica en el estrato superior del suelo, propio de este sistema (Peiretti, 1998). Sin embargo, esta hipótesis se contradice con lo reportado por Hughes & Herridge (1989) quienes encontraron que en SD se reducen las fluctuaciones del contenido de agua y la temperatura del suelo, incrementándose entonces la supervivencia de *B. japonicum*.

Según Burton (1976), una inoculación de soja exitosa es la que logra de cinco a siete nódulos en raíz principal en plántulas de dos semanas de edad. Los valores de número y peso seco de nódulos en V4, a los 12 días desde la emergencia, se presentan en la Tabla 3. Los valores en todos los sistemas de labranza fueron muy bajos, especialmente si se consideran los de las parcelas biofertilizadas. Esto indica que existieron fallas en la biofertilización.

Una causa de nodulación escasa, generalmente citada, es la elevada disponibilidad de nitratos en el suelo. Sin embargo, ésta no parece haber sido el principal motivo de la pobre nodulación en este caso, ya que con valores más altos otros autores en la

región encontraron un desarrollo nodular importante (Santos, 2001). Los valores son también menores a los encontrados por Lett *et al.* (1999) en siembras tempranas y cultivares no resistentes a glifosato.

La principal causa puede haber sido la deficiencia hídrica inicial que generó un estrés hídrico (Boletín Agrometeorológico del Centro Sur de la Provincia de Buenos Aires, 2000, 2001) superficial muy importante, ya que retrasó la emergencia (el período de siembra a emergencia fue de 18 días). Según citan Díaz-Zorita y Fernández-Canigia (1999), la desecación y pérdida de humedad, aun a temperaturas moderadas, es la mayor causa de la muerte rápida de los rizobios sobre la semilla. Esta deficiencia temprana de agua que afecta la iniciación en la formación de nódulos, resulta posteriormente en bajas cantidades de nitrógeno atmosférico fijado biológicamente en cultivos de soja.

A esto pudo haberse asociado un tercer factor, cual es el modo de control de malezas utilizado en este experimento. Heatherly *et al.* (2003) explican que las sojas RR contienen resistencia a glifosato, pero no así los rizobios. El glifosato aplicado a la soja RR interfiere en la fijación simbiótica reduciendo el número y el peso fresco de los nódulos y generalmente retrasa la fijación. Además, mencionan que al aplicarse este herbicida puede aumentarse la sensibilidad de la fijación simbiótica al estrés hídrico. Si bien los resultados discutidos por los autores provienen principalmente de experimentos en invernáculo y de pocos experimentos a campo, es un factor que no podría descartarse y debería estudiarse en mayor profundidad.

El crecimiento del cultivo en los estados vegetativos fue mayor en los sistemas con remoción de suelo, independientemente del nivel de inoculación.

Tabla 4: Peso seco en R1 y R6, incremento diario del porcentaje de intercepción (IDI) entre R2 y R4, tasa de crecimiento del cultivo (TCC) entre R3 y R6, provenientes de distintas labranzas, sin inoculación (-) y con (+) inoculación, en un cultivo de soja tardía en Azul.

Labranza	Inoculación	PS R1 (g m ⁻²)	PS R6 (g m ⁻²)	IDI (%d ⁻¹)	TCC R3-R6 (g m ⁻² d ⁻¹)
AR	-	165 a	589 a	1,07 d	11 a
EC	-	163 a	591 a	1,88 b	11 a
SD	-	152 a	560 a	2,28 a	11 a
AR	+	160 a	566 a	1,46 c	11 a
EC	+	159 a	549 a	1,39 c	10 a
SD	+	134 b	553 a	2,26 a	12 a
DMS ¹		15	- ²	0,47	- ²
Int. L x I		ns ³	-	ns ³	-

DMS¹: Diferencia mínima significativa para comparar medias.

²Análisis de varianza no significativo

³ns: interacción no significativa

Esto permitió que en el estado R1, a los 21 días desde la emergencia, la materia seca acumulada promedio de AR y EC fuese de 162 g m⁻² mientras que en SD ésta acumulación fue 13 % menor (Tabla 4). Yusuf *et al.* (1999) también encontraron, en etapas iniciales del cultivo, crecimientos menores en SD (entre un 15 a un 20 % de diferencia entre sistemas), al compararlo con labranza convencional. Este menor crecimiento pudo atribuirse a un menor porcentaje de intercepción de la radiación; mientras que en AR y EC no se encontraron diferencias y alcanzó un valor promedio de 51 %; SD sólo interceptó 36 %. A su vez, tanto el porcentaje de intercepción de la radiación como el peso seco se asociaron a la disponibilidad de nitratos al momento de la siembra ($r = 0,97$ y $r = 0,86$ respectivamente; $n = 6$).

En etapas posteriores, entre R 3 y R6 (Tabla 4), la tasa de crecimiento del cultivo en SD fue igual a la de los otros dos sistemas, 11 g m⁻² d⁻¹. Este comportamiento se debió, en gran parte, a que en SD, al comienzo de las etapas reproductivas, el área foliar y la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa se incrementaron rápidamente (Tabla 4). Al inicio del período SD tuvo 7,5% más humedad que AR y EC en los 0,6 m del perfil del suelo (datos no presentados); la mejor condición hídrica encontrada en SD en esta etapa permitió un crecimiento similar al de los otros sistemas. A los 11 días después de R3 tanto SD como los otros tratamientos alcanzaron a interceptar más del 95 % de la radiación incidente.

Por otra parte, a diferencia de lo reportado por Ressia *et al.* (2003), en éste experimento no se encontró ningún beneficio de la biofertilización en crecimiento hasta R6. Sólo a partir de los 90 días después de la emergencia comenzaron a evidenciarse algunos efectos tanto de la biofertilización como de la SD. Se encontraron diferencias en estado de de-

sarrollo entre labranzas y entre nivel de inoculación (Tabla 6); AR y EC estaban en el estado R7 y SD en R6. Por otra parte, la biofertilización produjo un pequeño retraso en el estado de desarrollo independientemente del sistema de labranza. Además, se observaron efectos tardíos sobre la duración del área foliar verde; en ese mismo momento, el porcentaje de hojas verdes fue mayor en SD (Tabla 6) y en los subtratamientos inoculados. González (1994), en siembras tempranas y labranza convencional, encontró que el área foliar de cultivos de soja inoculados se mantuvo verde de 5 a 6 días más que el de los testigos; esto habría determinado un mayor peso de las semillas en madurez.

Según Imsande (1989), la actividad nitrogenasa, responsable de la fijación de N, alcanza su máxima expresión en R5, donde estimula la fotosíntesis neta, favorece la duración del área foliar y la acumulación de proteína a través del incremento en el peso de las semillas y la concentración de N en los granos. En tal sentido Lett *et al.* (1998) y González (1994) estudiaron el efecto específico de la inoculación en siembras tempranas y suelo libre de rizobios y encontraron un gran efecto sobre el peso de las semillas. Sin embargo en este experimento no hubo diferencias significativas en el peso de éstas (Tabla 5). El crecimiento de las semillas pudo haber estado más limitado por el ambiente climático que por la disponibilidad de N. La potencialidad de la biofertilización en este experimento (siembra tardía), no pudo evidenciarse posiblemente por una o alguna combinación de las causas que se enumeraron anteriormente, que produjeron una pobre nodulación en V4. Además, en siembras tardías la estación de crecimiento se acorta: en este experimento fue en promedio de alrededor de 95 días. Esto se debió a dos motivos: 1) los días cortos, que en soja aceleran las etapas de desarrollo reproductivas (Major *et*

Tabla 5: Rendimiento, número de semillas por m² y peso por semilla, proveniente de distintas labranzas con inoculación (+) y sin (-) inoculación, en un cultivo de soja tardía en Azul.

Labranza	Inoculación	Rendimiento (g m ⁻²)	Número de semillas (m ⁻²)	Peso por semilla (mg)
AR	-	258	2044	127
EC	-	274	2187	126
SD	-	262	2118	124
AR	+	279	2174	128
EC	+	273	2172	126
SD	+	280	2182	129
ANVA		ns	ns	ns
CV %		7,2	7,9	3,9

ANVA: Análisis de varianza, ns: no significativo, CV: coeficiente de variación general

Tabla 6: Estado de desarrollo y hojas verdes por planta, en %, a los 90 días después de la emergencia (dde), en tres sistemas de labranza con inoculación (+) y sin (-) inoculación, en un cultivo de soja tardía en Azul.

Labranza	Estado		Hojas verdes (%)	
	-	+	-	+
AR	7,5 A	7,0 a	0,0 b	1,0 B
EC	7,3 A	6,0 b	0,0 b	1,0 B
SD	6,4 B	6,2 b	10,0 a	16,0 A
DMS ¹	0,52	0,52	8,0	8,9
Interac. L x I	ns ²		ns ²	

DMS¹: diferencia mínima significativa. Letras diferentes dentro de una columna indican diferencias entre labranzas. Tipo de letra diferente dentro de una fila indica diferencia entre nivel de inoculación.
²ns: no significativa

al., 1975) y 2) en los últimos 10 días de abril la temperatura mínima fue de 2,5 °C (Boletín Agrometeorológico del Centro Sur de la Provincia de Buenos Aires, 2001), muy por debajo de 21 a 27 °C, rango de temperatura nocturna considerado óptimo para las etapas reproductivas (Sadras *et al.*, 2000). Por otra parte, la intensidad de la radiación en el otoño (13,72 MJ m⁻² d⁻¹, promedio de abril) es más baja que en el verano (28,07 MJ m⁻² d⁻¹, promedio de febrero), por lo que independientemente del efecto del retraso de la fecha de siembra sobre la duración de las etapas reproductivas, tampoco podría esperarse un efecto importante de la nodulación, ya que el crecimiento, en este caso, estuvo limitado por la baja radiación fotosintéticamente activa incidente, propia de esta época del año.

Bajo las condiciones del experimento, siembra tardía, no se encontraron diferencias en rendimiento ni entre labranzas ni entre nivel de inoculación (Tabla 5). Los valores de rendimiento no difieren de 2,2 t ha⁻¹, encontrados por Calviño *et al.* (2003) con otros cultivares en tratamientos de secano en la misma zona agroecológica. Tampoco se encontraron efectos en ninguno de los dos componentes principales que determinan el rendimiento: el número de semillas por unidad de superficie y el peso de éstas (Tabla 5). Al no encontrarse diferencias en TCC entre R3 y R6 y como la TCC durante esta etapa se correlaciona fuertemente con el número de semillas por m² fijadas (Egli & Zhenn-Wen, 1991; Andrade *et al.*, 2000), tampoco hubo diferencias en dicho número. Por otra parte, si bien existió un retraso en la senescencia del cultivo en siembra directa inoculada, esto no se tradujo en un mayor peso de las semillas. Ressa *et al.* (2003) encontraron diferencias en rendimiento debidas a las labranzas y también a la biofertilización. La discrepancia con estos resultados podría deberse a: i) a una menor duración de la estación de crecimiento en siembras tardías que no

permitió que el sistema de siembra directa expresara todo su potencial, ya que se acortó el período de llenado de las semillas, ii) a la escasa disponibilidad hídrica en el estrato superior del suelo al momento de la siembra y/o iii) al herbicida utilizado, que habría disminuido la eficiencia de la biofertilización.

CONCLUSIONES

Si bien los resultados provienen de un solo año, bajo las condiciones del experimento, siembras tardías, no se encuentran diferencias en rendimiento ni entre labranzas ni entre nivel de inoculación. El crecimiento del cultivo en los primeros estados es mayor en los sistemas con remoción de suelo, independientemente del nivel de inoculación, aunque en la etapa crítica para la generación del rendimiento, el crecimiento en SD es similar a los otros sistemas. Sólo en etapas reproductivas tardías se evidencian efectos tanto de la biofertilización como de la SD, aunque no se traducen en mayor rendimiento ya que la estación de crecimiento es corta.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de J. Amundarain, I. Petersen y G. Portela en las tareas de campo y laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, M., 1965. Most-probable number method for microbial populations. En *Methods of soil analysis C. A. Blak*, (ed). Ed. American. Society of Agronomy, Madison, Wis. pp 1467-1472.
- Alexander, M., 1980. Introducción a la microbiología del suelo. AGT Ed. SA. México. 491 pp.
- Andrade, F. H.; L. A. Aguirrezábal y R. H. Rizzalli, 2000. Crecimiento y rendimiento comparados. En *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. Editores: F. H. Andrade y V. O. Sadras. pp 61-96.
- Bennett, J.M. and S. L. Albrecht, 1984. Drought and flooding effects on N₂ fixation, water relations and diffusive resistance of soybean. *Agron. J.* 76:735-740.
- Board, J. E. and B. G. Harville, 1996. Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late planted soybean. *Agron. J.* 88:567-572.
- Boletín Agrometeorológico del Centro Sur de la Provincia de Buenos Aires, 2000. Centro Regional de Agrometeorología. UNCPBA. Vol 11, N° 4.
- Boletín Agrometeorológico del Centro Sur de la Provincia de Buenos Aires, 2001. Centro Regional de Agrometeorología. UNCPBA. Vol 11, N° 5 al 8.
- Burton, J. C., 1976. Problems in obtaining adequate inoc-

- ulation of soybeans. In World Soybean Research. L. D. Hill (ed.) Illinois. pp. 170-179.
- Calviño, P.; V. Sadras and F. Andrade, 2003. Development, growth and yield of late-sown soybean in the southern Pampas. *Europ. J. Agronomy* 19. 265-275.
- Darwich, N., 2003. El balance físico económico en las rotaciones agrícolas. Disponible en <http://www.ilustrados.com>. Fecha de consulta 6/12/2004.
- Diaz-Zorita, M. y M. Fernández-Canigia, 1999. Patrones de nodulación de soja en relación con propiedades de suelos bajo tres sistemas de labranza. *Rev. de la Fac. de Agronomía, La Plata* 104 (1) 53-60.
- 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. and Y. Zhenn-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. Stn, Ames IA, 11 pp.
- González, N., 1994. Dinámica de la fijación de nitrógeno en soja, en suelos con alta fertilidad nitrogenada. Tesis M. Sc. Facultad de Ciencias Agrarias. UNMDP. 60 pp.
- Hearthly, L.; S. Spunlock and K. Reddy, 2003. Influence of early season nitrogen and weed management on irrigated and nonirrigated glyphosate resistant and susceptible soybean *Agron. J.* 95. 446-453.
- Herridge, D. F.; Roughley R. J. and J. Brockwell, 1984. Effect of rhizobia and soil nitrate on the establishment and functioning of the soybean symbiosis in the field. *Aust. J. Agric. Res.* 149-160.
- 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.
- Hughes, J. F. and D. F. Herridge, 1989. Effect of tillage on yield and nitrogen fixation of soybeans in far north-coastal New South Wales. *Aust. J. Exper. Agri.* 29, 671-677.
- Imsande, 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) En: Memorias de la XIX Reunión Latinoamericana de Rizobiología. Septiembre de 1998. Venezuela.
- Major, D. J.; D. R. Johnson, J. W. Tanner and I. C. Anderson, 1975. Effects of daylength and temperature on soybean development. *Crop Sci.*, 15:174-179.
- Peiretti, R. A., 1998. La siembra directa y las rotaciones. 67-132. En 6º Congreso Nacional de AAPRESID. Ed. Truco, V. Editorial Amalevi. Rosario.
- Ressia, J. M.; L. Lázaro, L. C. Lett, G. O. Mendivil, G. R. Portela y R. H. Balbuena, 2003. Sistemas de labranza e inoculación en soja. Efectos sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo. *Agrociencia* 37:167-176.
- 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.
- Sadras, V.O.; M. Ferreiro, F. Gutheim y A. G. Kantolic, 2000. Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo. En Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Editores: F. H. Andrade y V. O. Sadras. pp 29-60.
- Santos, D. J., 2001. Respuesta del cultivo de soja a la fertilización nitrogenada en floración, ante diferente disponibilidad de nitrógeno edáfico. Tesis de Mag. Sc. FCA. UNMDP. 101 pp
- Serraj, R. T.; R. Sinclair and L. C. Purcell, 1999. Symbiotic N₂ fixation response to drought. *Journal Experimental Botany.* 50. 331. 143-156.
- Venkateswarlu B.; M. Maheswari and N. Saharan, 1989. Effects of water deficit on N₂(C₂H₂) fixation in cowpea and groundnut. 114, 69-74.
- Vincent, J. M., 1975. Manual práctico de rizobiología. Ed. Hemisfeerio Sur. 74 pp
- Wells, K. L., 1984. Nitrogen management in the No-till system. In Nitrogen in crop production. Hauck ed. ASA. Madison, Wisconsin USA. pp 535-550
- Wheatley, D.M.; D. A. MacLeod and R. and S. Jessop, 1995. Influence of tillage treatments on N₂ fixation of soybean. *Soil Biol. Biochem.* 27-4/5-571-574
- Yusuf, R.; J. C. Siemens and D. G. Bullock. 1999. Growth analysis of soybean under no tillage and conventional tillage systems. *Agron. J.* 91:928-933.