

Inoculación del poroto soya (*Glycine max* Merr.)

EFECTO DE LA INOCULACION EN EL RENDIMIENTO Y EN LOS CONTENIDOS DE PROTEINA Y ACEITE DEL GRANO¹

Luis Longeri S.² y Alfonso Herrera O.³

INTRODUCCION

El poroto soya (*Glycine max* Merr.) se cultiva en la actualidad en casi todo el mundo debido a sus muchos usos económicos, espe-

cialmente como oleaginosa y como importante fuente proteica para la alimentación del hombre y animales.

Esta planta, como muchas otras leguminosas, presenta la característica de poder entrar en relación simbiótica mutualista con bacterias

¹Recepción originales: 23 de junio de 1971.

²Ing. Agr., Profesor Titular del Departamento de Microbiología, Instituto de Ciencias Médico-Biológicas, Universidad de Concepción. Casilla 272, Concepción, Chile.

³Ing. Agr., Instructor del Departamento de Fitotecnia, Escuela de Agronomía, Universidad de Concepción. Casilla 537, Chillán, Chile.

del género *Rhizobium* y así utilizar (fijar) el nitrógeno atmosférico en su nutrición. Debido al significado económico del fenómeno de fijación de nitrógeno, es una práctica generalizada inocular, al momento de la siembra, la semilla de soya con cultivos seleccionados de rizobios, o inoculantes, con el fin de asegurar una nodulación eficiente de las plantas. Por este motivo, se ha pensado en la conveniencia de estudiar qué efecto produce la inoculación de la semilla sobre el rendimiento y composición del grano, bajo las condiciones imperantes en la zona de Ñuble.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en la Estación Experimental de la Escuela de Agronomía, Universidad de Concepción, en Chillán, durante la temporada de siembra 1969-1970, en un suelo de características similares a los de la Asociación San Carlos. Durante la temporada anterior en este suelo se cultivó remolacha.

Como diseño experimental se usó el de bloque al azar, con 4 repeticiones, parcelas de 4 × 6 metros y separaciones de 2 metros. Los tratamientos considerados fueron los siguientes:

1. Semilla no inoculada; sin fertilización nitrogenada (testigos).
2. Semilla no inoculada; aplicación de urea en dosis de 38,1 unidades de nitrógeno por hectárea.
3. Semilla no inoculada; aplicación de salitre sódico en dosis de 38,1 unidades de nitrógeno por hectárea.
4. Semilla no inoculada; aplicación de urea en dosis de 76,2 unidades de nitrógeno por hectárea.
5. Semilla no inoculada; aplicación de salitre sódico en dosis de 76,2 unidades de nitrógeno por hectárea.
6. Semilla inoculada; sin aplicación de fertilización nitrogenada.

El ensayo recibió una dosis común de 100 unidades de P_2O_5 por hectárea, en la forma de fosfato triple colocado en el surco y a 3 centímetros bajo la semilla.

Se usó semilla de la variedad Amsoy, a razón de 118,5 Kg por hectárea, sembrándose en líneas separadas a 65 centímetros.

En la inoculación de la semilla se empleó

inoculante en polvo Nitro-Fix¹ y agua azucarada (100 gramos de azúcar por litro) como adherente, en la proporción de 250 gramos de inoculante y un litro de agua azucarada por cada 80 Kg de grano. La semilla inoculada se dejó secar a la sombra y se sembró en el mismo día.

La urea, en el caso de ambas dosis, se aplicó en su totalidad 10 días antes de la siembra, enterrándose a una profundidad de 5 centímetros en hileras próximas a las futuras hileras de siembra.

La mitad de la dosis de salitre sódico se aplicó al voleo inmediatamente después de la siembra; el resto se colocó, en igual forma, 60 días después.

Los riegos necesarios se dieron por aspersión.

Cuando las plantas estaban en plena floración, a los 90 días de la siembra, se arrancaron al azar 5 plantas por parcela y se procedió a determinar la presencia de nódulos en las raíces, el peso seco y contenido de nitrógeno de la parte aérea.

En el momento de la cosecha, 144 días después de la siembra, se descartaron los bordes recolectándose las plantas de una superficie de 13 m² por parcela. Los rendimientos en grano se expresaron en qqm/ha.

De los granos cosechados en cada parcela se obtuvo una muestra que se usó en la determinación del contenido de proteína ($N \times 6,25$), mediante macro-Kjeldahl, y del contenido de aceite por extracción con éter sulfúrico².

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de las determinaciones del peso seco y contenido de nitrógeno de la parte aérea de las plantas en período de floración. Se han omitido los datos relativos a la nodulación de las plantas, puesto que no se presentaron nódulos en los tratamientos no inoculados. Este hecho indica que rizobios del grupo de la soya no se encontraban en forma natural en el suelo.

El análisis estadístico de estos resultados no mostró diferencias entre tratamientos al considerar el peso seco de la parte aérea. El

¹Elaborado por el Departamento de Microbiología, Universidad de Concepción.

²Determinaciones efectuadas por los Departamentos de Bromatología y de Bioquímica, de la Escuela de Química y Farmacia, Universidad de Concepción.

contenido porcentual de nitrógeno se vio incrementado por las aplicaciones de salitre y por la dosis alta de urea y, especialmente, por efecto de la inoculación. Por este motivo las diferencias entre tratamientos se acentuaron al comparar el contenido total de nitrógeno, siendo éste más alto en las plantas noduladas y en las que fueron fertilizadas con la dosis mayor de salitre, con una diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$) sobre el resto. Por otro lado, estos dos tratamientos no difirieron entre sí.

El hecho que el contenido total de nitrógeno es un mejor índice que el peso seco para evaluar resultados de ensayos en leguminosas ya ha sido señalado por otros autores (Herrera, A., 1964) (Martínez, C. J., Torrie J. H. y Allen, O. N., 1970) (Venegas, O., 1966).

En plantas fertilizadas con una misma dosis de nitrógeno (76,2 unidades por hectárea) llama la atención que el contenido total de nitrógeno de la parte aérea fue superior cuando se usó salitre sódico. Esto indicaría que el nitrógeno contenido en la urea fue asimilado

lentamente por las plantas, tal vez debido a una lenta nitrificación. Existen antecedentes que indican que algunos suelos de la zona presentan una baja nitrificación (Hurtado, R., 1963) (Rodríguez, D., 1962).

En el Cuadro 2 se indica, para cada tratamiento, el rendimiento obtenido a la cosecha y el contenido de proteína y de aceite del grano. Además se incluyen las cantidades totales de proteína y aceite producidas por hectárea.

Las plantas inoculadas sobrepasaron en forma altamente significativa ($P \leq 0,01$) a las de todos los tratamientos restantes, tanto en la cantidad de grano como en la de proteína y de aceite producida por hectárea. Este efecto de la nodulación fue extremadamente marcado, aumentándose los rendimientos por sobre el testigo en 24,7 qqm de grano, 1.045,3 kilogramos de proteína y 251,8 kilogramos de aceite por hectárea, lo que significa un incremento de un 225,7 - 204,6 - 164,9%, respectivamente. La producción de las plantas inoculadas también sobrepasó en forma considerable

Cuadro 1 — Peso seco y contenido de nitrógeno de la parte aérea de plantas de soya en floración.

TRATAMIENTO	PESO SECO g/PLANTA	CONTENIDO DE NITROGENO %	NITROGENO TOTAL MG/PLANTA
Testigo	10,95	1,56	171,3 b**
Urea 38,1 u.N/ha	13,23	1,53	202,2 b
Salitre sódico 38,1 u.N/ha	9,92	1,74	171,4 b
Urea 76,2 u.N/ha	12,67	1,78	226,0 b
Salitre sódico 76,2 u.N/ha	14,27	2,20	313,9 a
Inoculado	12,10	2,83	342,6 a

**Los valores de una misma columna con igual letra no difieren estadísticamente al nivel de 1%.

Cuadro 2 — Rendimiento y contenido de proteína y aceite del grano de soya.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO QQ/HA	HUMEDAD %	COMPOSICION DEL GRANO % ¹		PRODUCCION POR HECTAREA Kg	
			PROTEINA	ACEITE	PROTEINA	ACEITE
Testigo	20,3 b**II*	8,95	27,6	21,0	511,0 b**	388,2 b**
Urea 38,1 u.N/ha	19,9 bII	8,89	26,1	22,1	473,7 b	401,3 b
Salitre sódico 38,1 u.N/ha	21,0 b	8,80	25,9	21,4	495,8 b	409,3 b
Urea 76,2 u.N/ha	25,2 bI	8,75	28,7	20,4	658,9 b	469,9 b
Salitre sódico 76,2 u.N/ha	25,1 bI	8,74	27,9	20,9	638,1 b	478,6 b
Inoculado	45,0 a	9,19	38,1	15,7	1.556,3 a	640,0 a

¹Base peso seco.

**Los valores de una misma columna con la misma letra no difieren estadísticamente a nivel de 1%.

*Los valores de una misma columna con el mismo número romano no difieren estadísticamente a nivel de 5%.

a la de aquéllas que fueron fertilizadas con 76,2 unidades de nitrógeno por hectárea, en la forma de salitre o urea.

No se detectó ningún efecto positivo de las aplicaciones de salitre o urea en dosis de 38,1 unidades de nitrógeno por hectárea. La aplicación de las dosis mayores de fertilizantes produjo un incremento en la producción de grano, proteína y aceite, pero solamente en el rendimiento en grano el aumento alcanzó un nivel significativo ($P \leq 0,05$) en comparación al tratamiento testigo y al tratamiento fertilizado con la dosis baja de urea. Este aumento producido por las dosis altas de nitrógeno fue independiente del tipo de fertilizante y tanto la urea como el salitre sódico causaron efectos similares.

Anteriormente se había indicado que del análisis de las plantas a los 90 días de desarrollo (floración), se desprendía que el nitrógeno contenido en la urea era asimilado por las plantas en forma más lenta que el nitrógeno nítrico. Sin embargo, a la cosecha esta diferencia desapareció, seguramente porque el mayor tiempo transcurrido (144 días) permitió la transformación de la urea en nitratos.

En el mismo cuadro se puede apreciar que existe una relación inversa entre el contenido proteico y el contenido de aceite del grano. El cálculo del coeficiente de correlación entre estas dos variables dio un valor de -0,807, el que fue altamente significativo ($P \leq 0,01$). Este mismo tipo de relación fue encontrado por Boswell F. C. y Anderson, O. E. (1969), quienes indican un coeficiente de correlación de -0,880.

Basándose solamente en el nitrógeno con-

tenido en el grano cosechado, se estimó la cantidad de nitrógeno que la planta obtuvo de la fertilización nitrogenada o del proceso de fijación simbiótica que ocurre en los nódulos. Para esto, se restó de la cantidad de nitrógeno total contenido en el grano producido por cada tratamiento, la cantidad de nitrógeno que apareció en el grano obtenido del testigo. Estos resultados, que se muestran en el Cuadro 3, pueden ser incompletos porque no se hicieron determinaciones del nitrógeno contenido en la parte aérea y raíz de las plantas secas.

La aplicación de 38,1 unidades de nitrógeno por hectárea no produjo incremento alguno del nitrógeno que aparece en el grano cosechado. Cuando se aplicaron 76,2 unidades de nitrógeno por hectárea, solamente entre 20,3 y 23,6 kilogramos de este elemento fueron recuperados como proteína, lo que corresponde a entre un 26,6 y 31,0% de la cantidad aplicada. Esta baja recuperación en la semilla del nitrógeno aplicado al suelo, podría deberse a que la fertilización produjo un incremento notorio del desarrollo vegetativo de las plantas, consumiendo este mayor desarrollo una parte de la fertilización.

La cantidad de nitrógeno fijado simbióticamente desde el aire resultó ser de 167,2 kilogramos por hectárea. Weber, C. R. (1966) ha estimado que la fijación en soya puede llegar hasta 159 kilogramos de nitrógeno por hectárea. Stewart, W. D. P. (1966), al recopilar datos de más de 50 trabajos, indica un valor promedio de fijación para este cultivo de 94 kilogramos de nitrógeno. De las cifras anteriores se desprende, entonces, que en las con-

Cuadro 3 — Aporte de la nodulación y de la fertilización nitrogenada a la cantidad total de nitrógeno presente en los granos cosechados.

TRATAMIENTO	NITROGENO AGREGADO EN FERTILIZACION Kg/HA	NITROGENO CONTENIDO EN GRANOS Kg/HA			RECUPERACION DEL NITROGENO DEL FERTILIZANTE %
		TOTAL	PROVENIENTE DEL FERTILIZANTE	APORTE POR FIJACION SIMBIOTICA	
Testigo	—	81,8	—	—	—
Urea 38,1 u.N/ha	38,1	75,8	0,0	—	0,0
Salitre sódico 38,1 u.N/ha	38,1	79,3	0,0	—	0,0
Urea 76,2 u.N/ha	76,2	105,4	23,6	—	31,0
Salitre sódico 76,2 u.N/ha	76,2	102,1	20,3	—	26,6
Inoculado	—	249,0	—	167,2	—

diciones del ensayo, la fijación simbiótica de nitrógeno se realizó con una alta eficiencia.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del ensayo, la inoculación de la semilla del poroto soya, variedad Amsoy, produjo incrementos muy marcados, tanto en el rendimiento en grano como en la producción de proteína y aceite.

Con la aplicación de fertilizantes nitrogenados a plantas no inoculadas, solamente se logró un ligero aumento de los rendimientos. Sin embargo, estos rendimientos no llegaron a más del 55% del obtenido en plantas inoculadas. Además, un bajo porcentaje del fertilizante aplicado se recuperó posteriormente

bajo la forma de proteína en el grano cosechado.

Aun cuando el efecto de la fertilización en los rendimientos en grano fue independiente de la forma de nitrógeno usada y tanto la urea como el salitre sódico se comportaron en forma similar, se vio que la urea fue asimilada más tardíamente que el nitrato.

En plantas no inoculadas no se detectó formación de nódulos, indicando que *Rhizobium japonicum* no se encuentra en forma natural en el suelo. Este hecho enfatiza la necesidad de inocular la semilla de soya.

En plantas inoculadas, una apreciable cantidad de nitrógeno atmosférico fue fijado simbióticamente por actividad nodular.

RESUMEN

Se estudió, en un ensayo de campo, el efecto de la inoculación de la semilla en la producción de la soya variedad Amsoy. El comportamiento de estas plantas inoculadas se comparó con el de plantas testigo no inoculadas y con el de plantas no inoculadas que recibieron dos niveles de fertilización nitrogenada. El rendimiento se midió mediante la producción de grano y el contenido de proteína y aceite de éste.

No se observó nodulación en las plantas de los tratamientos no inoculados, lo que indica que rizobios del grupo de la soya no se encontraban en forma natural en el suelo.

Por efecto de la inoculación se incrementó la producción de grano, proteína y aceite en un 225,7 - 204,6 - 164,9%, respectivamente, en relación al testigo.

La adición de 38,1 unidades de nitrógeno por hectárea no produjo efecto alguno. La aplicación de 76,2 unidades de nitrógeno incrementó en un 12,4% la producción de grano. El efecto de la fertilización fue el mismo al aplicar el nitrógeno en la forma de salitre sódico o urea.

Mediante la actividad simbiótica 167,2 kilogramos de nitrógeno por hectárea fueron fijados desde el aire.

Se encontró una correlación negativa altamente significativa entre el contenido de proteína y el contenido de aceite del grano.

SUMMARY

The effect of seed inoculation on yield of the soybean, var. Amsoy, was studied in a field experiment. Yield of inoculated plants was compared to that of non-inoculated controls, and to non-inoculated plants grown under two different levels of nitrogen fertilization. Grain yield as well as grain protein and oil content were determined.

Nodulation was never observed among non-inoculated plants. Lack of nodulation indicated the absence of indigenous soybean rhizobia in the soil where the experiment was conducted.

Among the inoculated plants, grain yield, protein and oil production content increased in 225.7-204.6 and 164.9%, respectively, when compared to control plants.

No increase in yield was obtained under a fertilization of 38.1 unit of nitrogen per hectare. At a level of 76.2 units, grain production was increased in 12.4%. Fertilization with sodium nitrate or urea gave similar result.

It was calculated that 167.2 kilograms per hectare of atmospheric nitrogen were fixed as a consequence of the symbiotic process.

A highly significant negative correlation was found between protein and oil contents of soybean grains.

LITERATURA CITADA

- BOSWELL, F. C. and ANDERSON, O. E. 1969. Effect of time of molybdenum application on soybean yield and on nitrogen, oil, and molybdenum contents. *Agron. Jour.* 61:58-60.
- HERRERA, A. 1964. Efectividad comparativa de inoculantes comerciales y cepas naturales de *Rhizobium meliloti* en alfalfa. Chillán, Chile, Universidad de Concepción. pp. 47-49. (Tesis Ing. Agr. Mimeografiada).
- HURTADO, R. 1963. Potasio, nitrógeno y materia orgánica en suelos dedicados al cultivo de la alfalfa. Chillan, Chile, Universidad de Concepción. pp. 160-166. (Tesis Ing. Agr. Mimeografiada).
- MARTÍNEZ, C. J., TORRIE, J. H. and ALLEN, O. N. 1970. Correlation analysis of criteria of symbiotic nitrogen fixation by soybeans (*Glycine max* Merr.). *Zentbl. Bakt. Parasitkde.* 124: 212-216.
- RODRÍGUEZ, D. 1962. Influencia de la fertilización con mono, bi y trifosfato de Ca, K, y Na, en alfalfa Caliverde sembrada en maceteros con cuatro suelos chilenos que presentan dificultades en su establecimiento. Chillán, Chile, Universidad de Concepción. p. 110. (Tesis Ing. Agr. Mimeografiada).
- STEWART, W. D. P. 1966. Nitrogen fixation in plants. London. The Athlone Press. 168 p.
- VENEGAS, O. 1966. Pesquisa de cepas efectivas de *Rhizobium trifolii* en trébol rosado. Chillán, Chile, Universidad de Concepción. pp. 55-58. (Tesis Ing. Agr. Mimeografiada).
- WEBER, C. R. 1966. Nodulating and nonnodulating soybean isolines. II. Response to applied nitrogen and modified soil conditions. *Agron. Jour.* 58: 46-49.