

Respuesta a la inoculación y a la nutrición con fósforo y azufre del cultivo de arveja en el sur de Santa Fe*

S. Toresani¹, G. Prieto², F. Salvagiotti³, E. Vita², J.M. Tirelli¹ y F. Zari¹

Introducción

La Argentina exportó durante el 2010, un volumen de 78 000 toneladas (t) de legumbres, ocupando en la provincia de Santa Fe más de 70 000 hectáreas sembradas, de las cuales el 36% corresponden al cultivo de arveja (Prieto, 2011). La arveja (*Pisum sativum* L.) es una especie anual, perteneciente a la familia de las fabáceas (*Fabaceae*), que en Argentina se cultiva en forma extensiva para abastecer a la industria y en forma intensiva para su consumo fresco. Del volumen total de arveja producido localmente, el 90% se destina a grano seco para consumo interno y exportación. Desde el punto de vista tecnológico, se conocen más de 50 variedades, se realiza bajo siembra directa y la protección del cultivo incluye terápicas de semilla de última generación, uso de inoculantes, fertilización balanceada, herbicidas residuales de amplio espectro y fungicidas para el control de enfermedades foliares. Las plantas de arvejas producen granos con alto valor proteico para lo cual es necesario un correcto aporte de nitrógeno (N), para esto, la inoculación con cepas específicas de *Rhizobium leguminosarum* se constituye en una práctica de gran importancia con el fin de proveer N al cultivo por simbiosis.

El objetivo del presente trabajo fue generar información sobre la respuesta del cultivo de arveja a la inoculación y a la fertilización con fósforo (P) y azufre (S), en ensayos a campo en el sur de la provincia de Santa Fe.

Materiales y métodos

Durante la campaña 2010 se llevaron a cabo 3 ensayos de arveja para evaluar la eficacia de diferentes formulaciones de inoculantes y la fertilización con P y S. Los sitios fueron: Estación Experimental INTA Oliveros, y campos de productores en las localidades de Villa Amelia y Sargento Cabral. En la **Tabla 1** se describen las características de cada sitio experimental. Los ensayos se realizaron con un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, en parcelas de 100 m² aproximadamente (ancho de sembradora por 20 m de largo).

Los tratamientos evaluados en las tres localidades fueron:

- 1) Testigo sin inocular y sin fertilizar (Testigo).
- 2) Inoculado (I) con productos de diferentes marcas comerciales según sitio experimental.
- 3) Inoculado y Fertilizado con 18 kg de S (I+S).
- 4) Inoculado y Fertilizado con 20 kg de P (I+P).
- 5) Inoculado y Fertilizado con 20 y 18 kg P y S, respectivamente (I+PS).

Adicionalmente, el ensayo de Sargento Cabral contó con un tratamiento extra:

- 6) Fertilizado con S + P, sin inocular (PS).

El recuento de rizobios viables en los inoculantes se realizó a través de la siembra de diluciones seriadas del inoculante en medio de cultivo LMA (levadura – manitol – agar) y por extensión en superficie (Protocolo Red de Calidad de Inoculantes. Doc. de Procedimientos No. 1, 2006) y la población naturalizada por la técnica del Número Más Probable (NMP) en plántulas de arveja. En los ensayos a campo, para la evaluación de la nodulación, se extrajeron 45 plantas en floración por tratamiento y se evaluó: 1) El número de nódulos en raíz principal (RP); 2) Raíces secundarias (RS); 3) Número total y peso seco total de nódulos por planta y 4) Materia seca aérea total por planta. En madurez fisiológica, para evaluar

Tabla 1. Descripción de los tres sitios experimentales. Arveja. Campaña 2010.

Sitio experimental	Oliveros	Villa Amelia	Sargento Cabral
Tipo de suelo	Argiudol típico Serie Maciel	Argiudol vértico Serie Roldán	Argiudol vértico Serie Peyrano
Análisis de suelo (0-20 cm)			
MO, %	2.94	3.32	2.86
pH	6.1	5.9	5.9
P Bray, ppm	14	10	11.5
S-SO ₄ , ppm	2.6	3.3	2
N-NO ₃ , ppm	9.5	19	14.2
Cultivos antecesores	Soja-Maíz	Lenteja-Maíz-Soja	Soja-Soja
Cultivar	Facón	Viper	Facón
Fecha de siembra	15-7-2010	8-7-2010	13-7-2010
Fecha de cosecha	18-11-2010	18-11-2010	15-11-2010

¹ Facultad de Ciencias Agrarias UNR- Zavalla – Santa Fe. Correo electrónico: storesan@unr.edu.ar

² AER INTA Arroyo Seco.

³ EEA INTA Oliveros.

* Trabajo presentado en el XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16-20 de Abril de 2012, Mar del Plata, Buenos Aires Argentina.

Tabla 2. Concentración de rizobios viables en unidades formadora de colonias (ufc) por unidad de producto y población naturalizada en suelos.

Sitio experimental	No. de rizobios viables	
	ml ⁻¹ inoculante (ufc)	g ⁻¹ suelo
Oliveros	1.9 x 10 ⁸ ufc ml ⁻¹	9.2 x 10 ² ufc g ⁻¹ de suelo
Villa Amelia	s/d*	3.5 x 10 ³ ufc g ⁻¹ de suelo
Sargento Cabral	1.3 x 10 ⁹ ufc ml ⁻¹	3.5 x 10 ⁴ ufc g ⁻¹ de suelo

* Sin datos, no se dispuso del producto al momento de la evaluación en laboratorio.

Tabla 3. Evaluación de la nodulación a campo y peso seco de la parte aérea en arveja bajo diferentes combinaciones de fertilización-inoculación. INTA Oliveros, Santa Fe. Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).

Tratamientos	Patrones de nodulación (No. nódulos planta ⁻¹)			Peso seco nódulos (g)	Peso seco parte aérea (g)
	RP	RS	Totales		
1) Testigo	1.1 a	11.2 a	12.2 a	0.0755 a	2.22 a
2) I	3.8 b	14.0 ab	17.8 ab	0.1013 ab	2.93 a
3) I + S	2.7 b	13.3 ab	16.0 ab	0.0952 ab	2.87 a
4) I + P	2.9 b	18.3 b	21.2 b	0.1258 b	4.10 b
5) I + PS	2.7 b	17.5 b	20.2 b	0.0925 ab	5.11 b

Tabla 4. Componentes de rendimiento evaluados en arveja en función de las diferentes combinaciones de fertilización-inoculación. INTA Oliveros, Santa Fe. Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).

Tratamientos	Plantas m ⁻¹	Biomasa (kg MS ha ⁻¹)	Vainas m ⁻²	Semillas m ⁻²
1) Testigo	20.2 a	3399 a	314 a	1503 a
2) I	18.8 a	4561 a	353 ab	1847 ab
3) I + S	18.3 a	5947 a	392 bc	1995 bc
4) I + P	19.0 a	5517 a	508 d	2510 d
5) I + PS	17.3 a	5873 a	430 c	2321 cd
Media	18.7	5060	400	2035
Valor-p	0.46	0.22	0.032	0.0016
CV%	9.5	27.6	10.15	9.56

Tabla 5. Evaluación de la nodulación a campo y peso seco de la parte aérea en arveja en función de las diferentes combinaciones de fertilización-inoculación. Villa Amelia (Santa Fe). Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas a p<0.05.

Tratamientos	Patrones de nodulación (No. nódulos planta ⁻¹)			Peso seco nódulos (g)	Peso seco parte aérea (g)
	RP	RS	Totales		
1) Testigo	5.6 ab	22.5 a	28.3 a	0.0074 a	2.25 a
2) I	4.6 a	17.4 a	22.0 a	0.0070 a	1.78 a
3) I + S	5.0 ab	15.6 a	20.7 a	0.0092 ab	2.38 a
4) I + P	6.3 ab	38.5 b	44.8 b	0.0092 ab	2.38 a
5) I + PS	6.6 b	33.5 b	40.1 b	0.0141 b	2.23 a

componentes del rendimiento, se muestrearon de cada parcela dos hileras por un metro de longitud, se realizó el recuento de plantas, se determinó el número de vainas por planta, granos por vaina, número de granos por unidad de superficie y biomasa vegetal. En madurez comercial se cosechó una superficie de 25 m² con máquina experimental.

Resultados y discusión

La evaluación de la concentración estándar de rizobios viables en los inoculantes mediante la técnica de recuento en placa constituye un índice adecuado para conocer la potencialidad de un producto comercial (Lupwayi et al., 2000).

La **Tabla 2** muestra los resultados obtenidos en los inoculantes utilizados en los ensayos; los evaluados cumplieron con los estándares fijados por SENASA según Resolución No. 0264/2011, la que indica que los productos formulados en base a *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* deberán tener una concentración mínima de 1 x 10⁸ unidades formadora de colonias (ufc) ml⁻¹ o g⁻¹ al vencimiento.

Oliveros

Se observó respuesta a la inoculación en RP y RS y en número de nódulos totales y peso seco de parte aérea. En la **Tabla 3** se observa respuesta a la fertilización con P en los diferentes parámetros analizados.

En el análisis de componentes de rendimiento se puede observar un incremento en el número de vainas fijadas en todos los tratamientos respecto al testigo, lo que repercute en los resultados de rendimiento, aunque sin diferencias estadísticamente significativas (**Tabla 4** y **Figura 1**). La diferencia en rendimiento entre el testigo sin fertilizante y el inoculado fue de 38 kg ha⁻¹, mientras que con fertilización fosforada, la diferencia fue de 332 kg ha⁻¹.

Villa Amelia

No se observaron diferencias significativas para ninguno de los parámetros evaluados entre el testigo absoluto y el inoculado. Sin embargo, se observó respuesta a la fertilización con P en el patrón de nodulación (Tabla 5).

En componentes de rendimiento, las diferencias entre tratamientos para las variables analizadas indican mayores respuestas debidas al aporte de P, más que a la inoculación. Estas diferencias se dan básicamente por un incremento en el número de vainas por unidad de superficie (Tabla 6). En la Figura 2 se observa la

respuesta en rendimiento a la fertilización fosforada, con niveles promedio de 443 kg ha⁻¹.

Sargento Cabral

Se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos 5 y 6, siendo el No. total de nódulos 41% mayor en el tratamiento I + PS (5) con respecto al mismo tratamiento sin inocular. No se observa respuesta a la fertilización con S (Tabla 7).

Las diferencias entre tratamientos para las variables de rendimiento analizadas arrojan mayores respuestas debidas al aporte de P (Tabla 8). En la Figura 3 se muestran los datos de rendimiento con diferencias estadísticamente significativas a favor de los inoculados. El contraste entre Testigo e Inoculado muestra una diferencia en rendimiento de 324 kg ha⁻¹ (p<0.0195), mientras que el contraste de ambos tratamientos con PS, arroja una diferencia no significativa de 255 kg ha⁻¹.

En Oliveros el número promedio de nódulos por planta fue menor que en las otras dos localidades, pero de gran tamaño ya que registraron el mayor peso promedio por planta. Esto estaría indicando una buena respuesta a la inoculación favorecida por la presencia de una baja población naturalizada de rizobios.

Una buena inoculación es clave en el cultivo de arveja, ya que tiene una capacidad de fijación de N muy alta, llegando incluso a los 185 kg N ha⁻¹ (Prieto, 2011). Además del N, otros nutrientes clave son P, S, potasio (K) y magnesio (Mg). Si se cultiva arveja en suelos con niveles inferiores a las 15 ppm de P Bray⁻¹, es recomendable aplicar este nutriente. El S es necesario en el funcionamiento del nódulo y debido a su residualidad,

Tabla 6. Componentes de rendimiento evaluados en arveja en función de las diferentes combinaciones de fertilización-inoculación. Villa Amelia (Santa Fe). Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).

Tratamientos	Plantas m ⁻¹	Biomasa (kg MS ha ⁻¹)	Vainas m ⁻²	Semillas m ⁻²
1) Testigo	22.8 a	5085 bc	410 ab	1968 bc
2) I	21.7 a	4510 ab	364 a	1732 ab
3) I + S	22.2 a	3659 a	314 a	1471 a
4) I + P	20.8 a	5852 c	499 b	2109 bc
5) I + PS	22.2 a	5817 c	506 b	2130 c
Media	21.9	4985	419	1882
Valor-p	0.61	0.013	0.0128	0.0196
CV%	6.97	12.78	13.62	10.91

Tabla 7. Evaluación de la nodulación a campo y peso seco de la parte aérea en arveja bajo diferentes combinaciones de fertilización-inoculación. Sargento Cabral, Santa Fe. Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).

Tratamientos	Patrones de nodulación (No. nódulos planta ⁻¹)			Peso seco nódulos (g)	Peso seco parte aérea (g)
	RP	RS	Totales		
1) Testigo	1.11 ab	17.1 a	18.22 ab	0.0156 ab	1.67 a
2) I	1.85 b	17.2 a	19.02 ab	0.0181 b	1.80 a
3) I + S	1.00 a	16.3 a	17.18 a	0.0100 a	1.78 ab
4) I + P	1.18 ab	23.5 ab	24.69 b	0.0215 bc	2.52 c
5) I + PS	1.10 ab	33.3 b	34.33 c	0.0207 bc	2.68 c
6) PS	1.50 ab	23.0 ab	24.30 b	0.0242 c	2.35 bc

Tabla 8. Componentes de rendimiento evaluados en función de los tratamientos. Sargento Cabral, Santa Fe. Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).

Tratamientos	Plantas m ⁻¹	Biomasa (kg MS ha ⁻¹)	Vainas m ⁻²	Semillas m ⁻²
1) Testigo	25.8 a	4530 ab	406 a	1935 a
2) I	26.0 a	4864 ab	398 a	1863 a
3) I + S	27.7 a	4470 a	437 ab	1866 a
4) I + P	24.2 a	5734 ab	525 bc	2448 b
5) I + PS	26.8 a	5848 b	521 bc	2394 b
6 + PS	27.3 a	7712 c	610 c	2914 c
Media	26.3	5526	483	2237
Valor-p	0.29	0.0025	0.004	0.0023
CV%	6.95	13.3	11.8	11.25

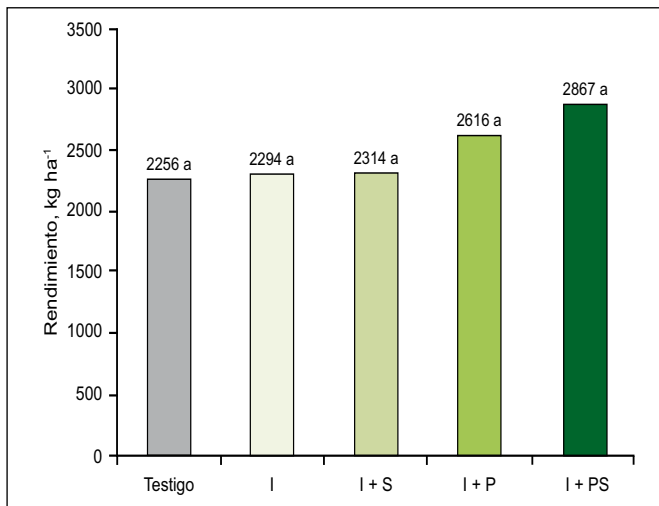


Figura 1. Rendimiento de arveja para los diferentes tratamientos evaluados. INTA Oliveros, Santa Fe. Campaña 2010. Las letras iguales indican ausencia de diferencias estadísticas significativas ($p = 0.20$). CV = 13.62%



Ensayo Sargento Cabral en floración para evaluación de patrones de nodulación. Fuente: Gabriel Prieto.

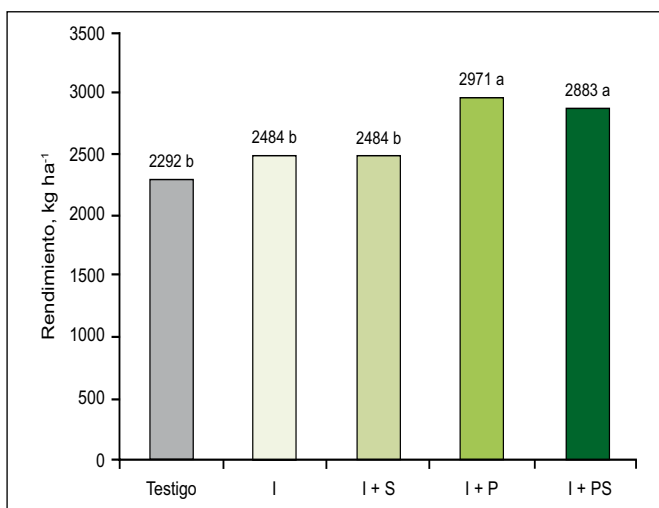


Figura 2. Rendimiento de arveja para los diferentes tratamientos evaluados. Villa Amelia (Santa Fe). Campaña 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0068$). CV = 6.97 %.

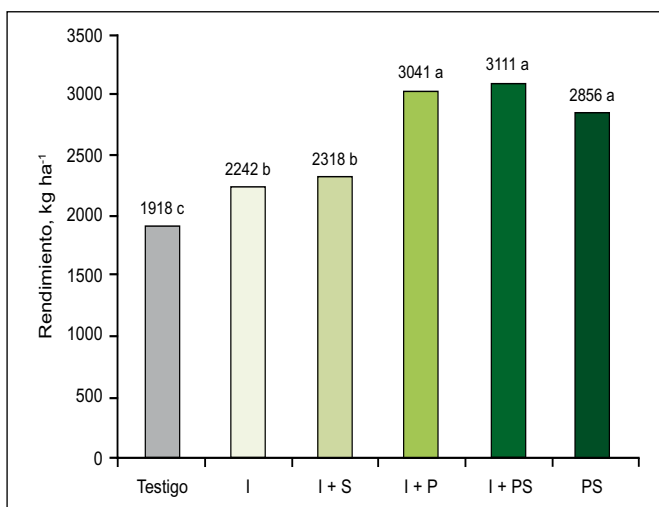


Figura 3. Rendimiento de arveja para los diferentes tratamientos evaluados. Sargento Cabral, Santa Fe. Campaña 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.0001$). CV = 5.54 %.

parte de la fertilización estará disponible el próximo cultivo en la rotación. Erman et al. (2009), encontraron respuesta en peso seco de raíz y tallo y rendimiento en biomasa y semilla con inoculación + 60 kg P₂O₅ ha⁻¹. En nuestros ensayos, en los 3 sitios tanto en nodulación como en componentes de rendimiento se observa respuesta a la fertilización con P, pero no en el caso de S.

Conclusión

Cuando el suelo presenta una baja población naturalizada de rizobios, el inoculante puede expresar su potencialidad. Si bien en general, no se han obtenido diferencias estadísticamente significativas en rendimiento en grano, la tendencia ha sido de mayor kg grano ha⁻¹ a favor de los inoculados, lo que podría justificar la implementación de la práctica de la inoculación en este cultivo. La fertilización con P resultó una práctica de gran impacto en todos los parámetros evaluados.

Bibliografía

- Albanesi, A., S. Benintende, C. Bonfiglio, F. Cassan, F. González Fiqueni, L. Lett, C. Penna, A. Peticari, A. Rossi, y S. Toresani. 2006. Documento de procedimientos N° 1. Control de calidad de inoculantes para leguminosas. Red de Calidad de inoculantes (REDCAI). ISBN 987-98475-6-3. pp 1-14.
- Erman, M., B. Yildirim, N. Togay, y F. Cig. 2009. Effect of Phosphorus Applications and *Rhizobium* Inoculation on Yield, Nodulation and Nutrient Uptake in Field Pea (*Pisum sativum sp arvense* L.). Journal of Animal and Veterinary Advances 8(2):301-304.
- Lupwayi, N.Z., P.E. Olsen, E.S. Sande, H.H. Keyser, M.M. Collins, P.W. Singleton, y W.A. Rice. 2000. Inoculant quality and its evaluation. Field Crops Research, 65:259-270.
- Prieto, G. 2011. Campo Litoral. Edición 23/7/2011. Las legumbres ganan terreno entre los cultivos de invierno. Crece la superficie sembrada en Santa Fe. 🌱