

ESTRATEGIAS DE NUTRICIÓN APLICADAS A LA PRODUCCIÓN DE LEGUMBRES DE INVIERNO FERTILIZACIÓN E INOCULACIÓN EN EL CULTIVO DE ARVEJA (PISUM SATIVUM L.)

Ings. Agrs. Gustavo Ferraris¹ y José Salvator²

1. Manejo de Cultivos INTA EEA Pergamino. 2. Cooperativa Agrícola Ganadera de Peyrano Ltda. Av Frondizi km 4,5 (B2700WAA)
ferraris.gustavo@inta.gob.ar

Palabras clave: cultivos de invierno, doble cultivo, integración de tecnologías

El presente trabajo explora la respuesta tecnológica en un cultivo alternativo para el norte de Buenos Aires. Cubriendo una escasa superficie y siendo opacado por su potente competidor –el trigo- en toda la región y su alternativa de gran adaptación –la cebada cervecera- en el centro y medio oeste de la provincia, la arveja ocupó nichos de cultivo especialmente en los partidos de Salto, Pergamino, Arrecifes y San Nicolas, siendo algo más frecuente en los departamentos Constitución y Rosario, del Sur de Santa Fe. Su valía como antecesor de una variante tecnológica actual como es el maíz de siembra tardía, ha renovado el interés por el cultivo, del cual restan ajustar muchos aspectos de su manejo. Sin dudas la nutrición constituye uno de los más relevantes.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de legumbres de invierno, arveja –*Pisum sativum*- y lenteja, –*Lens culinaris*- ha cobrado importancia en el último decenio a partir de restricciones para la comercialización de la especie más tradicional de la región –el trigo-, y un ajuste en las prácticas de cultivo. La inserción en las secuencias de cultivo como antecesor de maíz de segunda época, ha resaltado su importancia estratégica (Toresani et al., 2012). Ciclo corto, bajo consumo hídrico, aporte de N residual por fijación biológica y facilidad de siembra son algunas de sus ventajas comparativas, en contraposición con los cereales de invierno (Prieto, 2013).

La arveja es una especie invernal, perteneciente a la familia de las Fabáceas (Leguminosas), subfamilia Papilionoidea. El hábito de crecimiento de las variedades cultivables es indeterminado, con respuesta fotoperiódica cuantitativa a días largos. Para la descripción de las diferentes etapas de desarrollo se propone la escala sugerida por Knott (Knott, 1987), en la que se definen los 4 estados principales: emergencia, crecimiento vegetativo, reproductivo y senescencia.

Desde el punto de vista productivo, las limitaciones más importantes se circunscriben a los aspectos hídricos, sanitarios (plagas insectiles, enfermedades, etc) y nutricionales. El consumo de agua es sensiblemente menor al de colza y cereales de invierno. Se cosecha en forma anticipada respecto de trigo, cebada y colza invernal. Las necesidades nutritivas de la arveja son descritas en la Tabla 1, las cuales, junto al Índice de cosecha, permiten estimar la extracción realizada en los granos de cultivo. Pocos antecedentes se citan en nutrición de arveja, tanto a nivel nacional (Ferraris et al., 2013; Ferraris, 2015, Toresani et al., 2012) como internacional (Abi-Ghanem et al, 2011). Amma y González (INTA San Pedro, 1987) y Martínez y Cordone -INTA Casilda- (datos no publicados) realizaron los primeros experimentos en este cultivo, donde documentaron principalmente respuesta a fósforo (P). Como es una especie que produce granos con un alto valor proteico (20 al 24 %), es exigente en nitrógeno (N). No obstante, al ser una especie fijadora, el balance de N es menos negativo que en el caso de cereales de invierno. La utilización de inoculantes y la fertilización fosforada son prácticas habituales en el gran cultivo.

Tabla 1: Requerimientos nutricionales de la arveja

Nutriente	kg/ ton producida	kg/ ton producida	Índice de cosecha
Fuente	Prieto, 2010*	Prieto, 2013	
Nitrógeno (N)	42	53	0,72
Fósforo (P)	5	4	0,82
Potasio (K)	24	31	0,32
Calcio (Ca)	s/d	22	0,06
Magnesio (Mg)	4	4	0,30
Azufre (S)	2	2	0,57

*Citado por Prieto, 2013 y Ferraris, 2015

Las legumbres invernales fueron cultivadas durante mucho tiempo en regiones hortícolas, en establecimientos pequeños que realizan un manejo intensivo, y fertilización con varios nutrientes. En la actualidad existe una variada y creciente gama de insumos destinados al cultivo, como fungicidas de semilla y foliares, insecticidas, inoculantes de alta tecnología, productos hormonales y una extensa gama de otros insumos, cuya eficiencia requiere ser evaluada. El objetivo de esta experiencia es evaluar el efecto sobre el crecimiento, nodulación, rendimiento y sus componentes de diferentes estrategias de nutrición, que consisten en la combinación de tratamientos de inoculación y fertilización fosforada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el año 2016, se condujo un experimento de campo sobre nutrición del cultivo de arveja. El experimento fue conducido en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino (EEA INTA Pergamino), sobre un suelo serie Pergamino, Argiudol típico, familia fina, illítica, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006). Se sembró el día 22 de Julio, con una sembradora de siembra directa que distancia las hileras a 0,20 m. Se utilizó la variedad de grano amarillo liso Reussite, semiáfila y de porte semierecto. Durante el ciclo, se realizaron dos tratamientos fungicidas, y para el control de pulgón.

El diseño del ensayo fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos se describen en la Tabla 2. Por su parte, el suelo del experimento contaba con baja fertilidad, en todos los parámetros analizados (Tabla 3). Cabe señalar que el sitio experimental no cuenta con antecedentes de cultivo de legumbres en los últimos años, lo cual descarta la posibilidad de nodular las plantas a partir de una flora bacteriana naturalizada en el suelo.

Tabla 2: *Tratamientos evaluados en arveja var Reussite. Pergamino, año 2016.*

Trat	Inoculante (I)	Fungicida (fu)	Fertilizante (fert)	Dosis (I + fu + fert)
T0	Control			
T1	Control	Si		0 + 1 ml/kg semilla 0 fertilizante
T2	Inoculante c/inducción anticipada (IIA)	Si		4 + 1 ml/kg semilla 0 fertilizante
T3	Inoculante c/osmoprotección (IOP)	Si		4 + 1 ml /kg semilla 0 fertilizante
T4	Inoculante c/inducción anticipada	Si	MAP (0-23-0)	4 + 1 ml /kg semilla 100 kg/ha
T5	Inoculante c/inducción anticipada	Si	Microgranulado MPZ (10-17,4-0-S 4,4-Zn 2)	4 + 1 ml /kg semilla 30 kg/ha

MAP: fosfato monoamónico, grado nutricional (12-23-0). Micorgranulado MPZ, grado nutricional (10-17,4-0-S 4,4-Zn 2).

Los inoculantes con inducción anticipada (IIA) contienen moléculas señal que facilitan y anticipan el reconocimiento entre planta y bacteria. Mientras tanto, los inoculantes con osmoprotección (IOP) contienen un medio de cultivo que protege y nutre a las bacterias fijadoras de N evitando su desecación. Permiten anticipar el tratamiento de semillas hasta 7 días antes de la siembra (Ferraris et al., 2016). El fungicida contiene metalaxil M (2 % p/v) + fluodioxonil (2,5 % p/v) + tiabendazol (15 % p/v).

Tabla 3: *Datos de suelo al momento de la siembra*

Profundidad	pH	Materia Orgánica	P-disp.	N-Nitratos 0-20 cm	N-Nitratos suelo 0-60 cm	S-Sulfatos suelo 0-20 cm	Zn
cm	agua 1:2,5	%	ppm	ppm	kg ha ⁻¹	ppm	ppm
0-20 cm	5,8	4,1	16,1	17,7	94,5	7,2	0,6
20-40 cm				11,8		7,3	
40-60 cm				8,1		5,8	

Se realizaron evaluaciones de nodulación, GreenSeeker® (sensor que determina NDVI – Índice verde normalizado, de Trimble® Agriculture), Intensidad de verde por Minolta Spad, cobertura y vigor de planta sobre 10 plantas en el estado Knott 206 (vaina engrosada: llenado de granos). Sobre una muestra de cosecha se cuantificaron los componentes numéricos del rendimiento, número (NG) y peso (PG) de los granos. Los resultados se analizaron mediante partición de varianza y comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 4 se presenta una evaluación cualitativa de la nodulación, mientras que en la Tabla 5 valores de diferentes parámetros de cultivo relevados durante el ciclo, así como los componentes del rendimiento.

Tabla 4: Evaluación cualitativa de nodulación. Arveja Reussite. Pergamino, campaña 2016.

T	Tratamientos	Cantidad Nódulos (1)	Tamaño (2)	Localización (3)	Funcionalidad (4)
T0	Control	2	3	4	4
T1	F	2	3	4	4
T2	F + IIA	4	4	5	4
T3	F + IOP	4	4	4	4
T4	F + IIA + MAP	5	4	5	4
T5	F + IIA + MPZ	5	4	5	4

Escala de colores: 1: rojo, 2: naranja, 3: amarillo, 4: verde claro, 5: verde oscuro.

1: rojo	2: naranja	3: amarillo	4: verde claro	5: verde oscuro
---------	------------	-------------	----------------	-----------------

Número de nódulos: 1: nulo, 2: escaso, 3: medio, 4: alto, 5: muy alto.

Tamaño: 1: muy pequeños, 2: pequeños, 3: tamaño medio, 4: tamaño grande, 5: tamaño muy grande.

Localización: 1: totalmente en raíces secundarias, 2: mayormente en raíces secundarias, 3: distribución equitativa raíz principal: raíz secundaria, 4: mayormente en raíz primaria, 5: nódulos totalmente localizados en raíz principal.

Funcionalidad: 1: tonalidad completamente verde o marrón, 2: tonalidad mayormente verde o marrón, 3: tonalidad diversa, 4: tonalidad mayormente rojiza, 5: tonalidad rojiza en la totalidad de los nódulos.

La inoculación incrementó notablemente el número de nódulos, el que a su vez se vio favorecido por la fertilización fosforada, sin diferencias sustanciales entre fuentes (Tabla 4). La inoculación a la vez aumentó el tamaño de los nódulos y mejoró su localización sobre la raíz principal, sin un efecto marcado de la fertilización. En todos los casos se observó una buena funcionalidad de los nódulos.

Tabla 5: Intensidad de verde por Green seeker, Unidades Spad, vigor de planta, cobertura del suelo, rendimiento de grano y componentes de rendimiento en arveja. En la línea inferior se muestra la correlación (r) entre rendimiento de grano y las variables descriptas. Tratamientos de inoculación y fertilización. **Para una completa descripción de los tratamientos léase la Tabla 2.** Pergamino, campaña 2016.

Tratamientos	Plantas /m2	Valor Green Seeker	NDVI/NDVI Max (*)	Unidades Spad	Vigor (1-5)	Cobert (%) Knot 206	NG m ²	PG x 1000
Control	82,3	0,53	0,88	40,3	3,0	77,2	733,3	274,0
F	95,1	0,55	0,92	39,1	3,2	83,2	813,1	275,3
F + IIA	93,8	0,69	1,00	45,1	3,5	87,4	907,0	276,7
F + IOP	99,2	0,61	1,00	45,3	3,4	89,9	845,7	277,3
F + IIA + MAP	95,2	0,60	1,00	45,2	3,6	90,3	953,0	278,0
F + IIA + MPZ	97,1	0,58	0,97	45,1	3,6	88,1	911,1	289,3
R² vs rendimiento	0,48	0,33	0,66	0,63	0,98	0,75	0,97	0,44

(*) El NDVI Relativo surge de dividir el Valor Green seeker de un tratamiento / Valor Green seeker T2 (tratamiento fertilizado).

La inoculación determinó un incremento en los valores de Índice verde estimado por Minolta Spad, NDVI por Green seeker y en menor medida la cobertura a floración (Tabla 5).

Se registraron incrementos significativos por la aplicación de estrategias más intensivas de producción ($P=0,02$; $cv=9,0\%$), en el rango de 230 a 640 kg ha⁻¹. La práctica de mayor impacto fue la inoculación como medida general (T2, T3 vs T0, T1). Esta prevalencia de la inoculación sobre la fertilización química en sitios sin antecedentes de legumbre ya había sido señalado por otros autores (Abi-Ghanem et al, 2011; Toresani et al., 2012; Proeto; 2013; Ferraris et al., 2013; Ferraris, 2015) No se determinaron cambios significativos entre inoculantes IIA e IOP (Figura 1). La fertilización fosforada estabilizó los rendimientos en un nivel más alto, aunque con diferencias más reducidas que la práctica de inoculación, y en forma no significativa (Figura 1). Por último, el tratamiento con curasemillas aumentó el número de plantas establecidas, y levemente el rendimiento (Figura 1).

Las variables que en mayor medida reflejaron el efecto de los tratamientos fueron vigor ($r^2=0,98$), NG ($r^2=0,97$), cobertura e intercepción ($r^2=0,75$), NDVI relativo ($r^2=0,66$), Índice verde por Spad ($r^2=0,63$) y stand de plantas ($r^2=0,48$) (Tabla 5).

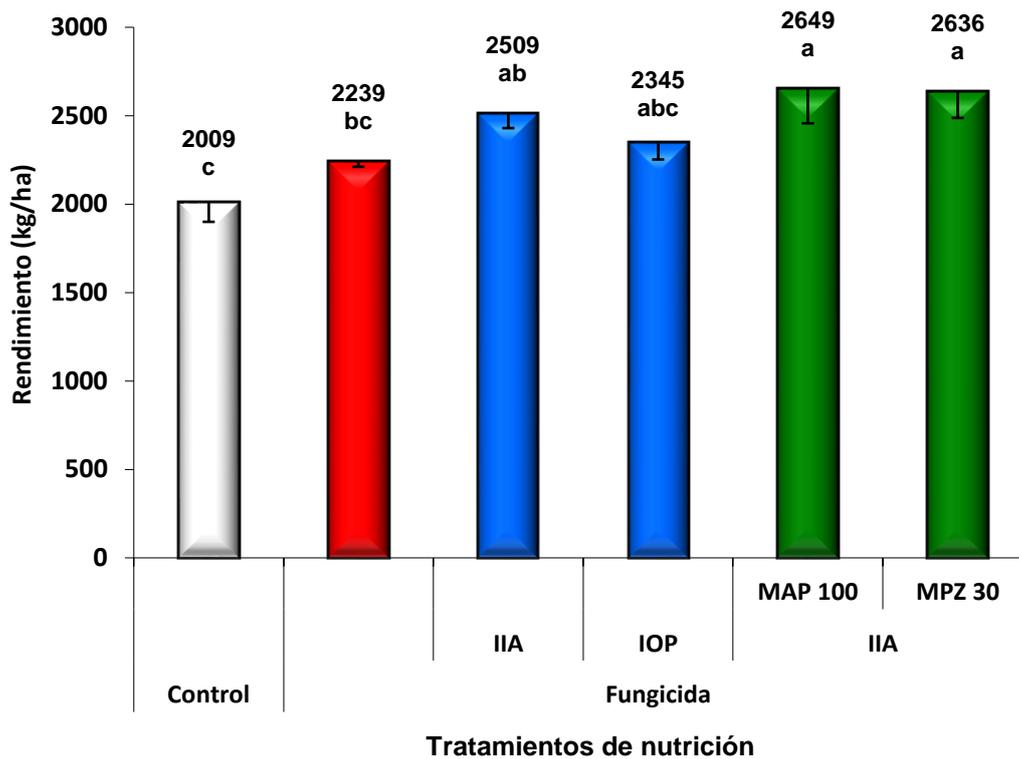


Figura 1: Producción media de arveja según tratamientos de intensificación, basados en el uso de Inoculantes y fertilizantes fosforados. Pergamino, año 2016.

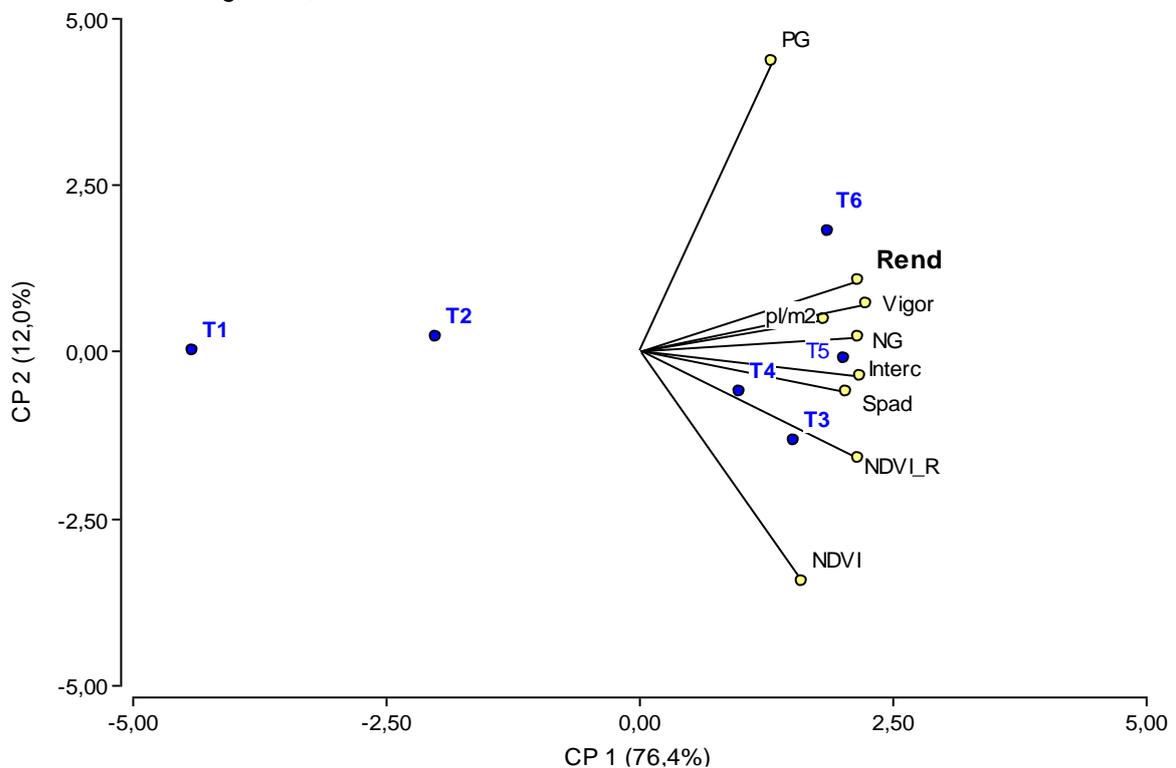


Figura 2: Biplot que relaciona los tratamientos con el rendimiento, sus componentes y variables intermedias relevadas durante el cultivo.

En la Figura 4 se presenta la distribución de los tratamientos y las variables intermedias relevadas durante el ciclo de cultivo. El eje 1 separa los tratamientos y explica la mayor parte de la variación total (76,4%), siendo la inoculación el principal factor de discriminación (Figura 2). Los tratamientos T1 y T2, sin inoculación, se separan de

T3, T4, T5 y T6, inoculados Aquellos tratamientos con inoculación y fertilización fosforada se destacan por su alto **vigor** –crecimiento- **NG** y **Rendimiento**. Mientras que en presencia de inoculación, aun sin fertilización fosforada, aumentaron la **intercepción** de radiación, contenido de N estimado por **Spad**, **NDVI** y **NDVI relativo** al máximo, evaluado por Green Seeker (Figura 2). El PG pareciera un componente poco relevante, sólo asociado de manera distante a un tratamiento con fertilización fosforada e inoculación. El eje 2 explica en poco grado la variación total, y explica algunos antagonismos (NDVI vs PG) y asociaciones (NG con vigor e intercepción de radiación, estos últimos reflejan en definitiva la acumulación de biomasa).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos destacan a los tratamientos de semilla con bacterias fijadoras de N como la práctica de manejo más importante para mejorar la nodulación, acumulación de N, NG y rendimiento. El uso de inoculantes y fertilizantes mostraron efectos aditivos y complementarios a la inoculación.

El experimento confirma resultados anteriores, que sugieren a la inoculación y la fertilización como prácticas relevantes para incrementar los rendimientos de legumbres invernales. Por tratarse de un trabajo de un año, y dada la escasa investigación local en la temática, el trabajo deberá repetirse para validar o refutar las conclusiones obtenidas.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Abi-Ghanem, R., L. Carpenter-Boggs, y J.L. Smith. 2011.** Cultivar effects on nitrogen fixation in peas and lentils. *Biol Fertil Soils*. Vol 47 issue 1 pp 115-120.
- Amma, A.; González, J. 1987.** Efecto residual del fertilizante fosfatado. EEA INTA San Pedro período 1985/86; 1986/1987. Jornada de actualización en soja, 8/10/87. EEA INTA San Pedro, Bs. As.
- Ferraris, G. 2015.** Estrategias de intensificación aplicadas a la producción de legumbres de invierno. Experiencias con arveja en la campaña 2015. Informe de resultados. 5 pp.
- Ferraris, G. y L. Couretot. 2013.** Experimentos de nutrición en el cultivo de arveja. Campaña 2012/13. AAPRESID. *Revista de Trigo y Cultivos invernales* 2013. 7 pp.
- Knott, C.M. 1987.** A key for stage development of the pea (*Pisum sativum*). *Ann. Appl. Biol.* 111:233-244.
- Prieto, G. 2013.** Claves para el manejo nutricional de arveja. En: *Actas Simposio Fertilidad 2013*. IPNI-Fertilizar. *Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable*. pp 32-35.
- Toresani, S., G. Prieto, F. Salvagiotti, E. Vita, J.M. Tirelli, y F. Zari. 2012.** Respuesta a la inoculación y a la nutrición con fósforo y azufre en cultivo de arveja en el sur de Santa Fe. En *Actas XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Abril 2012.