

# Análisis retrospectivo del uso de inoculantes con cepas elite en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México<sup>1</sup>

J.Z. Castellanos\*, J.J. Peña-Cabriales\*\*,  
I. Rojas-Martínez\*

## RESUMEN

Se analizaron los informes de 46 experimentos con inoculantes, llevados a cabo en México durante los últimos 15 años, en revistas científicas, memorias de congresos, tesis universitarias e informes técnicos de campos experimentales. El análisis consistió en revisar los datos de nodulación y rendimiento de tres tratamientos: a) inoculado, b) testigo positivo de N (N+), y c) testigo negativo de N (N-). En relación al rendimiento se usaron dos criterios de comparación: estadístico ( $P < 0.05$ ) y de aumento del 10% en dicho rendimiento. La consistente nodulación del tratamiento N- a niveles similares al tratamiento inoculado, indica la alta presencia de cepas nativas de *Rhizobium* en todas las localidades. El análisis global de los datos de rendimiento determina que sólo en el 11% de los experimentos el tratamiento inoculado superó estadísticamente ( $P < 0.05$ ) al testigo N-. Para evaluar la efectividad de la inoculación se compararon los tratamientos N+ versus inoculado solamente en sitios con bajo N disponible en el suelo. Dichos resultados indicaron que, en condiciones de riego, en el 50% de las localidades la inoculación satisfizo la demanda de N y en temporal el éxito de la inoculación llegó sólo al 36 por ciento. El éxito global resultó en 41 por ciento. Los datos de la presente revisión indican que la vía de la inoculación no ha sido suficientemente exitosa para incrementar la fijación biológica de N<sub>2</sub>, entre tanto los trabajos realizados para seleccionar genótipos de alta capacidad de fijación han sido muy limitados; sin embargo es, a través del genótipo, donde hasta ahora existe el mayor potencial para incrementar el N fijado.

Palabras clave: *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli, inoculación, nodulación.

## ABSTRACT

With the aim of evaluating the agronomic significance of *R. leguminosarum* bv. phaseoli inoculants under field conditions in Mexico, the present study analyzed 46 field experiments generated during the last 15 years. The data were obtained from scientific papers, technical reports, dissertations, theses and congress proceedings. The analysis consisted of reviewing data on nodulation and yields of three treatments: a) inoculated with best available strains, b) control N+, and c) control N-. Two criteria were used to compare the grain yield of the treatments: a) statistical ( $P < 0.05$ ) and, b) 10% yield increase. Similar nodulation patterns were observed between N- control and the inoculated treatments, which indicates the high presence of native rhizobia in all growing locations. Total yield analysis indicated that only in 11% of the trials did the inoculated treatment overcome the N-control. To evaluate the effectiveness of the inoculation, treatments N- vs. the inoculated one were compared in locations of low available nitrogen only. Under irrigation conditions the inoculated treatment satisfied the crop demand of N in only 50% of the trials. Under rainfed conditions, success for inoculation occurred in only 36% of the trials; overall inoculation success was only 41%. The data indicate that, to date, inoculation has not been successful enough in increasing BNF in dry beans; therefore, it is recommended to place a higher priority on selection of plants with a high capacity for nitrogen fixation.

Key words: *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli, inoculation, nodulation, trials.

## INTRODUCCIÓN

El frijol en México se cultiva desde hace 6000 a 7000 años (Kaplan y Kaplan 1988) y la evolución de esta especie probablemente ha sido paralela a la de su correspondiente microsimbionte, por la cual existe gran diversidad de cepas nativas de esta

bacteria (Aguilera-Sandoval 1989). Además, el frijol se cultiva prácticamente en todo el país y la población de cepas nativas es alta en casi todos los suelos de México, especialmente en las regiones productoras de frijol, donde las poblaciones de rizobios nativos ascienden hasta 10<sup>5</sup> células por gramo de suelo (Dazzo *et al.* 1990), con predominio de cepas inefectivas (Almaráz-Suárez y Ferrera-Cerrato 1986).

Esta situación provoca en terrenos con altas poblaciones de rizobios nativos que la formación de

<sup>1</sup> Recibido el 24 de mayo de 1993

\* Campo Experimental Bajío, INIFAP. Apartado Postal 112, Celaya, Gto., Méx.

\*\* Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados. IPN, Apartado Postal 629, Irapuato, Gto., Méx.

nódulos por cepas introducidas sea baja (Dazzo *et al.* 1990; Hernández-Razo 1987; Maya *et al.* 1989; Thies *et al.* 1992). Thies *et al.* (1991a), en un estudio realizado con ocho leguminosas entre las que estaba el frijol, reportó que para lograr un incremento significativo en el rendimiento, en relación con el cultivo no inoculado, fue necesario que se duplicara la masa nodular, además de lograr más del 66% de la ocupación de nódulos con la cepa introducida. Singleton *et al.* (1992) informó que de 10 experimentos establecidos en frijol a través de la Red Internacional de Ensayos de Inoculación—correspondientes al proyecto NIFTAL—, sólo en cuatro de ellos hubo una respuesta significativa a la inoculación.

Debido a que la inoculación tiene como propósito lograr el predominio en la formación de nódulos por cepa introducida, la cual es considerada altamente efectiva al no conseguir generar estos nódulos en los porcentajes deseados, el uso de inoculantes en esta especie en suelos con alta presencia de cepas nativas es seriamente cuestionado.

Este es el caso de la mayoría de las regiones frijoleras de México; sin embargo, hasta la fecha no se han evaluado, con base en un procedimiento uniforme, los resultados globales de los experimentos de campo dirigidos a definir el éxito de la inoculación con cepas elite.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el éxito global del uso de inoculantes formulados con base en cepas elite como medio para satisfacer la demanda de N del frijol, cultivado en condiciones de riego y temporal en México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio consistió en analizar globalmente los resultados de 46 experimentos de campo establecidos para evaluar la respuesta a inoculantes preparados con cepas elite, las cuales pasaron por un proceso de autenticación, evaluación y selección en condiciones controladas y cuya localización se indica en la Fig. 1.

Esos ensayos fueron realizados entre 1977 y 1991 y sus resultados fueron obtenidos de revistas científicas, tesis universitarias, informes técnicos de campos experimentales y memorias de congresos,

procurando incluir todos los informes realizados en México sobre el tema. En todos los casos sólo se recabó información de tres tratamientos: a) testigo sin inoculante ni fertilizante nitrogenado (N-), al cual se le aplicaron solamente 40 kg de  $P_2O_5$ /ha; b) tratamiento con inoculante y con adición de fósforo a la misma dosis del tratamiento anterior; c) testigo con adición de nitrógeno (N+) en dosis que variaron de 25 a 120 kg/ha y sin inoculante. A este

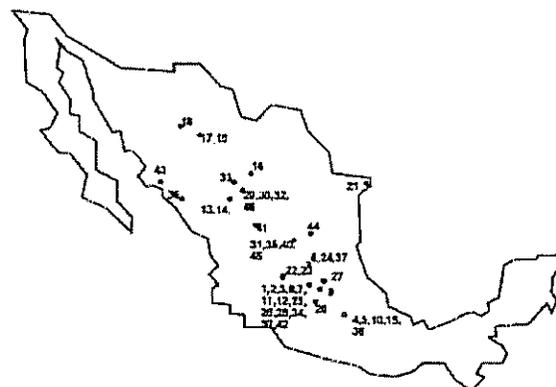


Fig. 1. Localización de los ensayos de inoculantes.

### Nota:

Números corresponden a los experimentos del Cuadro 1.

tratamiento, también, se le adicionó fósforo a la misma dosis como en los anteriores. La única fuente de variación fue el abastecimiento de nitrógeno mediante fertilizante o inoculación.

### Datos revisados

En cada experimento, se tomaron los datos de localidad sobre siembra, genótipos, cepas, dosis de nitrógeno, condición de humedad (riego o temporal), número de nódulos por planta y rendimiento de grano. Estos dos últimos fueron obtenidos para la mejor cepa o inoculante multicépa evaluado en el experimento. Cuando hubo más de un genótipo evaluado, se obtuvo el promedio de éstos. Con los datos de rendimiento se calculó el rendimiento relativo entre los tratamientos; es decir, se obtuvieron tres datos de rendimiento relativo:

- (Inoc/N-) 100: Indicador general de la respuesta a la inoculación en el sitio experimental.

- (N+/N-) 100: Indicador de la respuesta a la aplicación de N al suelo (índice de fertilidad del suelo).
- (N+/Inoc) 100: Indicador del grado de abastecimiento de nitrógeno a la planta mediante la inoculación.

En el caso del primer indicador, un valor cercano a 100 significa que no hay respuesta a la inoculación, mientras que un valor superior a 100 señala que tuvo resultados favorables al aumentar el rendimiento en relación con el testigo N-.

En el caso del segundo indicador, un valor cercano a 100 se interpreta como ausencia de respuesta a la fertilización, es decir, que, en las condiciones de manejo del experimento, el suelo satisface la demanda de nitrógeno del cultivo, aunque también existe la posibilidad de que las cepas nativas abastezcan al cultivo en forma suficiente.

En el caso del tercer indicador, un valor cercano a 100 se interpreta en general como un buen comportamiento del inoculante y mayor de 100 indica que el inoculante no satisface la demanda de N del cultivo, aunque también hay la posibilidad de que las cepas nativas abastezcan al cultivo en forma suficiente. Un valor mayor de 100 indica un bajo nivel de N disponible en el suelo.

#### Procedimiento de análisis

Una vez recabada la información, se formaron dos grupos de experimentos: a) el primero, que incluyó las pruebas establecidos en condiciones de riego (21 ensayos); y b) el segundo, las pruebas establecidas en condiciones de temporal, es decir, sujetas a la precipitación pluvial (25 ensayos); también se obtuvieron los datos en forma global de todos los ensayos. En ambos casos se hicieron tres comparaciones: 1) inoculado *versus* N-, 2) N+ *versus* N-, 3) N+ *versus* inoculado. Esta última

comparación se realizó exclusivamente en los experimentos con bajo N disponible en el suelo, es decir, eliminando aquellos en que no hubo respuesta a la aplicación de nitrógeno. Se consideró que si no había respuesta a la aplicación de N al suelo, el N disponible del suelo en dicha localidad satisfacía la demanda de N del cultivo y, por lo tanto, los resultados de dicha prueba no eran válidos para evaluar la efectividad de la inoculación. Esta última comparación permitió establecer objetivamente si el cultivo satisfizo su demanda de N mediante la inoculación, sin desvirtuar los resultados por el alto nivel de N disponible en el suelo.

Se utilizaron dos criterios para establecer las comparaciones entre los tratamientos arriba mencionados: a) criterio estadístico, que consistió en comparar los tratamientos con rigor estadístico al 5% de probabilidad y que corresponde al reportado para cada uno de los ensayos y b) criterio de aumento en rendimiento, que consistió en comparar los tratamientos con base en una diferencia en el rendimiento igual o superior al 10 por ciento. Este segundo criterio es menos rígido que el primero pues no involucra un análisis estadístico y, por lo tanto, es menos exacto.

## RESULTADOS

Los resultados de los experimentos sobre inoculantes en frijol se presentan en el Cuadro 1. En el análisis de los 46 ensayos establecidos en campo se incluyeron 30 cepas de *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli y 17 genótipos de frijol, en 22 localidades de 10 entidades federativas del país. Del total de informes revisados, el 54% correspondió a siembras de temporal y el restante a siembras de riego.

#### Nodulación

No obstante que los datos de nodulación no son un buen indicador de la eficiencia de fijación de N<sub>2</sub> (Duque *et al.* 1985), y que en la mayoría de los

experimentos analizados en el presente estudio sólo se incluyeron los datos de una fecha de muestreo, la consistente nodulación del tratamiento testigo (N-) indica una alta presencia de rizobios nativos en todas las localidades, de tal manera que el tratamiento inoculado no mostró niveles de nodulación superior al testigo prácticamente en ninguno de las pruebas.

En relación a la fertilización nitrogenada, ésta abatió significativamente ( $P < 0.05$ ) la nodulación en relación al testigo N- o al tratamiento inoculado en una tercera parte de los ensayos, independientemente de que fueran bajo riego o temporal.

**Cuadro 1. Localidad, genótipo de frijol y cepas de *Rhizobium* utilizadas, dosis de N, condición de humedad, nodulación y rendimientos obtenidos durante 15 años de experimentos con inoculantes en frijol.**

No de ensayo	Localidad	Genótipo	Cepa	Dosis de N K/H	Condición	Número de nódulos/planta		
						N-	Inoc.	N+
1	Celaya, Gto.	Canario 101	ENCB 2+7	40	temporal	40 a*	44 a	19 b
2	Celaya, Gto.	Canario 101 F M	ITC-102	40	temporal	67 a	71 a	91 a
3	Celaya, Gto.	Bajío 2 genótipos	ITC-102	60	riego	-	-	-
4	L. Sn Juan, Méx.	2 genótipos	ENCB-410	80	temporal	229 a	306 a	90 b
5	Xaltépa, Méx.	Canario 101	ENCB-410	80	riego	145 a	181 a	124 a
6	Celaya, Gto.	Canario 101	CIAT-255	40	riego	47 a	64 a	11 b
7	Celaya, Gto.	Canario 101	ITC-1018	40	temporal	56 a	72 a	16 b
8	Sn Luis Paz, Gto	Canario 101	ITC-1018	40	temporal	66 a	65 a	17b
9	Apasco Alto, Gto	Ojabra 400FM	ITC-1018	40	temporal	-	-	-
10	Chapingo, Méx.	RMC FM	CP-16	120	temporal	50 a	33 a	47 a
11	Celaya, Gto	RMC Can-101	ITCI+2+3+4	60	riego	36 a	21 a	20 a
12	Celaya, Gto	Can-101	ITCN-FM 8	60	riego	-	-	-
13	Durango, Dgo.	-	FM 157	60	temporal	35 a	15 a	4 a
14	Durango, Dgo.	3 genótipos	FM 157	60	temporal	95 a	155 a	160 a
15	Chapingo, Méx.	3 genótipos	-	60	temporal	-	-	-
16	G. Palacios, Dgo	O de Cabra	NM 17	40	riego	1 a	11 a	1 a
17	Delicias, Chih.	3 genótipos	NM-5	40	riego	52 a	52 a	35 a
18	Cuauhtémoc, Chih	3 genótipos	NM-23	40	temporal	-	5	1 a
19	Delicias, Chih	3 genótipos	NM-8	40	riego	76 a	94 a	52 a
20	Acámbaro, Gto	L-307	varias	60	riego	-	-	-
21	Matamoros, Coah	FM RMC	NM-8	50	riego	-	-	-
22	Irapuato, Gto.	FM RMC	Viking 1	60	riego	28 a	30 a	5 b
23	Irapuato, Gto.	4 genótipos	ITC-49	60	temporal	-	-	-
24	Sn. Luis P., Gto.	FM RMC	CNPAF-150	60	temporal	23 a	19 a	8 b
25	Celaya, Gto.	FM RMC	Viking 1	60	riego	155 a	165 a	34 b
26	Celaya, Gto.	FM RMC	ITC-49	60	riego	13 a	14 a	3 b
27	Querétaro, Qro.	B. Zacatecas	ITC-49	60	riego	11 a	4 a	14 a
28	Celaya, Gto.	B. Zacatecas	ITC-49	60	riego	20	28	4
29	Madero, Dgo.	B. Zacatecas	CPMEX-107	25	temporal	-	-	-
30	Madero, Dgo.	3 genótipos	CPMEX-99	25	temporal	-	-	-
31	Pabellón, Ags.	3 genótipos	CPMEX-145, 78	40	temporal	-	-	-
32	Madero, Dgo.	2 genótipos	CIAT-899	70	temporal	37 b	60 a	27 b
33	Allende, Dgo	B. Zacatecas	CIAT-899 CIAT-	70	temporal	51 a	60 a	20 b
34	Celaya, Gto	Azuf. Regional	899	80	riego	47 a	51 a	23 b
35	Pabellón, Ags	Canario 101	CIAT-899	40	temporal	-	-	-
36	Culiacán, Sin	varios	CPMEX-120	60	riego	2	7	0
37	Sn. Luis P. Gto.	varios	ITC-49	40	riego	-	-	-
38	Texcoco, Méx	varios	CPMEX-1	40	temporal	92 a	94 a	69 a
39	Celaya, Gto	varios	Gto 2.1 + 12.1	80	temporal	-	-	-
40	Pabellón, Ags	varios	CPMEX-99	40	riego	-	-	-
41	Calera, Zac.	varios	CPMEX-99	40	temporal	-	-	-
42	Celaya, Gto	3 genótipos	Gto 2.1 + 12.1	80	temporal	-	15	10
43	Gunsavo, Sin.	2 genótipos	multicepa	60	riego	25 a	42 a	35
44	Sol. Gracia, SLP	2 genótipos	multicepa	60	riego	-	-	-
45	Pabellón, Ags	multicepa	multicepa	60	riego	-	-	-
46	Madero, Dgo.	multicepa	multicepa	60	temporal	-	-	-

(Continuación Cuadro 1.)

No. de ensayo	Localidad	Rendimiento		Ton/ha N+	rendimiento relativo (%)		Referencia bibliográfica	
		N-	Inoc.		Inoc/N-	N+/N-		N+/Inoc
1	Celaya, Gto	0.57 a	0.52 a	0.71 a	91	124	137	Andrade <i>et al.</i> (1977)
2	Celaya, Gto	1.01 a	0.97 a	1.02 a	96	100	105	Andrade y Maya (1978)
3	Celaya, Gto	0.74 a	0.86 a	1.02 a	116	138	119	Andrade <i>et al.</i> (1979)
4	L. Sn. Juan, Mex	1.10 b	1.10 b	1.60 a	100	145	145	Cuautle <i>et al.</i> (1981)
5	Xaltepa, Mex	2.05 a	1.95 a	2.09 a	95	102	107	Cuautle <i>et al.</i> (1981)
6	Celaya, Gto.	0.80 a	0.79 a	0.62 a	99	78	78	Montes <i>et al.</i> (1982)
7	Celaya, Gto.	0.83 a	0.89 a	0.95 a	107	115	107	Montes <i>et al.</i> (1982)
8	Sn. Luis P., Gto.	0.83 a	0.87 a	0.84 a	105	101	97	Montes <i>et al.</i> (1982)
9	Apaseo Alto	0.41 b	0.17 a	0.22 a	121	157	129	Montes <i>et al.</i> (1982)
10	Chapingo, Méx.	0.81 a	0.81 a	0.93 a	100	115	115	Mathieu (1982)
11	Celaya, Gto	3.12 a	2.99 a	3.20 a	96	103	107	Montes <i>et al.</i> (1982)
12	Celaya, Gto	2.00 a	2.43 a	2.15 a	122	108	88	Montes <i>et al.</i> (1983)
13	Durango, Dgo.	0.92 a	1.01 a	0.92 a	110	100	91	Quintero <i>et al.</i> (1983)
14	Durango, Dgo.	1.04 a	1.44 a	1.20 a	138	115	83	Quintero <i>et al.</i> (1983)
15	Chapingo, Méx.	1.51 b	1.62 b	1.94 a	128	120	120	Chonay <i>et al.</i> (1983)
16	G. Palacios, Dgo.	1.34 a	1.53 a	1.65 a	114	123	108	Lee y Lindelman (1983)
17	Delicias, Chih.	1.23 b	1.94 a	1.79 a	158	149	92	Lee y Lindelman (1983)
18	Cuauhtémoc, Chih.	—	1.60 a	0.96 b	-	-	60	Lee y Lindelman (1983)
19	Delicias, Chih.	1.55 a	1.83 a	1.64 a	118	106	90	Lee y Lindelman (1983)
20	Acámbaro, Gto.	3.03 a	3.20 a	2.96 a	106	98	93	Montes <i>et al.</i> (1986)
21	Matamoros, Coah.	0.50 b	1.05 a	0.56 b	210	112	53	Vargas (1987)
22	Irapuato, Gto.	2.25 a	2.39 a	2.48 a	106	110	104	Montes <i>et al.</i> (1987)
23	Irapuato, Gto.	0.99 c	1.62 a	1.25 b	164	126	77	Montes <i>et al.</i> (1987)
24	Sn. Luis P., Gto.	0.66 a	0.86 a	0.63 a	130	95	73	Montes <i>et al.</i> (1987)
25	Celaya, Gto.	4.26 a	4.38 a	4.44 a	103	104	101	Maya <i>et al.</i> (1989)
26	Celaya, Gto	1.61 a	1.87 a	1.63 a	116	101	87	Maya <i>et al.</i> (1989)
27	Querétaro, Qro	1.03 a	1.48 a	1.29 a	143	125	87	Maya <i>et al.</i> (1989)
28	Celaya, Gto.	1.61 a	1.81 a	1.98 a	112	122	109	Maya <i>et al.</i> (1989)
29	Madero, Dgo.	1.20 c	1.56 b	1.93 a	130	161	124	Almaraz <i>et al.</i> (1989)
30	Madero, Dgo.	1.34 b	1.64 ab	1.71 a	122	128	104	Almaraz <i>et al.</i> (1989)
31	Pabellón, Ags	0.86 a	1.01 a	0.91 a	117	106	90	Muñoz <i>et al.</i> (1989)
32	Madero, Dgo.	0.28 b	0.26 b	0.56 a	93	175	188	Muñoz <i>et al.</i> (1989)
33	Allende, Dgo.	0.66 b	0.65 b	1.08 a	98	164	166	Muñoz <i>et al.</i> (1989)
34	Celaya, Gto.	2.56 a	2.44 a	2.53 a	95	99	104	Muñoz <i>et al.</i> (1989)
35	Pabellón, Ags	0.70 a	0.59 a	0.90 a	84	129	153	Muñoz <i>et al.</i> (1989)
36	Culiacán, Sin.	1.40 b	1.52 b	1.95 a	109	139	128	Armenta y Martínez (1989)
37	Sn. Luis P., Gto.	0.69 a	0.73 a	0.81 a	106	117	111	Soria y Castellanos (1989)
38	Texcoco, Méx.	0.56 a	0.63 a	0.68 a	112	121	108	Guaderrama y Laguna (1989)
39	Celaya, Gto.	2.40 a	2.43 a	2.83 a	101	118	116	Castellanos <i>et al.</i> (1989)
40	Pabellón, Ags	1.16 b	1.29 ab	1.39 a	111	120	108	Padilla <i>et al.</i> (1990)
41	Calera, Zac.	0.82 a	0.84 a	0.89 a	102	109	106	Padilla <i>et al.</i> (1990)
43	Guanave, Sin.	1.12 b	1.21 b	2.00 a	108	179	165	Armenta <i>et al.</i> (1990)
44	Sol. Gracia, SLP	1.03 b	1.83 ab	1.96 a	112	120	107	Huerta <i>et al.</i> (1990)
45	Pabellón, Ags.	2.08 b	2.06 b	2.61 a	99	125	127	Acosta <i>et al.</i> (1991)
46	Madero, Dgo.	1.24 b	1.23 b	1.76 a	99	142	143	Acosta <i>et al.</i> (1991)

\* Valores con la misma letra entre hileras son estadísticamente iguales.

## Rendimiento de grano

**Efecto de la inoculación.** En el Cuadro 2 se presenta el porcentaje de experimentos en que el tratamiento inoculado superó al testigo negativo de

nitrógeno (N-) de acuerdo a la condición de humedad, bajo dos criterios de comparación. El comportamiento de la respuesta a la inoculación fue muy similar en las dos condiciones de humedad.

**Cuadro 2. Porcentaje de experimentos en los cuales el tratamiento inoculado superó al testigo N- de acuerdo a la condición de humedad y bajo dos criterios de comparación.**

Condición de humedad y rendimiento	Criterio estadístico (P < 0.05)	Criterio de aumento del 10% en rendimiento
	ensayos (%)	
Riego	9.5	48
Temporal	12.0	48
Global	10.8	48

Los resultados de la comparación con base en el criterio estadístico indican que solamente en uno de cada diez experimentos el tratamiento inoculado tuvo un rendimiento significativamente ( $P < 0.05$ ) superior al testigo. Al utilizar el segundo criterio de comparación del 10% de aumento en rendimiento, considerado mucho menos rígido, el tratamiento inoculado superó al testigo solamente en el 48% de los casos. Aún así, en la mayor parte de ellos, tanto en riego como en temporal, la inoculación no fue exitosa. Estos resultados son congruentes con los datos de Singleton *et al.* (1992) quien reportó respuesta significativa ( $P < 0.05$ ) a la inoculación solamente en el 30% de los experimentos evaluados.

Existen dos posibilidades para explicar esta falta de respuesta a la inoculación: a) en las condiciones agroecológicas evaluadas la inoculación *per se* no representa ninguna ventaja; o b) el suelo tiene un alto nivel de N disponible, por lo que la planta no requiere hacer uso de la simbiosis (Thies *et al.* 1991b). Con el fin de discriminar entre estas dos posibilidades, se clasificaron las pruebas en función de la respuesta a la aplicación de N al suelo.

**Efecto de la aplicación de N al suelo.** En el Cuadro 3 se presentan los datos de respuesta a la aplicación de N al suelo. La comparación estadística entre los tratamientos N+ y N- indicó que en condiciones de temporal en el 44% de los

experimentos, hubo un bajo nivel de N disponible en el suelo, lo que propició una respuesta positiva a la aplicación de nitrógeno. En cambio, en condiciones de riego, esta cifra sólo llegó al 28%, que indica que en condiciones de temporal los suelos tienen contenidos más bajos de N disponible que bajo riego.

**Cuadro 3. Rendimiento de grano a la aplicación de nitrógeno al suelo, de acuerdo a la condición de humedad y dos criterios de comparación (%).**

Condición de humedad	Criterio estadístico (P < 0.05)	Criterio de aumento del 10% de rendimiento
	ensayos (%)	
Riego	28	57
Temporal	44	76
Global	37	67

Posiblemente estos resultados se deban al escaso uso de fertilizantes y a la mínima incorporación de residuos de cultivo al suelo, como resultado del escaso uso de fertilizante nitrogenado y de residuo de cultivo por los campesinos. Con base en el criterio de comparación de aumento en el rendimiento, se observa un incremento en el porcentaje de pruebas con respuesta, probablemente como resultado del bajo rigor de la comparación. Los datos globales denotan que solamente en dos tercios de los experimentos, el nivel de N disponible en el suelo fue lo suficientemente bajo como para que ocurriera respuesta a la aplicación de fertilizante nitrogenado y, por ende, para evaluar en forma objetiva la respuesta a la inoculación.

#### Abastecimiento de N mediante la inoculación

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de la comparación del tratamiento inoculado *versus* N+, exclusivamente cuando hubo respuesta a la aplicación del N al suelo; estos datos indican el grado de éxito

de la inoculación para satisfacer la demanda de nitrógeno. Se considera que en la medida en que el tratamiento inoculado produce un rendimiento de grano similar al tratamiento N+, significa que la inoculación logra satisfacer la demanda de nitrógeno del cultivo.

**Cuadro 4. Porcentaje de experimentos en que la inoculación satisfizo la demanda de N del cultivo\* de acuerdo a la condición de humedad y bajo dos criterios de comparación.**

Condición de humedad	Porcentaje de experimentos	
	Criterio estadístico (P < 0.05)	Criterio de aumento del 10% de rendimiento
Riego	50	58
Temporal	36	37
Global	41	45

\* Se consideró que la demanda de N fue satisfecha cuando el tratamiento inoculado presentó al menos el mismo rendimiento que el tratamiento N+.

De acuerdo con el criterio estadístico, sólo en el 36% de los experimentos en temporal, la inoculación satisfizo la demanda de nitrógeno del cultivo. Se obtuvo un porcentaje similar con el segundo criterio de comparación. Por otro lado, en las pruebas bajo riego, la inoculación fue ligeramente más exitosa en satisfacer la demanda de N de la planta, lo cual puede estar relacionado con un ambiente más favorable para que la simbiosis se lleve a cabo sin restricciones de humedad, tal como lo han indicado Saito *et al.* (1984); Smith y Hume (1985); Smith *et al.* (1988) y Castellanos *et al.* (1955).

Los resultados globales indican que solamente en cuatro de cada 10 experimentos, la inoculación tiene éxito en proporcionar la demanda de N requerida por la planta; en el resto, sería necesario aplicar fertilizante nitrogenado para satisfacer cabalmente la demanda de N del cultivo. Es

importante resaltar que la estimación de abastecimiento de N a través de la inoculación, se realizó a una dosis baja de N; sin embargo, se ha observado que, en algunos casos, dosis altas de N superan al tratamiento de inoculación.

Esto significa que en varios experimentos del presente estudio la demanda de N del cultivo se subestimó al utilizar dosis bajas de nitrógeno y, posiblemente, hizo suponer en forma errónea que la inoculación satisfizo plenamente la demanda de este nutrimento.

Los resultados arriba presentados explican porque el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) recomienda fertilizar con nitrógeno el frijol en áreas de riego como de temporal en México (Andrade *et al.* 1990), pues para el agricultor es insuficiente una tecnología que tiene éxito sólo en el 40% de los casos.

## DISCUSIÓN

La primera pregunta que surge de estos resultados es: ¿cuál es la causa del escaso éxito en México en lograr incrementar la fijación de N<sub>2</sub> en frijol por el microsím-bionte? Existen por lo menos cuatro respuestas que coadyuvarían a explicar este comportamiento: a) Los bajos porcentajes de nódulos formados con la(s) cepa(s) introducida(s) a través de la inoculación, recientemente documentada como una de las principales causas de la falta de respuesta a la inoculación (Thies *et al.* 1992); b) utilización de genótipos de frijol con pobre capacidad de fijación de N<sub>2</sub> (Bliss 1993); c) alta incidencia de enfermedades radicales que limitan el desarrollo de la raíz para que ocurra una nodulación normal (Abawi 1991); y d) ocurrencia de sequía, que afecta el potencial de la simbiosis en áreas de temporal (Castellanos *et al.* 1995).

### Reducida ocupación de nódulos por cepa introducida

La alta presencia de rizobios nativos en la zona frijolera de México (Dazo *et al.* 1990; González y López 1989), con gran diversidad (Aguilar 1990) y con predominio de cepas inefectivas (Almaraz-Suárez y Ferrera-Cerrato 1986) ha provocado que la ocupación de nódulos por cepas introducidas sea baja

(Dazzo *et al.* 1990; Hernández-Razo 1987; Vargas 1987). Estas circunstancias son una seria limitante para el uso de inoculantes con cepas "elite".

Algunos investigadores han propuesto la selección de cepas de alta competitividad para leguminosas de grano como frijol y soja (Benítez y Ferrera-Cerrato 1990; Vega *et al.* 1990); sin embargo, al introducir al campo estas cepas "elite", de excelente comportamiento en condiciones controladas, no reproducen su alta competitividad y muestran un comportamiento mediocre (Acosta-Gallegos y Adams 1991; Ge *et al.* 1986; Li *et al.* 1986).

Estos resultados se deberían a que el inoculante se concentra en una parte muy reducida del suelo en comparación con las cepas nativas (Wadisirisuk *et al.* 1989) y al importante papel que desempeñan los nódulos de las raíces laterales en la fijación de  $N_2$  en etapas más avanzadas de desarrollo del cultivo (Hardanson *et al.* 1989; Wolyn *et al.* 1989). Al respecto, Cuautle *et al.* (1981) mejoró el comportamiento de la inoculación al reducir la competencia de cepas nativas mediante la fumigación del suelo.

#### Pobre comportamiento simbiótico de los genótipos de frijol

No obstante los resultados satisfactorios reportados sobre selección y mejoramiento genético hacia una mayor capacidad de fijación de  $N_2$  (McPherson 1983; Rosas y Bliss 1986; St Clair y Bliss 1991), y el comportamiento conocido de algunos genótipos de frijol en relación a la capacidad de fijación de  $N_2$  (Ferrera-Cerrato *et al.* 1984; Peña-Cabriales 1988), hasta la fecha, no se han desarrollado en México, en forma extensiva, genótipos de frijol que muestren específicamente alta capacidad de fijación de  $N_2$  y que hayan sido aceptados ampliamente por los agricultores, con excepción del cultivar Puebla 152, genótipo desarrollado por el INIFAP en México y utilizado como progenitor para mejorar la capacidad simbiótica de variedades comerciales de frijol. Posiblemente muchos de los experimentos evaluados

en el presente estudio se realizaron con genótipos de pobre comportamiento simbiótico.

#### Enfermedades radiculares

El éxito de la nodulación con cepas nativas o introducidas depende, en gran medida, del adecuado desarrollo radicular. En la zona del altiplano mexicano, se ha observado que muchas fallas en la nodulación son propiciadas por la alta presencia de enfermedades radiculares. Al respecto Abawi (1991) reportó que el 100% y 60% de los sitios muestreados en Durango y Zacatecas, respectivamente, en donde se localiza la principal zona productora de frijol en México, estuvieron afectados por *Fusarium* y *Rhizoctonia* en porcentajes que variaron del 10% al 60% de plantas dañadas.

En esas condiciones, no es suficiente tener genótipos con alta capacidad de fijación de  $N_2$  sino que además deben ser tolerantes a las enfermedades radiculares que permitan el desarrollo de la raíz y del tejido nodular para poder lograr una adecuada simbiosis, o bien utilizar fungicidas que reduzcan el daño de las enfermedades radiculares y que no afecten el rizobio (Graham 1980).

Los resultados de esta revisión indican que, por el momento, la vía del microsimbionte ofrece muy pocas posibilidades para incrementar la fijación de  $N_2$  en el frijol en México, y que la vía más prometedora es la del genótipo a través de la búsqueda, selección y mejoramiento genético hacia el carácter de alta eficiencia de fijación de  $N_2$ , explotando las ventajas de una nodulación temprana (Barradas *et al.* 1989; Kipe-Nolt 1989), una tasa extendida (Hungria y Franco 1988) y un elevado potencial de fijación de  $N_2$  (Kipe-Nolt y Giller 1985), además de un aceptable nivel de tolerancia a las enfermedades radiculares predominantes en la región —objetivo de la investigación— complementado con otros atributos agronómicos, de sanidad y calidad del grano.

#### LITERATURA CITADA

- ABAWI, G. S. 1991. Diagnosis and importance of root diseases of beans in the production areas of Durango, Zacatecas and Aguascalientes: Addendum to the México Trip Report Proyecto INIFAP-MSU. CRSP.

- ACOSTA-GALLEGOS, J. A.; ADAMS, M. W. 1991. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar under drought stress. *Journal of Agricultural Science (Inglaterra)* 117:213-219.
- AGUILAR, M. C. 1990. Caracterización de las cepas nativas de *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli del estado de Zacatecas. Tesis de Maestría. CINVESTAV, Unidad Irapuato. 85 p.
- AGUILERA-SANDOVAL, N. E. 1989. Sobrevivencia de cepas nativas de *Rhizobium phaseoli* del estado de Zacatecas a diferentes temperaturas del suelo. Tesis Lic. Irapuato, Gto. México, Escuela de Agronomía y Zootecnia. Universidad de Guanajuato. 65 p.
- ALMARAZ-SUÁREZ, J. J.; FERRERA-CERRATO, R. 1986. Evaluación y selección de cepas de *Rhizobium phaseoli* eficientes en fijación de nitrógeno aislados de Zacatecas. Durango y Aguascalientes: Reporte anual del proyecto de tolerancia a sequía en frijol. Méx., Michigan State University-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.
- ALMARAZ, J. J.; FERRERA-CERRATO, R.; ACOSTA GALLEGOS, J. A. 1989. Evaluación de cepas de *Rhizobium phaseoli* bajo condiciones de temporal en Durango. In Informe de Investigación sobre Frijol 1988. Méx., Proyecto Michigan State University-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. p. 176-192.
- ANDRADE, E.; MAYA, J.; RODRÍGUEZ, H. 1977. Estudio de cepas nativas de *Rhizobium*. In Informe del frijol de temporal, 1977. Méx., Celaya, Gto. INIA, Campo Agrícola Experimental Bajío.
- ANDRADE, E.; MAYA, J. 1978. Estudio de cepas nativas de *Rhizobium phaseoli*. In Informe de Frijol de Temporal 1978. Méx., Celaya, Gto., INIFAP, Campo Agrícola Experimental Bajío, Centro de Investigaciones Agrícolas del Bajío. p. 53-64.
- ANDRADE, E.; MONTES, R.; MAYA, J. 1979. Estudio de cepas nativas de *Rhizobium phaseoli*. In Informe de Frijol de Riego 1979. Méx., INIFAP, Campo Agrícola Experimental Bajío, Centro de investigaciones Agrícolas del Bajío. p. 37-39.
- ANDRADE, E.; DELGADILLO, F.; ARÉVALO, A.; SORIA, J.; RODRÍGUEZ, H.; DÍAZ CASTRO, G. 1990. Guía para cultivar frijol de riego y temporal en Guanajuato. INIFAP-CIFAP-GTO. Folleto para Productores No. 2.
- ARMENTA, A.; MARTÍNEZ, F. 1989. Evaluación de cepas de *Rhizobium phaseoli* en frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Sinaloa. In Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (22.). Memorias. p. 137.
- ARMENTA, A.; MARTÍNEZ, F.; VILLARREAL, M. 1990. Comparación de métodos de inoculación con *Rhizobium phaseoli* en frijol. In Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (22.). Memoria. p. 144.
- BARRADAS, C. A.; BODDEY, R.; HUNGRÍA, M. A. 1989. Selección de cultivares de feijão e estirpes de *Rhizobium* para nodulação e senescencia tardía dos nódulos. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 13:169-179.
- BENITEZ, J. M.; FERRERA-CERRATO, R. 1990. Inoculación de frijol con *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli de alta capacidad competitiva y tolerancia a sequía bajo dos condiciones de humedad. In Resultados de Investigación sobre Frijol 1989. Méx., Proyecto Colaborativo Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Michigan State University. p. 111-121.
- BLISS, F. A. 1993. Breeding common beans for improved biological nitrogen fixation. *Plant and Soil* 152:71-99.
- CASTELLANOS, J. Z.; PEÑA-CABRIALES, J. J.; ACOSTA GALLEGOS, J. A. 1989. Efecto de la precocidad a floración y madurez sobre la extracción y removilización de N en frijol común. In Congreso de la Sociedad Nacional de la Fijación Biológica de Nitrógeno (2., Méx.). Resumen. p. 49-50.
- CASTELLANOS, J. Z.; PEÑA CABRIALES, J. J.; ACOSTA GALLEGOS, J. A.; GÁMEZ, J. C. 1990. Capacidad de fijación de nitrógeno de 12 variedades de frijol. In Resultados de Investigación sobre frijol 1989. Méx., Proyecto Colaborativo Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Michigan State University. p. 123-128.
- CASTELLANOS, J. Z.; PEÑA CABRIALES, J. J.; ACOSTA GALLEGOS, J. A. 1995. <sup>15</sup>N-Determined dinitrogen fixation capacity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under water stress. *Journal of Agricultural Science*.
- CUAUTLE, E.; NUÑEZ-ESCOBAR, R.; VALDEZ, M. 1981. Efecto de la fertilización, fumigación del suelo e inoculación con *Rhizobium*, sobre la nodulación, contenido de nitrógeno y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Chapingo, Méx. *Agrociencia* 43:19-35.
- CHONAY, J. J.; VOLKE, V.; FERRERA-CERRATO, R.; MARTÍNEZ, A. 1983. Efecto de la fertilización nitrogenada foliar sobre la compensación de la fijación biológica de nitrógeno por *Rhizobium phaseoli* en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia* 51:37-56.
- DAZZO, F.; MAYA, J.; VALDÉZ, M.; CASTELLANOS, J. Z. 1990. Effects of *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli inoculants over bean yield, root growth and early nodule development. In North America Symbiotic N<sub>2</sub> Fixation Conference (12.). Ames, Iowa.
- DUQUE, F. F.; NEVES, M. C. P.; FRANCO, A. A.; VICTORIA, R. L.; BODDEY, R. M. 1985. The response of field grown *Phaseolus vulgaris* L. to *Rhizobium* inoculation and

- the quantification of  $N_2$  fixation using  $^{15}N$  Plant and Soil 88:333-343.
- FERRERA-CERRATO, R.; LÓPEZ, A., E.; ETCHEVERS, J. D.; NUÑEZ, R. 1984 Utilización de  $^{15}N$  en la evaluación de fijación simbiótica de  $N_2$  en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). In Reunión Latinoamericana sobre *Rhizobium* (12, Campinas, Bra.). p. 5.
- GE, C.; FAN, H.; XM, L.; WM, Y.; CHEN, Y. 1986 s t. Soybean Science 5:327-333
- GONZÁLEZ, G.; LÓPEZ, M. 1989 Densidad de población de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* en la zona del Edo de Veracruz. In Congreso Nacional de Fijación Biológica de Nitrógeno (2) Resumen. Guadalajara. Jal
- GRAHAM, P.H. 1980 Survival of *Rhizobium* in contact with chemical seed protectants. Agronomy Journal 72:625-627.
- GUADERRAMA, M.E.; LAGUNA, C.A. 1989. Efecto de la fertilización nitrogenada e inoculación con *Rhizobium phaseoli* en 8 variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) In Congreso Nacional de la Fijación Biológica del Nitrógeno (2) Resúmenes p. 59-60
- HARDARSON, G.; GOLBS, M.; DANSO, S.K.A. 1989. s t. Soil Biology and Biochemistry 21:783-787.
- HERNÁNDEZ-RAZO, A.R. 1987 Nodulación de frijol por *Rhizobium phaseoli* resistente a captan bajo diferentes formas de inoculación. Tesis Lic. Universidad de Guanajuato, Escuela de Agronomía y Zootecnia. 55 p.
- HUERTA, J.; FLORES, M.; TISCAREÑO, J.A.; IRACHETA, M.A.; NUÑEZ, J.J. 1990 Comparación de la inoculación y fertilización en tres cv de frijol. In Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (23). Memoria p. 145
- HUNGRIA, M.; FRANCO, A.A. 1988 Nodule senescence in *Phaseolus vulgaris* L. Tropical Agriculture (Tri) 65:341-345
- KAPLAN, L.; KAPLAN, L.N. 1988 *Phaseolus* in archeology. In Genetic Resources of Beans P. Gepts (Ed). Boston, Kluwer Academic p. 125-142
- KIPE-NOLT, J.A.; GILLER, K.E. 1985 An evaluation of tropical *Phaseolus vulgaris* genotypes from a breeding program for improved nitrogen fixation. In Nitrogen Fixation Research Progress. H.J. Evans, ? Bottomley, W.E. Newton (Eds). Martinus Nijhoff p. 37
- LEE, V.; LINDEMAN, W. 1983. Fijación de nitrógeno en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en la región Sur de Nuevo México y la Norte-Centro de México. TERRA 2:63-70.
- LI, F.; CHEN, H.; WANG, F. 1986. s t. In Congress ISSS. Transactions v 2, p. 602-603
- MATHIEU, M.L. 1982. Estudios rizosféricos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) inoculado con mutantes de *Rhizobium phaseoli* resistentes a estreptomycin. Tesis Lic. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. 76 p.
- MAYA, J.; ANDRADE, E.; MONTES, R. 1989. Ensayos de inoculación en campo en la región del Bajío: Estudio sobre fijación de  $N_2$  en frijol. Proyecto Colaborativo Instituto Tecnológico de Celaya-Michigan State University. Méx., Instituto Tecnológico de Celaya, Departamento de Bioquímica
- MC PHERSON, J.R. 1983. Genetic and breeding studies of dinitrogen fixation in common bean, *Phaseolus vulgaris* L. Ph.D. Thesis. Madison, University of Wisconsin.
- MONTES, R.; ANDRADE, E.; MAYA, J. 1982. Inoculación de frijol con cepas nativas de *Rhizobium phaseoli* en condiciones de riego y temporal. In Informe de Investigación sobre Frijol de Riego y Temporal 1980. Méx., Celaya, Gto. Campo Experimental Bajío-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias
- MONTES, R.; ANDRADE, E.; MAYA, J. 1983. Inoculación de frijol con cepas nativas de *Rhizobium phaseoli* en condiciones de riego y temporal. In Informe de Investigación sobre Frijol de Riego y Temporal. Celaya, Gto. Campo Agrícola Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias p. 45-49
- MONTES, R.; ANDRADE, E.; MAYA, J. 1986. Selección de cepas de *Rhizobium phaseoli* para variedades mejoradas de frijol en la región Bajío. In Informe de Proyectos de Investigación Agrícola en Frijol de Riego y Temporal 1986 y 1987. INIFAP, Campo Experimental Bajío p. 21-28
- MONTES, R.; ANDRADE, E.; MAYA, J. 1987. Selección e inoculación de cepas de *Rhizobium phaseoli* a variedades mejoradas de frijol en la región Bajío. In Informe de Proyectos de Investigación Agrícola en Frijol de Riego 1987 y de temporal 1986. Méx., Celaya, Gto., INIFAP, Campo Experimental Bajío p. 62-70.
- MUÑOZ, J.J.; ARRIETA, M.P.; CASTELLANOS, J.Z.; PADILLA, J.J.; GRAHAM, P.H. 1989. Efecto de la competencia de cepas nativas sobre la nodulación y rendimiento de frijol bajo temporal. In Informe de Investigación sobre Frijol 1988. Méx., Proyecto Colaborativo Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales-Michigan State University. p. 210-223
- PADILLA, S.; PÉREZ-TRUJILLO, H.; ACOSTA GALLEGOS, J.A.; FERRERA-CERRATO, R. 1990. Interacción simbiótica entre cepas de *Rhizobium* y cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris*) bajo condiciones de temporal: Resultados de investigación sobre frijol 1989. Méx., Proyecto Colaborativo Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Michigan State University p. 95-104

- PEÑA-CABRIALES, J.J. 1988 Nitrogen fixation of 20 cv of *Phaseolus vulgaris* in México. In Status Report of the Coordinated Research Program to Improve Yield and Nitrogen Fixation of Grain Legumes in Latin America with Aim of Increasing Food Production and Saving N Fertilizer. G. Hardarson (Ed.) Seibersdorf. Viena. Joint/IAEA. IAEA CRA No Di 40 03 p. 48-54
- QUINTERO, M.J.; GONZÁLEZ, S.M.; CALZADA, C.; CASTILLO, M.A.; PEÑA, M. 1983. Efecto de la inoculación de frijol en zonas de temporal en Durango. Turrialba (C.R.) 33:303-309
- ROSAS, J.C.; BLISS, F.A. 1986. Host Plant traits associated with estimates of nodulation and nitrogen fixation in common bean. Horticultural Science 21:287-289.
- SAITO, S.M.T.; NAZARETH, M.; MONTANEHIRO, S.; VICTORIA, R.C.; REICHARDT, K. 1984. The effects of N fertilizer and soil moisture in the nodulation and growth of *Phaseolus vulgaris*. Journal of Agricultural Science (Inglaterra) 103:87-93
- SINGLETON, P.W.; BOHLOOL, B.B.; NAKAO, P.L. 1992. Legume response to rhizobial inoculation in the Tropics. In Myths and Realities in Tropical Agriculture. R. Lal, P.A. Sánchez (Eds.) Madison, Wisconsin, SSSA-ASA. p. 135-155.
- SMITH, D.L.; HUME, D.J. 1985. Effect of irrigation and fertilization on N<sub>2</sub> (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) fixation and yield of white bean and soybean. Canadian Journal of Plant Science 65:307-316
- SMITH, D.L.; DIJACK, M.; HUMME, D.J. 1988. The effect of water deficit on N<sub>2</sub> fixation by white bean and soybean. Canadian Journal of Plant Science 68:957-967
- SORIA, J.; CASTELLANOS, J.Z. 1989. Comportamiento de cuatro cepas de *Rhizobium* en dos genótipos de frijol bajo condiciones de captación de agua *in situ*. In Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (22.) Memoria. p. 139
- ST. CLAIR, D.A.; BLISS, F.A. 1991. Intrapopulation recombination for <sup>15</sup>N determined dinitrogen fixation ability in common bean. Plant Breeding 106:215-225
- THIES, J.E.; BOHLOOL, B.B.; SINGLETON, P.W. 1992. Environmental effects on competition for nodule occupancy between introduced and indigenous rhizobia and among introduced strains. Canadian Journal of Microbiology 38:493-500
- THIES, J.E.; SINGLETON, P.W.; BOHLOOL, B.B. 1991a. Influence of the size of indigenous rhizobia population on establishment and symbiotic performance of introduced rhizobia on field grown legumes. Applied and Environmental Microbiology 57:19-28.
- THIES, J.E.; SINGLETON, P.W.; BOHLOOL, B.B. 1991b. Modeling symbiotic performance of introduced Rhizobia in the field by use of indexes of indigenous population size and nitrogen status of the soil. Applied and Environmental Microbiology 57:29-37
- VARGAS, A.L. 1987. Evaluación de cepas de *Rhizobium* en tres variedades de frijol en la Comarca Lagunera. In Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (20.) Resumen. Zacatecas. Zac. p. 160
- VARGAS-CANO, M.S. 1987. Efecto de diferentes formas de inoculación de *Rhizobium phaseoli* sobre la nodulación de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Lic. Universidad de Guanajuato, Méx., Escuela de Agronomía y Zootecnia. 70 p.
- VEGA, M.C.; FERRERA-CERRATO, R.; ACOSTA-GALLEGOS, J.A. 1990. Efectividad y capacidad competitiva de cepas de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* inoculadas en frijol: Resultados de Investigación sobre frijol 1989. Méx., Proyecto Colaborativo Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Michigan State University. p. 79-85.
- WADISIRISUK, P.; DANSO, S.K.; HARDARSON, G.; BOWEN, G.D. 1989. Applied and Environmental Microbiology 55:1711-1716
- WOLYN, D.J.; ATTEWELL, J.; LUDDEN, P.W.; BLISS, F.A. 1989. Indirect measures of N<sub>2</sub> fixation in common bean *Phaseolus vulgaris* L. under field conditions: The role of the lateral root nodules. Plant and Soil 113:181-187