

TRABAJOS REALIZADOS EN EL PROGRAMA DE FACTORES LIMITANTES DE LA FIJACION SIMBIOTICA DEL NITROGENO EN BAJO FOSFORO EN CUBA

Germán Hernández¹, Vidalina Toscano¹, Luis Gómez¹, Nancy Méndez¹, Rafael Reyes¹, Odalis Veranez¹

RESUMEN

Trabajos realizados en el Programa de factores limitantes de la Fijación Simbiótica del Nitrógeno en bajo fósforo en Cuba. Se informa de manera resumida sobre los trabajos realizados por el Laboratorio de Rhizobiología de la Estación Experimental "La Renée", en el programa de factores limitantes de la F.B.N. Los ensayos se condujeron en tres tipos de suelos: Ferralíticos Cuarcíticos, Ferralítico Rojo y Pardos sin Carbonatos, ubicados en tres agroecosistemas diferentes, donde se produce, en ambiente favorable monocultivo con riego, las mayores áreas de frijol común en Cuba. Mayor información está disponible, según el interés específico de los grupos que trabajan en esta temática, dentro del Programa PROFRIJOL para Centroamérica, México y el Caribe.

ABSTRACT

Cuban research in factors limiting biological nitrogen fixation under conditions of limiting P availability. This summary of limiting factor research in the Rhizobium Laboratory of the La Renee Research Station, Cuba, includes research conducted in three types of soils located in three different agroecosystems where bean is cultivated under irrigation.



¹ Laboratorio de Rhizobiología. Estación Experimental "La Renée". Instituto de Suelos. MINAG. A. C. 6. Quivacán. La Habana. Cuba.

Balance de los ensayos que se realizan en el Programa de fósforo en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y encuestas P-nodulación

Encuestas nodulación.

Las encuestas fueron conducidas en 17 parcelas en Matanzas (diez en Jovellanos y siete en Agramontes) y cuatro parcelas de encuestas en Pinar del Río, para comprobar el efecto beneficioso de la inoculación sobre una red más amplia de inoculación en terrenos de agricultores. Los suelos de Matanzas son altos en potasio, bajos en materia orgánica y en fósforo. En Pinar del Río el suelo tiene alto potasio, bajo fósforo y pH. (Cuadro 1).

Para encuestar una parcela, se dividió en dos partes. Una mitad fue fertilizada con N P K (166 kg N/ha), la otra mitad fue inoculada y fertilizada con P y K y solo 30 kg N/ha. 10 plantas fueron cosechadas en las etapas R6 (floración) y R8 (llenado de vainas). Se separan los nódulos, la raíz y la parte aérea antes de estimar el contenido de N y P en cada parte. El rendimiento de grano se estimó en la cosecha. El porcentaje de ocupancia de la cepa inoculada se estimó (con antibióticos específicos de cada cepa).

Los resultados demuestran que los factores limitantes son principalmente el fósforo, el alto nivel de potasio, magnesio así como el bajo valor de pH, y que la inoculación con una cepa eficiente (adaptada a las condiciones edáficas del suelo) permiten alcanzar el mismo rendimiento que el control sin inoculación y fertilizado con 166 kg N/ha.

Cuadro 1. Valores de fertilidad en los tres tipos Genéticos de Suelos donde se condujeron los ensayos de validación.

	Pinar del Río	Matanzas	Holguín
pH KCl	4,2	6,5	6,3
Y1	2,3	0,94	1,40
Materia orgánica %	1,1	2,6	1,90
Nitrógeno total	54,2	200	150
P2O5 mg 100g-1	7,30	8,40	10,80
K2O mg 100g-1	6,60	35,40	26,50
Na meq 100g-1	0,07	—	0,45
K meq 100g-1	0,22	1,40	1,92
Ca meq 100g-1	1,50	5,63	4,10
Mg meq 100g-1	0,15	6,66	26,40
Valor de S	1,94	13,69	32,87

Y1 = Acidez hidrolítica de primera extracción método de Kappen modificado.

M.O % Método Walkley-Black. Según Jackson 1964.

Nitrógeno total. Método modificado de Kjeldahl. Según Jackson, 1964.

Jackson, M. L., 1964. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, Barcelona.662 p.

Cationes canjeables. Método del Acetato de amonio 1N. Según Jackson, 1964.

Evaluación en campo de diferentes variedades de frijol.

- a. Selección sobre 54 variedades de Cuba (Cuadros 2, 3 y 4).

Este ensayo se condujo en los suelos de La Habana, ricos en P, debido a la fertilización que recibieron durante muchos años, y pobres en N. Así se pudo estimar el potencial de fijación de nitrógeno en estos genotipos a alto P. En Matanzas y Holguín se evaluaron en bajo P.

- b. Selección sobre materiales introducidos (Cuadros 5 y 6).

El ensayo se condujo en tres estaciones, Pinar del Río (-P ácido), Matanzas (-P +K -N) y

Holguín (-P +Na poca materia orgánica). Se hicieron ensayos N P K para estimar la mejor combinación.

- c. Selección de 59 variedades de CIAT, Guatemala y Costa Rica (Cuadros 7 y 8).

El ensayo se condujo en tres estaciones: Cienfuegos (-P -N), Camagüey (-P), La Habana (+P -N). También se plantea ensayar estos genotipos con el cultivo hidropónico y diferentes aplicaciones de fósforo. Esta selección con la de 54 genotipos de Cuba, sigue un eje de origen Oeste-Este.

Trabajo en hidropónico sobre frijol.

La técnica de cultivo hidropónico fue establecida en Cuba en el marco de

Cuadro 2. Producción de masa seca aérea (MSPA) expresada en t. ha⁻¹ en la etapa de desarrollo R8 y consumo de nitrógeno y fósforo (kg ha⁻¹) en la etapa de desarrollo R8 y R9 por la MSPA, y el grano, respectivamente en 54 genotipos de frijol criollo crecidos en un suelo Ferralítico Rojo rico en fósforo en la Provincia La Habana.

Genotipos	MSPA t. ha ⁻¹	P Total kg.ha ⁻¹			N Total kg.ha ⁻¹	
		MSPA	Raíz	Grano	MSPA	Grano
P249a	1,81	6,52	0,82	6,15	54,30	48,20
P392	2,53	9,87	0,56	3,64	79,1	27,48
P229	3,26	13,06	0,75	6,51	101,71	51,00
P501	2,34	9,13	0,42	5,83	76,99	41,88
P185	2,14	7,92	0,46	6,55	69,55	50,61
P177	1,14	3,99	0,37	4,80	34,77	39,93
P376	2,99	11,36	0,72	6,45	97,17	47,46
P252	1,07	3,42	0,34	8,25	29,10	49,82
P341	2,79	10,04	0,46	7,84	78,12	48,80
P192	2,71	8,13	0,41	6,80	103,52	53,51
P191	3,28	11,81	0,41	7,48	122,34	55,22
P75	1,04	3,12	0,34	5,72	28,60	44,92
P145	3,20	11,20	0,32	6,93	92,80	55,78
P238	2,84	9,66	0,89	5,55	96,56	43,26
P266-1	1,35	4,86	0,12	7,18	51,84	47,27
P73-A	1,77	6,19	0,49	4,81	50,27	38,08
P261-1	1,40	4,62	0,43	6,59	54,18	48,35
P37	2,19	8,10	0,45	6,03	84,31	42,35

MSPA= Masa seca de la parte aérea.

Cuadro 3. Producción de masa seca aérea (MSPA) (expresada en t. ha⁻¹ en la etapa de desarrollo R8) y consumo de nitrógeno y fósforo (kg ha⁻¹) en la etapa de desarrollo R8 y R9 por la MSPA y el grano, respectivamente, en 54 genotipos de frijol criollo desarrollados en un suelo Ferralítico Rojo rico en fósforo en la Provincia La Habana.

Genotipos	MSPA t. ha ⁻¹	% P	P Total kg.ha ⁻¹			N Total kg.ha ⁻¹	
			MSPA	Raíz	Grano	MSPA	Grano
P12	2,27	0,37	8,40	0,57	9,08	74,91	73,35
P153	4,33	0,36	17,39	0,70	7,16	164,22	55,59
P134	3,71	0,32	12,98	0,67	4,68	128,36	35,70
P180	3,30	0,31	10,23	0,39	6,05	91,41	64,36
P173	3,28	0,34	11,15	0,29	7,61	122,67	54,29
P180-b	1,45	0,30	4,35	0,29	5,79	49,73	51,98
P186-P	3,11	0,30	9,83	0,50	5,30	108,81	43,44
P199	3,03	0,33	10,00	0,53	7,76	118,37	59,93
P232	3,05	0,26	7,93	0,44	6,79	89,67	57,89
P240	4,00	0,33	13,20	0,61	5,13	135,60	40,38
P64A	3,98	0,44	17,51	0,39	6,00	128,95	42,59
P304A	1,27	0,34	4,32	0,34	7,58	40,83	64,99
P500	2,46	0,31	7,62	0,63	8,59	75,03	65,95
P192	2,17	0,42	9,11	0,70	9,49	65,10	63,81
P184	2,93	0,34	9,96	0,45	9,99	101,89	67,85
P141	2,25	0,35	7,88	0,33	10,11	75,15	76,08
P148	1,55	0,34	5,27	0,41	7,79	51,46	61,18
P186	2,62	0,31	8,12	0,47	6,57	81,22	48,62

Cuadro 4. Producción de masa seca aérea (MSPA) en etapa de desarrollo R8 y consumo de N y P en etapa de desarrollo R8 y R9 por la MSPA, y el grano, respectivamente, en 54 genotipos de frijol criollo crecidos en un suelo Ferralítico Rojo rico en fósforo en la Provincia La Habana.

Genotipos	MSPA ent. ha ⁻¹	% P	P Total (kg ha ⁻¹)			N Total (kg ha ⁻¹)	
			MSPA	Raíz	Grano	MSPA	Grano
P256	3,03	0,31	9,39	0,58	4,04	101,24	65,60
P295	2,14	0,33	7,06	0,59	9,48	80,46	71,62
P117	3,44	0,36	12,38	0,85	8,15	133,73	59,57
P176	2,84	0,31	8,80	0,58	9,61	88,32	71,70
P220	3,35	0,34	11,39	0,59	8,04	110,55	60,66
P355	3,12	0,31	11,54	0,58	5,76	77,69	48,86
P285	3,73	0,30	8,19	0,59	7,42	93,64	57,99
P152	3,12	0,33	10,30	0,66	6,47	88,30	51,22
P267	1,76	0,34	5,98	0,46	8,00	52,80	64,05
P251	2,50	0,35	8,75	0,66	7,68	76,25	59,96
P365	2,73	0,34	9,28	0,42	5,19	92,82	49,01
P248	2,59	0,30	7,77	0,55	3,46	95,83	34,99
P275	2,59	0,25	6,47	0,60	5,09	86,87	46,48
P457	3,84	0,30	11,52	0,66	5,74	130,94	58,28
P57	2,95	0,32	9,44	0,70	5,40	103,25	55,47
P124	2,07	0,33	6,38	0,26	3,58	83,63	49,43
P118	2,75	0,32	8,80	0,32	7,42	111,10	68,41
P146A	3,55	0,31	11,00	0,54	6,37	138,81	60,06

Cuadro 5. Consumo de N por la masa seca aérea en la etapa R6 (floración) y por el grano en la cosecha en kg N.ha⁻¹, en 20 genotipos de frijol común sembrados en tres sitios con P deficiente.

Genotipos	Pinar del Río		Matanzas		Holguín	
	N total (MSPA)	N total (grano)	N total (MSPA)	N total (grano)	N total (MSPA)	N total (grano)
ICA Pijao	31,61	35,00	33,88	33,51	34,97	34,50
BAT 58	19,61	34,50	19,22	37,28	32,14	34,50
BAT 76	27,62	46,00	30,91	34,80	31,22	34,80
BAT 448	19,83	24,13	21,31	31,55	31,59	35,00
XAN 93	28,51	34,49	22,19	33,47	36,57	32,43
NAG 15	33,11	43,73	27,28	43,71	35,49	34,50
NAG 20	29,78	36,86	31,20	36,87	41,65	33,69
Guira 89	28,57	35,19	23,80	35,20	35,57	34,00
BAT 832	30,83	35,00	53,13	35,00	34,63	34,79
BAT 304	32,69	32,40	17,56	32,40	23,46	31,83
XAN 147	31,35	38,28	34,19	38,28	44,98	34,71
CC 25-9 (N)	28,79	48,91	30,87	30,51	35,19	35,50
Velasco Larso	27,23	37,40	31,49	37,41	29,47	35,50
Guama 23	28,07	36,19	26,56	36,19	30,49	34,80
MCD 254	28,05	32,36	35,98	32,36	29,25	34,50
Hatuey 24	29,08	38,83	37,84	38,89	32,29	33,49
BAT 93	29,26	33,66	34,13	33,66	32,37	32,97
A 336	32,23	29,83	31,07	29,84	31,63	35,00
BAT 482	30,68	34,74	33,68	34,75	27,03	35,00
CC 25-9 (B)	28,03	34,69	27,56	37,64	32,01	33,78

Los tres grupos de genotipos fueron Negro, Rojo y Blanco respectivamente.

Cuadro 6. Consumo de fósforo por la masa seca aérea (MSPA) en la etapa R6 (floración) y por el grano en la cosecha en kg P.ha⁻¹, en 20 genotipos de frijol común cultivados en tres localidades con fósforo deficiente.

Genotipos	Pinar del Río		Matanzas		Holguín	
	P total (MSPA)	P total (grano)	P total (MSPA)	P total (grano)	P total (MSPA)	P total (grano)
ICA Pijao	4,47	6,59	3,79	6,70	3,76	6,50
BAT 58	5,26	6,29	2,76	7,03	5,29	8,68
BAT 76	4,55	6,50	3,64	6,29	4,06	6,49
BAT 448	4,69	5,70	2,03	5,89	3,64	6,00
XAN 93	4,89	6,19	2,86	5,57	4,44	6,20
NAG 15	4,35	6,30	3,23	7,46	4,18	6,29
NAG 20	4,94	7,00	3,58	6,56	4,88	6,19
Guira 89	4,38	6,29	2,88	6,30	4,46	6,59
BAT 832	4,25	10,42	4,98	7,60	3,90	6,60
BAT 304	6,18	6,39	2,30	5,96	2,62	6,41
XAN 147	4,95	6,79	5,11	7,55	4,70	6,89
CC 25-9 (N)	4,79	6,25	4,46	4,71	4,17	6,79
Velasco Larso	7,36	6,49	5,54	7,36	6,16	6,50
Guama 23	5,49	7,79	3,18	8,37	4,97	6,30
MCD 254	6,01	7,00	2,91	6,47	3,30	6,80
Hatuey 24	4,59	6,29	4,14	8,12	4,26	9,29
BAT 93	5,12	6,89	3,92	6,05	4,49	6,29
A 336	4,48	6,29	2,71	5,45	4,24	6,50
BAT 482	6,07	7,19	3,82	5,68	4,93	6,60
CC 25-9 (B)	4,30	6,79	2,21	5,41	4,10	6,50

Cuadro 7. Formación de masa seca por la parte aérea (MSPA). contenido % de P, eficiencia de uso de fósforo estimados en la etapa de desarrollo R8 expresado en (g) por planta y el rendimiento en la etapa de desarrollo R9 expresado en kg.ha⁻¹, en 59 genotipos desarrollados en suelo Ferralítico Rojo rico en fósforo, en la provincia La Habana. Eficiencia de uso =MSPA % de P (MSPA)

Genotipo	MSPA R8	Rendimiento	% P MSPA	Eficiencia uso de P
G12168	35,41	1114	0,62	57,11
Calima	34,63	1422	0,54	64,12
Río Tibagi	38,52	1853	0,52	74,07
G19833	37,55	1389	0,70	53,64
Porillo	39,31	1790	0,64	61,42
G19839	31,42	1530	0,46	63,30
Jamapa	49,05	4596	0,30	163,35
APN 18	55,46	3429	0,28	198,07
Bat 271	85,35	4852	0,34	251,02
G12539	61,09	1606	0,34	179,66
Pot 51	65,08	4041	0,31	209,93
G12538	33,31	593	0,44	75,70
G19428	32,69	1617	0,35	93,40
Carioca	40,69	3531	0,30	135,63
PVA846	50,90	2100	0,38	169,66
Antioquia	36,31	1918	0,37	98,13
G2633	48,28	1639	0,36	134,11
G19441	37,37	1800	0,38	98,34
G14665	62,27	2195	0,35	177,91
Colorado	51,57	1389	0,38	135,71
Norge Bernal	47,00	1991	0,44	106,81
Mutante Riz 90	26,59	640	0,38	69,97
Engopa 208	20,52	1340	0,42	45,85
Huasteco 81	48,95	2819	0,37	132,29
Juan Abrahante	66,42	2246	0,38	172,34
Juasteco	69,83	3385	0,36	193,97
Alubias	104,10	3737	0,37	281,35

Cuadro 8. Formación de masa seca por la parte aérea (MSPA), contenido % de P, eficiencia de uso de fósforo (estimados en la etapa de desarrollo R8 expresado en (g) por planta) y el rendimiento en la etapa de desarrollo R9, expresado en kg.ha⁻¹, en 59 genotipos desarrollados en suelo Ferralítico Rojo rico en fósforo en la provincia La Habana.

Genotipo	MSPA R8	Rendimiento	% P MSPA	Eficiencia uso de P
Dor 390	37,62	2333	0,33	114,00
Icta precoz 2	52,53	2768	0,30	175,10
Icta octua	41,27	2689	0,32	128,96
Icta turbo	28,58	2325	0,32	89,31
Mex E-62	21,13	2307	0,33	64,03
Mex E-1	42,77	3828	0,34	125,79
Mus 90	41,17	3883	0,41	100,41
Dor 385	66,55	2632	0,27	246,48
Dor 446	55,18	3356	0,34	162,29
Icta Ju 90-4	130,2	6500	0,33	394,54
Dor 448	39,57	3500	0,34	16,38
Icta Cu 89-10	62,50	2969	0,33	189,39
Icta Ju 90-7	32,37	2500	0,37	87,48
Dor 500	22,22	29,24	0,38	58,47
Dor 445	39,49	2600	0,35	112,82
Bat 58	42,07	3542	0,36	116,86
Doricta	20,16	1645	0,32	63,00
Dor 391	26,47	891	0,30	88,23
Dor 484	24,32	721	0,24	101,33
Dor 489	15,94	923	0,29	54,96
Dor 513	14,19	10,61	0,28	50,67
Dor 488	29,92	1371	0,30	99,73
Rab 478	33,19	743	0,24	138,29
Dor 474	30,55	1190	0,27	113,14
Dor 472	27,08	1240	0,21	128,95
Dor 483	23,52	1140	0,25	94,08
Dor 482	14,97	1109	0,27	55,44
Rojo de Seda	21,34	1119	0,26	82,07
Dor 476	31,11	8747	0,32	97,21
Dor 481	38,82	1990	0,34	114,17
Dor 475	19,29	1500	0,33	58,45
CC25-9R	15,08	1564	0,32	47,12

MSPA= Masa seca en la parte aérea de la planta.

colaboración entre INRA de Francia y el Minagri de Cuba.

Varios tratamientos de P fueron ensayados (250-500-750-1000-1500-2000 $\mu\text{mol P}$ /planta/semana) para buscar el óptimo para fijación de nitrógeno, Cuadro 9.

Trabajo en potes con suelo.

Fueron ensayadas 16 genotipos en invernadero en tres suelos de tipo Ferralítico Rojo, pobre en N, bajo, medio y alto P respectivamente. Los potes no fueron fertilizados ni inoculados. Así se pudo estimar el potencial de fijación de nitrógeno en suelo a diferentes disponibilidades de fósforo. Fue entonces importante trazar las curvas de absorción-desorción de estos suelos para determinar por cada tipo de suelo la aplica-

ción de P que logra la misma disponibilidad de P por la planta (o sea la misma concentración en la solución del suelo). La meta fue comparar una misma disponibilidad de P en diferentes tipos de suelos.

Resumen de la orientación del trabajo y perspectivas

Las encuestas a nivel de los campesinos o de las empresas estatales mostraron la eficiencia de la inoculación pero también la necesidad de inocular una cepa que sea adaptada a las condiciones edáficas del suelo (Por ejemplo la CF1 para los suelos Ferralíticos Rojos, o HG para los suelos de Holguín). Esto enfoca entonces la importancia de seguir aislando cepas de cada tipo de suelo para seleccionar las mejores. Los

Cuadro 9. Ensayo conducido con dos genotipos de frijol de grano negro pequeño CC 25-9(N) y BAT 58 desarrollados, en condiciones hidropónicas con concentraciones crecientes de P(i) y dos vías para suministrar nitrógeno. FBN y nitrato.

$\mu\text{mol P/semana}$	FBN		Nitrato	
	CC25-9	Bat 58	CC25-9	Bat 58
MSPA				
250	3,25	5,30	5,82	4,99
500	3,28	5,04	5,99	3,38
750	3,91	4,69	6,45	5,79
1000	4,12	5,29	7,51	5,64
2000	3,93	5,54	6,21	6,38
Promedio de M S R				
250	8,10	5,27	11,34	6,82
500	5,92	5,20	10,84	6,90
750	6,51	5,72	7,17	5,59
1000	4,77	5,92	7,56	6,43
2000	5,08	5,67	9,50	5,96

MSPA= Masa seca de la parte aérea (g/plantas).

MSR= Promedio de masa seca radical (g/plantas) a la etapa R6.

próximos ensayos de inoculación podrían incluir el método GUS para mejorar la selección de cepas.

En cuanto a los ensayos N P K en diferentes suelos se ve la importancia aportada al estudio de cada tipo de suelo para obtener la respuesta óptima en cada cual. Esta red de estaciones permite a Cuba mantener ensayos multilocales y así tener un conocimiento preciso del suelo tropical.

Hubo selección de genotipos a diferentes niveles de P, en donde se estimó la capacidad para fijar nitrógeno, los hábitos de crecimiento y sobre todo la eficiencia de uso del fósforo.

Nueva orientación del trabajo

En relación a las necesidades y los intereses científicos, podemos pensar que el

programa de fósforo de Cuba estará orientado para estudiar:

1. Efecto de la cepa y el genotipo sobre la eficiencia de la fijación de nitrógeno. Selección de cepas y genotipos eficientes a bajo P.
 2. Estudio del efecto sobre la eficiencia utilizando cepas eficientes y no eficientes a bajo P.
 3. Ensayo de campo con diferentes cepas y niveles de P.
 4. Estudio de la distribución del fósforo en la planta fijadora: efecto de la cepa.
 5. Estudio de la removilización del fósforo en la planta con la técnica de radioactividad ^{32}P .
 6. Influencia de la cepa sobre la actividad nitrogenasa específica.
-