

66277e

120



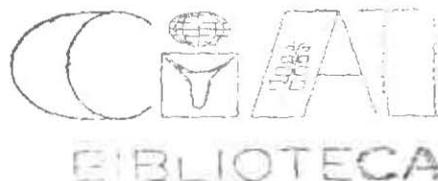
CIAT

COLECCION HISTORICA



~~Sistemas de producción~~ de fríjol

Esta publicación es una reproducción del capítulo sobre
Sistemas de Producción de Fríjol, Informe Anual del CIAT, 1975



13118
8 OCT. 1993

Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT

Apartado Aéreo 67-13 Cali, Colombia, S. A.

Cables CINATROP

PERSONAL DEL PROGRAMA DE SISTEMAS DE PRODUCCION DE FRIJOL

Directores del CIAT

John L. Nickel, PhD, Director General
Eduardo Alvarez-Luna, Ph.D., Director General Asociado,
Cooperación Internacional
Kenneth O. Rachie, Ph.D., Director General Asociado,
Investigaciones

Personal Científico

Lider

Peter H. Graham, Ph.D., Microbiólogo

Investigadores principales

*Per Pinstруп-Andersen, Ph.D., Economista Agrícola
Robert Burns, MS, Encargado del Banco de Germoplasma
Charles A. Francis, Ph.D., Agrónomo
Guillermo Gálvez, Ph.D., Fitopatólogo
Guillermo Hernández-Bravo, Ph.D., Fitomejorador
*Reinhardt Howeler, Ph.D., Edafólogo
Douglas Laing, Ph.D., Fisiólogo
Aart van Schoonhoven, Ph.D., Entomólogo
*Steve Temple, Ph.D., Fitomejorador

Investigadores asociados

Camilo Alvarez, MS
Carlos Flor, MS
**Mario A. Infante, MS
Luis A. Rojas, MS

Posdoctorales

Yoshihiko Hayakawa, Ph.D.
Kazuhiko Joshii, Ph.D.
Fred Eskafi, Ph.D.

Investigadores asistentes

Germán Alvarez, Ing. Agr.
Ricardo Campos, Ing. Agr.
Mauricio Castaño, Ing. Agr.
José J. Galindo, Ing. Agr.
James García, Ing. Agr.
Luis A. Gómez, Ing. Agr.
Carlos González, Ing. Agr.
Fabio Gutiérrez, Ing. Agr.
Carlos Gutiérrez, Ing. Agr.
Roberto Hernández, Ing. Agr.
**Rigoberto Hidalgo, Ing. Agr.
Norha Ruiz de Londoño, Ing. Agr.
**Darío Martínez, Ing. Agr.
Carlos J. Medina, Ing. Agr.
Jorge E. Parra, Ing. Agr.
**Jaime Piedrahita, Ing. Agr.
Martín Prager, Ing. Agr.
**Alvaro Ramírez, Ing. Agr.
José Restrepo, Ing. Agr.
Hember Rubiano, Ing. Agr.
Juan C. Rosas, Ing. Agr.
**Carlos I. Sierra, Ing. Agr.
Fernando Takegami, Ing. Agr.
**Carlos H. Tamayo, Ing. Agr.
Guillermo Valencia, Ing. Agr.
Sívlio Zuluaga, Ing. Agr.

* Asignado a dos prograas

* Se retiró en 1975.

CONTENIDO

PROGRESOS LOGRADOS EN 1975	C- 1
ECONOMIA AGRICOLA	C- 3
Factores agronómicos de la producción de frijol en Colombia	C- 3
Factores económicos de la producción de frijol en Colombia	C- 8
FITOMEJORAMIENTO	C-10
Programa de hibridación	C-10
Técnicas de hibridación	C-13
Estudios sobre la herencia	C-13
COLECCION DE GERMOPLASMA	C-14
FISIOLOGIA	C-16
Estudios sobre el crecimiento y desarrollo de la planta	C-16
Relación entre sitio de origen de productos fotosintéticos y sitio de acumulación	C-18
Potencialidad de rendimiento de una amplia gama de genotipos	C-22
Insensibilidad al fotoperíodo	C-24
Selección por tolerancia a la sequía	C-25
Estabilidad del hábito de crecimiento	C-26
MICROBIOLOGIA	C-26
Interacción variedad-cepa	C-26
Comparación del frijol y de la soya con relación a la fijación de nitrógeno	C-29
Pruebas de cepas	C-32
Suministro de inoculantes	C-32
ENTOMOLOGIA	C-32
<i>Empoasca kraemeri</i>	C-32
Acaros	C-37
Chizas	C-37
Insectos que atacan al frijol almacenado	C-38
FITOPATOLOGIA	C-40
Añublo bacterial común	C-40
Roya	C-41
Antracnosis	C-41
Virus del mosaico común del frijol	C-42
Virus del mosaico dorado del frijol	C-43
Virus del moteado clorótico del frijol	C-44
Virus del mosaico rugoso y del mosaico ampollado	C-46
Defoliación artificial para simular las pérdidas causadas por enfermedades	C-46
Patología de la semilla	C-46
Tratamiento de la semilla con fungicidas	C-47
AGRONOMIA	C-49
Ensayos de variedades	C-49
Estudios sobre la fertilización del frijol	C-51
Prácticas agronómicas	C-55
Estudios sobre la densidad de siembra	C-58
Cultivos múltiples	C-60
ACTIVIDADES DE COOPERACION INTERNACIONAL	C-62

Datos climáticos y edafológicos de las localidades en las cuales el Programa de Frijol del CIAT realizó investigaciones en 1975

Localidades*	Altura (msnm)	Temperatura promedio (°C)	Lluvia (mm/año)	M.O. (%)	pH	P (Bray II) (ppm)	K (meq/100g)	Textura del suelo
Colombia¹								
CIAT, Palmira (Valle)	1.000	24,0	1.000	6,80	6,9	46,3	0,44	Arcilloso
Popayán ² (Cauca)	1.760	18,0	2.500	7,56	5,0	2,4	0,44	Franco arcilloso
Nataima ³ (Tolima)	430	27,8	1.479	1,30	6,2	24,7	0,22	Arenoso
Turipán ³ (Córdoba)	13	28,0	1.200	3,1	6,8	13,8	0,68	Arcilloso
Tibaitatá ³ (Cundinamarca)	2.250	13,1	606	-	-	-	-	-
Restrepo ⁴ (Valle)	-	-	-	6,2	6,0	4,9	0,48	Franco arenoso
Vijes, Yotoco ⁴ (Valle)	-	-	-	7,4	5,9	7,0	0,31	Franco arenoso
La Zapata (Valle)	1.200	22,7	1.219	6,0	5,0	1,7	0,55	Franco arcilloso
Ecuador								
Bolíche ⁵	50	25,1	727	3,8	4,3	3,0	2,30	Franco arcilloso
Perú								
La Molina ⁶	200	17,7	5	1,5	8,0	309,0	0,43	Franco arcilloso

¹ Nombres de los departamentos indicados entre paréntesis

² En cooperación con la Secretaría de Agricultura del Cauca

³ En cooperación con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)

⁴ En cooperación con la Federación Nacional de Cafeteros

⁵ En cooperación con el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)

⁶ En cooperación con el Ministerio de Agricultura

Sistemas de producción de frijol

PROGRESOS LOGRADOS EN 1975

En su segundo año de operaciones, el Programa de Sistemas de Producción de Frijol prosiguió en su desarrollo y consolidación. Las prioridades establecidas, después de hacer un profundo análisis de los problemas que se presentan en la producción de frijol en América Latina, hacen énfasis en los siguientes puntos: la caracterización del germoplasma y el suministro de material mejorado a los programas nacionales de investigación; asistencia a los científicos de América Latina en lo referente a documentación y adiestramiento; y el desarrollo de sistemas de producción de frijol que minimicen el uso de fertilizantes y de productos agroquímicos costosos. Durante 1975, el nombramiento de nuevos miembros del personal científico en fisiología y en sistemas agronómicos, hizo posible progresar considerablemente en tales áreas. A continuación se presentan algunos de los principales progresos logrados durante el año.

En el primer año de hibridaciones en frijol, se utilizaron 85 progenitores en un programa intensivo de cruzamientos. Se hicieron 4.530 polinizaciones, las cuales representan 1.266 hibridaciones diferentes; además, se establecieron pruebas de progenies en el campo de 35.400 plantas en genreaciones F_1 y F_2 .

Tanto en frijol arbustivo como trepador, se obtuvieron altos rendimientos bajo condiciones experimentales, haciendo promisoría su utilización para lograr altos rendimientos comercialmente lo cual parecía ser un objetivo inalcanzable con estas especies. Con el frijol arbustivo, el máximo rendimiento logrado en parcelas replicadas fue de 4,26 ton/ha; con frijol trepador, bajo condiciones de monocultivo, los rendimientos oscilaron consistentemente entre 4,5 y 5,5 ton/ha.

En 1975, se continuaron los ensayos varietales sobre frijol arbustivo, y una vez más, se alcanzaron niveles satisfactorios con respecto a los rendimientos. Los científicos que asistieron al Simposio sobre Mejoramiento Genético y Germoplasma de Frijol contribuyeron al diseño y aprobación de planes de acción relacionados con el establecimiento de una serie internacional de ensayos de variedades, durante 1976.

Los estudios sobre fijación de nitrógeno, realizados cerca a la ciudad de Popayán, mostraron tasas de fijación similares a las registradas para la soya. En un período de 120 días, las 10 variedades estudiadas fijaron un promedio de 25 kg/ha de N.

Se hizo un estudio agroeconómico que cubrió las principales regiones productoras de frijol en Colombia, el cual proporciona información valiosa sobre la incidencia y severidad de las enfermedades, problemas de la producción y el almacenamiento y la calidad de la semilla.

Como parte de su nueva responsabilidad en la coordinación de las investigaciones sobre frijol en América Latina, durante 1975 el Programa organizó una serie de conferencias para discutir los problemas sobre mejoramiento, germoplasma y enfermedades. También, el Comité Asesor del Cultivo del Frijol se reunió para evaluar las actividades del Programa. En el CIAT recibieron adiestramiento 26 becarios, incluyendo dos candidatos al doctorado y tres a la maestría.

Además, se presentaron cambios en cuanto al énfasis de algunos objetivos del Programa. Los estudios sobre germoplasma jugaron un papel menos preponderante que en años anteriores, en tanto que se dio un mayor énfasis a las investigaciones sobre frijol trepador y cultivos asociados de maíz y frijol. Las investigaciones sobre ataque de ácaros, los cuales, anteriormente fueron considerados como de importancia primaria en América Latina se remplazaron por investigaciones sobre un solo ácaro, del género *Tarsonemus*.

ECONOMIA AGRICOLA

En 1974 se inició el análisis de los sistemas de producción de frijol, en cuatro regiones* de Colombia (Informe Anual del CIAT, 1974). El objetivo fundamental del análisis es el de conocer algunas características del proceso de producción de frijol que sean de utilidad para establecer prioridades en lo referente a la investigación agrícola y políticas gubernamentales. En 1975 se concluyó la recolección de información correspondiente a tres de las cuatro regiones, la cual está en proceso de análisis. Aunque algunos de los resultados que se presentan en este informe corresponden a las cuatro regiones, la discusión se ha concentrado en una de ellas: la región del Valle del Cauca puesto que el análisis de sus datos está más avanzado.

* Se ha empleado la palabra región en lugar de departamento, subdivisión política equivalente a estado o provincia.

Factores agronómicos de la producción de frijol en Colombia

Niveles tecnológicos y rendimientos del frijol

Las 177 fincas estudiadas se localizan en las siguientes regiones: Valle del Cauca, 31; Huila, 105; Antioquia, 22; y Nariño, 19. En la región del Valle del Cauca, se emplea primordialmente el monocultivo del frijol mientras que en Huila, Antioquia y Nariño se cultiva asociado con maíz, especialmente. En Huila, parte del área dedicada al cultivo de frijol se siembra también con frijol solamente. En otros sistemas de cultivos intercalados, el frijol se siembra con papa, arveja o maní. El Cuadro I presenta los tamaños de finca, utilización de la tecnología moderna y rendimiento para las cuatro regiones. El Valle del Cauca se caracteriza por sus fincas comerciales relativamente grandes, la utilización extensiva de la tecnología moderna, el uso del monocultivo y los rendimientos de frijol relativamente altos. En contraste, la región de Nariño está

Cuadro 1. Características de la producción de frijol en cuatro regiones de Colombia.

	Valle	Huila	Antioquia	Nariño
Superficie promedio de la finca (ha)	48,0	25,2	4,5	4,0
Superficie cultivada en frijol (ha)	22,6	5,9	1,5	1,8
Porcentaje de fincas que utilizan:				
Riego	45	3	0	0
Semilla certificada	52	7	0	5
Fertilizantes	94	24	100	0
Herbicidas	33	0	0	0
Insecticidas	87	23	64	10
Fungicidas	97	10	59	0
Credito	87	53	54	58
Asistencia técnica	71	30	32	32
Cultivos asociados	0	74	100	95
Maquinaria	100	44	5	0
Rendimiento de frijol (kg/ha)	906	683	509	447
Rendimiento equivalente de frijol (kg/ha)	906	n.d.	919	703

conformada principalmente por fincas pequeñas en las cuales la utilización de la tecnología moderna es muy limitada, predomina el sistema de cultivos múltiples y los rendimientos de frijol son relativamente bajos. En el Valle del Cauca, los rendimientos en las fincas pequeñas fueron solamente algo más de la mitad de los obtenidos en las grandes. El Cuadro 2 muestra que incluso en una misma región, se presentan amplias diferencias entre los sistemas de cultivo y los niveles de tecnología utilizados para la producción de frijol. Las diferencias son más marcadas en lo relacionado con la utilización del riego, semilla certificada, herbicidas, crédito y asistencia técnica.

Estos nuevos conocimientos indican que los esfuerzos de la investigación orientados hacia la ampliación y mejoramiento de la productividad, deben tener en cuenta el sistema de producción específico y la región hacia la cual van enfocados los esfuerzos. Es factible que las nuevas tecnologías para el sistema del monocultivo a gran escala, sean adoptadas rápidamente por los agricultores más

progresistas que caracterizan a la región del Valle del Cauca. Posiblemente se requerirá hacer esfuerzos especiales para diseñar y difundir tecnología con el fin de beneficiar a los pequeños agricultores, que son típicos de las regiones de Nariño y de Antioquia.

Enfermedades e insectos

En todas las regiones estudiadas se encontraron cultivos de frijol afectados por mancha angular, roya y añublo bacterial. Se constató que otras enfermedades son importantes en algunas pero no en todas las regiones (Cuadro 3). En una sección posterior de este capítulo, se discute el impacto de algunas de estas enfermedades sobre el rendimiento.

Se encontraron muchas especies de insectos perjudiciales en aquellos cultivos de frijol bajo observación, siendo *Empoasca* y trips, los más frecuentes. El porcentaje de fincas afectadas por cada especie de insecto, difiere bastante entre las regiones (Cuadro 4).

Cuadro 2. Características seleccionadas para la producción de frijol en fincas de tres tamaños en el Valle del Cauca.

	Tamaño de la finca		
	Pequeña	Mediana	Grande
Superficie promedio de las fincas (ha)	2,8	21,0	115,0
Superficie cultivada en frijol (ha)	2,4	17,0	47,5
Porcentaje de fincas que utilizan:			
Riego	18	44	73
Semilla certificada	18	22	54
Fertilizantes	90	100	100
Aplicado al suelo	40	66	64
Foliales	60	78	100
Herbicidas	20	33	45
Insecticidas	91	78	91
Sistema de aplicación:			
Aérea	0	22	64
Con tractor	0	22	27
Con fumigadora de espalda	100	89	64
Fungicidas	100	100	100
Crédito	73	89	100
Asistencia técnica	27	89	100
Cultivos asociados	0	0	0
Maquinaria	100	100	100
Rendimiento de frijol (kg/ha)	683	896	1.118

Cuadro 3. Porcentaje de las fincas productoras de frijol en cuatro regiones de Colombia, en las cuales se observaron enfermedades durante las visitas.

	Región							
	Valle ¹		Huila ²		Antioquia ³		Nariño ⁴	
	Visitas: I	II	I	II	I	II	I	II
Mancha angular de la hoja	74	100	30	78	91	91	32	79
Roya	94	94	63	71	41	68	26	16
Añublo bacterial	55	84	40	77	0	9	53	79
Mancha gris	0	3	44	63	68	82	63	53
Antracnosis	0	0	50	51	86	100	37	42
Mancha harinosa	0	0	11	72	73	64	10	47
Mildeu polvoso	0	0	6	28	50	68	0	0
Virus	10	19	21	6	0	0	21	11
Pudrición radicular	39	13	19	1	5	9	37	5
Mancha de la hoja (Alternaria)	0	0	21	11	14	9	16	5

¹ Período vegetativo del cultivo: 80-100 días. Visita I, 20-30 días después de la siembra; II, 50- 60 días después de la siembra

² Período vegetativo del cultivo: 80-120 días. Visita I, 30-50 días después de la siembra; II, 70- 90 días después de la siembra

³ Período vegetativo del cultivo: 120-160 días. Visita I, 60-80 días después de la siembra; II, 90-100 días después de la siembra

⁴ Período vegetativo del cultivo: 90-110 días. Visita I, 30-40 días después de la siembra; II, 60- 70 días después de la siembra.

Cuadro 4. Porcentaje de las fincas de frijol en cuatro regiones de Colombia, en las cuales se observaron insectos durante las dos visitas.

	Región							
	Valle		Huila		Antioquia		Nariño	
	Visitas: I	II	I	II	I	II	I	II
Atacan las plántulas:								
Tierreros	13	0	14	4	0	0	0	0
Grillos	13	0	11	0	0	0	0	0
Chupadores de follaje:								
Afidos	32	6	56	77	18	14	37	53
Trips	39	36	79	70	36	36	68	63
(Nezara sp.)	0	6	0	2	9	0	5	0
Empoasca sp. (adultos)	61	97	87	85	68	64	68	79
Empoasca sp. (ninfas)	36	87	78	83	64	77	63	95
Mosca blanca	62	26	42	38	36	0	47	26
Gargaphia sp.	0	0	14	30	0	0	0	0
Minadores de la hoja:								
Agromyza sp., Liriomyza sp.	26	42	60	57	0	0	58	32
Hemichalepus sp.	0	43	55	30	68	55	47	5
Comedores de follaje:								
Estigmene sp.	13	13	3	6	-	5	0	0
Trichoplusia sp.	0	55	16	39	14	45	5	0
Hedylepta sp.	6	16	7	32	0	0	0	0
Urbanus sp.	0	3	9	4	0	0	0	0
Spodoptera sp.	3	3	0	0	0	0	0	0
Crisomélidos	36	52	12	7	32	0	53	16
Atacan las vainas:								
Heliothis sp.	0	16	0	10	0	0	0	16
Trichoplusia sp.	0	32	0	30	0	0	0	16
Maruca sp., Epinotia sp.	0	48	0	52	0	59	0	5
Dípteros	0	0	0	8	0	23	0	26
Barrenadores del tallo:	0	0	1	0	82	59	0	0
Acaros:								
Tetranychus sp.	0	0	16	48	0	0	0	0

Suelos

En cada finca incluida en el estudio, se tomaron muestras de suelo para comprender mejor las necesidades de fertilizantes y los rendimientos obtenidos. Estas muestras se están analizando para determinar el contenido de materia orgánica, el pH y los niveles de calcio, magnesio, fósforo y potasio.

Población de plantas y pérdida de semilla

A los 30 días de la siembra, se estimó que la población promedio de plantas, para la región del Valle del Cauca, era de 387.000 plantas por hectárea. La población de plantas por hectárea tiende a ser mayor en las fincas grandes. Se observó una pérdida considerable de semilla o de plántulas,

durante los primeros 30 días después de la siembra; las pérdidas en la población de plantas, en la época de establecimiento del cultivo, fueron de 50 y 32 por ciento en las fincas pequeñas y grandes, respectivamente y se están estudiando las causas de estas pérdidas tan altas.

Mediante el análisis de la función de producción y utilizando los precios actuales de la semilla (US\$700/ton), la población óptima se estimó en 419.500 plantas por hectárea y se calculó que la producción máxima se obtendría con 486.600 plantas por hectárea. Se estimó que con los precios actuales de la semilla el aumento de la densidad de la población al nivel económico óptimo incrementaría solamente en 14 kg/ha los rendimientos.

Utilización de mano de obra

La Figura 1 muestra la estimación de la mano de obra que se utiliza en la producción de frijol en el Valle del Cauca de acuerdo con las diferentes actividades de producción y con el tamaño de la finca. La producción de frijol en la región es altamente mecanizada; por lo tanto, la mano de obra utilizada es baja en comparación con otras regiones. El control de malezas y las prácticas culturales representan casi la mitad del total de la mano de obra empleada la cual en el proceso de producción es mayor en las fincas pequeñas que en las grandes; esta diferencia se acentúa en las desyerbas y prácticas culturales debido a que son pocos los pequeños agricultores que utilizan herbicidas. La mano de obra empleada en el

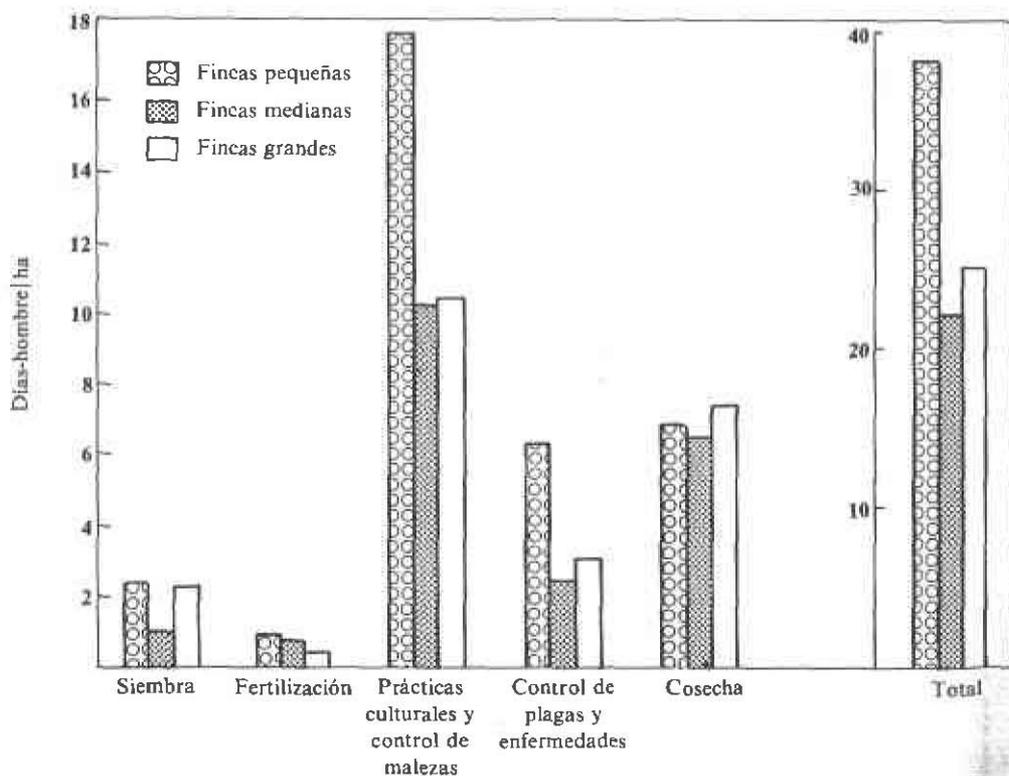


Figura 1. Uso de mano de obra en la producción de frijol por actividad y tamaño de la finca (Valle del Cauca, Colombia 1975).

Cuadro 5. Costos variables estimados de la producción de frijol para tres tamaños de finca en la región del Valle del Cauca, Colombia (1974-1975).

	Tamaño de la finca					
	Pequeña		Mediana		Grande	
	(US\$ ha)	(%)	(US\$ ha)	(%)	(US\$ ha)	(%)
Preparación de la tierra	33,87	14,5	46,57	17,0	42,70	13,0
Semilla y siembra	67,57	29,0	61,00	22,2	67,57	20,6
Fertilizantes y aplicación	17,37	7,5	22,93	8,3	24,40	7,4
Riego, drenaje	-	-	3,47	1,3	5,57	1,7
Prácticas culturales y control de malezas	36,67	15,8	30,63	11,2	30,70	9,4
Control de plagas y enfermedades	38,33	16,5	57,50	21,0	74,23	22,6
Cosecha	15,83	6,8	21,67	7,9	45,27	13,8
Otros costos	23,23	9,9	30,47	11,1	37,80	11,5
Total	232,87	100,0	274,24	100,0	328,24	100,0

control de plagas y de enfermedades también difiere, en virtud de que los grandes agricultores utilizan tractores para aplicar insecticidas y fungicidas, mientras que los pequeños tienden a utilizar fumigadoras de espalda.

Factores económicos de la producción de frijol en Colombia

Costos de producción e ingresos

El Cuadro 5 presenta los costos variables estimados, con base en la actividad de la producción y el tamaño de la finca. Los costos de la semilla y de la siembra representan, aproximadamente, el 25 por ciento del total de los costos variables, seguidos por el control de plagas y

enfermedades (20 por ciento) y preparación del suelo (15 por ciento). Se encontró una notoria diferencia en los costos de producción entre los grupos de fincas clasificados por tamaño. Los costos variables totales se estimaron en US\$233 y US\$328 por hectárea para las fincas pequeñas y grandes, respectivamente. Las diferencias en los costos, se deben primordialmente a las cantidades aplicadas de fertilizantes, insecticidas, herbicidas y fungicidas, y en menor grado, a diferencias en los costos de la cosecha que a su vez obedecen a las variaciones en el rendimiento.

El Cuadro 6 presenta los ingresos brutos y netos estimados para la producción de

Cuadro 6. Resultados económicos estimados de la producción de frijol para tres tamaños de finca en la región del Valle del Cauca, Colombia (1974-1975).

	Tamaño de la finca		
	Pequeña	Mediana	Grande
Rendimiento (kg ha)	683	896	1.118
Valor de la producción (US\$ ha)	366	508	626
Costos totales (US\$ ha)	317	352	432
Ganancia neta (US\$ ha)	49	156	194
Relación costo beneficio	-1,15	1,44	1,45

frijol en el Valle del Cauca, durante el período de estudio. Los incrementos en el rendimiento, los costos totales y los ingresos netos fueron directamente proporcionales al aumento de tamaño de la finca. La relación costo|beneficio fue de 1,15 para las fincas pequeñas y de 1,45 para las grandes.

Se hizo un análisis de la función de producción para determinar los niveles óptimos de los costos variables (excluyendo los costos de la cosecha) y los rendimientos por unidad de superficie.* Se encontró que el nivel actual de los costos variables (US\$251,77|ha) era óptimo para un precio del producto de US\$533|ton. Al precio promedio recibido por los agricultores de US\$550|ton, los ingresos netos se maximizarían a un costo variable de US\$260|ha, lo cual a su vez, aumentaría los rendimientos en 18 kg|ha y los ingresos netos en US\$1,27|ha.

Los precios recibidos por los agricultores en estudio oscilaron entre US\$400 y US\$720|ton, con los cuales los ingresos netos se maximizarían a un costo variable de US\$152 y US\$326|ha, respectivamente. Antes de la siembra, algunas compañías privadas ofrecieron a los agricultores contratos con un precio garantizado de US\$583|ton; menos de la cuarta parte de ellos aceptó firmar tales contratos. Aparentemente al momento de la siembra, los agricultores esperaban que los precios futuros para el frijol fueran iguales o superiores a los precios del contrato y que este precio sería la base para tomar decisiones con relación a los niveles mínimos de utilización de insumos y a los costos variables. Al precio del contrato, se estimó que los costos variables óptimos eran de US\$277|ha. Por lo tanto, se puede

* Los costos de cosecha se excluyeron de los costos variables debido a que son determinados por la cantidad de producto cosechado y no lo contrario. Por lo tanto debido a que los costos de cosecha son fijos para cada unidad de producción en la región tales costos fueron deducidos del precio del producto, en el análisis marginal.

concluir que la inversión de los agricultores en estudio fue ligeramente menor al nivel óptimo ya sea basado en el promedio real de precios o en los precios mínimos esperados. Sin embargo, dado el riesgo e incertidumbre asociados con los rendimientos y precios del frijol, la inversión de los agricultores se acercó tanto como fue posible a los niveles óptimos.

Causas de las pérdidas de rendimiento

Se hizo un análisis de la función de producción para estimar las pérdidas en el rendimiento, debidas a factores seleccionados. El Cuadro 7 presenta las pérdidas estimadas en el rendimiento ocasionadas por ocho factores, suponiendo que el lote cultivado hubiera sido totalmente afectado. También se presenta el porcentaje del área total afectada y la pérdida total para la región. Asumiendo precios constantes como en el caso de una demanda infinitamente elástica, y utilizando el precio promedio recibido por los agricultores incluidos en el estudio (US\$550|ton), la pérdida para la región debida a la precipitación pluvial adversa y a la ausencia de un control de las aguas, se estimó en casi US\$1,2 millones para el período de cultivo que se inició en octubre de 1974.* Se estimó que la pérdida causada por la roya era ligeramente menor a la anterior. El añublo bacterial redujo los rendimientos regionales promedios en 137 kg|ha y la producción regional total, en aproximadamente 1.700 toneladas; otros factores importantes que limitaron los rendimientos fueron el ataque de *Empoasca* y la mancha angular. En el 59 por ciento del área se utilizó semilla certificada y se estimó en US\$0,5 millones la ganancia potencial usando esta semilla en el resto del área. Las ganancias potenciales al op-

* Debido a que casi todo el frijol negro producido en el Valle del Cauca se exporta y a que representa una proporción pequeña de la oferta total en los mercados a los cuales se exporta, el supuesto de una demanda infinitamente elástica es probablemente válido para los límites considerados en el estudio.

Cuadro 7. Pérdidas estimadas en la producción de frijol debidas a factores seleccionados en la región del Valle del Cauca, Colombia (1974-1975).

Factor	Pérdida estimada por lote totalmente afectado		Area afectada (%)	Pérdida estimada en el Valle del Cauca			
	(kg/ha)	(%)		(kg/ha)	(%)	(ton)	Valor (US\$ 1.000)
Lluvias adversas	416	31,5	42	175	16,2	2.168	1.192
Roya	307	25,3	56	172	16,0	2.130	1.171
Añublo bacterial	Total	100,0	12	137	13,1	1.697	933
Empoasca	315	25,8	35	110	10,8	1.362	749
Mancha angular de la hoja	538	37,5	15	81	8,2	1.003	552
Semilla certificada	186	17,0	41	76	7,7	941	517
Costos variables	-	-	-	18	1,9	223	123
Población de plantas	-	-	-	14	1,5	173	95

* El porcentaje se determinó con base en el rendimiento promedio estimado más la pérdida estimada debida a cada factor en particular

** Valor estimado de la pérdida regional a precios constantes de US\$550/ton.

timizar los costos variables y las densidades de población, fueron bastante reducidas.

Los estimativos que se presentan en el Cuadro 7 se refieren más bien a las pérdidas brutas que a las pérdidas netas. Para poder calcular las pérdidas netas es necesario estimar los costos y beneficios secundarios, asociados con la reducción o eliminación de las pérdidas. Finalmente, los estimativos del Cuadro 7 se deben interpretar con precaución, dada su naturaleza preliminar, el escaso número de observaciones y la dificultad que se presenta en separar los efectos de los diversos factores que inciden sobre los rendimientos.

FITOMEJORAMIENTO

Programa de hibridación

En 1974, se inició un programa de hibridación entre selecciones promisorias del banco de germoplasma de frijol, utilizando 10 progenitores (Informe Anual del CIAT, 1974). En 1975, el número de progenitores se aumentó a 85, ampliando de esta manera las características deseables

de selección; este aumento en el número de progenitores dio un nuevo impulso al programa de hibridaciones. En octubre del mismo año, se habían hecho 4.530 polinizaciones, lo cual equivale a 1.266 hibridaciones diferentes. En el desarrollo de este programa, la eficiencia global de la polinización aumentó de un 31,5 por ciento, nivel logrado el año pasado, hasta más de un 50 por ciento. Más adelante, este punto se discutirá con mayor amplitud.

Se completaron dos ciclos de cruzamientos intensivos. A partir de los 10 progenitores iniciales, se desarrollaron 23 cruces simples en generación F₂ y 51 cruces dobles en F₁. Estos materiales se llevaron al campo este año y se hicieron 27 selecciones masales y más de 450 selecciones individuales. Aunque aún es prematuro hablar de cifras concretas sobre rendimiento, debido a que las densidades experimentales de siembra fueron bajas, dos de los resultados merecen comentario: 1) La selección P459 probó ser un progenitor excelente. Todos los materiales promisorios procedentes de cruces dobles F₁ tuvieron este progenitor, como también ocho de nueve selecciones masales de poblaciones F₂ provenientes de cruces simples. 2) en general, las cifras

preliminares sobre los rendimientos de la progenie de los cruces dobles fueron notablemente más altos que los de la progenie de los cruces simples.

El Cuadro 8 presenta los materiales parentales y las características a seleccionar en el segundo grupo de cruces. El objetivo fue el de tratar de establecer poblaciones de base que reunieran diferentes fuentes de genes determinantes de características con herencia cuantitativa, como son la resistencia a *Empoasca*, resistencia al añublo bacterial común y rendimiento. También se hizo énfasis en combinar rasgos de herencia simple, como es la resistencia al mosaico común, en variedades comerciales prominentes. Durante 1976, se continuarán haciendo cruces y evaluaciones posteriores.

El personal técnico del Programa de Frijol, con base en las discusiones que se realizaron en el simposio sobre fitomejoramiento realizado en octubre, dedicó gran parte de su tiempo al desarrollo de una metodología para mejorar y distribuir nuevas líneas de *Phaseolus vulgaris*. Es

factible que a corto plazo, se pueda avanzar asignando mayor importancia a las características de herencia simple, como la resistencia al mosaico común y a la antracnosis, para incorporar luego estos rasgos a las variedades comerciales superiores. Esto se puede lograr mediante hibridaciones para obtener cruces simples que incorporen el carácter de resistencia a la enfermedad, junto con un programa de retrocruzamientos, para recuperar rasgos deseables de la semilla. El mejoramiento de características con herencia cuantitativa — como por ejemplo tolerancias al añublo bacterial común, al lorito verde y al virus del mosaico dorado — y la incorporación de estas características en variedades de alto rendimiento, será mucho más difícil. Parecen muy adecuados los procedimientos de la selección recurrente, como los que se presentan en la Figura 2 para seleccionar por resistencia a *Empoasca*. Para lograr tal objetivo, se harán cruzamientos y autofecundaciones con líneas consanguíneas que se probarán primero, para determinar su tolerancia a *Empoasca* (factor A) y posteriormente, su capacidad de rendimiento (factor B). En esta fase, las

Cuadro 8. Grupos de factores que se están mejorando genéticamente en *Phaseolus vulgaris* (CIAT, 1975).

No. de cruces diferentes	Grupos de factores bajo fitomejoramiento
160	Fuentes de tolerancia (5) a bacteriosis común, <i>Xanthomonas phaseoli</i> , y alto potencial de rendimiento.
183	Fuentes de tolerancia (6) a mustia hilachosa, <i>Thantephorus cucumeris</i> , y alto potencial de rendimiento.
143	Fuentes de resistencia (5) a mosaico común, <i>Marmor phaseoli</i> , alto potencial de rendimiento y variedades comerciales de América Latina.
118	Fuentes de tolerancia (14) a lorito verde (chicharritas), <i>Empoasca kraemeri</i> , y alto potencial de rendimiento.
96	Fuentes de resistencia (6) a roya, <i>Uromyces phaseoli</i> , y alto potencial de rendimiento.
13	Fuentes de resistencia (2) a mosaico amarillo y variedades comerciales de Chile.
37	Fuentes de tolerancia (2) a mosaico dorado y variedades comerciales de Honduras.
31	Fuentes de resistencia (1) a mancha angular, <i>Isariopsis griseola</i> , y alto potencial de rendimiento.
485	Combinaciones de caracteres fisiológicos por: floración tardía (3), insensibilidad a fotoperiodo (3), estabilidad en hábito de crecimiento (3), y alto potencial de rendimiento.

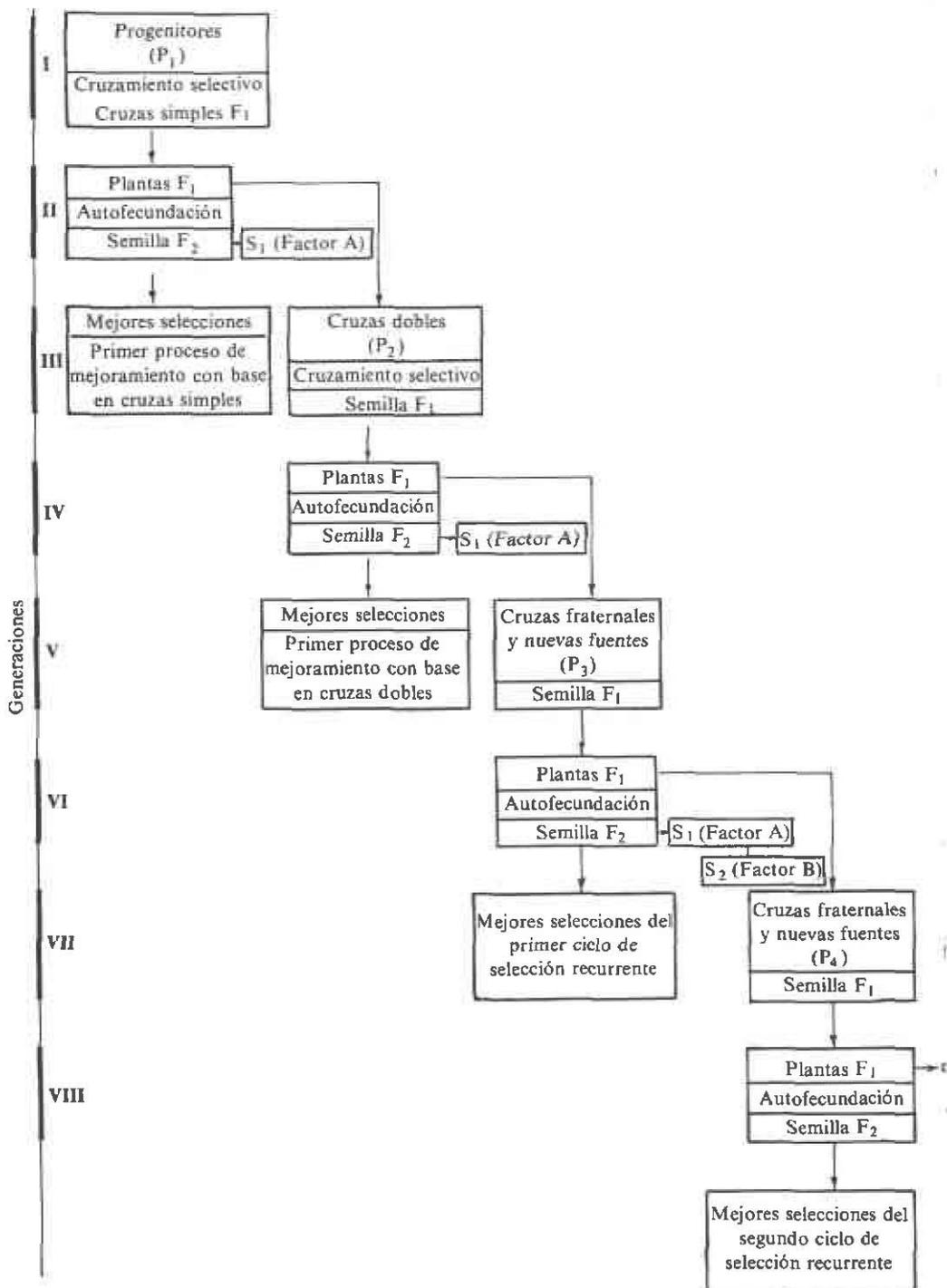


Figura 2. Proceso en el mejoramiento genético del frijol, *Phaseolus vulgaris*, con base en el método de selección recurrente. Consideración de un número inicial de 10-15 progenitores para lograr combinaciones en dos factores poligénicos (CIAT, 1975).

disciplinas de investigación correspondientes, tendrán que dar prioridad al desarrollo de procedimientos de selección que permitan distinguir diferencias relativamente pequeñas en los niveles de resistencia o de rendimiento.

Técnicas de hibridación

Como se afirmó con anterioridad, en 1974 la eficiencia de la polinización fue sólo de aproximadamente 32 por ciento. Con el propósito de mejorar este porcentaje, en 1975 se inició un estudio para evaluar la metodología de los cruzamientos. Sin controlar las condiciones del medio ambiente se efectuaron en una casa de malla cruces utilizando las líneas P4 y P5 como progenitor femenino y masculino, respectivamente. Entre los factores que se estudiaron se pueden citar: a) uso de ácido p.4-clorofenoxiacético para evitar la abscisión de las flores polinizadas; b) colocación de un algodón húmedo alrededor de las flores polinizadas; c) hora del día que presenta mayores ventajas para efectuar la polinización; d) eliminación de todas las flores que no se han de polinizar;

e) necesidad de polinizar nuevamente; y f) tiempo óptimo de emasculación con relación a la polinización.

En el Cuadro 9 se presentan los resultados. La máxima eficiencia (81 por ciento) se logró mediante la aplicación de hormonas, haciendo los cruces hasta el medio día, polinizando una sola flor por racimo y eliminando todas las flores que no se polinizaron. La utilización del algodón húmedo alrededor de la flor aumentó la abscisión de flores, igual que en toda situación en la que se permitió la competencia por nutrientes entre la flor fertilizada y otras flores en la planta. La labor de volver a polinizar no es práctica dado que el aumento en la eficiencia no es significativo.

Estudios sobre la herencia

Los becarios en adiestramiento sobre mejoramiento de frijol, están participando directamente en una serie de estudios para obtener información sobre la herencia de los principales factores genéticos que limitan la producción.

Cuadro 9. Efecto de diversos tratamientos para aumentar la eficiencia de cruzamiento en *Phaseolus vulgaris* (CIAT, 1975).

Tratamiento	Eficiencia (%)	Temperatura media (°C)	Humedad relativa media (%)
Hormona*	81,0	31,0	54,5
Hormona + algodón húmedo	71,0	30,0	53,6
Algodón húmedo	62,0	29,4	52,4
Testigo	74,0	29,1	57,4
Una sola polinización (sin efectos de competencia)	63,3	24,6	98,2
Repolinización después de 24 horas	66,6	24,6	98,2
Presencia de otras flores al momento de la polinización	40,0	24,0	98,2
Dos flores polinizadas por racimo	38,3	29,8	85,1
Emasculación y polinización a las 24 horas	31,4	25,3	96,1

* Ácido p.4-clorofenoxiacético.

COLECCION DE GERMOPLASMA

En los estudios sobre resistencia a la roya, se evaluaron en el campo dos poblaciones independientes en generación F₂ utilizando un inóculo de una fuente local. Las fuentes de resistencia fueron los progenitores PR-5 (P568) y Cacahuete 72 (P569). Como se muestra en el Cuadro 10, ambos estudios indican que la resistencia fue dominante y de herencia simple.

Bajo condiciones de invernadero se hizo un estudio genético sobre la tolerancia al añublo bacterial común utilizando la línea tolerante denominada Tara (P567) y el inóculo C6 del CIAT. En el Cuadro 10 se presenta la reacción promedio del follaje a la bacteria. La naturaleza de la reacción a la enfermedad fue heredada cuantitativamente y mostró un efecto genético aditivo.

En 1975 se continuó con la evaluación y desarrollo de la documentación de las introducciones de *Phaseolus vulgaris* y especies afines. Las principales actividades se han concentrado en cuatro áreas de trabajo.

1. El banco de germoplasma tiene aproximadamente 1.800 introducciones; para su establecimiento se dispuso de muy poca semilla. Estos materiales fueron sembrados en el invernadero para minimizar las pérdidas de las introducciones individuales las cuales se seleccionarán en el campo en 1976.

Cuadro 10. Estudios sobre la herencia de resistencia a la roya, *Uromyces phaseoli*, y tolerancia a la bacteriosis común, *Xanthomonas phaseoli*, en el frijol común *Phaseolus vulgaris* (CIAT, 1975).

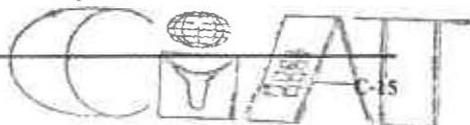
Herencia de resistencia a roya						
Generación	Datos observados		Relación calculada (3:1)		X ²	P
	Resistentes	Susceptibles	Resistentes	Susceptibles		
P ₁ (P459)	-	20				
P ₂ (P569)	20	-				
F ₁	4	-				
F ₂	126	49	131	44	0,840	0,50-0,30
P ₁ (P568)	20	-				
P ₂ (P459)	-	20				
F ₁	4	-				
F ₂	171	73	183	61	3,147	0,10-0,05

Herencia de tolerancia a bacteriosis común						
Generación	Reacción a la enfermedad				No. de plantas	Reacción media a la enfermedad
	1	2	3	4		
P ₁ (P459)	-	-	-	8	8	4,00
P ₂ (P567)	8	-	-	-	8	1,00
F ₁	1	-	-	3	4	3,25
F ₂	33	38	45	23	139	2,41

2. En 1975 se aumentó de 26 a 52 el número de términos utilizados para caracterizar la colección de germoplasma. En el Cuadro 11 se presenta una lista completa de las características. Se están recolectando los datos adicionales en las nuevas parcelas de observación, las cuales incluyen 2.000 introducciones por semestre. La información que corresponde a la descripción de las introducciones se tiene actualmente computada; tal información se está adaptando para ser utilizada por medio de los sistemas de recuperación y análisis de datos EXIR y SAS.
3. Se han hecho más de 700 selecciones que presentan una o más características promisorias y se está elaborando un catálogo que describe en detalle estos materiales promisorios, el cual, posiblemente, estará disponible en 1976. Además, el catálogo describirá la frecuencia y la variación para cada característica de la colección de germoplasma. En el Cuadro 12 se presentan los rangos de variación para algunas características.
4. El banco de germoplasma recibe y distribuye semilla continuamente. En

Cuadro 11. Características determinadas para la evaluación de germoplasma de *Phaseolus vulgaris* en el CIAT.

Fisiológicas y físicas:	29. Materia seca total
1. Días a la emergencia	30. Grado de volcamiento
2. Vigor de la planta	31. Posición que ocupa dentro de la clasificación por rendimiento
3. Longitud del hipocotilo	Resistencia a:
4. Color del hipocotilo	32. Roya
5. Tamaño de la hoja	33. Mancha angular
6. Índice de área foliar (IAF)	34. Mustia hilachosa
7. Altura efectiva de la planta	35. Antracnosis
8. No. de nudos al momento de la floración	36. Pudriciones radicales
9. No. de nudos en la madurez	37. Virus del mosaico común
10. Días al inicio de la floración	38. Virus del mosaico dorado
11. Duración de la floración	39. Virus del moteado clorótico
12. Color de la flor	40. Añublo bacterial
13. Sensibilidad al fotoperíodo	41. Empoasca
14. Hábito de crecimiento	42. Apion
15. Altura de la planta	43. Mosca blanca
16. Espesor del tallo	44. Acaro rojo
17. No. de racimos por planta	45. Acaros tropicales
18. No. de vainas por planta	46. Zabrotes
19. No. de ramas con vainas	47. Gorgojos del frijol
20. Angulo de las ramas	Otras características:
21. Semillas por vaina	48. Eficiencia del Rhizobium
22. Forma de la semilla	49. Otras referencias para introducción
23. Color principal de la semilla	50. Semilla mezclada
24. Color secundario de la semilla	51. Semilla limpia
25. Brillo de la semilla	52. Especies
26. Peso de la semilla	
27. Rendimiento por planta	
28. Índice de cosecha	



Cuadro 12. Variación de características especificadas entre 2.216 introducciones evaluadas de *Phaseolus vulgaris* (CIAT, 1975).

Días a la emergencia	5 - 12
Días a la floración	29 - 72
Altura de la planta (cm)	22 - 220
Racimos planta	1 - 29
Vainas racimo	1 - 5
Vainas planta	3 - 47
Semillas vaina	2 - 10
Peso de la semilla (g 100 semillas)	12 - 58
Peso de la semilla planta (g)	1 - 37
Días a la cosecha	61 - 110

1975, se recibieron 1.105 nuevas introducciones provenientes casi todas de México y América Central, en tanto que se distribuyeron 2.832 muestras de introducciones a otras instituciones de investigación agrícola.

FISIOLOGIA

Estudios sobre el crecimiento y desarrollo de la planta

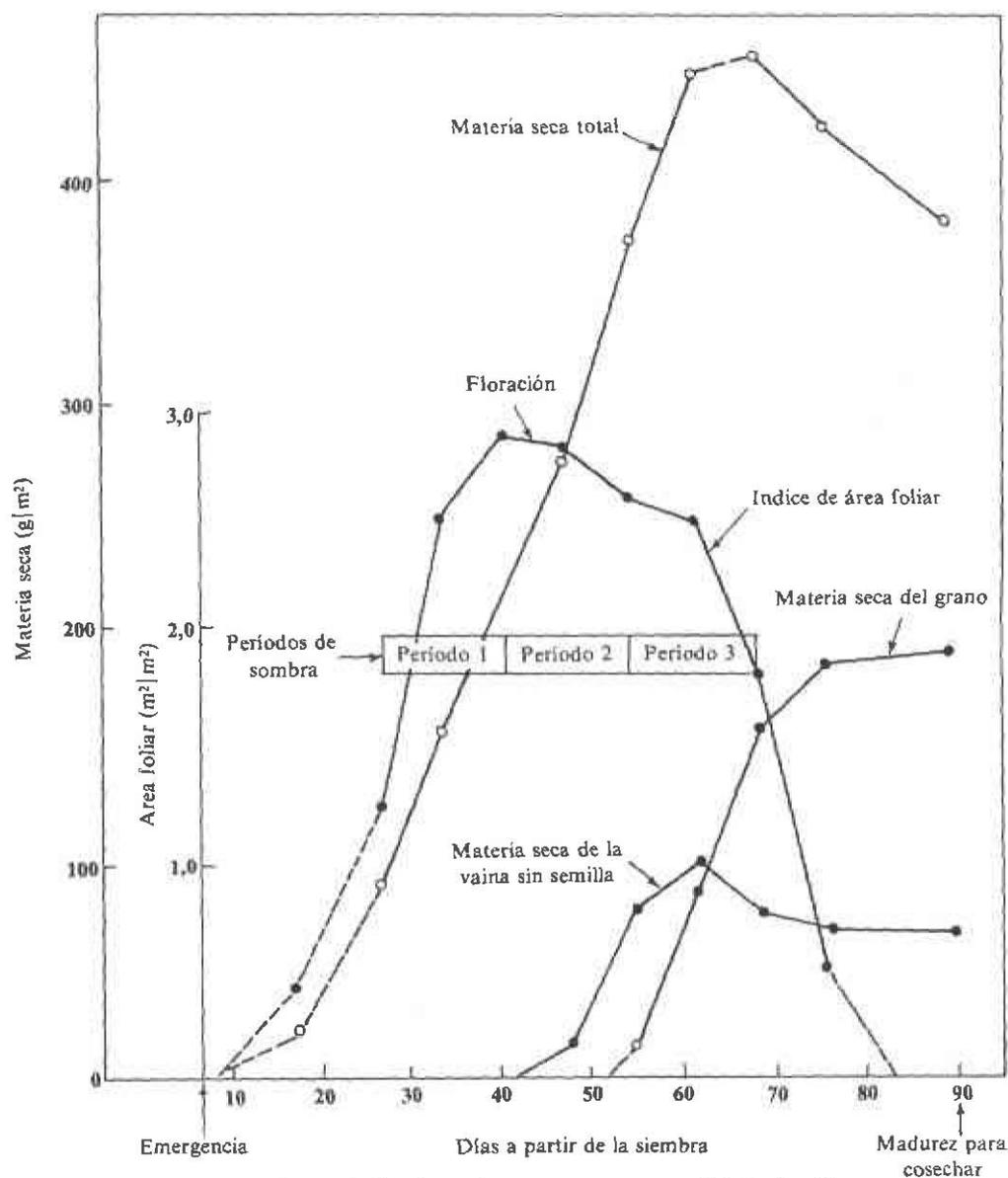
Durante 1975, se analizaron exhaustivamente las variedades ICA-Gualí, Porrillo Sintético y PI 310-740, representativas de los tipos de hábito de crecimiento I, II y III, respectivamente, para comprender mejor los procesos de crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris* bajo las condiciones del trópico. Los experimentos se llevaron a cabo en Palmira a una densidad de siembra de 30 plantas/m² con riego por gravedad y protección adecuada contra insectos y enfermedades.

En las Figuras 3 y 4 se presentan los parámetros claves de crecimiento para la variedad Porrillo Sintético. La producción de materia seca alcanzó un máximo de 450 g/m² y disminuyó a medida que la defoliación aumentó después de alcanzar

un área foliar verde máxima de 3,0 m²/m². La tasa de crecimiento del cultivo fue virtualmente lineal entre los 20 y 60 días después de la siembra, presentándose la floración a los 38 días y la madurez fisiológica aproximadamente a los 80 días. La producción de nudos fue buena hasta bien entrada la floración y la tasa máxima alcanzada durante la prefloración fue de 18 nudos vegetativos producidos por m²/día. La abscisión de vainas fue severa durante la fase de desarrollo del frijol aun bajo las excelentes condiciones de cultivo del CIAT.

Como se presenta en la Figura 5 se tomaron plantas representativas de cada variedad para determinar la producción de "flores" y su fase consecutiva de desarrollo. El Cuadro 13 resume los patrones de abscisión de "flores" (vainas < 3 cm) y de "vainas" (> 3 cm). En el caso de la variedad ICA-Gualí, de crecimiento determinado la cual, en el momento de la floración, tiene un máximo de ocho nudos localizados en el tallo principal, se presentó abscisión tanto de todas las flores producidas directamente en los nudos 7 y 8, como de las flores formadas en las ramas inferiores al terminar el proceso de floración. En las variedades de crecimiento indeterminado se observó un patrón de abscisión similar pero, además fue notoria la abscisión de flores de los nudos del tallo principal producidos después de la floración. La formación de vainas para todas las variedades fue significativamente mayor en las primeras flores y el caso más severo corresponde a la variedad Porrillo Sintético por cuanto las flores formadas durante los últimos 16 días no produjeron vainas. Es pues evidente que la abscisión de flores y vainas, es un campo de la fisiología que requiere mayores esfuerzos en investigación.

En la Figura 6 se muestran en forma gráfica los análisis del contenido total de carbohidratos solubles presentes en el tallo principal. El patrón de almacenamiento de carbohidratos demostró estar muy



Los periodos de sombra corresponden a los del Cuadro 14

Figura 3. Parámetros claves de crecimiento para la variedad Porrillo Sintético a una densidad de siembra de 40 plantas/m², bajo fertilización, riego y protección contra plagas y enfermedades (CIAT, 1975).

relacionado con el hábito de crecimiento. La variedad ICA-Gualí llegó a contener hasta más del 12 por ciento de carbohidratos (almidón más azúcares) en la fase de la posfloración. En contraste, la variedad Trujillo 3 (variedad del Tipo IV

que se incluyó en este análisis) presentó un nivel de carbohidratos relativamente constante y bajo, durante todos los estadios del crecimiento. En la variedad de crecimiento determinado, el nivel de carbohidratos decreció rápidamente sólo cuando comen-

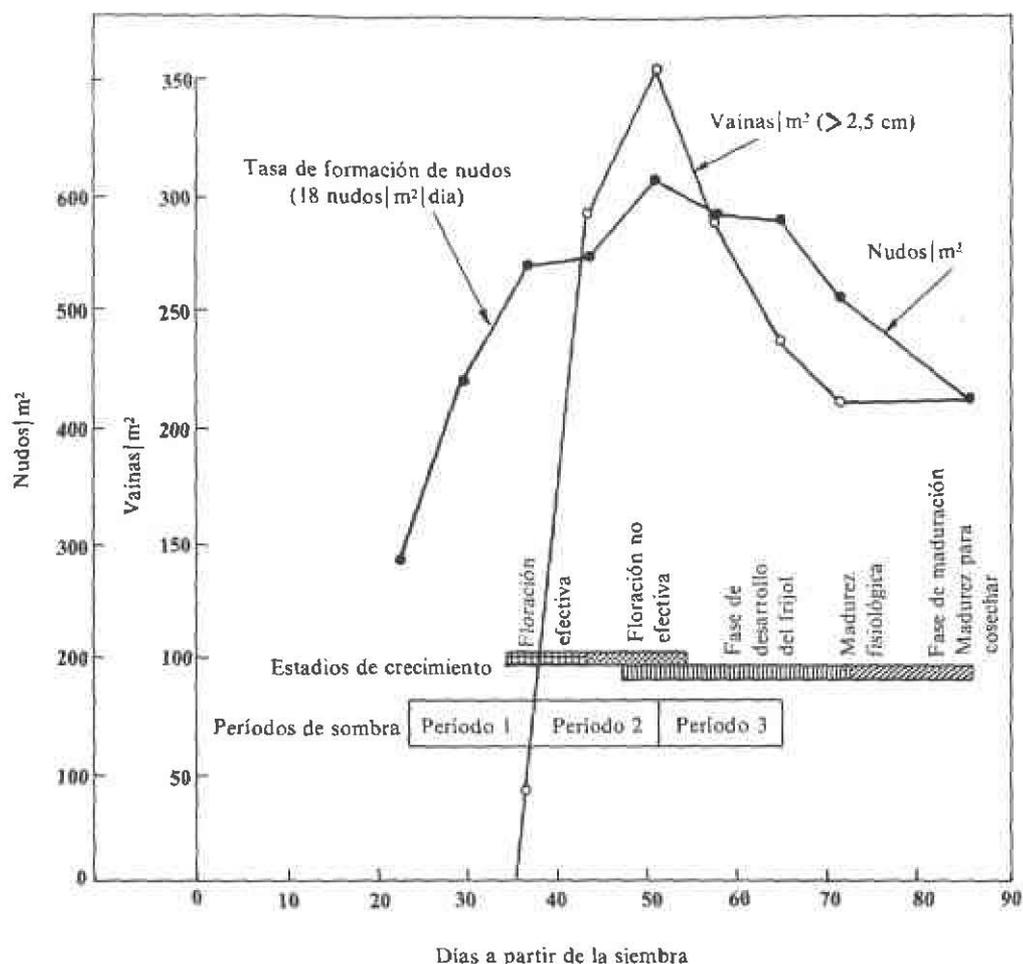


Figura 4. Variaciones en la densidad de nudos y vainas con relación a los estadios del crecimiento de la variedad Porrillo Sintético durante el mismo ensayo y bajo las mismas condiciones de la Figura 2.

zó el llenado significativo de la vaina. No es factible que la causa directa de la abscisión de flores en esta variedad sea el cambio debido a la deficiencia de productos fotosintéticos.

Relación entre sitio de origen de productos fotosintéticos y sitio de acumulación

Se recurrió a una serie de experimentos con la variedad Porrillo Sintético que incluyeron las variables efecto de sombra (intercepción del 48 por ciento de la luz), fertilización con bióxido de carbono,

reducción del follaje y alargamiento de la fase de prefloración, inducido fotoperiódicamente, para alterar el patrón de desarrollo de los diferentes estadios del crecimiento que se muestran en las Figuras 3 y 4. La sombra redujo igualmente los rendimientos (Cuadro 14) durante las fases de floración (-14 a 0 días de la floración) y floración (0 a +14 días). La reducción de los rendimientos durante la prefloración se relacionó con la disminución en la densidad de nudos y con la subsiguiente reducción en el número de racimos potenciales. La sombra no afectó la

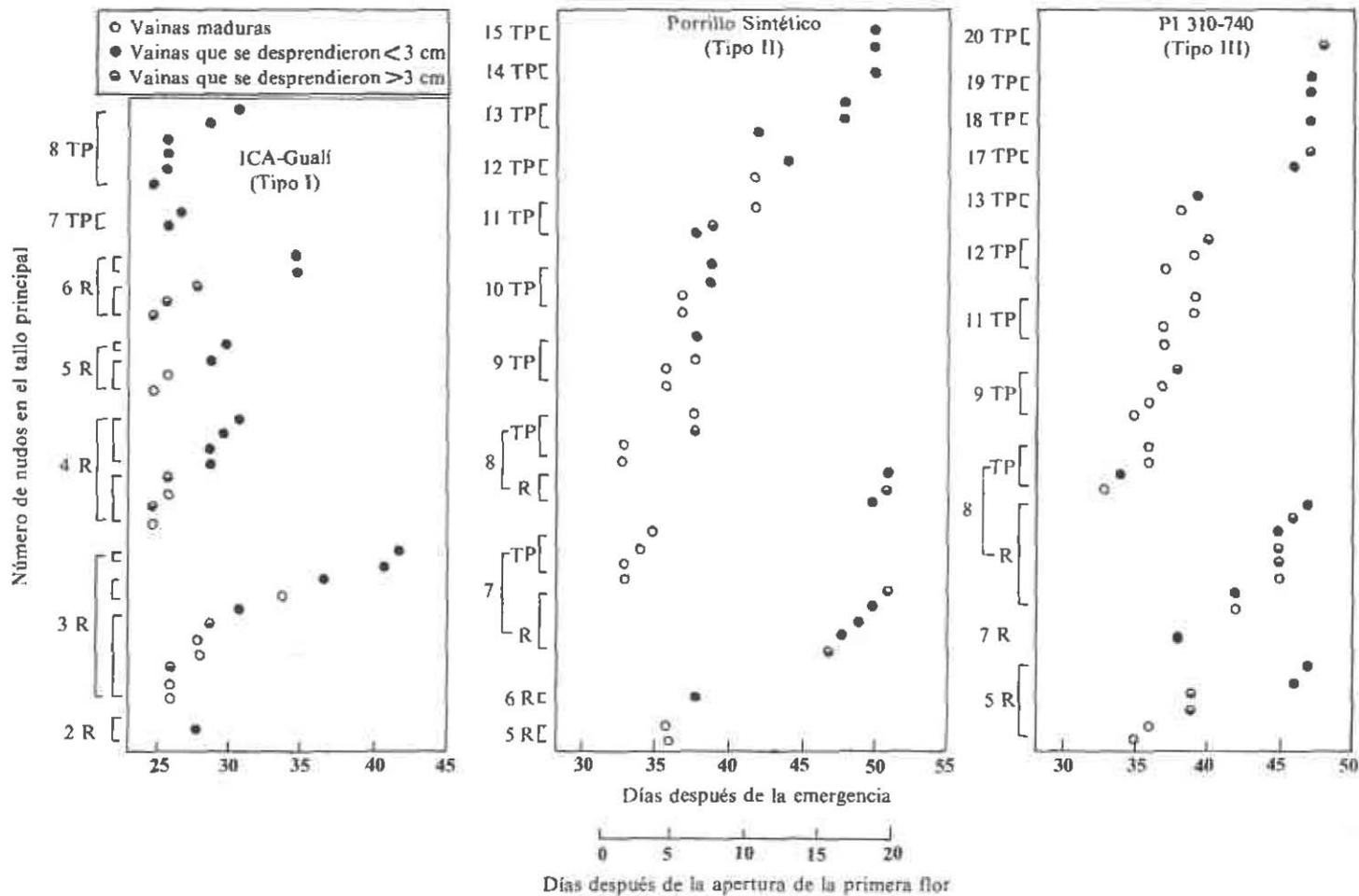


Figura 5. Patrones de abscisión de "flores" (vainas < 3 cm) y "vainas" (> 3 cm), localización de las vainas maduras con relación al tiempo en que cada botón floral se abrió, y localización de las vainas en el tallo principal (TP) o en las ramas (R) para plantas de frijol con tres hábitos de crecimiento distintos (CIAT, 1975A).

Cuadro 13. Resumen de los datos sobre abscisión de flores y vainas para tres variedades de *Phaseolus vulgaris* (CIAT, 1975).

Variedad	ICA-Guali	Porrillo Sintético	PI 310-740
Hábito de crecimiento (Tipo)	I	II	III
No. total de flores/planta	37	39	39
Vainas que se desprendieron < 3 cm	21	20	13
Vainas que se desprendieron > 3 cm	7	5	9
Vainas maduras/planta	9	14	17
Eficiencia de la formación de vainas (%)	24	36	44
Período de floración (días)	18	19	17
Período A para la formación del 60% de las flores (días)	4	10	10
Eficiencia de la formación de vainas durante A (%)	36	60	70
Período B para la formación del 40% restante de las flores (días)	14	9	7
Eficiencia de la formación de vainas durante B (%)	7	0	6

producción de nudos durante la floración de racimos. El tratamiento de posfloración pero se correlacionó con un menor número (+14 a +28 días) no redujo los rendimientos

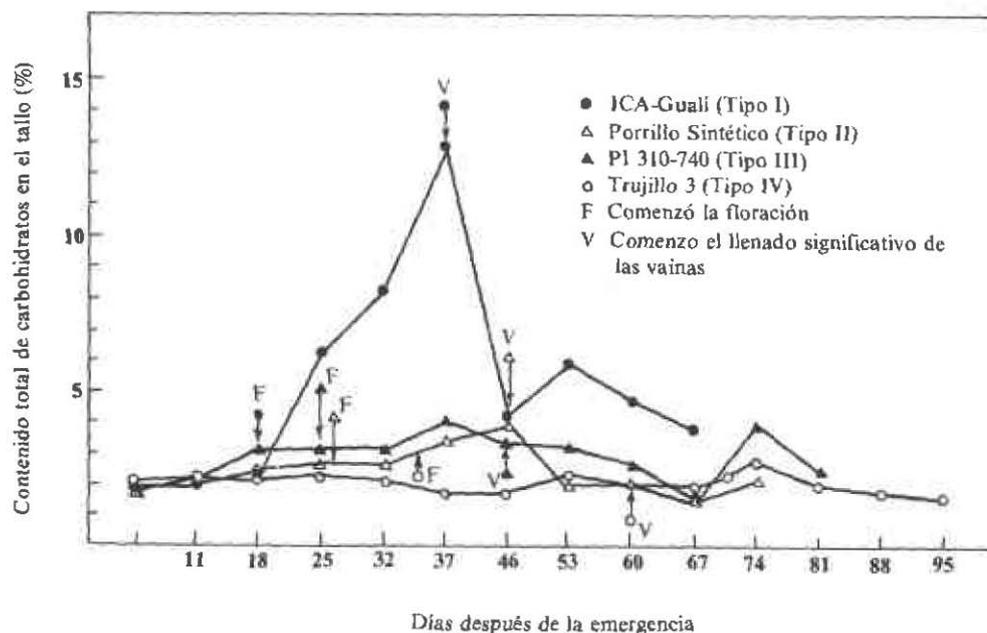


Figura 6. Contenido total de carbohidratos en los tallos principales (método de Anthrone) de cuatro variedades de *Phaseolus vulgaris* (Tipos I a IV) con relación a los días después de la emergencia. Se indica el día de inicio de la floración y del llenado significativo de las vainas para cada variedad. (CIAT, 1975).

Cuadro 14. Efecto de sombra (48% interceptación) sobre el rendimiento y parámetros asociados de la variedad Porrillo Sintético durante tres etapas de crecimiento (CIAT, 1975)*.

Parámetro	Etapas del crecimiento		
	Prefloración (-14 a 0)**	Floración (0 a + 14)	Posfloración (+14 a +28)
Rendimiento de grano	78,2	74,3	91,2
Materia seca total	79,7	79,3	93,7
Índice de cosecha	97,1	92,4	96,9
Racimos m ²	80,4	78,0	88,4
Vainas m ²	81,2	81,1	101,2
Granos vaina	95,2	90,1	94,0
Peso del grano (mg grano de frijol)	99,5	99,0	96,5
Nudos m ²	79,0	98,0	92,0
Racimos m ²	80,0	78,0	88,4

* Los datos se expresaron como porcentaje de la parcela testigo sin sombra; el rendimiento medio del testigo fue de 295 g|m² (14%)
 ** Día 0 = el 50% de las plantas tiene por lo menos una flor.

lo cual indica que la producción de nudos en la época anterior a la floración y la eficiencia en la formación de vainas durante la fase de floración fueron los principales factores que controlaron el rendimiento potencial en esta situación cultivo-medio ambiente.

La reducción del follaje (Cuadro 15) durante los períodos de la floración tardía (+13 días de la floración) y llenado de la vaina (+22 días) redujo los rendimientos significativamente, pero si se tiene en cuenta la severidad del tratamiento, la disminución no fue significativa. En este caso, la reducción en el rendimiento estuvo

asociada con un menor peso medio del grano, como es de esperarse si se elimina gran parte del sistema foliar durante el período intensivo de llenado de las vainas.

La aplicación de bióxido de carbono a la cobertura foliar, con el fin de alterar el equilibrio entre los sitios de origen y acumulación ha probado ser una excelente herramienta fisiológica en otros cultivos. Los estudios preliminares en los que se aplicó CO₂ durante la prefloración, indicaron un aumento en el rendimiento del 19 por ciento. Este aspecto se estudiará con mayor profundidad durante 1976.

Cuadro 15. Efecto de la reducción o poda del follaje sobre el rendimiento y parámetros asociados de la variedad Porrillo Sintético durante tres etapas de crecimiento (CIAT, 1975)*.

Epoca de la poda	Rendimiento de frijol (g m ²)	No. de vainas m ²	Peso del frijol (g vaina)	Peso del grano (mg grano de frijol)
Testigo	274 (100)	236	1,16	228 (100)
Día 0**	222 (81)	213	1,03	205 (90)
Día 13	152 (55)	174	0,80	182 (80)
Día 22***	181 (66)	220	0,82	172 (75)

* Media de los tratamientos eliminando el 33%, 66% y 100% de las hojas durante las tres etapas de crecimiento
 ** Día 0 = el 50% de las plantas tiene por lo menos una flor
 *** El llenado de las vainas se inició el día 14.

Cuando se sometió la variedad Porrillo Sintético (sensible al fotoperíodo), a fotoperíodos que oscilaron entre las 13 y 19 horas, la floración se retardó hasta en seis días, lo cual se reflejó en un aumento en el rendimiento del 71 por ciento, equivalente a un total de 3.390 kg/ha (Cuadro 16). Este incremento en el rendimiento estaba correlacionado con un aumento del 26 por ciento en la densidad de nudos/m² durante la floración y con un incremento del 58 por ciento en la densidad final del frijol/m² (número de granos). La producción total de materia seca y el tamaño del grano también aumentaron. La tasa de producción de nudos vegetativos, durante los seis días adicionales antes de la floración, fue de 19,3 nudos/m²/día, la cual es similar a la de la fase normal de desarrollo anterior a la floración. El aumento en la formación de vainas obedece aparentemente a la disminución de la abscisión, particularmente en los nudos (sobre el tallo principal y ramas) que se hubieran producido normalmente después de la floración. En el

Cuadro 17 se resumen los resultados obtenidos con la aplicación de tres tratamientos durante la fase de la prefloración. Estos datos confirman la importancia de un mayor número de nudos al momento en que se inicia la floración. El aumento en la duración de la fase de prefloración podría ser el medio más rápido para lograr un mejoramiento en este sentido.

Potencial de rendimiento de una amplia gama de genotipos

Se tomaron datos fisiológicos de 193 genotipos representativos de los cuatro hábitos de crecimiento (las variedades del tipo IV recibieron apoyo físico mediante una espaldera de 2 metros de altura). En el Cuadro 18 se presenta una matriz de correlación que incluye las interrelaciones entre una amplia gama de caracteres. Estos resultados corroboran nuevamente que la densidad de nudos (en este caso, medida en la madurez de la planta) es la primera

Cuadro 16. Efecto de la regulación del fotoperíodo sobre el rendimiento y otros parámetros de la variedad Porrillo Sintético durante la fase de la prefloración (CIAT, 1975).

Parámetro	Fotoperíodo		Testigo
	16 hr 30 min (1-4 m) ¹	16 hr 30 min (4-8 m) ¹	12 hr 30 min ²
Rendimiento (kg/ha, 14% de humedad)	3388 (171)	3053 (154)	1978 (100)
Días hasta la floración ³	39	35	33
Días hasta la madurez fisiológica ³	75	71	68
Días después de la floración	36	36	35
No. de nudos/m ² al momento de la floración	560 (126)	473 (106)	444 (100)
Peso del grano (mg/grano de frijol) ⁴	172 (107)	168 (105)	160 (100)
No. de granos/m ²	1693 (158)	1560 (145)	1070 (100)
Materia seca/m ² al momento la madurez ⁵	498	488	377
Índice de cosecha	0,58	0,54	0,45
Eficiencia del rendimiento de frijol (g/m ² /día)	3,88	3,69	2,50

¹ Distancia desde la línea de iluminación

² Longitud normal del fotoperíodo, Palmira, 3°N

³ Días a partir de la emergencia (de la siembra a la emergencia transcurrieron 7 días)

⁴ Con base en materia seca

⁵ Excluye peciolas y hojas al momento de la maduración.

Cuadro 17. Efecto de tres tratamientos sobre el rendimiento y parámetros asociados de la variedad Porrillo Sintético a una densidad de 30-40 plantas/m² durante el período de la prefloración (CIAT, 1975)¹.

Tratamiento	Rendimiento (g/m ²)		Nudos/m ² con relación al testigo (%)	Vainas/m ² con relación al testigo (%)
	Testigo	Tratamiento		
Fertilización con CO ₂ ²	217 (100)	258 (119)	97	117
Efecto de sombra ³	222 (100)	171 (78)	79	81
Alargamiento del fotoperiodo ⁴	198 (100)	339 (171)	126	158

¹ Período de prefloración 38 días desde la emergencia hasta la floración

² Aplicado a una concentración de 700 ppm durante 2 semanas antes de la floración

³ Sombra (48%) durante 2 semanas antes de la floración

⁴ El fotoperiodo de 16 hr 30 min se aplicó durante la época de prefloración

determinante de una secuencia de factores que inciden en el rendimiento. Las correlaciones positivas de la densidad de nudos con las densidades de racimos y de grano, y

Cuadro 18. Matriz de correlación del rendimiento del frijol y otros parámetros¹ para 193 variedades pertenecientes a 4 tipos de hábito de crecimiento (CIAT, 1974)^{2,3}.

	Densidad de vainas/m ²	Densidad de grano/m ²	Peso del grano (mg/frijol)	Densidad de nudos/m ²	Densidad de racimos/m ²	No. de vainas/racimo	Rendimiento de frijol/racimo	No. de granos/vaina	Peso de la vaina sin semilla/vaina	Proporción de la vaina sin semilla	Materia seca total (g/m ²)	Índice de cosecha
Rendimiento del frijol/m ²	<u>.70</u>	<u>.64</u>	<u>.21</u>	<u>.42</u>	<u>.63</u>	<u>.04</u>	<u>.46</u>	<u>.18</u>	<u>.32</u>	<u>-.18</u>	<u>.94</u>	<u>.36</u>
Densidad de vainas/m ²		<u>.80</u>	<u>-.29</u>	<u>.51</u>	<u>.78</u>	<u>.29</u>	<u>-.28</u>	<u>.17</u>	<u>-.19</u>	<u>-.02</u>	<u>.70</u>	<u>.14</u>
Densidad del frijol/m ²			<u>-.56</u>	<u>.41</u>	<u>.53</u>	<u>.32</u>	<u>-.15</u>	<u>.66</u>	<u>-.04</u>	<u>.01</u>	<u>.69</u>	<u>.06</u>
Peso del frijol (mg/frijol)				<u>-.09</u>	<u>-.04</u>	<u>-.36</u>	<u>.70</u>	<u>-.63</u>	<u>.45</u>	<u>-.16</u>	<u>.13</u>	<u>.26</u>
Densidad de nudos/m ²					<u>.58</u>	<u>-.15</u>	<u>-.09</u>	<u>.04</u>	<u>-.08</u>	<u>-.02</u>	<u>.48</u>	<u>-.11</u>
Densidad de racimos/m ²						<u>-.30</u>	<u>-.11</u>	<u>-.06</u>	<u>-.13</u>	<u>-.08</u>	<u>.59</u>	<u>.20</u>
No. de vainas/racimo							<u>-.27</u>	<u>.20</u>	<u>-.13</u>	<u>.19</u>	<u>.11</u>	<u>-.15</u>
Rendimiento del frijol/vaina								<u>.07</u>	<u>.69</u>	<u>-.23</u>	<u>.39</u>	<u>.34</u>
No. de frijoles/vaina									<u>.14</u>	<u>.02</u>	<u>.28</u>	<u>-.01</u>
Peso de la vaina sin semillas/vaina										<u>.47</u>	<u>.40</u>	<u>-.14</u>
Proporción de la vaina sin semillas ⁴											<u>.02</u>	<u>-.66</u>
Materia seca total/m ²												<u>.07</u>

¹ Las variedades del Tipo IV se sostuvieron mediante una espaldera de 2 m

² Media de 2 repeticiones: tamaño de la parcela = 1 x 2 m

³ Los valores subrayados son significativos a P = 0.05

⁴ Peso de la vaina sin semillas/peso total

la relación no significativa entre la densidad de nudos y otros caracteres de la vaina (por ejemplo, vainas|racimo y número de granos|vaina) indican que el número de nudos puede ser aumentado sin que se presenten compensaciones negativas en otros componentes del rendimiento que actúan posteriormente en la secuencia. La correlación negativa entre la densidad y el peso del frijol (-0,56), o entre la densidad de vainas y el rendimiento de frijol|vaina (-0,28), indican que la limitación de los productos fotosintéticos durante la posfloración podría restringir el rendimiento potencial en aquellas variedades que poseen un receptáculo de gran tamaño, es decir, una mayor densidad de vainas|m².

Igualmente, los resultados obtenidos en 1974 mostraron una marcada correlación positiva de la materia seca total con el rendimiento (0,94) y una correlación más bien pobre con el índice de cosecha. Es lógico que el incremento en el número de nudos y en el área foliar conduzca a un aumento en la producción de materia seca.

Al comparar los resultados entre los rendimientos de 26 variedades, se observó una marcada correlación entre la densidad de nudos en la floración y el rendimiento (Figura 7). Únicamente, tres variedades arbustivas con alta densidad de nudos, no siguieron esta tendencia. En este experimento se obtuvieron altos rendimientos con los frijoles trepadores (hasta 5 ton|ha) y los arbustivos (3 ton|ha). En los estudios sobre densidad de siembra en la sección de agronomía se informa acerca de otros ensayos con frijol trepador en condiciones de monocultivo o en asociación con maíz.

Insensibilidad al fotoperíodo

Durante el primer semestre de 1975, se seleccionaron por su sensibilidad al fotoperíodo, 173 introducciones promisorias de los tipos de hábito de crecimiento I, II y III, mediante un sistema

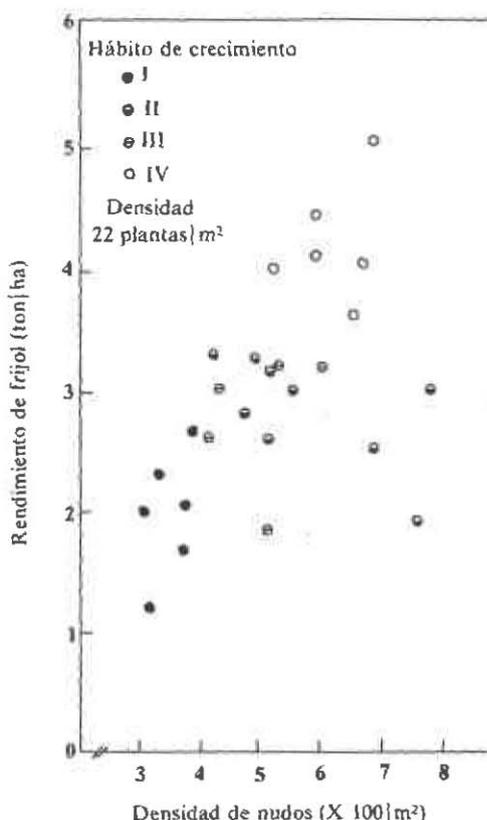


Figura 7. Rendimiento del frijol con relación a la densidad de nudos vegetativos (tallo principal + ramas) al momento de la floración para 26 variedades de *Phaseolus vulgaris*.

de iluminación previamente descrito (Informe Anual del CIAT, 1973). El 39 por ciento resultó insensible al régimen de fotoperíodo de 18 horas bajo condiciones de campo en el CIAT (Cuadro 19). No se observó ninguna correlación entre la respuesta al fotoperíodo y el hábito de crecimiento o la etapa de madurez. Se presentaron variedades insensibles en cada grupo de hábito de crecimiento y en los materiales con un amplio rango de variación en el número de días hasta la floración.

La insensibilidad al fotoperíodo ha contribuido al mejoramiento de la adaptabilidad de las plantas y es una característica que se investiga intensamente.

Cuadro 19. Número de variedades identificadas en una colección de 173 introducciones promisorias de *Phaseolus vulgaris* sometidas a un fotoperiodo de 18 hr, con relación al hábito de crecimiento y días hasta la floración (CIAT, 1975)*.

Días hasta la floración**	Hábito de crecimiento			Total
	I	II	III	
30-34	5	2	2	9
35-39	5	1	-	6
40-44	4	30	3	37
45-49	2	6	3	11
50-54	1	2	-	3
55	-	2	-	2
Total	17	43	8	68
Total evaluado	40	98	35	173
Porcentaje insensible	42	40	22	39

* Temperatura media = 23.8°C; duración normal del día = 12 hr 20 min

**Días después de la siembra

nacionalmente en trigo, arroz y otros cultivos. La amplia gama de fuentes potenciales de insensibilidad que se han

identificado en este estudio, garantiza a los fitomejoradores que los mejores materiales del CIAT serán insensibles. La existencia de introducciones de frijol insensibles al fotoperiodo y de floración tardía, podría conducir a la producción de materiales de alto rendimiento, con alta densidad de nudos y amplia adaptación al fotoperiodo.

En la Universidad de Cornell se está llevando a cabo un estudio cooperativo para determinar la influencia de la temperatura, particularmente de la nocturna en el fotoperiodo.

Selección por tolerancia a la sequía

En La Molina, Perú, se llevó a cabo un experimento con 20 genotipos similar al descrito en el Informe Anual del CIAT de 1974. Se utilizaron dos sistemas de riego: a) un solo riego, aproximadamente a los 13 días de iniciada la floración, y b) cuatro riegos durante el ciclo de crecimiento de 80 a 110 días. En términos generales, los rendimientos de las parcelas en condiciones de sequía, fueron más bajos en

Cuadro 20. Evaluación de campo por tolerancia a la sequía (1975) y comparación de los rendimientos entre parcela bajo sequía/ parcela testigo (1974 y 1975) en la Estación Experimental La Molina, Perú.

Identificación		Rendimiento del testigo (ton/ha)	Relación con base a rendimientos entre parcela bajo sequía/parcela testigo*	
CIAT No.	Línea promisoría No.		1975	1974
G 00073	-	0,61	0,49	0,69
G 01643	P748	0,66	0,50	1,02
G 01951	P729	1,13	0,61	0,74
G 02206	P730	0,91	0,57	1,16
G 03790	P747	1,22	0,36	0,90
G 03836	-	0,52	0,63	0,87
G 05704	P689	1,03	0,52	-
G 04109	P735	0,82	0,51	0,58
G 04115	-	1,34	0,45	1,08
G 04498	P392	0,91	0,36	-
G 02409	P359	0,65	0,53	0,49
G 03241	P734	0,66	0,28	-
G 04118	-	0,92	0,27	1,04
G 04128	P750	0,84	0,62	0,89
G 04198	-	1,21	0,38	-

* Relación entre el rendimiento obtenido bajo estrés y el rendimiento del testigo con riego

1975 (Cuadro 20). Los menores rendimientos se debieron a la baja densidad de siembra, la cual a su vez, se debió al sistema de riego utilizado que requería una distancia considerable entre surcos.

De los genotipos que mostraron tolerancia a la sequía, en los experimentos de 1975, la variedad P750 parece que no sufrió los efectos adversos de sequía por tener un período de floración largo y por producir vainas en las flores tardías. Los materiales P729, P730 y CIAT G 03836 aparentemente pudieron soportar la sequía durante el período de floración, por cuanto éste no fue largo.

Estabilidad del hábito de crecimiento

Los resultados obtenidos en 1974 demostraron la importancia de la estabilidad del hábito de crecimiento en los materiales promisorios cultivados en una gama de condiciones climáticas. Durante 1975, en colaboración con la Universidad de Cornell, se compararon cinco selecciones del tipo II que demostraron tener un hábito de crecimiento estable bajo condiciones ambientales muy diversas en Colombia y Ecuador, con cinco variedades que presentan un hábito de crecimiento inestable (expresión variable de la dominancia apical). Se utilizaron ocho regímenes de temperatura, duración del día e intensidad luminosa. Los resultados

confirman las evaluaciones de campo sobre estabilidad. Actualmente, se está profundizando en el estudio de esta característica.

MICROBIOLOGIA

Interacción variedad-cepa

El énfasis de los estudios microbiológicos realizados durante 1975 se centró nuevamente en las respuestas de las variedades a la inoculación, más que en las pruebas de cepas.

Los experimentos preliminares realizados cerca a la ciudad de Popayán, se hicieron con el fin de comparar 60 introducciones de *Phaseolus vulgaris* bajo dos condiciones de tratamiento: inoculadas con la cepa CIAT 57 y sin inocular. Hubo amplias diferencias entre las introducciones en cuanto al número de nódulos, peso seco de los nódulos, rendimiento y porcentaje de N (Cuadro 21). Además, algunas introducciones, como por ejemplo la 72 Vul 26549, nodularon más fácilmente que otras con *Rhizobium* presente en el suelo o en la semilla. El contenido de N de algunas introducciones aumentó hasta en ocho veces después de la inoculación (Figura 8) mientras que el rendimiento global aumentó en un 10 por ciento.

Cuadro 21. Respuesta de algunas líneas seleccionadas de *Phaseolus vulgaris* a la inoculación con *Rhizobium*.

Línea	Sin inocular				Inoculadas			
	Nódulos planta	Peso seco de los nódulos (mg planta)	Rendimiento (g planta)	N (%)	Nódulos planta	Peso seco de los nódulos (mg planta)	Rendimiento (g planta)	N (%)
72 Vul 20972	40,1	91,0	7,55	4,21	105,0	340,0	13,02	4,50
72 Vul 25093	10,5	20,0	3,02	3,67	223,0	627,0	5,36	3,61
72 Vul 25146	1,8	34,0	3,92	3,68	26,3	30,0	1,26	4,99
72 Vul 26259	49,3	29,4	0,67	3,17	47,5	70,0	1,42	4,53
72 Vul 26549	70,9	118,0	4,44	3,13	112,0	396,0	8,38	4,93
72 Vul 26689	4,3	11,0	12,07	3,53	61,5	228,0	16,09	4,71

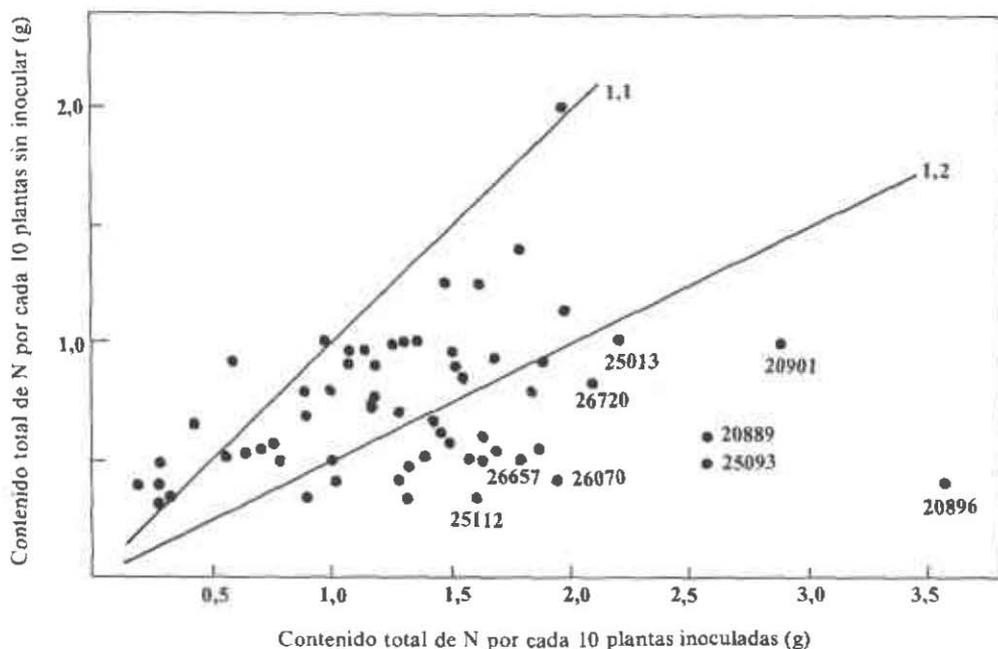


Figura 8. Aumento en el contenido total de nitrógeno de 60 introducciones de *Phaseolus vulgaris* como respuesta a la inoculación. Cada punto representa la respuesta de una sola introducción. Las introducciones más promisorias son las que se encuentran debajo de la línea 1, 2, las cuales fijaron más del doble del N total. Se dan los nombres de las introducciones más sobresalientes.

Posteriormente, en otro experimento realizado en Popayán, se compararon 10 introducciones, incluyendo las selecciones más promisorias del experimento descrito con anterioridad. Las introducciones presentaron diferencias en su hábito de crecimiento, características de nodulación, tiempo de floración y maduración e índice máximo de área foliar. Se sembraron dos bloques de cada línea: uno, se inoculó con la cepa CIAT 57 y cal peletizada, y el otro se peletizó pero no se inoculó. Durante la mayor parte del ciclo de crecimiento se tomaron semanalmente muestras repetidas de cada bloque y se sometieron a la prueba de reducción de acetileno para medir la fijación de nitrógeno. Además se determinó el número y peso seco de los nódulos, peso seco de hojas y tallos, peso de la semilla y porcentaje de nitrógeno y carbohidratos. En la Figura 9 se muestra el método de reducción de acetileno.

Se obtuvieron tasas de fijación hasta de

20 μM de C_2H_4 producido por planta/hora (Figura 10). Este nivel de fijación es comparable con los de otras leguminosas de grano. Los niveles máximos de actividad específica de los nódulos (AEN) que se obtuvieron (100-120 μM de C_2H_4 producido por gramo de peso seco de los nódulos por hora) también se pueden comparar favorablemente con los niveles registrados para otras leguminosas. Sin embargo, la duración de la fijación fue mucho más corta que las registradas para el maní y la soya. La mayoría de las líneas fijaron poco nitrógeno antes de los 39 días o después de los 74. A pesar de esto, los aumentos en fijación de las diez variedades durante el período de crecimiento de 120 días promediaron más de 25 kg/ha de N fijado, y las parcelas inoculadas superaron en 20 por ciento los rendimientos de las no inoculadas. La Figura 11 muestra los promedios de las tasas totales de acumulación de N para las 10 introducciones.

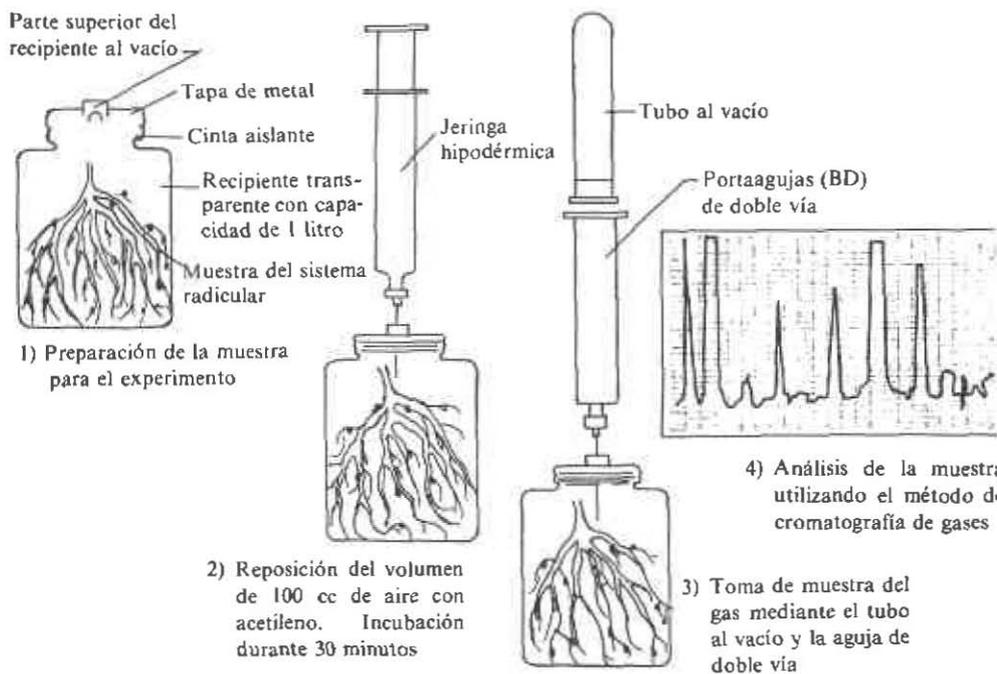


Figura 9. Determinación de la fijación de nitrógeno mediante la reducción de acetileno.

Se observó claramente que el equilibrio y desplazamiento de la energía influyó en la fijación de nitrógeno por parte de las 10 introducciones. Por lo tanto, de aquí se desprende que: a) la fijación por planta y el peso unitario de los nódulos, declinó al momento de la floración, siendo más acentuada la disminución en cuanto a la actividad específica de los nódulos (Figura 12); b) las introducciones de floración temprana, como la variedad Bayos, fijaron menos nitrógeno que las selecciones de maduración tardía, como por ejemplo, la 72 Vul 26689 (Figura 13); c) en la fase de prefloración, los niveles de fijación de nitrógeno estuvieron correlacionados con el peso de la hoja; y d) también se observaron diferencias entre las variedades con relación a los niveles de fijación por peso unitario de la hoja, destacándose la variedad P566-A por su baja eficiencia en la utilización de energía para la fijación de nitrógeno (Figura 14).

Los estudios sobre los efectos de sombra en el frijol (Cuadro 14) y el tiempo hasta la maduración demostraron la importancia que tiene la relación sitio acumulación-sitio origen con el rendimiento. Equilibrios similares parecen controlar la fijación de nitrógeno. Los estudios en proceso se están concentrando en la translocación de energía de las hojas a las raíces, y en cómo los hábitos de crecimiento, los patrones de floración y las características de maduración afectan la disponibilidad de energía para la fijación de N. Se debe anotar que los niveles de carbohidratos obtenidos en estos experimentos fueron similares a los registrados en la Figura 6.

Los resultados obtenidos en los estudios de invernadero correlacionan el tiempo hasta la floración con el desarrollo de los nódulos en *Phaseolus vulgaris* (Figura 15).

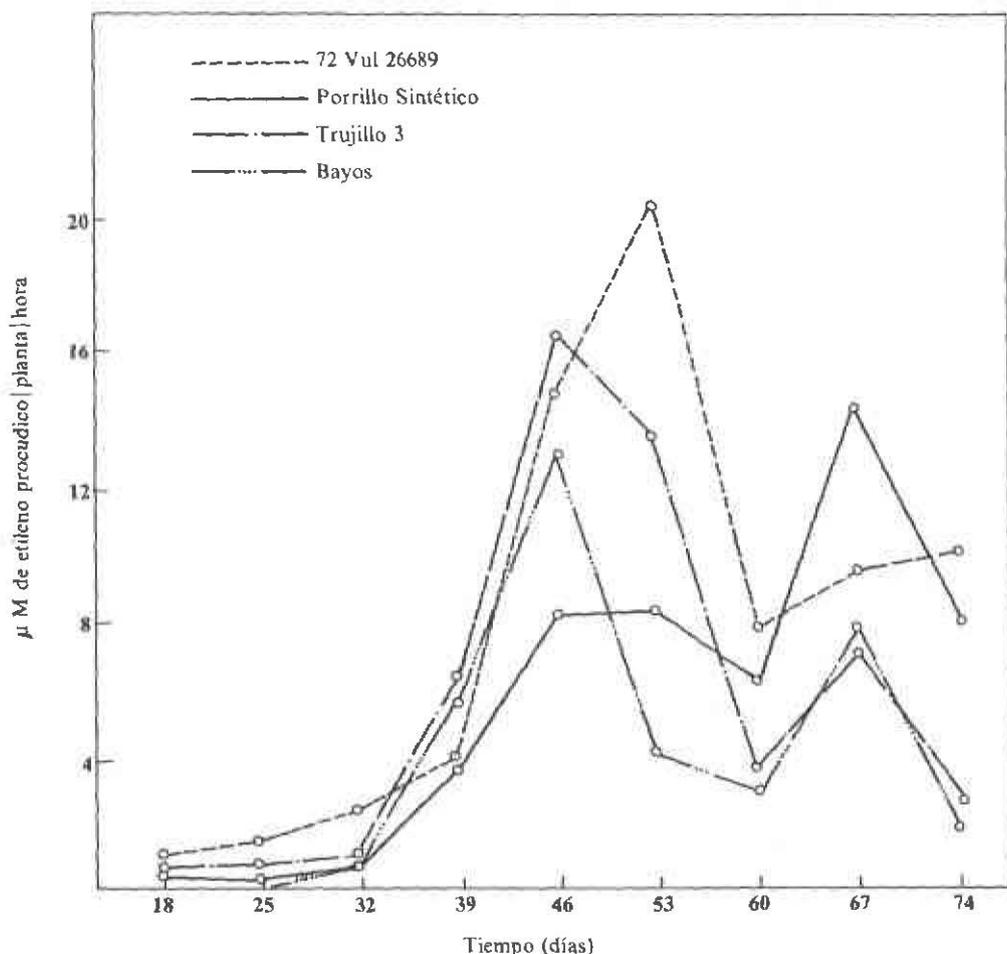


Figura 10. Niveles de reducción de acetileno en 4 variedades de *Phaseolus vulgaris* en distintas etapas del ciclo de crecimiento.

Los equipos de microbiólogos y de fisiólogos proseguirán con estos estudios.

Comparación del frijol y de la soya con relación a la fijación de nitrógeno

Como generalmente al *Phaseolus vulgaris* se le considera inferior a la soya en lo referente a la fijación simbiótica del nitrógeno, se hizo un experimento para comparar la fijación entre las variedades de frijol Trujillo 3 (Tipo IV) y Porrillo Sintético (Tipo II) con la de la variedad de soya Pelikan. Las plantas se sembraron en almácigos formados por una mezcla de

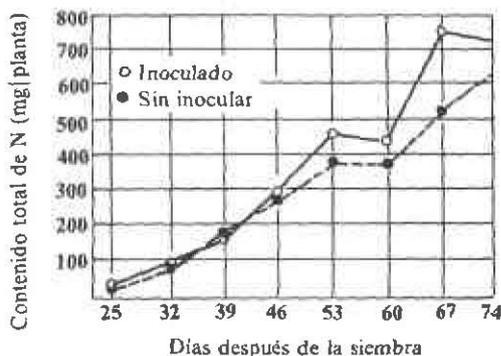


Figura 11. Acumulación de nitrógeno por planta de *Phaseolus vulgaris* como respuesta a la inoculación (promedio de las 10 variedades estudiadas).