

19.868  
Esp.

## Estudio de Factores Limitantes del Rendimiento

19868e

Para respaldar el mejoramiento genético, la actividad principal del Programa, es necesario realizar estudios específicos; entre los realizados este año, figura un trabajo para comparar la eficiencia en la producción de granos de *Phaseolus vulgaris* y de otras ocho leguminosas; se obtuvieron resultados preliminares en la definición de modelos de rendimiento para los cuatro hábitos de crecimiento de *P. vulgaris*, y se calcularon modelos de su fenología; además, se estudió el comportamiento del frijol bajo condiciones de estrés y sin ellas.

### Comparación entre Especies de Leguminosas de Grano

Las leguminosas de grano son morfológicamente similares en lo que se refiere a la constitución básica de la planta, que consiste en una unidad nodal con hojas y vainas adheridas. Para evaluar la eficiencia en rendimiento de *P. vulgaris* y de otras ocho especies de leguminosas en relación con esa característica, se realizó un ensayo comparativo en CIAT-Palmira; antes se había llevado a cabo un experimento similar con cinco leguminosas (CIAT, Informe Anual, 1978).

Se seleccionaron los genotipos adaptados de la mayoría de las especies a partir de ensayos previos de rendimiento y se incluyeron materiales de programas nacionales e internacionales. Las condiciones climáticas de CIAT-Palmira se consideran moderadas (temperatura de 23.8°C en promedio), de tal manera que ninguna especie estuvo en desventaja; no se incluyó *Phaseolus coccineus* porque no está adaptado a las temperaturas locales.

Los promedios del rendimiento en grano de las especies oscilaron entre 2.2 y 4.5 ton/ha (Cuadro 1). La duración del área foliar (LAD), la biomasa total y los días hasta la madurez estuvieron alta y positivamente correlacionados con el rendimiento, en tanto que el índice de cosecha tuvo una correlación negativa.

Los frijoles comunes tuvieron un rendimiento intermedio, y al igual que algunas otras especies (*Vigna* spp.) estuvieron altamente sincronizados con la madurez de la vaina. El índice de cosecha y el rendimiento/LAD fueron comparables con los de la soya y más altos que los de las otras especies. La diferencia en la tasa de crecimiento del cultivo (CGR) entre soya y frijol común fue consistente con la diferencia en el índice máximo del área foliar (LAI).

En una comparación detallada a través del tiempo entre las tendencias de los parámetros de crecimiento de un cultivar de frijol común (Porrillo Sintético) y uno de soya (ICA-Tunía) se encontró que los patrones de crecimiento para las dos especies son similares (Figura 1). Sin embargo, los frijoles comunes maduran mucho más pronto y por lo tanto los valores de LAI y CGR son más bajos. En el frijol, la tasa máxima de crecimiento del grano (GGR) es mucho más alta y la fase de crecimiento del mismo es proporcionalmente mucho más corta.

Aunque la soya comenzó a florecer al mismo tiempo que los frijoles, la fase de posfloración fue mucho más larga; ello se debe a que en el tallo principal se producen nudos adicionales hasta el final del proceso de floración. El proceso de llenado de granos en la soya ocurre a tasas máximas inferiores a las del frijol común y se extiende por un período más largo (Figura 1). La tasa de descenso en el LAI durante la senectud es más lenta en la soya.

Aparentemente, los frijoles comunes ajustan el tamaño potencial de su depósito metabólico, es decir, el número de vainas, a la fuente disponible o sea al área foliar, y luego proceden a llenar la capacidad de los granos (tasa de crecimiento del grano) tan rápidamente como es posible. Las soyas en cambio continúan con una GGR alta durante el período de senectud, lo que sugiere que el frijol común es más eficiente que la soya en la utilización de los productos de la fotosíntesis.

Cuadro 1. Rendimiento en grano y valores de los componentes del rendimiento seleccionados en nueve especies de leguminosas.

Especie y (número de genotipos)	Rendimiento (14%)		Rend. diario (kg/ha/día)	No. de días hasta la		LAI <sup>1</sup> máximo	CGR <sup>1</sup> al máx. LAI (g/m <sup>2</sup> /día)	LAD <sup>2</sup>	Rend./ LAD <sup>3</sup> (g/m <sup>2</sup> /día)	Biomasa total (kg/ha)	Índice de cosecha (%)
	Total (kg/ha)	Primera cosecha (%)		floración	madurez						
<i>Cajanus cajan</i> (1)	4479	68	26	67	174	5.2	10.1	298	1.5	9400	41
<i>Glycine max</i> (2)	3899	100	38	34	102	4.2	14.9	195	2.0	5440	62
<i>Phaseolus lunatus</i> (2)	3682	68	26	35	139	3.6	8.5	179	2.1	5990	53
<i>Vigna unguiculata</i> (2)	3292	82	30	43	109	4.0	8.7	147	2.2	6145	46
<i>Arachis hypogea</i> (1)	3080	100	27	28	114	6.0	13.8	323	1.0	5570	48
<i>Phaseolus vulgaris</i> (3)	2637	100	34	35	78	2.8	10.0	108	2.4	3733	61
<i>Vigna radiata</i> (2)	2533	83	26	38	99	3.0	10.8	99	2.6	4295	51
<i>Vigna angularis</i> (1)	2748	100	31	35	88	4.0	14.3	158	1.7	3930	60
<i>Phaseolus acutifolius</i> (2)	2170	100	29	39	76	3.6	12.4	105	2.1	3125	60
D.M.S. (0.05)	277	-	3	4.9	23.7	2.9	6.9	25	1.0	1428	3.8
C.V. (%)	9.4	9.4	9.9	1.4	3.1	14.3	11.9	16.0	2.4	16.7	5.8
Valor r (vs rendimiento)			-	0.56	0.86	0.50	-0.16	0.93 <sup>4</sup>	—	0.91	—

<sup>1</sup> LAI=Índice del área foliar; CGR=Tasa de crecimiento del cultivo.<sup>2</sup> LAD=Duración del área foliar: área integrada bajo la curva del LAI: de la emergencia a la madurez fisiológica.<sup>3</sup> Rendimiento de semillas secas (biomasa total - las hojas sin los pecíolos), a la madurez.<sup>4</sup> Sin *A. hypogea*.



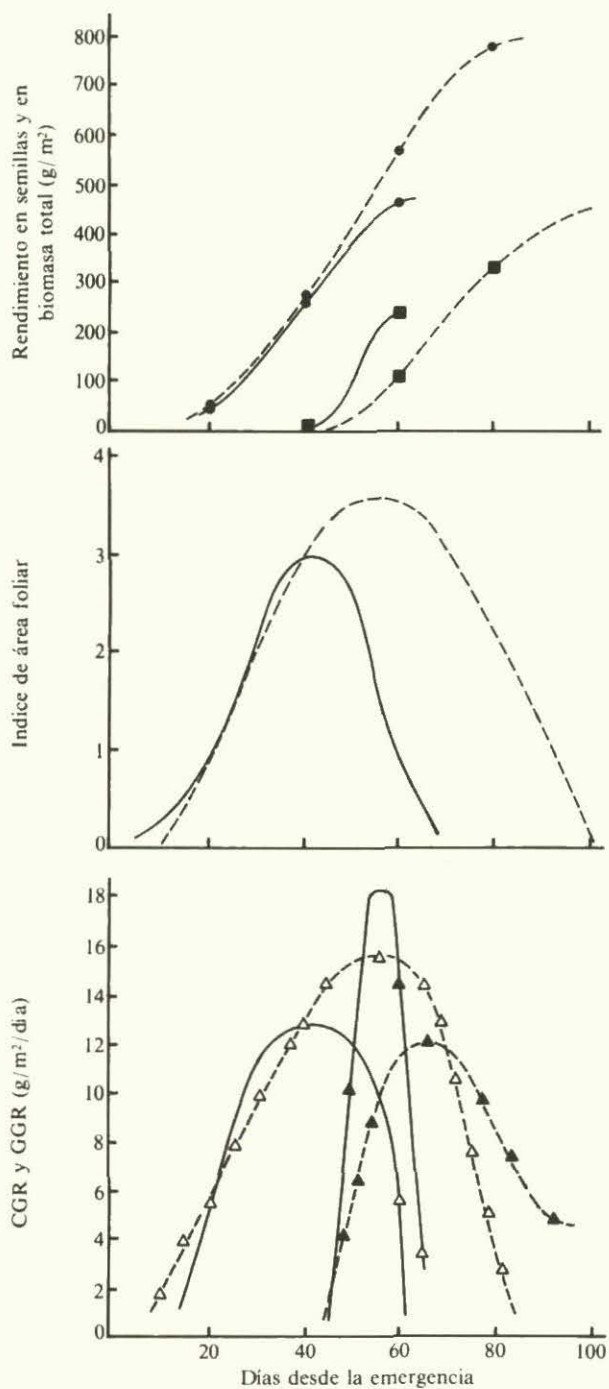


Figura 1. Parámetros de crecimiento para una variedad de *Phaseolus vulgaris* (Porrillo Sintético) y una variedad de *Glycine max.* (ICA- Tunía). (Curvas derivadas de los procedimientos de ajuste de la curva trigonométrica.) CGR = Tasa de crecimiento del cultivo; GGR = Tasa de crecimiento del grano.

En la Figura 2, que representa los rendimientos de semillas en función de la duración del área foliar (LAD) para cada uno de los genotipos ensayados, se ve que *Arachis hypogea* (mani) es la única especie de la lista con una morfología diferente. Estos datos son interesantes ya que muestran cómo una variable, LAD, se puede usar para explicar una gran proporción de variaciones en el rendimiento de los 15 genotipos correspondientes a los cuatro géneros y ocho especies estudiados. Puesto que todas estas especies presentan elementos de construcción similar, se puede concluir que el rendimiento entre las leguminosas de grano se relaciona simplemente con el número de unidades nodales presentes, el cual, a su vez, es principalmente una función del tiempo.

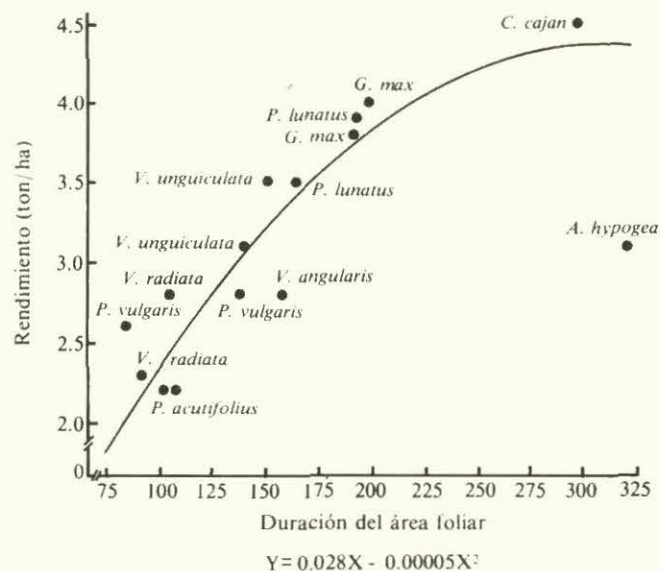


Figura 2. Rendimiento de semillas (14% de humedad) vs. la Duración del Área Foliar integrada desde la emergencia hasta la madurez fisiológica, para 15 genotipos de ocho especies de leguminosas. ( $r=0.997$ , sin *A. hypogea*:  $r=0.93$ , con *A. hypogea*)

### Modelos de Rendimiento para Hábitos de Crecimiento

En experimentos preliminares se había estudiado la relación entre los factores morfológicos y fisiológicos y la producción de granos. Sobre esta base se seleccionaron, para cada uno de los cuatro hábitos de crecimiento de *P. vulgaris*, 40 líneas con variaciones en la duración de su fase de crecimiento vegetativo anterior a la floración y en el tiempo de llenado y tamaño de las semillas; esta selección se hizo para obtener una muestra con la variación que existe en el germoplasma dentro de cada hábito.

Cuadro 2. Promedios y fluctuaciones de los componentes morfológicos seleccionados en 40 líneas de cada hábito de crecimiento de *Phaseolus vulgaris*.

Componente morfológico	Valores por hábito de crecimiento							
	I		II		III		IV	
	Prom. (Fluctuación)		Prom. (Fluctuación)		Prom. (Fluctuación)		Prom. (Fluctuación)	
Rendimiento (kg/ha)	1066	(164-1436)	1376	(795-2058)	1377	(406-2056)	1366	(507-2053)
Número de semillas, m <sup>-2</sup>	423	(97-1002)	789	(147-1442)	761	(354-1187)	668	(132-1102)
Peso de la semilla (g)	0.25	(0.12-0.45)	0.18	(0.14-0.31)	0.18	(0.22-0.33)	0.24	(0.14-0.47)
Número de vainas/m <sup>2</sup>	136	(39-240)	190	(72-313)	173	(107-270)	153	(62-267)
Semillas/vaina	3	(2-4)	4	(2-6)	4	(3-6)	4	(2-6)
Número de nudos/m <sup>2</sup>	356	(224-565)	425	(263-586)	476	(318-719)	583	(417-832)
Vainas/nudo	0.4	(0.1-0.8)	0.5	(0.2-0.7)	0.4	(0.2-0.6)	0.3	(0.1-0.5)
Días hasta la floración	28	(24-44)	32	(27-38)	33	(24-39)	32	(24-38)
Periodo de llenado de las semillas <sup>1</sup>	40	(30-49)	39	(32-50)	41	(28-53)	52	(44-58)
Índice del área foliar (LAI)	2.7	(1.7-4.2)	2.9	(1.3-4.8)	3.3	(1.9-5.4)	3.5	(2.2-6.0)
Tasa de crecimiento del cultivo (CGR) <sup>2</sup>	10.3	(5.0-20.6)	10.8	(5.2-22.9)	9.8	(6.1-17.4)	10.6	(5.5-24.7)
Tasa de crecimiento de los nudos (NGR)	5.3	(2.9-8.3)	6.0	(3.7-8.5)	6.4	(4.1-9.3)	7.0	(5.5-9.4)
Tasa de crecimiento del grano (GGR) <sup>2</sup>	4.8	(0.7-10.8)	5.6	(2.4-11.6)	5.7	(2.3-10.5)	5.7	(2.1-10.1)

<sup>1</sup> Días desde la floración hasta la madurez fisiológica

<sup>2</sup> g/m<sup>2</sup>/día

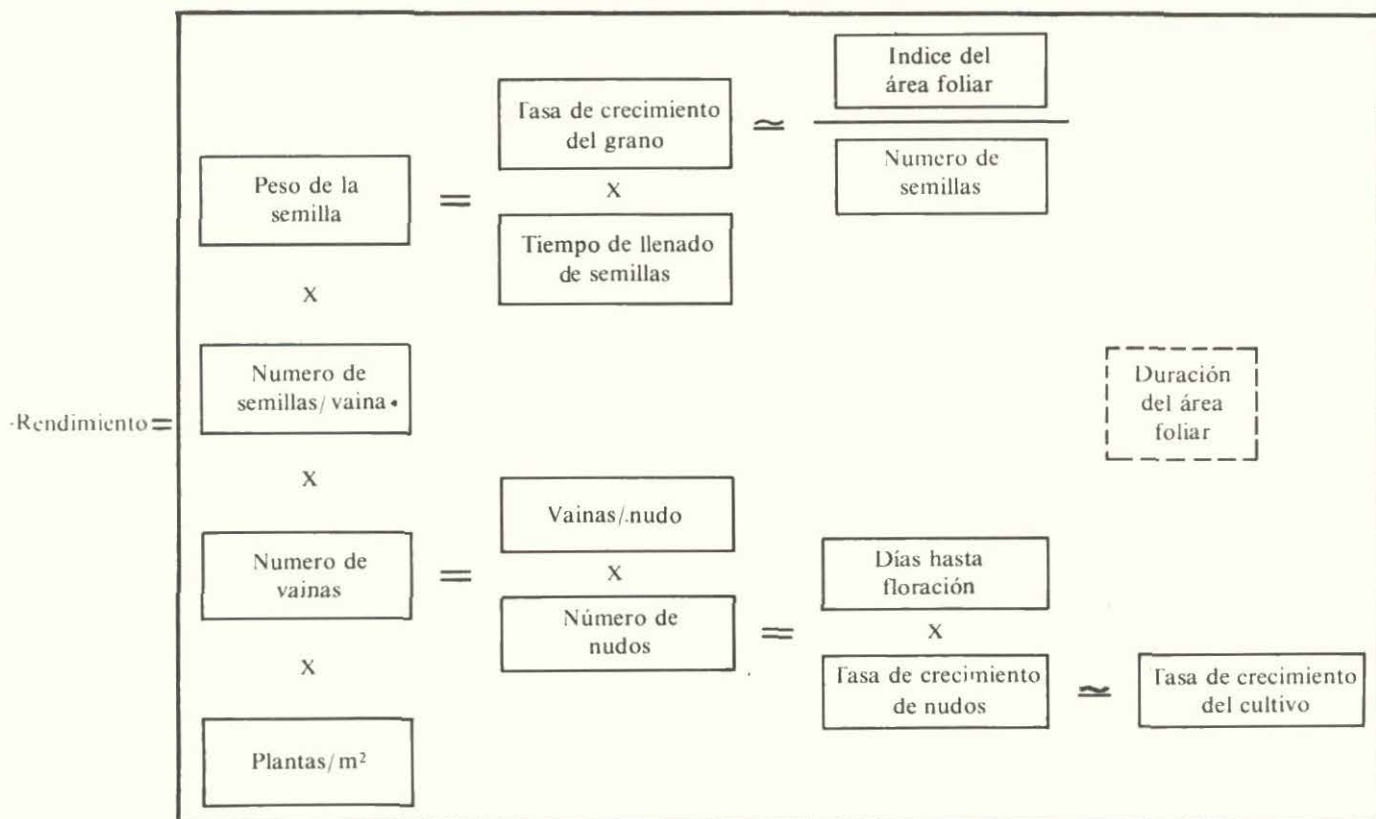


Figura 3. Modelo preliminar y general de rendimiento con parámetros escogidos de crecimiento para los cuatro hábitos de crecimiento de *Phaseolus vulgaris*.      Solo para el hábito de crecimiento I.



El Cuadro 2 presenta los promedios y las variaciones de los componentes del rendimiento que se habían seleccionado para cada hábito de crecimiento. En informes anuales anteriores se han presentado datos similares; pero en el caso presente el estudio se concentra en la variación obtenida dentro de cada hábito de crecimiento y en la información básica con la cual se construirán los modelos. Como componentes básicos del mismo se escogieron el índice del área foliar (LAI), la tasa de crecimiento del cultivo (CGR), los días hasta la floración, y el número de nudos. Todos ellos, a excepción del CGR, aumentaron desde el hábito de crecimiento I hasta el IV; los otros componentes no variaron tanto, o mostraron tendencias por valores medios. Las fluctuaciones de cada componente variaron de acuerdo con el hábito de crecimiento.

Puesto que el modelo de rendimiento difiere según el hábito de crecimiento de la planta, para cada hábito se diseñó un modelo, según se discute a continuación. Su forma general se ilustra en la Figura 3, y la descripción de los hábitos de crecimiento se encuentra en el Apéndice A de este informe.

**Hábito de crecimiento I.** El número total de semillas, el número de vainas, el número de semillas por vaina, el número de vainas por nudo, la tasa de crecimiento del cultivo (CGR) y la tasa de crecimiento del grano (GGR) están correlacionadas con el rendimiento (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Coeficientes de correlación de los rendimientos en grano con varios componentes del rendimiento, para los cuatro hábitos de crecimiento de *Phaseolus vulgaris*.

Componente morfológico	Valores para hábitos de crecimiento			
	I	II	III	IV
Número de semillas/m <sup>2</sup>	0.51**	0.91***	0.54***	0.84***
Peso/semilla	0.26	-0.44**	0.16	0.46*
Número de vainas	0.56***	0.74***	0.51**	0.65***
Semillas/vaina	0.41**	0.66***	0.51**	0.63***
Número de nudos	-0.15	0.41*	0.18	-0.13
Vainas/nudo	0.49***	0.60**	0.60***	0.66***
Plantas/m <sup>2</sup>	0.05	0.21	0.20	0.46*
Días hasta la floración	-0.55***	0.10	0.01	0.24
Período de llenado de semillas	-0.06	-0.17	-0.28	-0.26
Índice de área foliar (LAI)	0.08	0.42*	0.33**	-0.07
Tasa de crecimiento del cultivo (CGR)	0.47**	0.50**	-0.01	0.24
Tasa de formación de nudos (NGR)	-0.23	0.43**	-0.07	-0.10
Tasa de crecimiento del grano (GGR)	0.37*	0.64***	0.19	0.58***

Los días hasta la floración están negativamente correlacionados con el rendimiento. La duración de la fase vegetativa anterior a la floración no tiene efecto sobre el número de nudos formados a pesar de que correlaciona (.47\*\*) con la duración del área foliar (LAD). Esta correlaciona negativamente (-.50\*\*) con el número de vainas por nudo, lo cual tiene una estrecha relación con el rendimiento final. El tamaño de las semillas correlaciona negativamente (-.57\*\*) con el número de semillas por vaina. Puesto que este último está altamente correlacionado con el rendimiento en este hábito de crecimiento, la selección por un tamaño grande de semilla puede ser además una selección por rendimientos más bajos. De acuerdo con el modelo inicial para el hábito de crecimiento I, la selección de una planta con muchos nudos, una larga fase de prefloración y un número mayor de semillas por vaina resultaría en una selección por rendimientos más altos. El gran número de nudos es esencial para suministrar a la planta sitios para la formación de vainas y de hojas.

**Hábito de crecimiento II.** Todos los componentes del rendimiento, excepto el tamaño de la semilla, los días hasta la floración, y la duración del periodo de llenado de semillas están correlacionados con el rendimiento (Cuadro 3). El tamaño de la semilla en este caso como en el hábito de crecimiento I, correlaciona negativamente con el número de semillas por vaina (-.55\*\*\*). Por consiguiente, una selección por tamaño grande de semilla puede dar como resultado un menor número de semillas por vaina y puede ser también una selección por rendimientos más bajos. Este es el único hábito de crecimiento que muestra una correlación entre el máximo LAI y el rendimiento. Esto se debe a la relación directa del LAI con el GGR y el número de semillas por vaina. La correlación (.61\*\*\*) entre plantas/m<sup>2</sup> y el número de nudos sugiere que la densidad de plantas para este hábito de crecimiento puede afectar el rendimiento final. El modelo del hábito de crecimiento II implica que tanto el LAI como el número de nudos son los factores más limitantes del aumento en la producción de granos.

**Hábito de crecimiento III.** Entre los factores correlacionados con el rendimiento están el número total de semillas, el número de vainas, el número de semillas por vaina y el máximo LAI (Cuadro 3). El modelo para este hábito tiende a ser menos obvio en la selección de los componentes de rendimiento para aumentar la producción de granos. Aunque el LAI está correlacionado con el rendimiento, no tiene una relación directa con ninguno de los componentes del mismo usados en este caso. El modelo sugiere, sin embargo, que la selección por un número mayor de nudos o por tamaño grande de semillas



puede ser además una selección por rendimiento bajo. La carencia de relación entre GGR y el rendimiento final del grano y la correlación negativa (-40\*\*) con las vainas por nudo sugieren que el área foliar está limitando el soporte para la formación de vainas y el llenado de las semillas.

**Hábito de crecimiento IV.** Se diferencia de los otros en que el tamaño de la semilla y el número de semillas por vaina están correlacionados con el rendimiento (Cuadro 3). Aún cuando el tamaño de la semilla y el número de semillas por vaina están negativamente correlacionados entre sí (-57\*\*), la selección por el tamaño grande de la semilla así como por el mayor número de semillas por vaina daría como resultado rendimientos más altos. Hubo una correlación negativa (-57\*) entre GGR y la duración del período de llenado de semillas, lo que sugiere que podría ser benéfico acortar el período que va de la floración a la madurez fisiológica, puesto que GGR está correlacionado con el rendimiento.

**Observaciones generales.** En todos los hábitos de crecimiento, excepto en el IV, la selección por un tamaño grande de semilla sin suficientes semillas por vaina puede llevar a una selección por rendimientos más bajos. Puesto que los modelos descritos están en las fases iniciales de desarrollo, no se sabe si los límites de tamaño de la semilla tienen efectos perjudiciales en el número de semillas por vaina. El número de vainas por nudo, y el número total de vainas para todos los hábitos de crecimiento correlacionaron con el rendimiento excepto en el hábito I. No hubo relación directa entre estos dos parámetros con LAI y LAD, lo que sugiere que hay suficiente área foliar para sustentar el crecimiento de las vainas. En el hábito de crecimiento I, se necesita aumentar el LAD, ya sea por incremento del LAI máximo o el tiempo hasta la madurez fisiológica. Para el hábito de crecimiento II existió una relación (.56\*\*\*) entre el LAI y el GGR, lo cual sugiere que el área foliar es limitante en el llenado de las semillas.

Nótese que al cambiar uno de estos componentes necesariamente aumentan o disminuyen los efectos del mismo o de otros componentes sobre la producción de grano. Se desconocen los límites hasta los cuales un componente se puede modificar sin que haga que otros factores se vuelvan limitantes del rendimiento.

## Predicción de la Fecha de Floración

Con el fin de evaluar la conveniencia de una nueva línea o cultivar para una determinada región, es necesario conocer la supuesta fenología del material. Puesto que

esta respuesta fenológica depende de la temperatura y el fotoperíodo, es necesario tener un modelo que pronostique los efectos de estas variables.

Tal modelo matemático fue desarrollado por la sección de Fisiología del Programa de Frijol y la unidad de Estudios Agroecológicos del CIAT. Aunque en este informe no se presentan la derivación y la forma del modelo, se describen los resultados de la prueba del mismo.

Los datos para la prueba fueron los resultantes del desarrollo de un conjunto ordinario de 20 cultivares del Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Frijol (IBYAN) de 1976, en 39 localidades internacionales. Previamente se había evaluado la semejanza en la floración de los 20 cultivares, comparando su comportamiento en 27 localidades del mundo con pruebas independientes de su sensibilidad al fotoperíodo en CIAT-Palmira (CIAT, Informe Anual, 1978).

En la construcción del modelo actual, la longitud crítica del día se fijó en 13 horas 30 minutos (en CIAT-Palmira se habían probado materiales bajo una longitud de día normal de 12 horas, 20 minutos, y en una longitud del día ampliada a 18 horas). Los coeficientes  $\beta_0$  a  $\beta_4$  se estimaron ajustando el modelo a los datos de IBYAN 1976. Al comparar estos coeficientes del modelo con las agrupaciones del estudio anterior, las razones de su comportamiento fueron evidentes (Cuadro 4).

La clase de la respuesta al fotoperíodo y los conglomerados que presenta el cuadro en las columnas de la derecha se determinaron a partir de los análisis iniciales. El coeficiente de fotoperiodicidad ( $\beta_1$ ) se calculó a partir del modelo; está en 0 o cerca de 0 cuando hay poca o ninguna demora en la floración cuando la longitud del día aumenta por encima del punto crítico; es decir, la respuesta al fotoperíodo es esencialmente neutral; el valor se acerca a 1 cuando el material se hace más sensible al fotoperíodo.

El coeficiente  $\beta_0$  indica el número de días a la floración cuando ni los fotoperíodos ni la temperatura son limitantes. Las temperaturas básicas,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  y  $\beta_4$ , son también parámetros del modelo, e indican respectivamente el punto donde un cultivar muestra una respuesta inicial a la temperatura, donde ésta tiende a estabilizarse, y donde la temperatura más alta produce un descenso en el comportamiento del cultivar respecto a la floración. En los patrones de conglomerado originales es posible observar que los grupos 1, 2 y 3 formaron un patrón perceptible. Aparte de eso, los tipos de respuesta



fueron numerosos y variados, lo que según el nuevo modelo se debe a una variedad de respuestas a la temperatura.

Los tres primeros grupos comprenden un tipo de respuesta a la temperatura llamado aquí "normal". Al final de los conglomerados están varios grupos con respuestas variadas al fotoperíodo, pero hay un tipo de respuesta "amplia" debida a un amplio espectro de temperaturas estables. Entre estos dos extremos está un grupo de cultivares con respuestas mezcladas.

Dadas las posibles fuentes de error por el uso de datos fenológicos procedentes de una cadena internacional grande, la raíz de la media cuadrada del error (RMC) en aproximadamente cuatro días confirma que los datos y el modelo describen bastante bien las interacciones de

temperatura y fotoperíodo en el comportamiento del cultivar de frijol.

Los resultados son importantes porque ofrecen la posibilidad de estimar los parámetros del modelo a partir de evaluaciones simples (actualmente de rutina) en las estaciones de CIAT. Esto permitirá predecir la fenología tanto de los cultivares existentes como de las líneas nuevas para el área total de acción del Programa de Frijol, y así ayudar a determinar su adaptabilidad a cualquier sitio.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ross, P.J. 1971. A computer program for fitting non-linear regression models to data by least squares. Australia. Commonwealth and Industrial Research Organization (CSIRO). Divn. Soils Tech. Paper no. 6.  
Tyllesley, J.B. 1978. A method of evaluating the effect of temperature on an organism when the response is non-linear. Agric. Meteorol. 19:137-153.

Cuadro 4. Estimado de los parámetros para un modelo de floración, comparados con los análisis de conglomerados basados en la fenología de la floración, en las localidades del Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Frijol (IBYAN), 1976.

Mínimo de días hasta la floración	Coeficiente de fotoperiodicidad	Temperaturas básicas <sup>1</sup>			RMC <sup>2</sup> (días)	Clase de respuesta al fotoperíodo <sup>3</sup>	Conglomerado No.	Material de frijol	Dendrograma basado en la fenología observada	
		$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$						
$\beta_0$	$\beta_1$									
<b>Respuesta normal a la temperatura</b>										
34	.008	11.0	23.7	27.5	3.8	3N	1	G4495 (P566)		
37	.027	11.7	20.7	28.7	4.2	3N		G3834 (P560)		
36	.011	11.1	22.2	28.3	4.4	3N		G4451 (P757)		
38	.030	10.6	20.8	29.0	3.8	3N		G4454 (P458)		
38	0	11.1	20.6	29.0	3.8	1N	2	G3645 (P459)		
38	0	11.8	20.4	30.4	3.9	1N		G4525 (P675)		
38	0	11.5	20.1	29.3	4.2	1N		G1820 (P302)		
39	.014	11.0	20.6	29.0	3.8	2N	3	G4122 (P512)		
40	0	11.0	20.5	29.6	4.2	2N		G4421 (P524)		
<b>Respuesta mixta a la temperatura</b>										
34	0	8.5	26.0	26.1	4.3	1N	4	G4459 (P643)		
40	.027	10.2	20.7	28.6	4.3	2N	5	G3776 (P539)		
36	.001	11.9	20.3	27.5	5.3	2N	6	G3353 (P498)		
37	.019	11.6	20.0	28.0	4.6	2N		G4446 (P758)		
38	.127	5.1	17.7	28.0	5.9	4A	7	G4523 (P637)		
37	.028	10.2	21.0	29.8	3.6	3N	8	G3807 (P402)		
<b>Respuesta amplia a la temperatura</b>										
37	0	14.4	16.2	34.0	3.5	1N	9	G4445 (P756)		
35	0	14.8	16.3	34.0	3.1	2N		G4498 (P392)		
35	.073	11.9	16.0	31.8	2.8	4A	10	G4494 (P692)		
35	.056	12.7	16.0	34.0	2.9	4A		G4460 (P755)		
33	0	14.3	17.0	33.3	4.0	1N	11	G0076 (P759)		

<sup>1</sup> Temperaturas correspondientes a: iniciación de la respuesta del cultivar =  $\beta_2$ ; estabilización de la respuesta =  $\beta_3$ ; descenso de la respuesta =  $\beta_4$

<sup>2</sup> Raíz de la media cuadrada del error.

<sup>3</sup> Clases de fotoperíodo: 1 = <4 días de demora en la floración en días de 18 horas (h) comparada con días de 12h 20 min; 2 = 4-10 días; 3 = 11-20 días; 4 = 21-30 días; 5 = >30 días; N = floración normal (en 18 h) cuando empieza la floración; A = floración anormal con abscisión.

## Desarrollo de la Planta bajo Estrés por Saltahojas

En un experimento se estudiaron los efectos del saltahoja (*Empoasca kraemeri*) sobre los componentes de rendimiento del frijol y el rendimiento final en granos. Dos líneas tolerantes (EMP 9 y G0124), dos líneas susceptibles (BAT 41 y Bunsí) y una línea intermedia (ICA-Tui) se cultivaron en parcelas protegidas y sin protección en CIAT-Palmira.

El rendimiento y la mayoría de los principales componentes del rendimiento disminuyeron significativamente de los tratamientos protegidos a los no protegidos, sin considerar si las líneas eran tolerantes o susceptibles (Cuadro 5). Se registraron disminuciones significativas de 47% en las líneas tolerantes y de 59% en las líneas susceptibles; las diferencias de rendimiento se debieron a disminuciones en el número de nudos, en el índice del área foliar (LAI) y en la duración del área foliar (LAD). Únicamente durante las fases finales de crecimiento de la planta, las ninfas y los adultos del saltahoja mostraron preferencias distintas entre las líneas tolerantes y susceptibles.

La Figura 4 compara las curvas de los diferentes parámetros de crecimiento de la planta y de las poblaciones de insectos; éstas corresponden a recuentos totales por planta. Durante el período de crecimiento la curva de población de ninfas de las líneas tolerantes permaneció alta debido a que el material vegetativo (medido por el LAI y la biomasa total) de las mismas disminuyó menos que el de las líneas susceptibles; la población de ninfas en las líneas tolerantes empezó a disminuir cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica; a partir de ese momento el LAI y la biomasa total disminuyeron rápidamente como resultado del consumo de material por parte de los insectos.

Las poblaciones de adultos aumentaron más bien constantemente tanto en las líneas tolerantes como en las susceptibles. Sólo después de que las últimas fueron dañadas severamente, los insectos emigraron hacia el crecimiento verde de las líneas tolerantes, mostrando un aumento significativo en el número de adultos casi al final del período.

Cuadro 5. Rendimiento y parámetros de crecimiento seleccionados de líneas con diferente grado de tolerancia a *Empoasca kraemeri* bajo condiciones de protección y sin ellas.

Parámetro	Con protección			Sin protección			D.M.S. (0.01)
	Tolerante <sup>1</sup>	Inter-medio <sup>1</sup>	Susceptible <sup>1</sup>	Tolerante	Inter-medio	Susceptible	
Rendimiento (kg/ha)	2000	1610	1948	1067* <sup>2</sup>	846	816	16
Rendimiento/día (g/m <sup>2</sup> /día)	2.8	2.3	3.0	1.5*	1.2	1.2	.2
Número de vainas/m <sup>2</sup>	299	254	335	267	248	261	38
Número de nudos/m <sup>2</sup>	581	422	453	595*	492	482	70
Índice de área foliar (LAI)	4.9	5.0	4.2	3.5*	4.1	2.6	0.7
Duración del área foliar (LAD)	173	154	137	119*	126	79	12
Rendimiento/LAD	1.1	1.0	1.5	0.9	0.7	1.0	0.1
Tasa de crecimiento del cultivo (CGR)	16.7	13.0	15.6	12.1*	12.4	8.8	2.9
Tasa de crecimiento del grano (GGR)	6.9	5.9	7.3	4.1	2.8	3.5	1.3
Longitud del tallo (cm)	106	66	67	64*	53	49	10
Biomasa (kg/ha)	3671	2661	3316	2261	1916	1615	52
Índice de cosecha (%)	44	46	44	42	43	42	7
Número de ninfas de <i>Empoasca</i>	0	0	0	117	155	132	n.s. <sup>3</sup>
Número de adultos de <i>Empoasca</i>	0	0	0	679*	559	591	60

<sup>1</sup> Líneas tolerantes: EMP 9, G0124; línea intermedia: ICA-Tui; líneas susceptibles: BAT 41, Bunsí.

<sup>2</sup> Los valores con asteriscos no mostraron diferencia, significativa (P=0.01) entre las líneas susceptibles y las tolerantes bajo condiciones de no protección.

<sup>3</sup> No significativo.



La repentina disminución en la producción total de biomasa y en la tasa de crecimiento del cultivo (CGR) de las líneas susceptibles coincidió con las mayores poblaciones de ninfas. El LAI del tallo, pero no de las

ramas, disminuyó significativamente entre las líneas tolerantes y susceptibles; debido a esta pérdida del área foliar, la tasa de crecimiento del grano (GGR) también disminuyó en los tallos pero no en las ramas.

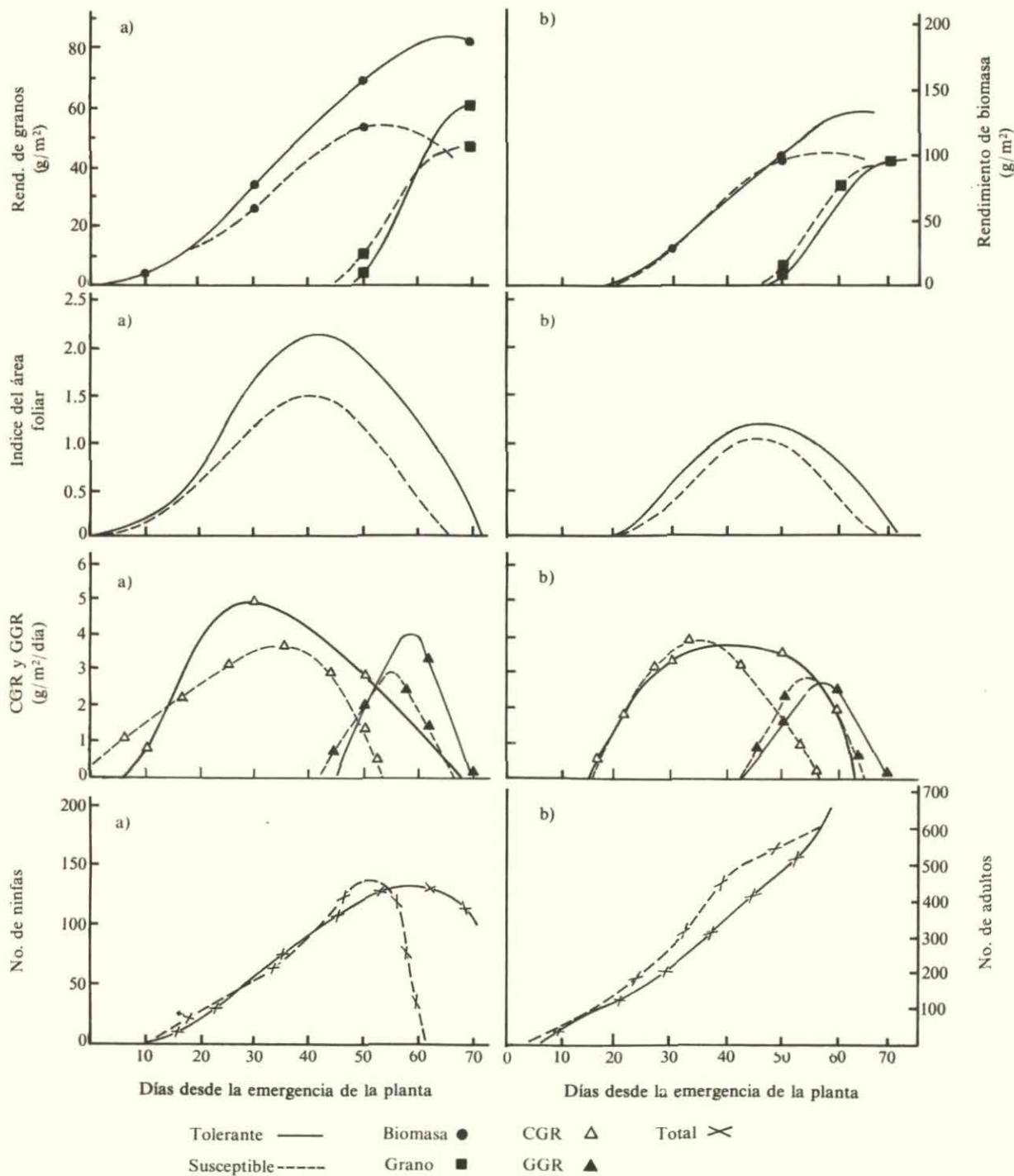


Figura 4. Parámetros de crecimiento correspondientes a los tallos principales (a) y a las ramas (b) de líneas de *Phaseolus vulgaris* tolerantes y susceptibles a *Empoasca kraemeri*. (Curvas derivadas de los procedimientos de ajuste de la curva trigonométrica.)

## Desarrollo de la Planta bajo Estrés por Bajos Insumos

También se estudiaron los parámetros del rendimiento en frijol a niveles altos y bajos de insumos. Los insumos altos incluyeron un completo control de insectos y enfermedades y aplicaciones de fertilizante al momento de la siembra; los niveles bajos implicaron únicamente la aplicación de una pequeña cantidad de fertilizante al momento de la siembra (Cuadro 6).

Las diferencias de rendimientos tanto de los tallos como de las ramas fueron significativas entre los dos tratamientos. Un hecho interesante fue que las semillas resultaron más grandes en los tratamientos de bajos insumos, aunque no de manera significativa; esto se debió

probablemente a la disminución significativa del número de semillas por vaina. En las discusiones precedentes sobre la construcción de modelos de rendimiento se demostró que estos dos parámetros están negativamente correlacionados.

Los datos de este experimento sugieren que una de las mayores causas de la reducción del rendimiento en condiciones de bajos insumos es el bajo número de semillas por vaina, y que la mayor parte de las pérdidas en rendimiento se puede atribuir al bajo rendimiento en las ramas.

Cuadro 6. Relaciones entre los componentes escogidos del rendimiento y el rendimiento en líneas de *Phaseolus vulgaris* que reciben dos niveles de insumos.

Componentes del rendimiento	Nivel de insumos <sup>1</sup>		D.M.S.	Valor r (vs. rend.)		C.V. (%)
	Alto	Bajo		Insumos altos	Insumos bajos	
Rendimiento (g/m <sup>2</sup> )						
tallo	100* <sup>2</sup>	65	17	.46***	.46***	21.2
rama	84*	54	19	.20	.37**	28.2
total	184*	119	35	-	-	14.1
No. de vainas/m <sup>2</sup>						
tallo	125	100	70	.31**	.41**	19.5
rama	106	89	76	.01	.34**	24.4
total	231	189	108	.23	.46***	16.1
Semillas/vaina						
tallo	4.7*	2.1	1.6	.40***	.17	11.9
rama	4.2	2.1	2.2	.49***	.27*	17.2
total	4.5*	2.1	1.5	.51***	.26*	11.4
Peso de 100 semillas (g)						
tallo	19	31	22	-.19	-.05	27.0
rama	19	28	18	-.21	-.04	23.9
total	19	30	19	-.20	-.03	24.0
Biomasa (g/m <sup>2</sup> )						
tallo	210*	127	42	.31*	.36*	15.9
rama	137*	86	44	.04	.20	21.3
total	347*	214	63	.25*	.36*	15.8
Índice de cosecha (%)						
tallo	51	57	12	.28*	.38**	14.9
rama	62	68	13	.21	.38**	13.5
total	55	61	11	.28*	.41**	12.6
Rendimiento/día (g/m <sup>2</sup> )						
tallo	1.5	1.1	.9	.44***	.46***	14.3
rama	1.1	1.0	.9	.19	.37**	18.7
total	2.5*	1.5	.9*	.98***	.99***	14.7
Días hasta la floración	37	37	4	-.04	.06	7.3
Días hasta la madurez	75*	81	5	-.01	-.02	4.2

<sup>1</sup> Los insumos altos consisten en aplicaciones regulares contra insectos y enfermedades así como fertilizantes al momento de la siembra. Los insumos bajos consisten en una sola aplicación de una baja cantidad de fertilizante al momento de la siembra.

<sup>2</sup> Los valores de insumos altos con asterisco fueron significativamente diferentes de los valores comparables de bajos insumos.