

ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE LA PRECOCIDAD EN EL FRIJOL COMUN

Jeffrey W. White*

Introducción

El interés reciente en el desarrollo de cultivares de maduración precoz de frijol ha planteado muchas preguntas relacionadas con la fisiología de cultivos de frijol. Primero es si la precocidad realmente ofrece ventajas que compensen la pérdida aparentemente inherente del potencial de rendimiento asociado con los ciclos cortos de crecimiento. Aceptando que la precocidad es deseable, uno puede preguntar cómo producir cultivares que combinen el nivel deseado de precocidad con un potencial de rendimiento aceptable. Este problema tiene dos facetas donde pueden ayudar las investigaciones de fisiología. La primera trata los efectos genéticos y ambientales sobre la fenología del frijol. Dado que el frijol es típicamente un cultivo que florece en respuesta a días cortos, los efectos del fotoperiodo son de interés específico. La segunda faceta es si ciertas características morfológicas o fisiológicas se pueden identificar para que los mejoradores las puedan usar como criterios de selección por rendimiento en materiales de maduración precoz. Este documento revisa la información disponible sobre estas cuestiones fisiológicas.

Relación Entre Rendimiento y Madurez

En la ausencia de variaciones estacionales marcadas en los estreses, en particular la sequía o las temperaturas bajas, los genotipos de frijol de maduración tardía típicamente rinden sustancialmente más que materiales similares pero de maduración tempranas. Como un ejemplo, la Figura 1

* Fisiólogo de cultivos, CIAT, A.A. 6713, Cali, Colombia.

presenta datos de una prueba de rendimiento de 42 genotipos que varían en madurez de 52 a 83 días en CIAT Palmira. Esta diferencia en maduración se asoció con una diferencia de rendimiento de casi 2000 kg/ha resultando en una correlación lineal de $r = 0.80$ ($p = 0.01$).

Otra ilustración de la misma tendencia se halla en la revisión de Laing y co-investigadores (1984). Usando tratamientos de fotoperíodo para retardar la floración de Porrillo Sintético, hallaron que un retraso de 10 días en la madurez se asoció con un aumento de 1000 kg/ha de rendimiento. Algunos ejemplos adicionales son tratados por White e Izquierdo (1990) y el fenómeno es bien conocido en otros cultivos (Charles-Edwards, 1982).

Dada la fuerte evidencia acerca de la pérdida de potencial de rendimiento con la precocidad, es imperativo buscar pruebas de los supuestos beneficios de la precocidad que compensarían la pérdida esperada de potencial de rendimiento. Una situación donde los genotipos de maduración temprana puedan superar a los de maduración tardía es cuando un estrés importante aumenta durante el ciclo de cultivo, y la madurez temprana resulta en por lo menos un "escape" parcial del estrés. La sequía y las heladas son los ejemplos más obvios, pero para cualquier enfermedad o problema de plagas que aumenta en gravedad con el transcurso del tiempo, la madurez temprana también puede permitir el escape.

Se hallan pruebas circunstanciales para el escape a la sequía en viveros de frijol para sequía (White y Castillo, 1988). Cuando se comparan rendimiento y madurez, frecuentemente se encuentra una relación negativa, aunque ocurren muchas excepciones. Como un ejemplo iónico, la Figura 2 muestra una correlación negativa significativa entre rendimiento y madurez para 72 genotipos evaluados bajo sequía en Palmira. Un análisis simple del potencial de precipitación y evapotranspiración por períodos de cinco días durante el ciclo de crecimiento señaló que comenzando aproximadamente 25 días después de siembra, había un período de 40 días con sólo 22 mm de precipitación pero un potencial de evapotranspiración de 193 mm.

5/4
Un caso interesante en particular acerca del escape a la sequía es mostrado por P. acutifolius. Estudios independientes realizados en Honduras y en CIAT han sugerido que algunos genotipos de P. acutifolius son mucho más tempranos que las líneas típicas de P. vulgaris, y que ésto puede explicar algo de la adaptación a la sequía asociada con P. acutifolius (Zuluaga et al., 1988; White y Castillo, 1988).

X
En lugar de preguntar si el escape a la sequía a través de la precocidad es una característica útil, un enfoque más productivo es preguntar bajo qué condiciones el escape a la sequía es útil. Desgraciadamente, responder ésto requiere soluciones muy específicas a un sitio dado, ya que la respuesta depende de variables como distribución de precipitación, retención de humedad del suelo, y voluntad de los agricultores para tomar riesgos.

✓
✓
En vez de atribuir utilidad a la precocidad basada en escape a un estrés único, también se puede argumentar que la precocidad permite escapar de una variedad amplia de estreses que pueden variar en importancia de una estación a otra. Un enfoque para el estudio de dicho efecto es a través del análisis de pruebas de rendimiento multilocacionales. Al usar un análisis de tipo Finlay y Wilkinson (1963), se esperaría que los cultivares de maduración precoz muestren respuestas de regresión inferiores (B) y desviaciones más pequeñas de regresión (D).

En una revisión de datos de los Viveros Internacionales de Rendimiento y Adaptación de Frijol (IBYANs) a través de siete años, sólo el IBYAN de 1975 produjo una relación significativa entre días promedios a la madurez y B (White, 1984; Fig. 4), y no se hallaron correlaciones significativas. Esta evidente falta de relación entre precocidad y estabilidad se atribuyó al mismo rango típicamente estrecho en días a madurez hallado entre genotipos individuales del IBYAN.

Esta pregunta sólo ha recibido atención limitada en otros cultivos. Trabajando con 54 genotipos de sorgo en 48 ambientes, Saeed y Francis (1983) hallaron que más de la mitad de la variación en B se atribuyó a efectos de madurez, y D también fue afectado por la madurez.

Control de la Precocidad

Si se acepta que la precocidad es un carácter deseable para ser buscado en el frijol común, la pregunta surge de cómo mejorar por precocidad para una región dada. Aunque dicho trabajo se podría efectuar en una base estrictamente empírica, la información sobre el control genético de la precocidad y sobre los efectos del fotoperiodo y la temperatura podría mejorar la eficiencia de mejoramiento.

Los estudios sobre la herencia de la precocidad en frijol común son pocos. Sin embargo, sólo dos o tres genes principales parecen ser de interés. Uno o dos genes ejercen un efecto directo sobre la madurez, mientras otro parece modificar la fenología indirectamente a través de sus efectos sobre el hábito de crecimiento.

Masaya et al. (1986) informaron que para el cruzamiento IOTA Quetzal x Rabia de Gato, la precocidad fue dominante y estaba controlada por un gen único cuando se evaluó en un sitio con una temperatura promedio de 29°C. Un trabajo reciente en CIAT (White et al., en preparación) con 19 genotipos de maduración precoz y de hábito indeterminado parece confirmar esto. Usando cruzamientos de prueba de los genotipos precoces con A 301 (como el progenitor femenino), todas las 19 poblaciones F_1 florecieron y maduraron casi tan temprano como el progenitor precoz respectivo. Las poblaciones F_2 fueron algo menos precoces, pero todavía fueron más precoces que el respectivo progenitor-medio (Cuadro 1). Se necesitan estudios adicionales para determinar si el mismo patrón de herencia se halla en genotipos determinados, y si los diferentes progenitores precoces comparten el mismo alelo dominante.

Otro gen conocido por ejercer un efecto importante sobre la fenología es el que gobierna el cambio entre hábito de crecimiento indeterminado a determinado. La mayoría de los estudios han sugerido que el hábito determinado es recesivo, mostrando una razón de segregación de 3 a 1, y se asocia con un aumento de 5 a 8 días en la precocidad (por ejemplo Bliss, 1971). Sin embargo, un trabajo reciente sugiere que las excepciones al patrón de herencia del tipo de tallo si ocurren (O. Ortiz, 1988, comunicación personal).

La comprensión del control básico de la precocidad es un paso importante en predecir cuán precoz una progenie de un cruzamiento será. Sin embargo, dados los efectos conocidos de la temperatura y del fotoperiodo en la fenología del frijol común, se prevé fácilmente que la identificación de los genes básicos que controlan la precocidad será insuficiente, en particular cuando los materiales se cultivan bajo diferentes fotoperiodos o regímenes de temperatura. Por ejemplo, la Figura 4 presenta datos para evaluaciones de tiempo a madurez para 25 genotipos precoces cultivados en Cotaxtla, Veracruz, México (E. López S., 1988, comunicación personal) y en CIAT Palmira. Aunque la correlación general es altamente significativa ($r = 0.68$, $p = 0.01$), algunos genotipos cambiaron su madurez hasta en ocho a diez días con relación a otros materiales. Además, en este caso, la respuesta al fotoperiodo no parece tener una asociación obvia con estos cambios. Ejemplos adicionales se hallan en Masaya et al. (1986) donde se encontró que las razones de segregación variaron cuando las poblaciones se cultivaron en dos sitios que diferían en temperatura media.

Nuestro conocimiento de los efectos del fotoperiodo y la temperatura en la fenología del cultivo no está todavía en la etapa donde uno puede predecir la fenología para cualquier genotipo bajo un conjunto dado de condiciones ambientales (Masaya y White, 1990). Sin embargo, cuatro principios proporcionan alguna guía:

1. Cada genotipo tiene un tiempo mínimo característico a la floración ("tendencia a florecer", "tasa de floración máxima"). Esto se expresa bajo fotoperiodos cortos y, temperaturas típicamente altas. Los problemas con la inestabilidad de la precocidad tienden a ocurrir como floración retardada, no precocidad excesiva.
2. Para genotipos sensibles al fotoperíodo, si la longitud del día es mayor que una longitud mínima crítica, la floración se retardará.
3. Las mayores temperaturas aumentan la sensibilidad al fotoperíodo. Este efecto se expresa más singularmente en materiales andinos adaptados a regiones más frescas.
4. Independiente del efecto en la sensibilidad al fotoperíodo, la tasa de desarrollo aumenta con la temperatura. Por lo tanto, si no ocurre un efecto fotoperiódico, las temperaturas más altas aceleran la floración y la madurez.

En selección por precocidad, los peores problemas con la inestabilidad probablemente ocurrirían cuando los materiales sean seleccionados bajo fotoperiodos cortos (latitudes bajas o estaciones invernales de cultivo) y entonces se cambien a fotoperiodos largos. Sin embargo, en algunos casos los efectos de la temperatura ciertamente serán un factor de confusión adicional.

La herencia de la respuesta al fotoperíodo en frijol requiere estudio adicional, pero la mayoría de las pruebas sugiere que dos genes están involucrados (Wallace y Masaya, 1987, comunicación personal). Una considerable variación en la sensibilidad al fotoperíodo ocurre dentro de materiales de maduración precoz (Cuadro 1).

Criterios de Selección por Rendimiento en Materiales Precoces

Dado que la madurez temprana implica pérdida del potencial de rendimiento, la necesidad de hallar maneras eficientes para seleccionar por rendimiento bajo precocidad es aún más fuerte que cuando la madurez no es un factor. Si no se toman precauciones, la selección por rendimiento en precocidad indudablemente conducirá a la pérdida de la precocidad deseada.

Siguiendo las sugerencias en cuanto a maneras para aumentar el potencial de rendimiento en genotipos con madurez normal, un enfoque es sugerir características específicas de la planta que determinan parcialmente el potencial de rendimiento de genotipos de maduración precoz. Hasta el momento, el único intento para formular una lista de hipótesis que relacionen el rendimiento con las características de líneas de maduración precoz parece ser el de Rodríguez (1986) quien comparó el crecimiento de 13 genotipos precoces con el de 3 normales en dos semestres en CIAT Palmira. La prueba de dichas hipótesis no es tan simple como a primera vista se puede sugerir, porque ellas contienen implícitamente la sub-hipótesis de que una característica no solamente afecta el rendimiento sino que este efecto varía con la longitud del ciclo de crecimiento de genotipos individuales. Por ejemplo, no es suficiente decir que un índice de cosecha alto es deseable; se debe decidir si el índice de cosecha debe ser relativamente mayor en genotipos precoces o de maduración tardía. La manera más simple para probar dichas hipótesis es a través de regresiones múltiples. Usando el rendimiento como la variable dependiente, una prueba para los efectos significativos de la madurez, de la característica en cuestión y de la interacción entre la madurez y la característica debe sugerir si la característica es de importancia especial en materiales precoces. El significado de la interacción con la madurez es la prueba crítica ya que señala si el efecto de la característica varía con la longitud del ciclo de crecimiento.

Para ilustrar este enfoque, se examinaron cinco hipótesis usando datos de la misma prueba de 42 genotipos presentados en la Fig. 1. Las hipótesis fueron:

1. Llenado de vainas relativamente largo: ya que el rendimiento se correlaciona altamente con la longitud del periodo de llenado de vainas, pero la madurez temprana implica un acortamiento del periodo de llenado de vainas, la proporción relativa del ciclo de crecimiento asignado a llenado de vainas se debe aumentar en genotipos de maduración temprana. (La proporción del ciclo de crecimiento representado por el periodo de llenado de vainas se define como la longitud del periodo de llenado de vainas dividido por días a la madurez).
2. Tasa alta de crecimiento: el ciclo corto de crecimiento pone un límite fuerte en el crecimiento general, de manera que una tasa alta de crecimiento es imperativa. Un índice aproximado de la tasa de crecimiento es la biomasa a madurez.
3. Mayor índice de cosecha: nuevamente, ya que el crecimiento es limitado, el crecimiento que ocurre debe convertirse eficientemente en rendimiento, y el índice de cosecha debe ser especialmente alto. Menos, con un tamaño más pequeño de planta, se necesita menos apoyo estructural. Esto también debe permitir un índice mayor de cosecha en genotipos precoces.
4. Semillas más grandes: la madurez temprana implica un periodo reducido para el establecimiento vegetativo. Ya que el tamaño grande de la semilla debe permitir una mayor tasa de crecimiento inicial del cultivo, la semilla grande puede ser particularmente deseable en genotipos de maduración precoz.

5. Menos semillas por vaina: con un periodo acortado de llenado de vainas, la tasa con la cual las vainas individuales se pueden llenar puede ser limitante. Por lo tanto sería deseable tener vainas más pequeñas, pero más numerosas. Como ya se argumentó que las semillas más grandes son deseables, la única alternativa es tener menos semillas por vaina.

Los análisis de varianza para las variables asociadas con estas cinco hipótesis se presentan en el Cuadro 2. En todos los casos, el efecto de la madurez es muy grande. La única hipótesis donde un efecto significativo de otras variables se halló fue en peso seco del cultivo. Ninguna interacción con madurez se halló en ninguna de las cinco características. Si se aceptan estos análisis como definitivos, uno concluiría que todas las hipótesis tienen que rechazarse. Una conclusión más generosa es que dichos análisis se deben intentar en un rango mayor de pruebas.

El problema relacionado de cómo seleccionar directamente por rendimiento en materiales precoces cuando los mayores rendimientos se asociarán con la madurez tardía también se puede enfocar a través del análisis de regresiones. Este enfoque parece superior al más convencional de calcular el rendimiento por día (rendimiento dividido por días a madurez) o la acumulación del rendimientos durante el llenado de vainas (rendimiento dividido por longitud del período de llenado de vainas) a pesar de la popularidad evidente de dichos índices (por ejemplo Wallace y Masaya, 1988; CIAT, 1987).

El rendimiento por día presenta un importante sesgo que frecuentemente favorece a los genotipos de maduración tardía, pero dependiendo de la relación concreta entre rendimiento y madurez en una prueba dada, también puede favorecer genotipos precoces intermedios. Este sesgo se ilustra mejor al considerar una línea que representa un nivel constante de rendimiento por día en un gráfico de rendimiento vs días a la madurez. Dicha línea es exactamente equivalente a definir un límite fijo para la

selección con base en el rendimiento por día. Si los datos de la Fig. 1 se re-proyectan incluyendo el origen en los dos ejes, se halla que una línea para el rendimiento por día = 25 kg ha pasa a través del origen, y en verdad cualquier línea para un rendimiento constante por día pasará a través del origen (Fig. 5). Esto se muestra mediante reorganización de la definición de rendimiento por día (RPD) como una función de rendimiento (R) y días a madurez (M).

$$RPD = \frac{R}{M},$$

por lo tanto se convierte en

$$R = RPD * M,$$

el cuál es la ecuación de una línea a través del origen y con pendiente de RPD. Los cultivares que quedan por encima de la línea en la Figura 5 tienen por lo tanto rendimientos por día mayores de 25 kg/ha/día (por ejemplo RAB 60), y aquellos que quedan debajo, menos de 25 (por ejemplo G 2923). Para este conjunto de datos, si imaginamos límites inferiores sucesivos de rendimiento por día, es claro que todos los genotipos de maduración tardía serán seleccionados primero.

Eltipo y gravedad del sesgo varía de prueba a prueba, según la relación concreta hallada entre rendimiento y días a madurez. Re-proyectando los dos semestres de datos de Rodr'guez (1986), se halla que en el primer semestre el uso del rendimiento por día nuevamente favorecería a las líneas de maduración tardía (Fig. 6a), mientras que en el segundo semestre, habría un sesgo pequeño porque la relación entre rendimiento y días a madurez definiría una línea similar al del rendimiento constante por día (Fig. 6b). Petra el caso dónde no se halla ninguna relación entre rendimiento y días a madurez, aquí ilustrado por datos de Masaya y co-investigadores (1988), la selección basada en el rendimiento por día probablemente favorecería líneas de maduración temprana (Fig. 7).

Afortunadamente, el análisis de regresiones ofrece una simple y más robusta alternativa. Si se calcula la regresión de rendimiento como una función de días a madurez (Fig. 1), los valores residuales para cada genotipo (desviaciones de la regresión) son equivalentes a los rendimientos corregidos para un efecto de la madurez. Por lo tanto, los genotipos superiores simplemente serán aquellos con los residuales positivos más grandes. Los resultados de usar diferentes criterios para la selección son evidentes en el Cuadro 3, donde se seleccionarían conjuntos muy diferentes de genotipos dependiendo de si se usa rendimiento por día, rendimiento en llenado de vaina, o desviaciones de regresión.

En la mayoría de las pruebas, un modelo lineal debe ser adecuado, pero donde los genotipos tempranos y tardíos son desventajosos (como puede suceder a latitudes mayores), la adición de un término cuadrática al modelo puede ser necesaria. Argumentos análogos se aplican a la selección basada en la acumulación de rendimientos durante el llenado de vainas. En este caso, días a madurez es reemplazado por duración de llenado de vainas.

Conclusión

El mejoramiento por precocidad es una oportunidad importante y apasionante para los mejoradores de frijol. Aunque los estudios fisiológicos de precocidad son pocos (debido en parte a la escasez de genotipos precoces con niveles mínimos de resistencia a las enfermedades), la información fisiológica existente debe ayudar a que los mejoradores logren sus metas más eficientemente.

No parece haber dudas en que el escape a la sequía a través de la precocidad es una característica útil. Sin embargo, se necesitan estudios para señalar qué niveles de precocidad se necesitan para una zona productora dada. Los argumentos para el valor de precocidad como un mecanismo más generalizado de escape parecen plausibles, pero hacen falta datos concretos.

El control genético básico de la precocidad parece relativamente simple, y muchos genotipos precoces son ya conocidos. Quizás más problemática que el logro de precocidad en un sitio dado será la tarea de determinar los efectos de la temperatura y del fotoperiodo cuando los materiales precoces se siembren en ambientes diferente de aquellos en los cuales fueron seleccionados. Debe tenerse en mente que muchos materiales que son tempranos en CIAT muestran una sensibilidad intermedia o alta al fotoperiodo.

Estamos todavía lamentablemente lejos de poder sugerir un ideotipo para los genotipos de maduración temprana. Las hipótesis son fáciles de generar, pero las pruebas concretas son más problemáticas. Un enfoque promisorio es usar una regresión múltiple, permitiendo pruebas para las interacciones deseadas con la madurez.

Finalmente, los mejoradores del frijol no deben subestimar el problema inherente en el mejoramiento por rendimiento en genotipos precoces debido al hecho que el rendimiento generalmente varía directamente con la madurez. El uso tradicional de rendimiento por día parece de valor dudoso, pero nuevamente, el análisis de regresión o el uso de la madurez como una covariable en el análisis de varianza parece promisorio.

Bibliografía

- Bliss, F.A. 1971. Inheritance of growth habit and time of flowering in beans, Phaseolus vulgaris L. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 96:715-717.
- Charles-Edwards, D.A. 1982. Physiological determinants of crop growth. Academic Press; Sydney. 161 pp.
- CIAT. 1987. Annual Report 1986 Bean Program. Working Document No. 27. CIAT; Cali, Colombia.
- Finlay, K.W. and G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. Aust. J. Agric. Res. 14:742-754.

- Laing, D.R.L., P.G. Jones and J.H.C. Davis. 1984. Common bean (Phaseolus vulgaris L.) p. 305-351. In P.R. Goldsworthy and N.M. Fisher (eds.). The physiology of tropical field crops. Jeta Wiley & Sons; New York.
- Masaya, P.M., D.H. Wallace and J.W. White. 1986. Genetic control of flowering behavior of tropical bean cultivars under two subtropical temperature regimes. Annu. Rept. Bean Improv. Coop. 29:54-55.
- Masaya S., P.M., R. Rodríguez C., G. Gálvez, S.H. Orozco and C. Orellana. 1988. Potencial de rendimiento y estabilidad de precocidad de algunas variedades tradicionales y poblaciones de fréjol en Centroamérica. Trabajo presentado en la XXXIV Reunión Anual del PCCMCA, San José; Costa Rica.
- Masaya, P.M. and J.W. White. 1990. Adaptation to photoperiod and temperature. In A. van Schoonhoven and O.V. Voysest (eds.). Bean (Phaseolus vulgaris L.) production and irrpovement in the tropics. CIAT; Cali, Colombia.
- Rodríguez C., R.R. 1986. Caracterización morfo-fisiologica e identificación de caracteres para mayor rendimiento en genotipos precoces de frijol común (Phaseolus vulgaris L.). M.Sc. Thesis. Colegio de Postgraduados; Chapingo, México. 178 pp.
- Saeed, M. and C.A. Francia. 1983. Yield stability in relation to maturity in grain sorghum. Crop Sci. 23:683-687.
- Wallace, D.H. 1985. Ehsiological genetics of plant maturity, adaptation and yield. Plant Breed. Rev. 3:21-167.
- Wallace, D.H. and P.N. Masaya. 1988. Using yield trial data to analyze the physiological genetics of yield accumulation and the genotype x environment interaction effects on yield. Annu. Rept. Bean Inprov. Coop. 31:vii-xxiv.
- White, J.W. 1984. Associations among yield, yield stability and duration of growth eyele in IBYAN triáis, p. 380-400. In International bean triáis workshop. CIAT; Cali, Colombia.

- White, J.W. and J. Castillo. 1988. Studies at CIAT on mechanisms of drought tolerance in bean. p. 146-164. In J.W. White, G. Hoogenboom, F. Ibarra and S. Singh (eds). Research on drought tolerance in common bean. Documento de Trabajo No. 41. CIAT; Cali, Colombia.
- White, J.W. and J. Izquierdo. 1990. Physiology of yield potential and stress tolerance. In A. van Schoonhoven and O.V. Voyses (eds.). Bean (Phaseolus vulgaris L.) production and improvement in the tropics. CIAT; Cali, Colombia.
- White, J.W., S. Singh and C. Pino A. Inheritance of earliness in indeterminate bush common bean (Phaseolus vulgaris L.). (In preparation).
- Zuluaga, S., C.M. Elvir, C. Rodríguez S. and J.D. Erazo. 1988. Investigaciones sobre tolerancia a sequía en frijol en Honduras, p. 69-90. In J.W. White, G. Hoogenboom, F. Ibarra and S. Singh (eds). Research on drought tolerance in common bean. Documento de Trabajo No. 41. CIAT; Cali, Colombia.

Cuadro 1. Días a madurez de 19 genotipos precoces, A 301, y las respectivas generaciones F y F₂ de cruces con A 301 cultivado en CIAT-Palmira (White et al., en preparación).

1 2

Genotipos precoces	Origen	Hábito crecim.	Peso semilla	Foto. resp. ¹	Días a madurez			
					Geno. precoz	A 301	F ₁	F ₂
			mg					
Aguascal. 11 4	México	3	250	S	56	70	58	60
G 2923	El Salvador	2	260	N	55	70	63	60
G 3017	Guatemala	3	220	N	56	70	60	62
Orgullosa	Nicaragua	3	280	N	56	70	61	62
O.C. Sta. Rita	México	3	350	S	56	70	58	60
G 1345	Nicaragua	3	220	N	57	69	59	62
G 1344	Nicaragua	3	200	N	58	69	62	66
Zacaticano	México	3	300	S	58	71	58	60
O.C. 24 MV	México	3	350	S	59	69	59	62
Pata de Zope	Guatemala	3	230	N	59	72	66	66
Chile 20	Chile	3	270	S	59	72	62	61
A 59	CIAT	2	270	I	60	71	62	64
G 1965	Guatemala	2	290	I	60	75	63	64
Dilmason	Turquía	3	330	S	61	71	61	65
BAT 304	CIAT	3	200	I	61	72	63	65
RAB 60	CIAT	3	230	N	61	71	61	66
Rabia de Gato	Guatemala	3	200	N	61	72	64	66
Cuarenteno	Nicaragua	3	350	I	62	71	63	65
Favinha	Brasil	3	410	S	64	71	62	65
Media					59	71	61	63

¹ Respuesta al fotoperíodo resumida de la escala CIAT del 1 al 8, donde N (1 ó 2) neutro al día, I (3 ó 4) es intermedia en sensibilidad y S (5 to 8) es sensible al fotoperíodo. Puntajes se basan en demora en floración bajo 18 horas de fotoperíodo artificialmente extendido en CIAT Palmira.

Cuadro 2. Resultados de regresiones múltiples en el rendimiento para cinco variables que hipotéticamente interactúan con días a madurez. Basado en datos de 42 genotipos en CIAT-Palmira.

Fuente de variación	DF	Cuadrado medio	F
<u>Proporción de ciclo como llenado de vaina (PROPOD)</u>			
Días a madurez	1	6054347	67.5**
PROPOD	1	4923	0.1
PROPOD x madurez	1	7550	0.1
Residuo	38	89638	
<u>Peso seco del cultivo a la madurez</u>			
Días a madurez	1	6054347	124.3**
Peso seco cultivo	1	1519564	31.2**
Peso seco cultivo x madurez	1	7721	0.2
Residuo	38	48696	
<u>Indice de cosecha</u>			
Días a madurez	1	6054347	76.8**
Indice cosecha	1	267308	3.4
Indice cosecha x madurez	1	154261	2.0
Residuo	38	78872	
<u>Semillas por vaina</u>			
Días a madurez	1	6054347	70.4**
Semillas por vaina	1	90822	1.0
Semillas por vaina x madurez	1	60480	0.7
Residuo	38	85985	
<u>Peso semillas</u>			
Días a madurez	1	6054347	71.5**
Semillas por vaina	1	1	0.0
Semillas por vaina x madurez	1	203214	2.4
Residuo	38	84619	

** Significativo a nivel $p = 0.01$.

Cuadro 3. Comparación de días a floración y madurez, rendimiento y tres parámetros usados para corregir los efectos de longitud del ciclo de crecimiento en el rendimiento. Rendimiento en llenado de vainas es rendimiento dividido por duración de llenado de vainas. Desviación de la regresión es el residuo de la regresión en rendimiento como función de días a madurez.

Genotipo	Días a		Rendim. Rend.	Rendim. por día	Rendim. en lien.va in.	Desviaciones de regresión
	Florac.	Madurez				
			kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ día ⁻¹		kg ha ⁻¹
G 4524	40	82	2351	28.6*	55.5x	-272
FVAD 1028	34	73	1785	24.7	46.4	-80
BAT 304	33	72	1794	25.1*	46.5	16
BAT 37	38	71	1888	26.5*	55.9x	132
G 3807	38	71	1860	26.1*	56.1x	120
NAG 30	36	71	1847	26.0*	52.0x	109
XAN 141	34	71	1802	25.3*	49.2	73
XAN 145	38	71	1920	27.3*	58.2x	217+
A 260	35	70	1986	28.0*	55.8x	302+
XAN 146	35	70	1970	27.9*	56.4x	294+
RAO 14	35	70	1416	20.2	40.5	-253
FVAR 1479	32	70	1325	18.9	34.8	-343
RAB 60	34	70	2135	30.5*	59.6x	470+
G 6416	32	70	1447	20.8	38.5	-185
G 1965	31	69	1248	18.0	32.7	-364
A 496	30	69	1466	21.3	37.4	-139
DOR 200	36	69	1663	23.9	50.5x	72
G 12494	30	69	1452	20.9	37.3	-137
FVAR 1474	33	69	1317	18.9	36.6	-271
BAT 41	35	69	1867	27.0*	55.3x	286+
BAT 1388	32	69	2007	29.2*	53.6x	433+
G 577	31	69	977	14.3	26.1	-562
PVBZ 1776	33	68	1686	24.7	48.0	151
A 59	32	68	1293	19.0	36.4	-205
G 2858	31	68	1811	26.7*	48.6	324+
A 186	31	67	1441	21.4	39.8	1
FVAD 823	32	67	1357	20.4	38.8	-63
PVMX 1604	31	67	1959	29.3*	55.1x	561+
G 1344	31	67	1181	17.6	33.3	-209
G 4450	31	65	1300	19.8	38.5	20
G 1621	31	65	611	9.6	18.0	-619
G 274	31	64	716	11.1	21.6	-472
G 7121	30	64	1270	19.8	37.9	92
G 51	30	64	1565	24.4	46.5	391+
G 57	31	64	1192	18.8	36.4	22
G 1345	31	63	1461	23.0	45.5	327+
G 122	30	63	1112	17.6	34.0	8
G 4965	32	60	594	9.9	21.1	-315
G 2923	30	60	1222	20.3	40.7	344+
G 3017	29	59	890	15.4	30.0	116
G 3255	31	59	372	6.5	13.4	-394
G 2883	27	52	263	4.9	10.4	-1

* Genotipos seleccionados con base en rendimiento por día mayor que 25 kg ha día

x Genotipos seleccionados con base en rendimiento en llenado de vainas mayor que 50 kg ha * día x.

+ Genotipos seleccionados con base en la desviación de la regresión mayor que 200 kg ha .

Figuras

- Fig. 1. Relación entre rendimiento y días a madurez para 42 genotipos cultivados en CIAT Palmira.
- Fig. 2. Relación entre rendimiento y días a madurez para 72 genotipos cultivados en CIAT Palmira. A. Rendimiento vs días a madurez. B. Distribución de precipitación durante estación de crecimiento.
- Fig. 3. Relación entre el coeficiente de regresión para rendimiento y días a madurez para 20 genotipos de IBYAN 1975.
- Fig. 4. Comparación de días a madurez de 25 genotipos de maduración temprana cultivados en Cotaxtla, Ver., México y en CIAT Palmira. Los símbolos N, I, y S indican respuesta al fotoperiodo: neutra al día, intermedia, y sensible como se describe en el Cuadro 1.
- Fig. 5. Relaciones entre rendimiento y días a madurez que ilustran el sesgo introducido al usar rendimiento por día como criterio de selección. La línea corresponde a un rendimiento constante por día de $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Los datos son de 42 genotipos cultivados en CIAT Palmira.
- Fig. 6. Relación entre rendimiento y días a madurez que ilustra el sesgo introducido al usar rendimiento por día como criterio de selección. Las líneas corresponden a un rendimiento constante por día según se indicó. Los datos son de 16 genotipos cultivados en CIAT Palmira en dos semestres de 1985, y son del trabajo de Rodríguez (1986). A. Semestre A. B. Semestre B.
- Fig. 7. Relación entre rendimiento y días a madurez que ilustra el sesgo introducido al usar rendimiento por día como criterio de selección. La línea corresponde a un rendimiento constante por día de $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Los datos son de 122 genotipos cultivados en Jutiapa, Guatemala según descritos por Masaya et al. (1988).

Figura 1. Relación entre rendimiento y días a madurez para 42 genotipos cultivados en CIAT Palmira.

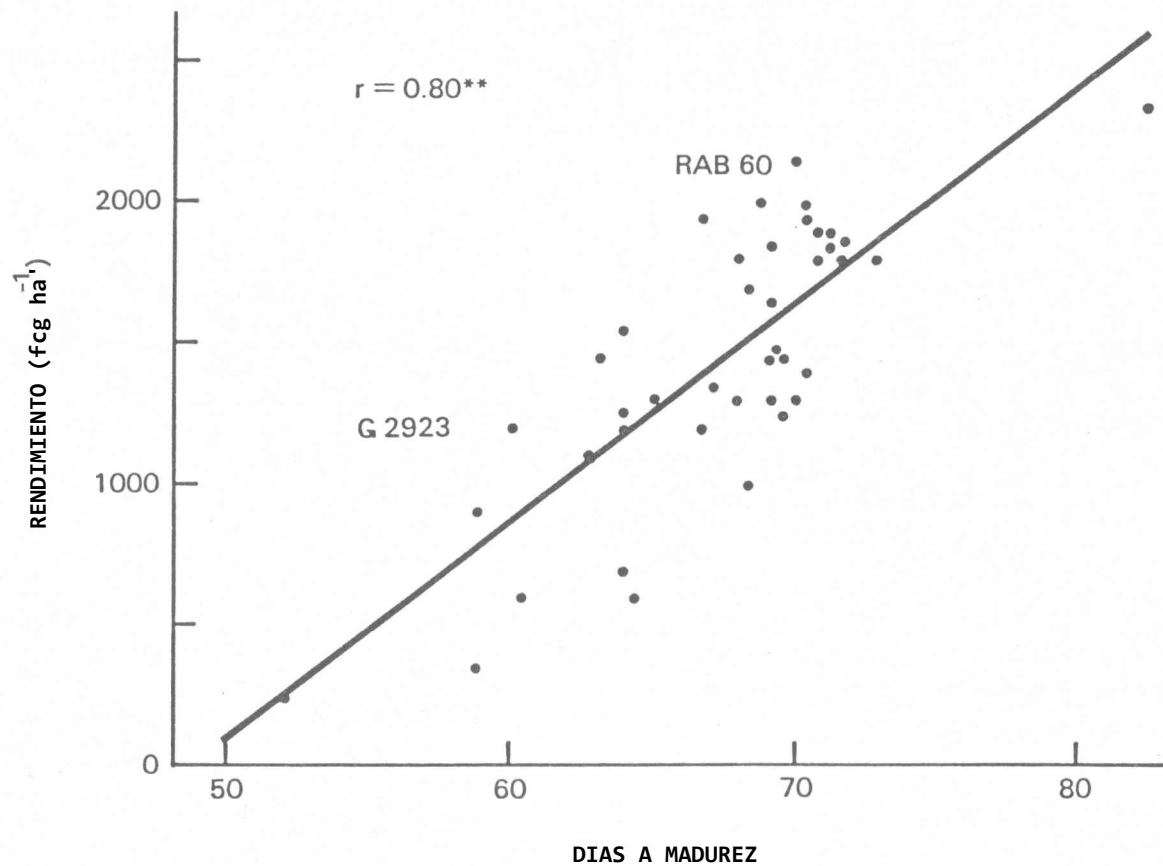


Figura 2A. Relación entre rendimiento y días a madurez para 72 genotipos cultivados en CIAT Palmira.

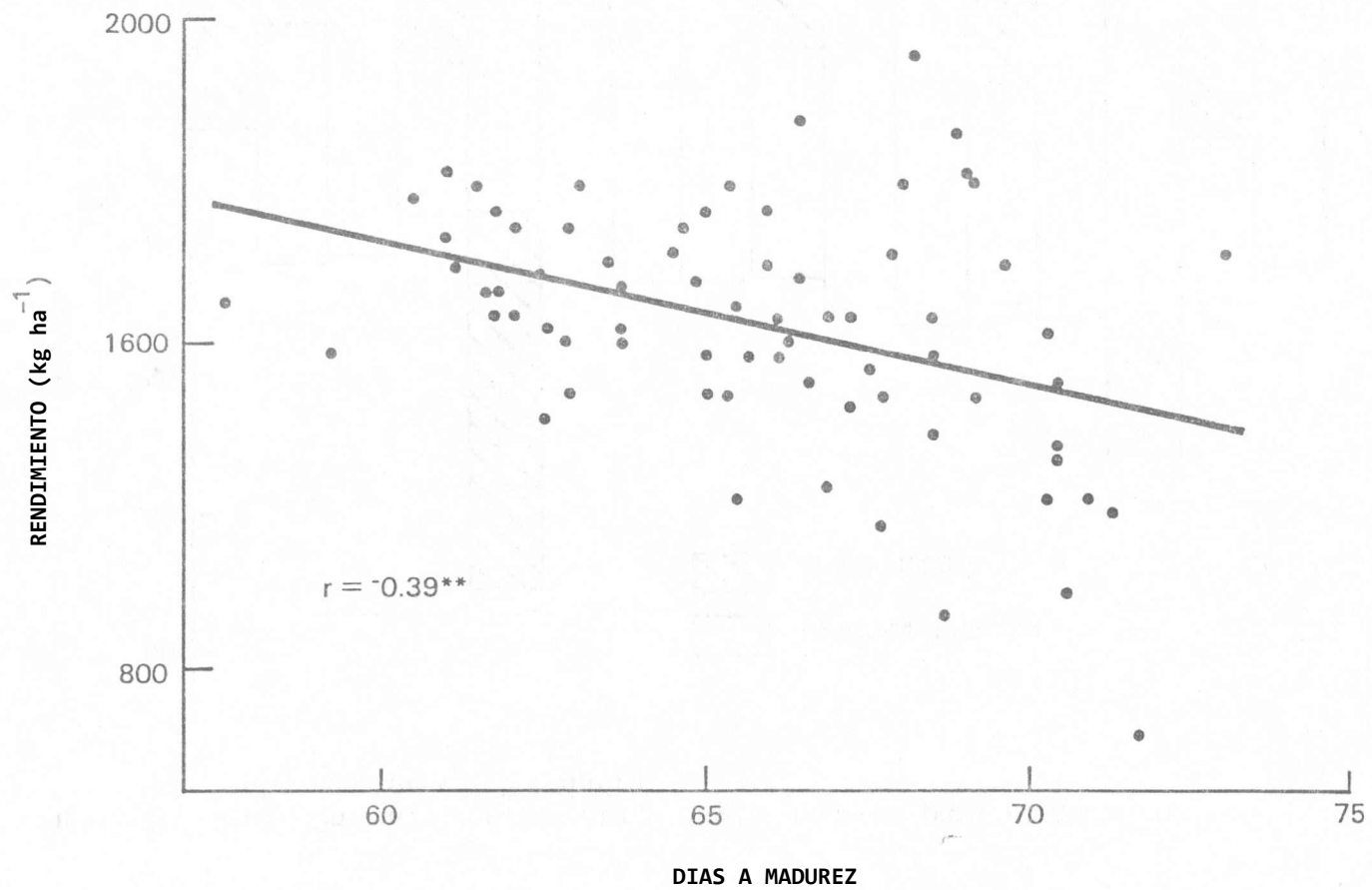


Figura 2B. Relación entre rendimiento y días a madurez para 72 genotipos cultivados en CIAT Palmira.

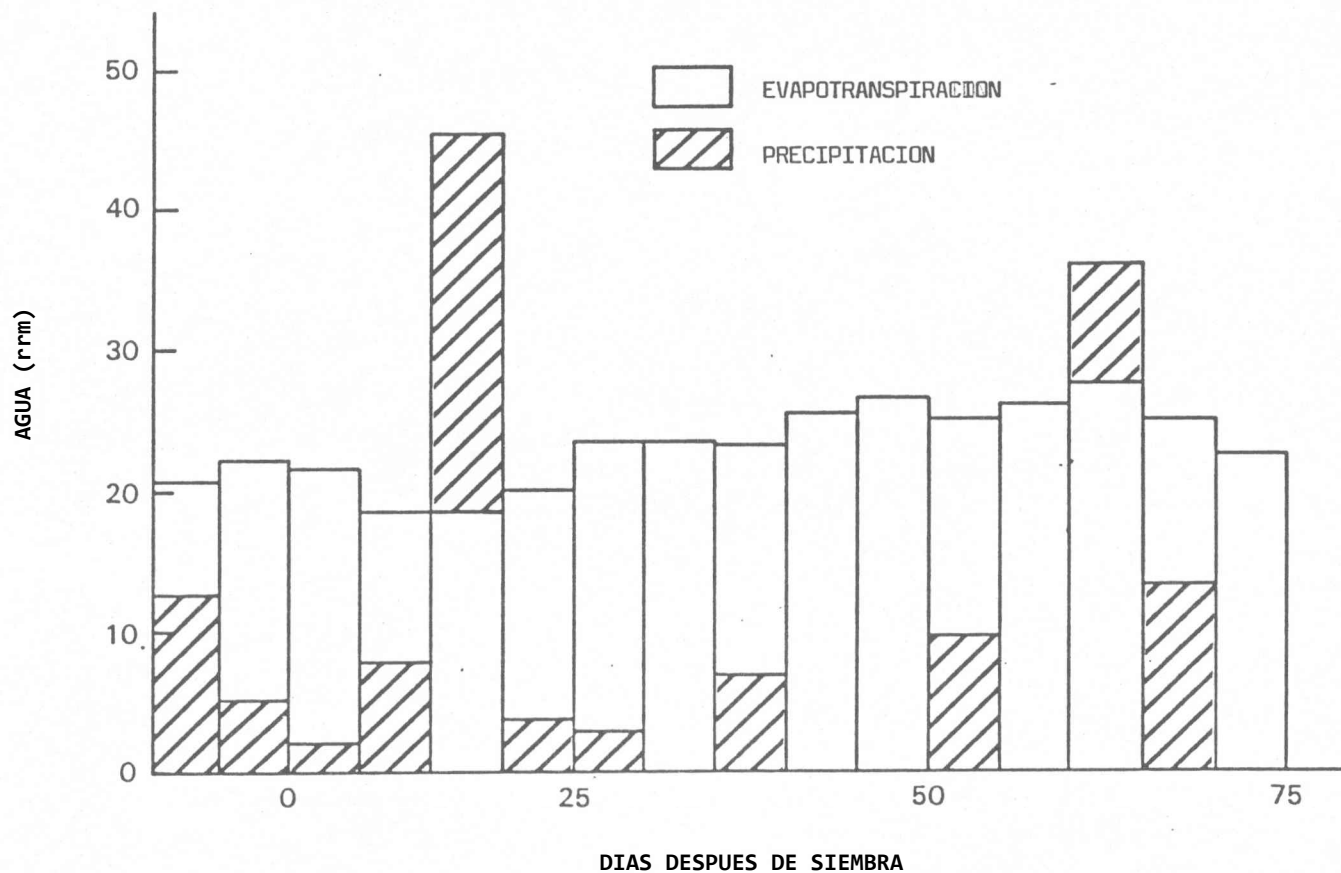


Figura 3. Relación entre el coeficiente de regresión para rendimiento y días a madurez para 20 genotipos de IBYAN 1975.

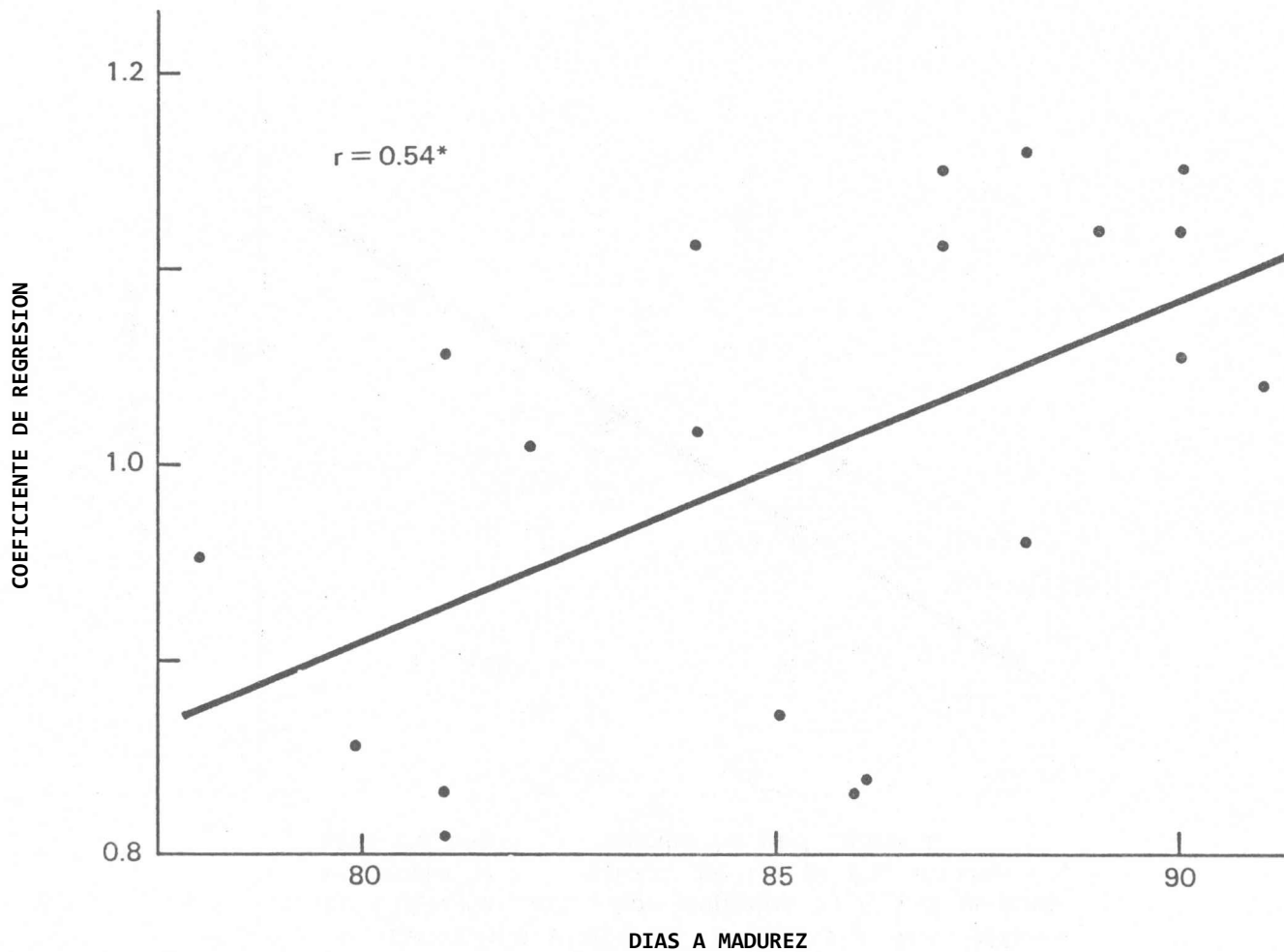


Figura 4. Comparación de días a madurez de 25 genotipos de maduración temprana en Cotaxtla, Ver., México y ...en CIAT Palmira. Los símbolos N, I, y S indican respuesta al fotoperíodo: neutra al día, intermedia, y sensible como se describe en el Cuadro 1.

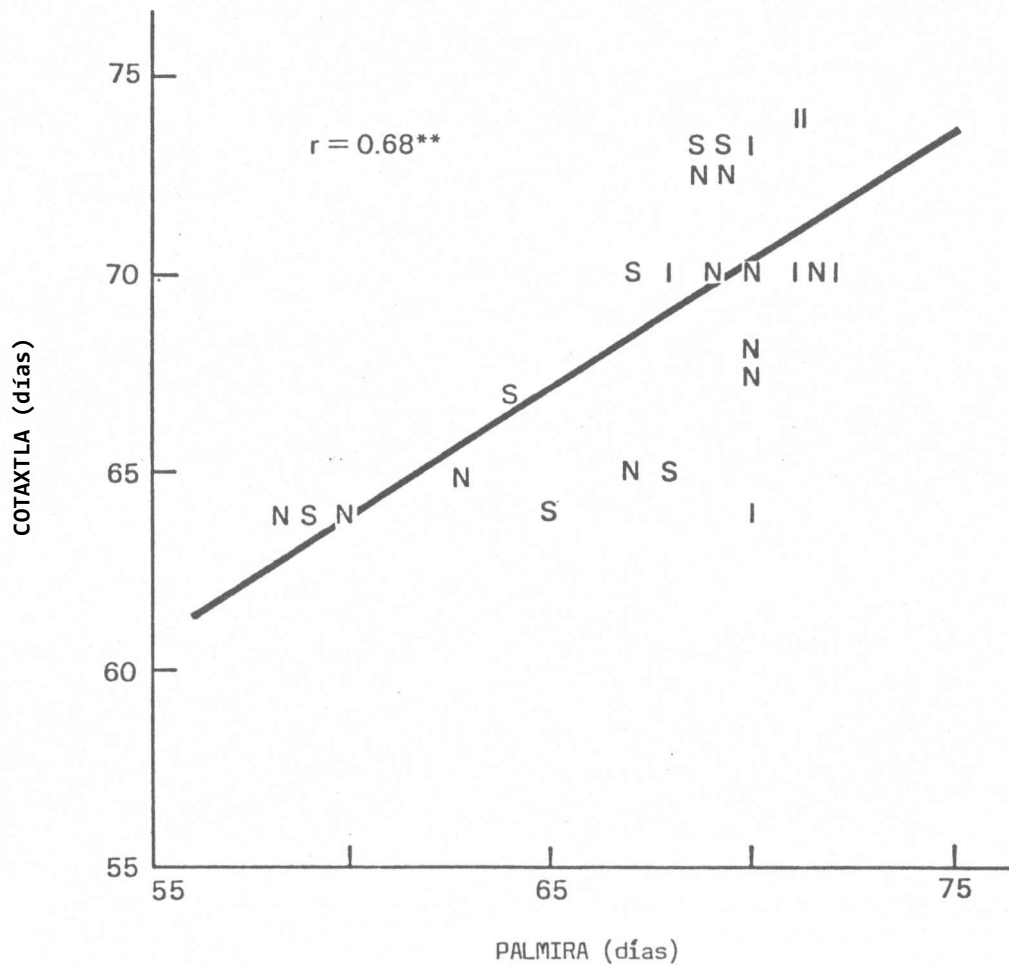


Figura 5. Relaciones entre rendimiento y días a madurez que ilustran el sesgo introducido al usar rendimiento por día como criterio de selección. La línea corresponde a un rendimiento constante por día de $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Los datos son de 42 genotipos cultivados en CIAT Palmira.

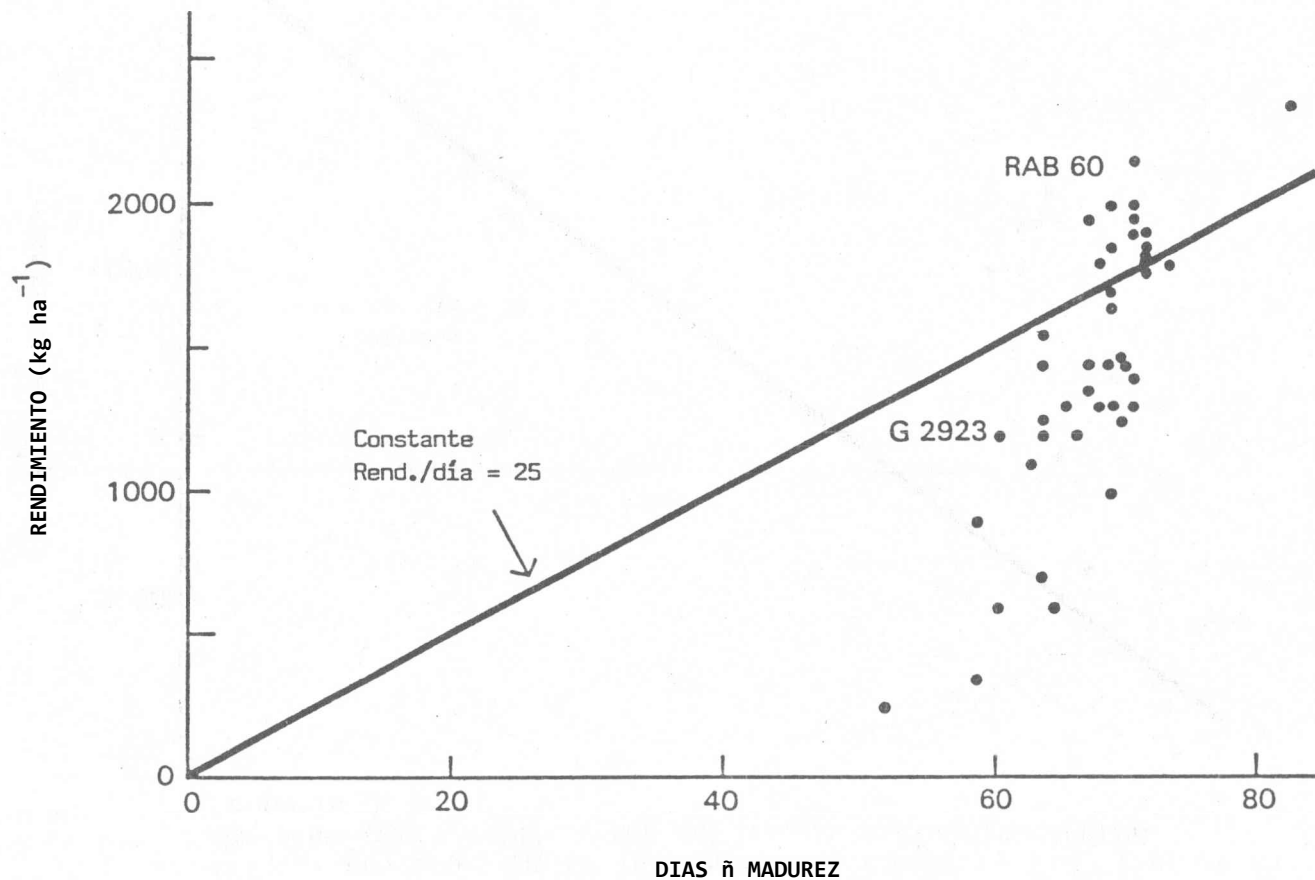
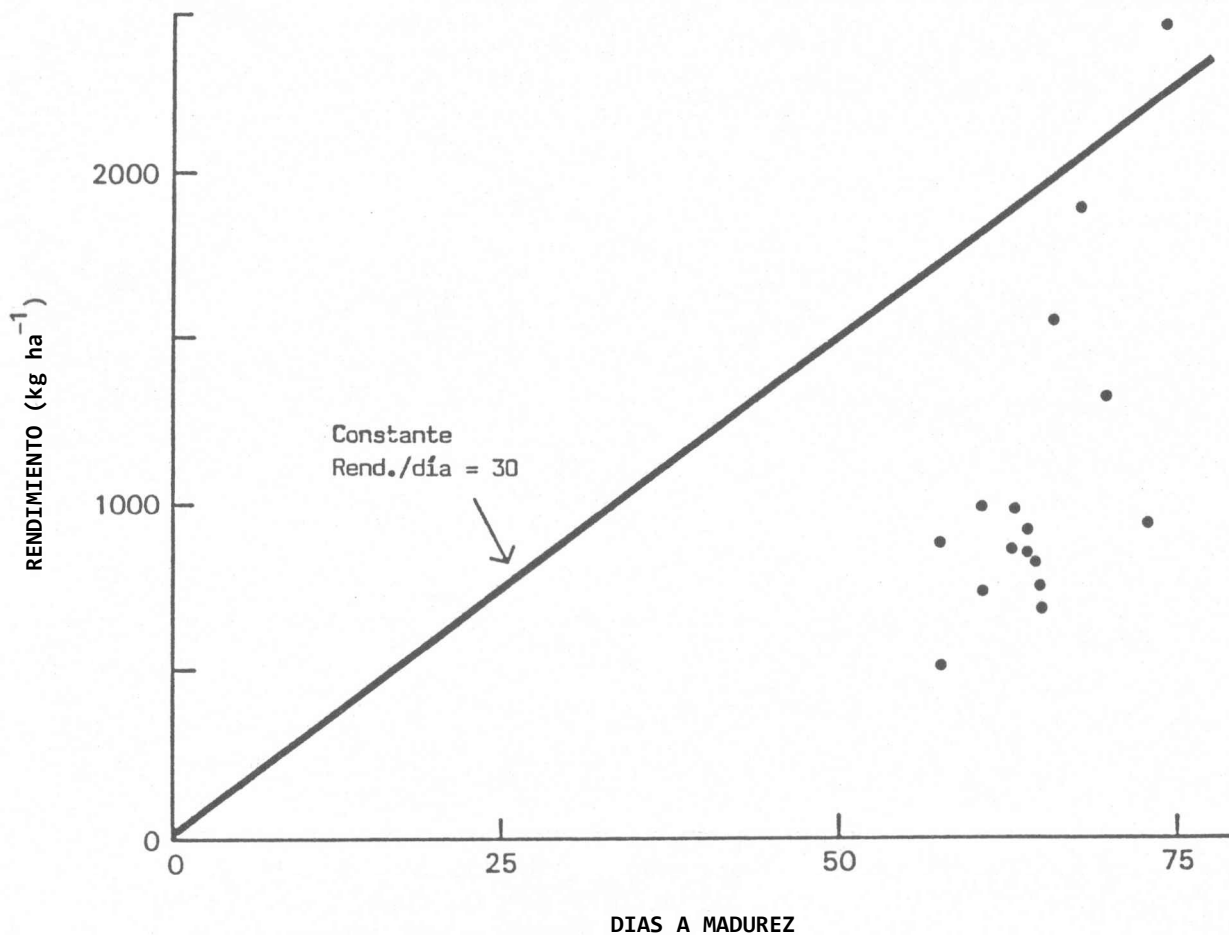


Figura 6A. Relación entre rendimiento y días a madurez que ilustra el sesgo introducido al usar rendimiento por día como criterio de selección. Las líneas corresponden a un rendimiento constante por día según se indicó. Los datos son de 16 genotipos cultivados en CIAT Palmira en dos semestres en 1985, y son del trabajo de Rodríguez (1986). Semestre A.



Ligura 6ts. Relación entre rendimiento y días a madurez que ilustra el sesgo introducido al usar rendimiento por día como criterio de selección. Las líneas corresponden a un rendimiento constante por día según se indicó. Los datos son de 16 genotipos cultivados en CIAT Palmira en dos semestres en 1985, y son del trabajo de Rodríguez (1986). Semestre B.

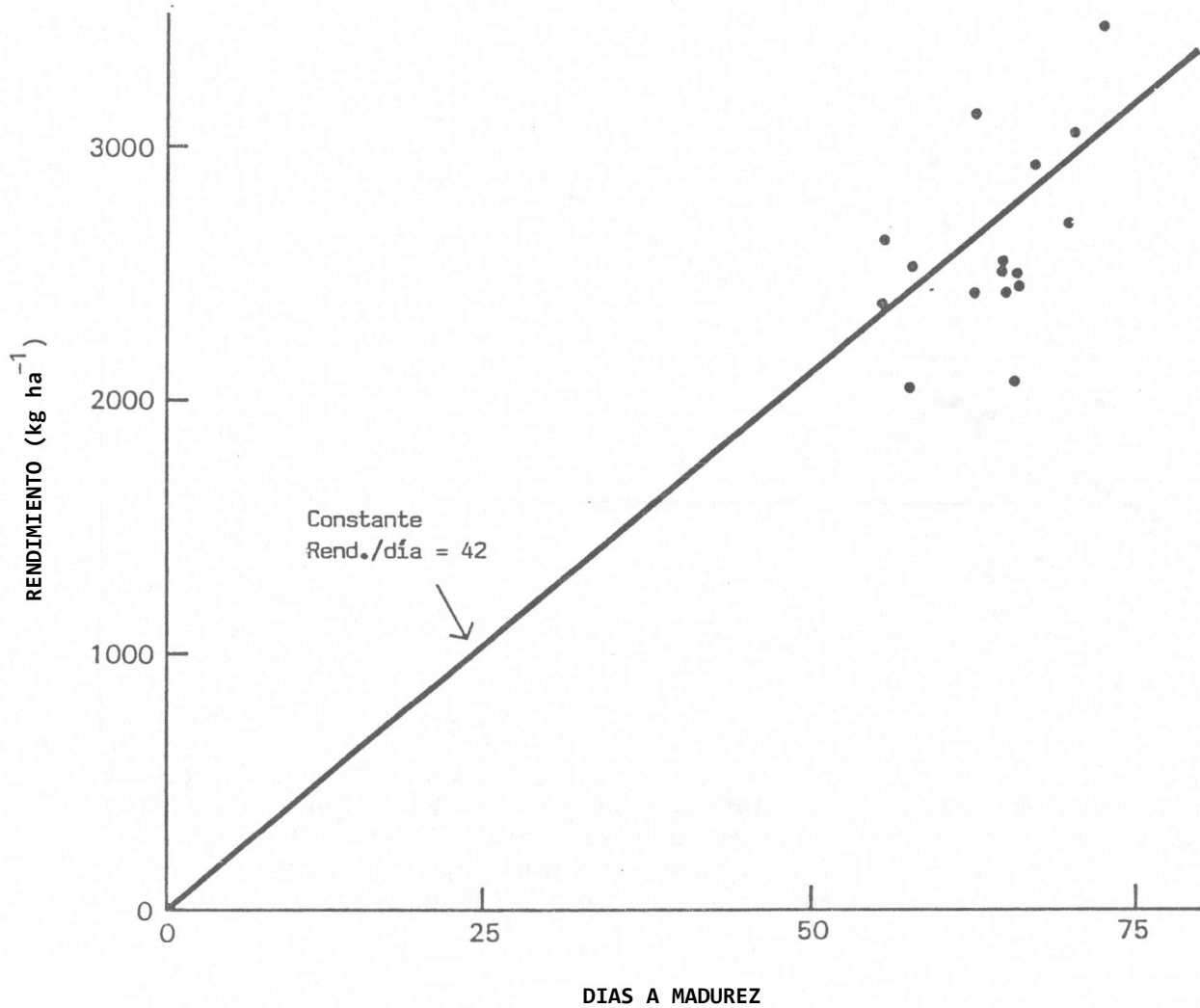


Figura 7. Relación entre rendimiento y días a madurez que ilustra el sesgo introducido al usar rendimiento por día como criterio de selección. La línea corresponde a un rendimiento constante por día de 20 kg ha' día⁻¹. Los datos son de 122 genotipos cultivados en Jutiapa, Guatemala según descritos por Masaya et al., (1988).

