

FUNCION DE LA ARQUITECTURA, FISILOGIA Y SELECCION RECURRENTE
EN EL MEJORAMIENTO GENETICO DE IDEOTIPOS DE FRIJOL POR RENDIMIENTO

M. W. ADAMAS Y J.D. KELLY

CROP AND SOIL SCIENCES DEPARTMENT

MICHIGAN STATE UNIVERSITY

EAST LANSING, MI 48824 USA

Según Donald (1968), el mejoramiento genético de ideotipos hace pensar que el fitomejorador concebirá una serie de características arquitectónicas - morfológicas en una planta de cultivo determinado, las cuales, en determinadas condiciones agroecológicas se esperaría que produjeran los máximos rendimientos. El ideotipo es un modelo de planta idealizado; no existe inicialmente excepto en la mente del fitomejorador.

En el mejoramiento genético de ideotipos, el fitomejorador se puede asemejar al arquitecto - constructor. Primero se debe concebir un diseño, luego se deben dibujar unos planos y finalmente se construye el edificio. Se espera que el edificio sea atractivo y funcional y además apropiado para el sitio y la comunidad donde está localizado.

En su uso actual, el mejoramiento genético de un ideotipo de rendimiento exige que el fitomejorador no solamente considere las características morfológicas - arquitectónicas, sino también los atributos fisiológicos del cultivo, y como el fitomejorador también es el "constructor", se exige entender la genética de las diversas características, sus interacciones entre sí y el ambiente y una estrategia para juntar las diferentes partes componentes en un solo genotipo. Este documento sigue esta pauta general.

Los críticos pueden cuestionar esta estrategia, prefiriendo el enfoque más tradicional de "cruzar lo mejor con lo mejor y seleccionar lo mejor". Aunque puede resultar algún progreso en rendimiento con base en este enfoque, consideramos que el procedimiento es más mecánico que creativo, puesto que no aprovecha lo que puede conocerse acerca de los determinantes morfológicos y fisiológicos del rendimiento. Por consiguiente, el mejor rendimiento alcanzable será inferior que aquel que es potencial en la especie como un todo, que si se explotara la información morfológica - fisiológica.

Ya se había identificado que los objetivos arquitectónicos fundamentales en el diseño del rendimiento de frijol eran (Adams, 1982):

1. una cubierta de hojas-tallo capaz de interceptar toda la luz incidente, absorbiendo, diseminando y transmitiendo la radiación fotosintéticamente activa a través del perfil de la planta;
2. construir la cubierta de tal manera que el perfil consistiera de cuantas unidades de fuente - sitio de almacenamiento (hojas, sección de entrenudos, nudos y racimos auxiliares) fuera posible y factible; y
3. hacer cada unidad tan funcionalmente eficiente como fuera posible mediante :
 - a. el ajuste de la relación fuente a sitio de almacenamiento para maximizar el número de vainas y de semillas y el tamaño individual de las semillas en relación con el tamaño foliar y
 - b. el despliegue de las hojas de tal manera que intercepten suficiente luz para lograr una alta tasa de fotosíntesis sin

11.
 cubrir severamente las hojas localizadas en la parte más baja de la planta o del perfil del cultivo.

Estos objetivos son lo suficientemente generales para cubrir ideotipos de planta para varias condiciones agroecológicas. En el caso del frijol blanco de semilla pequeña producido en monocultivo en condiciones óptimas de suelo y clima en el centro del continente Americano, hemos traducido estos objetivos en una serie específica de características arquitectónicas que llamamos un "arquetipo," y hemos proporcionado datos estadísticos que sustentan al arquetipo como un ideotipo de alto rendimiento (Adams, 1973, 1982). Con base en el modelo arquetipo se ha producido una serie de variedades de semilla blanca y negra de rendimiento superior (Cuadro 1) (Adams et al., 1986; Kelly et al., 1984).

Sin embargo, la arquitectura en si misma no garantiza un alto rendimiento. Las características morfo-arquitectónicas deben estar asociadas sin que ocurran fuertes relaciones adversas con el rendimiento, y, más aún, deben combinarse con atributos fisiológicos de cultivos que promuevan el rendimiento, los cuales fueron considerados en nuestros ideotipos anteriores, pero que ahora necesitan ser enunciados específicamente puesto que hay evidencia experimental para que sean incluidos en un programa de mejoramiento genético.

Es evidente que el rendimiento de semilla es la integración de la tasa de crecimiento de la semilla por unidad de área de tierra durante el período de tiempo del llenado de la semilla. Por consiguiente, parecería lógico incluir tanto a la tasa de crecimiento de la semilla (TCS) como la duración del llenado de la semilla (DLS) o el período efectivo de llenado (PEL) como

características del ideotipo, y seleccionar por estas características en el programa de mejoramiento genético. Pero primero es necesario preguntarse, hasta qué grado estas características en frijol se correlacionan con el rendimiento o cualquiera de los componentes del rendimiento, y cómo se correlacionan la una con la otra?

Estudiando 12 cultivares de frijol, variando el tipo de planta, el tipo de semilla, la madurez y el rendimiento, Paredes (1986) encontró diferencias significativas en la tasa de llenado de la semilla y en la duración del llenado de la semilla. Sin embargo, la tasa promedio de llenado presentó una correlación altamente negativa con el número de vainas/metro cuadrado, el número de semillas/vaina, el rendimiento de semilla, el biorendimiento y los días hasta la madurez fisiológica. Por el contrario, el período de llenado lineal (el principal componente del PEL) se correlacionó positivamente con esas mismas características. Claramente, la TCS y la DLS están inversamente relacionadas entre sí en los datos de Paredes (1986); al seleccionar por alta TCS, debería seleccionarse en forma secundaria por una menor duración del llenado. Izquierdo (1984) previamente había mostrado esta relación inversa en los dos cultivares, NEP-2 y Black Turtle Soup. Estas observaciones se basaron en el comportamiento de cultivares especialmente seleccionados y variedades liberadas, y no podía asumirse que las relaciones necesariamente prevalecerían en grandes poblaciones de líneas no seleccionadas. Sin embargo, no se encontraron excepciones a esta relación entre familias F3 y F4 producidas por la descendencia de semillas individuales proveniente del cruce NEP-2 por Black Turtle Soup (Adams, 1974, observación sin publicar).

Un trabajo reciente realizado por Salado-Navarro et al. (1986a) con soya, resume experimentos que, en general, presentan un panorama algo inconsistente en lo que respecta a la TCS y DLS en ese cultivo. Se pueden obtener altos rendimientos en variedades con bajas TCS, y las variedades con diferentes rendimientos podrían presentar TCS similares. Las variedades con rendimientos similares mostraron diferencias significativas en la TCS. Solamente fracciones pequeñas de la variación del rendimiento entre genotipos de soya cultivados en el campo al azar pudo ser explicada por una regresión lineal de estimados de la duración del llenado de la semilla. Sin embargo, en genotipos simulados, Salado-Navarro et al. (1986b) encontraron que el rendimiento más alto se obtuvo por un genotipo con la mayor biomasa al comienzo del crecimiento de la semilla, el mayor potencial de tasa de crecimiento de cultivo y el menor coeficiente de distribución de materia seca (CDMS; éste se define como la tasa de crecimiento lineal del índice de cosecha), lo cual resultó en una alta TCS y en la mayor duración del llenado de la semilla. Cuando el CDMS es alto, refleja una rápida extracción de asimilados de C y N de los órganos vegetativos y su transporte a las semillas, lo cual resulta en la senescencia temprana de hojas y una duración del llenado de la semilla fuertemente limitada. Cuando el período de llenado efectivo se determina en términos del peso final de la semilla dividido por la tasa de crecimiento de la semilla, es obvio que habrá una relación inversa entre la TCS y el PEL. Sinclair (en Salado-Navarro, et al., comunicación personal, 1986) considera que, en poblaciones no seleccionadas, donde existe variabilidad genética en la TCS y el PEL, habrá genotipos en los que estarán presentes altos niveles de ambos parámetros.

En los datos de Izquierdo (1981) sobre nueve cultivares de frijol, la duración del llenado efectivo se correlacionó positiva y significativamente con el número de semillas/vaina, el número de semillas/metro cuadrado y el rendimiento. La tasa lineal de llenado de la semilla presentó una correlación significativamente negativa con el número de semillas/vaina y una correlación negativa pero no significativa con el número de semillas/metro cuadrado y el rendimiento. Sin embargo, las entradas de mayor rendimiento fueron aquellas con los períodos más largos de llenado efectivo y con tasas de llenado lineales altas, pero no las más altas. Desde entonces, estos arquetipos del tipo II han sido liberados como cultivares comerciales en Michigan, donde continúan dando rendimientos 15 a 30 por ciento por encima del frijol blanco de crecimiento determinado estándar. Estas variedades y los arquetipos liberados posteriormente, no solo dan buenos rendimientos, sino que presentan superior estabilidad en su rendimiento a través de localidades y años (Cuadro 2).

Con base en la simple lógica y en la acumulación de evidencias experimentales, está claro que, además de las características morfo-arquitectónicas, deben considerarse ciertas características fisiológicas del cultivo en un ideotipo de alto rendimiento. Estas características incluyen las siguientes:

tasa de crecimiento de la semilla,

período más largo para el llenado efectivo,

biomasa al comienzo del llenado de la semilla y

un alto coeficiente de distribución o índice de cosecha.

Debe reconocerse que estas características no pueden ser genética o físicamente independientes de otras características, incluyendo las arquitectónicas. Una alta distribución sin una alta biomasa inicial no conducirá a altos rendimientos a menos que la producción de fotoasimilados durante el llenado de la semilla sea extraordinariamente alta.

Debe ser evidente en todas las consideraciones relacionadas con este tópico que puede haber numerosos caminos alternativos para alcanzar altos rendimientos. Sin embargo, los rendimientos más altos solamente serían posibles cuando todos los componentes se combinen a sus máximos niveles. Como esto puede ser imposible desde un punto de vista práctico por razones de interdependencia genética y/o de desarrollo, nosotros como fitomejoradores probablemente debemos batallar hacia la obtención de óptimos niveles de combinaciones en lugar de los máximos niveles.

Si éstos parámetros fisiológicos del cultivo han de utilizarse exitosamente por los fitomejoradores de frijol, deben ser heredables en el sentido genético aditivo y debe ser posible estimarlos en forma precisa en las poblaciones genéticas. En frijol, sólo hay disponible datos limitados sobre el grado de control genético. En un cruce dialélico de seis genotipos de frijol que diferían en tipo de planta, en tipo de semilla y características del llenado de la semilla, Paredes (1986) mostró que los efectos generales de habilidad combinatoria eran significativos y predominantes para la duración total del llenado, la duración lineal del llenado, la tasa media de llenado y el peso de la semilla. La varianza de la habilidad combinatoria general en la tasa lineal de llenado no llegó a ser significativa en sus datos debido al gran error asociado a su

estimativo. Entre los seis genotipos parentales estudiados por Paredes, la entrada de semilla grande, Harris Great Northern, mostró el efecto combinatorio general positivo más grande para la tasa de llenado de la semilla.

Con base en esta evidencia escasa en frijol, pero consistente con evidencias de otros cultivos de grano, tentativamente se puede concluir que se puede esperar un control genético aditivo para estas características del llenado de la semilla. También se sabe que la biomasa a la floración y el índice de cosecha son moderadamente heredables.

El principal problema relacionado con su uso en un programa de selección se deriva de la facilidad -- o falta de facilidad -- para estimar los valores métricos de las características. Es suficiente decir, sin discutir el punto, que para obtener estimativos confiables, se requerirán datos de parcelas repetidas en generaciones avanzadas de un cruce. Los estimativos basados en plantas individuales sin repeticiones serán prácticamente inútiles para estas características.

En un programa de mejoramiento genético diseñado para combinar en un solo genotipo numerosas características con diferentes patrones de herencia genética provenientes de diversas fuentes genéticas, los procedimientos tradicionales del fitomejoramiento para mejorar cultivos autopolinizados son limitados. Existen ciertos defectos básicos obvios en el sistema convencional y repetitivo de ciclaje de pedigrí de un cruce de dos progenitores, comúnmente utilizado en el mejoramiento de cultivos autopolinizados. La principal limitación es que la variabilidad genética y el potencial de recombinación son bajos debido al banco de genes

inicialmente restringido y al proceso de autopolinización que limita la recombinación genética. Si se prefiere un reordenamiento completo de genes parentales, solo hay una escasa oportunidad para que ello ocurra en la fertilización. En virtud de que los sistemas más comunes de mejoramiento de cultivos autopolinizados, tales como los procedimientos de selección masal, de pedigrí y masal modificado (descendencia de semillas individuales), no permiten una recombinación genética adecuada, Jensen (1970) propuso el sistema dialélico de apareamiento selectivo (DSM). Como el sistema DSM involucra el cruce de individuos F1 y F2 sin la selección de características objetivo, Bos (1977) lo comparó con el efecto del cruce de plantas F2 al azar, el cual mostró que era negativo en la generación F3. Pederson (1974) mostró que los cruces dentro de una población F2 a partir de un cruce de dos progenitores homocigotos solamente será beneficioso para dos locus si los alelos están inicialmente ligados en la fase de repulsión. Si los locus están dispersos en tres o más cromosomas, entonces la ganancia esperada del cruce es consistentemente pequeña. Hanson (1959) indicó que la recombinación podría acelerarse mediante una ronda inicial de cruces comenzando en la generación F2 y, de un estudio sobre la ruptura de los bloques de ligamiento, concluyó que un programa de mejoramiento genético de especies autopolinizadas debería incluir por lo menos una y preferiblemente tres o cuatro generaciones de cruces, si fuera factible. En soya se han utilizado otras estrategias para mejorar la recombinación genética en cultivos autopolinizados; Thorne y Fehr (1970) mostraron que la varianza genética del rendimiento en poblaciones de tres vías fue mayor que en poblaciones de dos vías. El cruce de tres vías produjo un mayor número de líneas superiores en términos de rendimiento y constituyó una mejor manera

para introducir germoplasma exótico en cultivares de soya. Sullivan y Bliss (1983) utilizaron otros sistemas tales como la selección masal recurrente que debería favorecer la recombinación genética, para aumentar simultáneamente el rendimiento de la semilla y el contenido de proteína de la semilla en frijol. Después de dos ciclos de selección, el contenido de proteína de la semilla se logró aumentar, pero los rendimientos de semilla no. Sullivan propuso el uso de un índice de selección para la característica de rendimiento de semilla, pero el estudio fue limitado por el tamaño pequeño de las poblaciones y el número limitado de ciclos examinados. Ferh y Ortiz (1975) utilizaron la selección recurrente por rendimiento en soya y mostraron que la selección en S1 era más eficiente, asumiendo que las pruebas de S1 por rendimiento se basen en un ciclo por año, en tanto que las pruebas S4 requerirían dos años. Compton (1968) propuso un sistema de selección recurrente en cultivos autopolinizados, el cual minimizaría los cruces, avanzando solamente los descendientes de una F1 diferente en lugar de diferentes plantas F2 dentro de una F1. La limitación de muchos esquemas de selección recurrente por rendimiento es el requerimiento de una colección elaborada de datos si se utilizan índices de selección o cuando se practica la selección S1 para el rendimiento. Este último procedimiento de selección exige el uso de numerosas parcelas de siembra por sitios y arreglos de siembra en parcelas por sitio, las cuales no se pueden mecanizar fácilmente. La gran cantidad de tiempo que consume la siembra y la colección de datos reduce el tamaño y el número de la población que puede manejarse efectivamente y, por consiguiente, reduce la eficiencia del sistema.

Las evidencias del programa de mejoramiento genético en la Universidad de Michigan (Figura) con frijol de semilla pequeña, indican que el arquetipo ofrece la combinación más favorable de características positivamente asociadas con rendimiento, sugiriendo que la estrategia obvia para el mejoramiento del rendimiento en otros tipos de semilla (Kelly et al., 1987) sería el desarrollo de arquetipos en las diferentes clases comerciales. Como el componente arquitectónico del complejo de rendimiento es altamente heredable y altamente visible, es obvia su elección como la característica más favorable a ser seleccionada en una población segregante. Por consiguiente, la mejor oportunidad de eficiencia la ofrece un sistema de selección recurrente fenotípica (SRF), donde los individuos recombinantes pueden identificarse fácilmente en poblaciones grandes, seleccionarse en la generación S1 y cruzarse como individuos S2, permitiendo un ciclo por año. La ventaja de cruzar plantas S2 es que los alelos no son homocigotos en todos los locus y, por lo tanto, permiten más recombinación genética que el cruce de líneas homocigotas en todos los locus. Esto tiene la desventaja de que el fenotipo seleccionado en plantas individuales no refleja en forma exacta un genotipo superior para su uso en cruces de individuos S2 para el establecimiento del siguiente ciclo. Este es el caso particular para las características fisiológicas, si el fitomejorador intentara seleccionar por ellas en forma independiente e individual. En nuestro programa de selección de arquetipos y genotipos de semilla pequeña, las combinaciones favorables de características fisiológicas parecieron estar asociadas con la arquitectura deseada, con el resultado de que la selección por forma arquitectónica alcanzó simultáneamente niveles aceptables para las características fisiológicas.

El éxito del sistema de SRF dependerá de la capacidad para hacer suficientes cruces con el potencial reproductivo de producir grandes poblaciones recombinantes. Será crucial que los genes deseados, inicialmente retenidos en ligamientos desfavorables, sean liberados mediante recombinación y reestructurados en asociaciones génicas que promuevan los niveles de comportamiento genotípico buscados en el ideotipo. Este proceso será auxiliado por el cruce de individuos S2, pero lo que es más importante, dependerá de la naturaleza de la homología genética entre las fuentes originales de germoplasma. Singh y Gutierrez (1984) han identificado una aparente incompatibilidad entre las fuentes de germoplasma de semilla pequeña y mediana y el germoplasma de semilla grande, la cual está controlada por dos genes dominantes complementarios. Los genes han estado implicados en la limitación de una libre recombinación genética entre las dos fuentes de germoplasma y afectarían seriamente a un sistema de mejoramiento genético diseñado para maximizar la recombinación genética. Gepts y Bliss (1985) han demostrado que existen múltiples regiones de domesticación de frijol y han catalogado las diversas regiones utilizando como marcador genético la principal proteína de almacenamiento del frijol: la faseolina. El frijol del centro mexicano muestra un patrón de bandas del tipo Sanilac (tipo S), en tanto que las líneas provenientes del centro andino producen un patrón de bandas del tipo Tendergreen (tipo T) utilizando electroforesis en gel de disco. Todos los informes en la literatura indican que la letalidad genética en híbridos de frijol ocurre cuando se hacen cruces entre líneas de diferentes centros de origen que despliegan marcadores de proteína ya sea del tipo S o del tipo T. La falta de total compatibilidad entre progenitores de diversos centros de

domesticación podría afectar adversamente el resultado de un sistema donde se necesita obtener una recombinación genética libre. Nienhuis y Singh (1986) indicaron que muchos de los cultivares de alto rendimiento y semilla pequeña provenientes de América Central tienen habilidad combinatoria general negativa para el rendimiento en combinaciones con germoplasma de semilla grande. Además de la incompatibilidad genética y la debilidad de los híbridos F₁ en muchos cruces entre estas clases, el CIAT ha encontrado dificultades en desarrollar tipos de semilla grande con alta capacidad de rendimiento (Research Constraints at International Agricultural Research Centers, 1986). El origen y comportamiento de las dos clases de tamaño de semilla indican la posibilidad de que existan diferencias cromosómicas estructurales entre los dos tipos, las cuales limitan la asociación al azar de características útiles, distintas al estrecho intercambio genético posible mediante un programa rígido de retrocruzamientos. En virtud de que una falta de homología entre los arquetipos de alto rendimiento y semilla pequeña y las clases de semilla grande parece resultar en recombinaciones genéticas desfavorables, solamente un sistema organizado de mejoramiento cíclico ofrece la oportunidad de permitir intercambios genéticos adecuados al azar.

En conclusión, se llega a un punto donde es deseable fundir bancos de genes divergentes con el fin de ampliar el rango de variabilidad genética e introducir efectos genéticos particulares en especies de cultivo autopolinizadas. En dichos casos es muy factible encontrar barreras de ligamiento. Mather (1973) planteó la hipótesis de que el ordenamiento y la recombinación a largo plazo mediante la selección dentro de un banco de genes determinado, dará origen a bloques de genes específicos adaptados e

integrados funcionalmente o "balanceados". Si diferentes bancos de genes han estado genéticamente aislados por un período de tiempo prolongado, formarán bloques de genes cualitativamente diferentes y relacionadamente balanceados. Cuando dichos bancos de genes divergentes se funden mediante cruzamiento, el fitomejorador inicialmente debe esperar encontrar un "congelamiento en el ligamiento" ante la recombinación libre y al azar de efectos regulados por genes en los segmentos de ligamiento integrados. En generaciones posteriores de cruzamientos y selección, los efectos ligados deberán reordenarse en combinaciones nuevas, entre las cuales algunas serán favorables en un sentido de selección. La experiencia de la Universidad de Michigan (Kelly y Adams, 1987) con los componentes arquitectónicos asociados con el tipo de planta II y los factores del tamaño de la semilla asociados con el banco de genes pinto del tipo III, es consistente con estas expectativas. Es interesante observar que los factores cualitativos como los genes del color y el moteado de la semilla, se recombinaron libremente en las primeras generaciones segregantes, pero los principales genes que afectan la arquitectura y el tamaño de la semilla no se recombinaron sino hasta el tercer ciclo de selección recurrente.

Antes de iniciar un proceso de cruzamiento y selección, un fitomejorador rara vez posee la información de la organización genética de los efectos que se desean en bancos de genes divergentes. Particularmente, vale la pena anotar que el sistema de selección recurrente genotípica, tal como se describió en este caso, ha probado ser efectiva, con el tiempo, en romper y reorganizar un pequeño número de bloques de ligamiento funcionalmente integrados. Los arquetipos pinto de semilla mediana resultantes de nuestro programa (Kelly y Adams, 1987) ahora pueden utilizarse como fuente para el

mejoramiento de características arquitectónicas de otras clases comerciales de semilla de tamaño mediano tales como great northern, rosado, red mexicans, canario y bayo. La naturaleza altamente heredable del bloque de supergenes arquitectónicos debe permitir la recuperación fácil de estas características sin los problemas asociados de ligamiento con el tamaño de semilla pequeña.

Cuadro 1. Características de color y tamaño de la semilla, hábito de crecimiento y centro de domesticación de 28 cultivares de frijol representativos de siete clases comerciales de semilla.

Cultivar	Clase de semilla comercial	Color de la cubierta de semilla	Peso de 100 Semillas (g)	Hábito de crecimiento	Centro de domesticación
Seafarer	Navy	White	20	I	Meso-American
Midland	Navy	White	18	I	Meso-American
Wesland	Navy	White	20	I	Meso-American
Fleetwood	Navy	White	19	I	Meso-American
Laker	Navy	White	20	I	Meso-American
Bunsi	Navy	White	20	II	Meso-American
C-20	Navy	White	20	II	Meso-American
Swan Valley	Navy	White	19	II	Meso-American
Neptune	Navy	White	19	II	Meso-American
Aurora	Small White	White	16	II	Meso-American
Midnight	Black	Black	20	II	Meso-American
Domino	Black	Black	20	II	Meso-American
Black Magic	Black	Black	20	II	Meso-American
T-39	Black	Black	20	II	Meso-American
Black Beauty	Black	Black	20	II	Meso-American
Montcalm	Kidney	Dark Red	52	I	Andean
Charlevoix	Kidney	Dark Red	52	I	Andean
Isabella	Kidney	Light Red	52	I	Andean
Redcloud	Kidney	Light Red	52	I	Andean
Sacramento	Kidney	Light Red	52	I	Andean
Linden	Kidney	Light Red	53	I	Andean
Taylor Hort	Cranberry	Red Mottled	49	I	Andean
Cran-028	Cranberry	Red Mottled	45	I	Andean
Michicran	Cranberry	Red Mottled	50	III	Andean
Ouray	Pinto	Brown Mottled	40	I	Meso-American
Olathe	Pinto	Brown Mottled	40	III	Meso-American
Pindak	Pinto	Brown Mottled	39	III	Meso-American
Rufus	Red Mexican	Red	35	III	Meso-American
Navy=Blanco	White=Blanco				Meso-americano
Navy=Blanco pequeño	Black=Negro	Dark Red=Rojo oscuro			Andino
Black=Negro	Light Red=Rojo claro	Red Mottled=Rojo moteado			
	Brown Mottled=Marrón moteado	Red= Rojo			

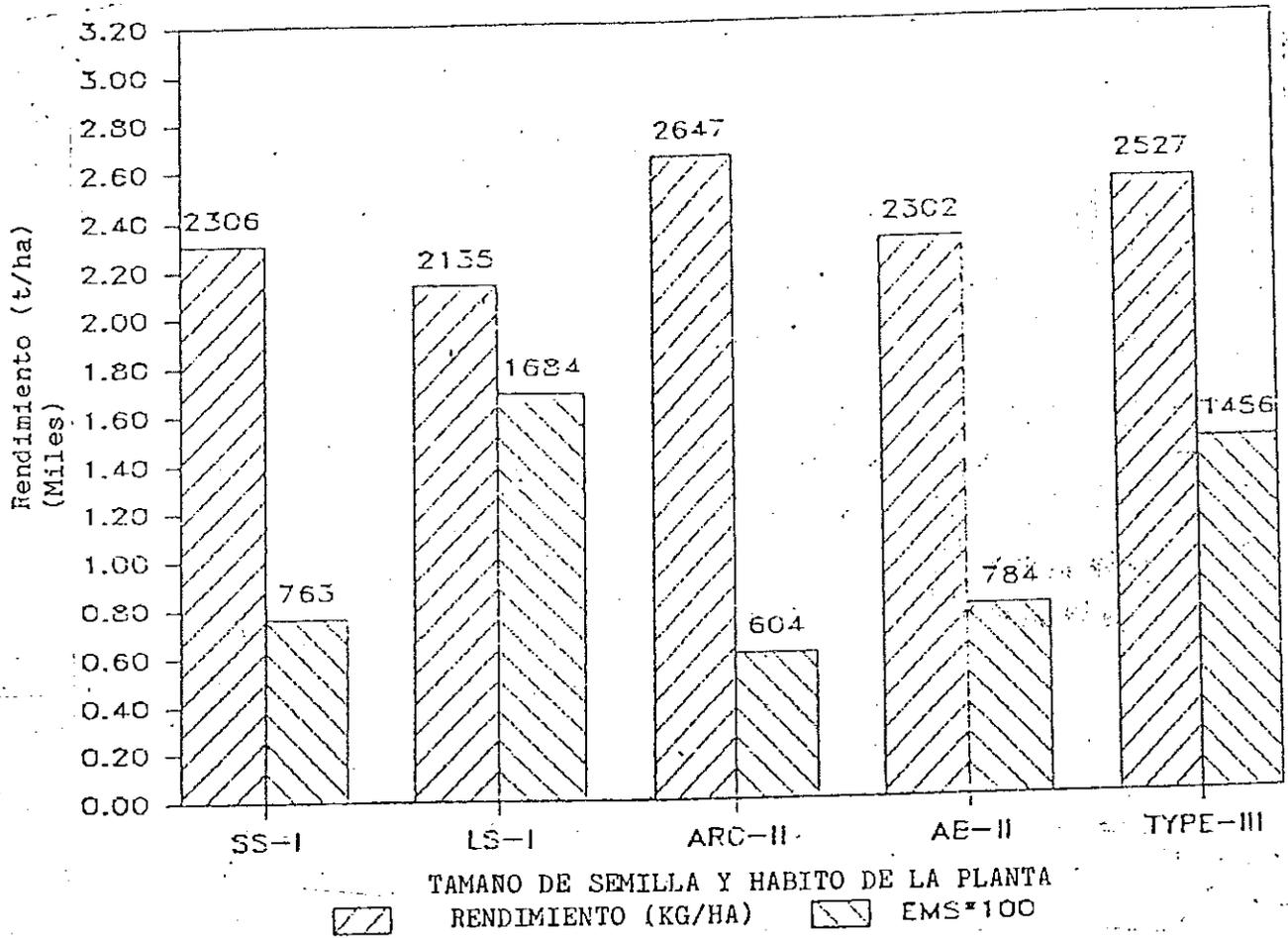
* Hábito de crecimiento I = determinado, II = tallo corto erecto indeterminado y III = tallo largo, postrado e indeterminado, Singh (1982).

Cuadro 2. Días hasta la madurez, rendimiento medio de semilla, coeficiente de regresión, error estándar, desviación de los cuadrados de la media y coeficiente de determinación de 28 cultivares de frijol en 42 ensayos realizados en Michigan durante 1980-1985.

Cultivar	Días a la madurez	Rendimiento de semilla (kg/ha)	$b \pm s_b$	s_d^2	r^2
Seafarer	85	2004	0.93 ± 0.082	56537	0.79
Midland	89	2168	1.01 ± 0.077	46897	0.84
Wesland	94	2336	1.03 ± 0.098	68256	0.79
Fleetwood	97	2530	0.84 ± 0.102	88261	0.66
Laker	104	2494	1.00 ± 0.128	121670	0.67
Bunsi	95	2472	0.85 ± 0.120	102998	0.62
C-20	98	2734	1.06 ± 0.096	74181	0.78
Swan Valley	105	2538	$1.27 \pm 0.103^*$	76073	0.83
Neptune	102	2572	$1.35 \pm 0.105^{**}$	62224	0.89
Aurora	93	2131	$0.69 \pm 0.082^{**}$	53899	0.68
Midnight	97	2717	$1.18 \pm 0.078^*$	56964	0.86
Domino	97	2695	$1.20 \pm 0.071^{**}$	45632	0.89
Black Magic	97	2729	$1.27 \pm 0.074^{**}$	29461	0.94
T-39	93	2598	1.07 ± 0.090	62546	0.81
Black Beauty	100	2593	$1.25 \pm 0.115^*$	75787	0.84
Montcalm	96	2095	0.82 ± 0.114	114527	0.60
Charlevoix	96	2184	0.96 ± 0.106	99652	0.71
Isabella	86	2148	0.87 ± 0.202	211549	0.46
Redcloud	88	1990	0.94 ± 0.183	212024	0.48
Sacramento	84	1938	0.78 ± 0.185	271535	0.36
Linden	105	2165	0.79 ± 0.211	211847	0.39
Taylor Hort	85	2136	1.02 ± 0.135	142291	0.66
Cran-028	99	2445	0.76 ± 0.193	152005	0.48
Michicran	99	2199	0.88 ± 0.115	113569	0.62
Ouray	85	2116	0.84 ± 0.143	100064	0.60
Olathe	88	2537	0.99 ± 0.121	114152	0.69
Pindak	90	2734	1.23 ± 0.116	84265	0.82
Rufus	97	2638	0.93 ± 0.216	270596	0.42
Media		2380			

*, ** Significativamente diferentes de $b=1.0$ a niveles de 0.05 y 0.01, respectivamente.

RENDIMIENTO Y PARAMETROS DE ESTABILIDAD
COMPARACION DE 28 GENOTIPOS DE FRIJOL



SS-I = Semilla pequeña, Tipo I, LS-I = Semilla grande Tipo I; ARC-II = Arquetipo II; AB-II = Aurora, Bunsí, Tipo II; Type III = Semilla mediana, Tipo III.