PAPEL DE COMPONENTES DEL RENDIMIENTO, CORRELACIONES Y SUS IMPLICACIONES EN EL MEJORAMIENTO GENETICO DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*, L.)*

Sathyanarayanaiah Kuruvadi[1]
Héctor M. Cortinas Escobar[2]

RESUMEN

Se evaluaron 20 genotipos de frijol bajo un diseño de bloques al azar, durante 1983 y 1984, en el Campo Agrícola Experimental Auxiliar El Tapón, Tamaulipas, con el objetivo de estudiar la variabilidad para componentes del rendimiento, parámetros genéticos y correlaciones, así como sus implicaciones en el programa de selección y en el desarrollo de un eficiente programa de mejoramiento genético de frijol.

El análisis de varianza para rendimiento de grano, por hectárea, por planta, vainas por planta, semillas por vaina, peso de 100 semillas, altura y días a 50% de floración, indica diferencias significativas en ambos experimentos. Los genotipos S-17-RB, Adjuntas-21, S-18-RB, Agrarista, Mulato y Fe-30-RB, fueron sobresalientes para rendimiento y sus componentes. El rendimiento se correlacionó positivamente con vainas por planta, semillas por vaina y días a floración. Se registraron altos valores de heredabilidad en sentido amplio para todas las características estudiadas. Los fitomejoradores pueden utilizar 3 características: vainas por planta, semillas por vaina y peso de 100 semillas, individualmente o en forma conjunta, para identificar genotipos superiores en un programa de mejoramiento de frijol.

1 Ph.D. Maestro Investigador del Depto. de Fitomejoramiento, Div. de Agronomía, UAAAN.

2 Ing. M.C. Actualmente Investigador del Programa de Frijol del Campo Agrícola Experimental Río Bravo, CIAGON, INIA, Tamaulipas.

* Trabajo de tesis presentado para obtener el grado de M.C. de 2.

Se recomienda hacer entrecruzamientos en poblaciones segregantes para romper ligamientos desfavorables entre componentes del rendimiento, y generar nueva variabilidad para la selección.

INTRODUCCION

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo cuyo grano rico en proteínas, ha jugado un papel importante en la alimentación del hombre, desde su domesticación hasta la fecha. Actualmente su cultivo está distribuido en todo el planeta, incluyendo América, Europa, Asia y Africa, y se cultiva en climas diversos, desde el nivel del mar hasta alturas superiores a los 2 200 msnm, que van desde templados hasta tropicales, y de áridos a húmedos.

De acuerdo con Denis y Adams (1978), el rendimiento actual de las variedades de frijol es bajo, si se compara con el de la mayoría de los otros cultivos. Aun cuando se han obtenido avances en otros aspectos, no ha sidó posible mejorar marcadamente el rendimiento de las leguminosas de grano.

Sathyanarayanaiah y Cortinas (1986), mencionaron que el rendimiento es el producto de multiplicación de sus componentes, tales como: vainas por planta, semillas por vaina y peso de 100 semillas. Los componentes del rendimiento son independientes uno del otro, y contribuye directamente al total potencial del rendimiento de la planta. Rendimiento es un carácter muy complejo controlado por poligenes del núcleo y genes de citoplasma, con una cadena de eventos interrelacionados de diferentes funciones fisiológicas e interacción con medio ambiente. El rendimiento por si mismo, no es el mejor criterio de selección, debido a su baja heredabilidad y alta interacción con el medio ambiente; por lo tanto, el rendimiento hay que mejorarlo a través de sus componentes. Para mejorar componentes de rendimiento del cultivo, se debe estudiar: acción de poligenes, correlaciones, coeficiente de sendero, parámetros genéticos, ganancia genética y sus interrelaciones, a través de diferentes generaciones y localidades, para formular un esquema de mejoramiento.

Diversos investigadores (Krarup y Davis, 1970; Sarafi, 1978, y Rocha, 1984) han estudiado la variabilidad existente para los componentes del rendimiento en variedades de frijol; sin embargo, es escasa la información que existe sobre interrelaciones entre componentes del rendimiento, parámetros genéticos y correlaciones de los genotipos de frijol, que actualmente se están mejorando en los programas de fitomejoramiento.

En la presente investigación se pretende estudiar la variabilidad para componentes del rendimiento, parámetros genéticos y correlaciones, así como la implicación de éstos para mejorar el rendimiento y el desarrollo de un eficiente programa de mejoramiento genético de frijol.

REVISION DE LITERATURA

Kambal (1969) indica que el rendimiento es un carácter complejo, determinado por diversos componentes. En un intento por mejorar el rendimiento, deben examinarse los diversos componentes y dar mayor atención a los que tengan mayor influencia en dicho carácter.

Sathyanarayanaiah y Morelos (1985) mencionan que la utilidad de calcular los parámetros genéticos radica en particionar las varianzas atribuibles a diversas causas. Los valores relativos a dichos parámetros indican las propiedades del genotipo o la población. La varianza fenotípica (Vf) está constituida por las varianzas genotípica, ambiental y de interacción; la varianza genotípica (Vg), a su vez, se constituye de los efectos genéticos aditivos, de dominancia e interacción.

Weber y Moorthy (1952) mencionan que la heredabilidad, en sentido amplio, se refiere al comportamiento de un genotipo como una unidad, y es usada en contraste con los efectos del ambiente; además, utilizan la heredabilidad en sentido amplio de un carácter, para indicar aquel porcentaje de la expresión de un carácter que está bajo control genético.

Herbert *et al.* (1955) analizaron las correlaciones entre diferentes variables en soya, e indicaron que las correlaciones genotípicas y fenotípicas entre diferentes características, son muy útiles en la planeación y evaluación del programa de fitomejoramiento. Sathyanarayanaiah (1986) menciona que un conocimiento de correlaciones entre rendimiento y sus componentes, y características agronómicas, pueden formar un criterio para seleccionar genotipos superiores e interpretar datos de campo, ayudando así a la toma de decisiones apropiadas para mejorar rendimiento en los programas de fitomejoramiento de los cultivos.

Salinas (1982) reporta que en ciertos experimentos se han presentado correlaciones significativas del rendimiento con diferentes características; sin embargo, su poca repetitividad en otros experimentos, y su manifestación en forma de correlaciones negativas y positivas, no permite hacer una

consideración definitiva acerca de su influencia sobre dichos caracteres. Entre las características que caen en esta última categoría se encuentran: el peso de 100 semillas, la longitud de vaina, los días a floración, el área foliar, el peso seco de planta y la altura.

Sánchez (1981) al realizar un estudio de parámetros de estabilidad en frijol, calculó correlaciones positivas y significativas del rendimiento por hectárea con: peso de 100 semillas, rendimiento por planta y número de semillas por vaina.

Duarte y Adams (1972) al estudiar algunos componentes de rendimiento en frijol, encontraron que el rendimiento se correlaciona positiva y significativamente con el número de vainas por planta, semillas por vaina y peso de semilla; la correlación entre peso de semilla con número de vainas por planta y semillas por vaina, fue negativa y significativa; además, también indican que el número y tamaño de hojas están fuertemente asociados con el número de vainas y el peso de semilla.

Miranda (1966) sugiere 2 métodos de mejoramiento para el frijol: método de selección en masa, que consiste básicamente en identificar la mejor variedad regional, y de esta manera aumentar la producción por unidad de superficie y; el método HIMSI consiste en hibridar, sembrar en masa desde la generación F_1 hasta la F_6 sin seleccionar, y continuar mediante selección individual hasta la obtención de variedades.

Smartt (1976) menciona que los principales métodos de selección que pueden usarse en leguminosas son: selección masal y selección por pedigree. El método de selección masal es muy simple y consiste en escoger las mejores plantas en una población y, a partir de ellas, formar una nueva población mejorada. Por otra parte, el método de selección por pedigree, consiste en eliminar plantas en cada generación segregante, para quedarse al final con una o más líneas genéticamente puras; las modificaciones a este método son: método masal seguido de pedigree, método complejo de población masal método de retrocruzas y método de cruzas múltiples.

MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se efectuó en el Campo Agrícola Experimental Auxiliar El Tapón, ubicado en el municipio de Valle Hermoso, Tamauli-

pas, durante los ciclos otoño-invierno de 1983 (Experimento I) y primavera-verano de 1984 (Experimento II) bajo condiciones de riego.

Los 20 genotipos incluidos en el estudio (Cuadro 1) fueron proporcionados por el Programa de Frijol del Campo Agrícola Experimental Río Bravo (CAERIB), y contienen amplia variabilidad genética para componentes del rendimiento y características agronómicas. Estos materiales son originarios de los Estados de Tamaulipas, Veracruz y Querétaro, presentan.2 tipos de hábito de crecimiento y diferente color de grano.

Cuadro 1. Características y origen de los genotipos incluidos en el estudio.

Genotipo	Hábito de crecimiento*	Color de grano	Peso de 100 semillas (g)	Origen de la semilla
Mulato	III	Bayo-Negro	22	Tamaulipas
Azabache	II	Negro	18	Tamaulipas
Delicias-71	III	Bayo-Café	17	Tamaulipas
Pinto-114	III	Bayo-Café	31	Tamaulipas
Negro Jamapa	II	Negro	17	Tamaulipas
Agrarista	II	Bayo	16	Tamaulipas
Ciateño	II	Bayo	16	Tamaulipas
S-18-RB	II	Negro	18	Tamaulipas
Negro huasteco	II	Negro	15	Veracruz
Adjuntas-21	II	Bayo	16	Sur de Tamaulipas
LEF-25-RB	III	Bayo-Café	32	Tamaulipas
Agramejo	II	Bayo	16	Tamaulipas
Pinto Norteño	II	Bayo-Café	17	Tamaulipas
Fe-33-RB	II	Rosado	21	Tamaulipas
Fe-30-RB	II	Bayo-Café	21	Tamaulipas
S-19-RB	II	Negro	21	Tamaulipas
S-17-RB	III	Bayo-Negro	17	Tamaulipas
S-4-RB	II	Bayo	20	Tamaulipas
Fe-22-RB	II	Bayo-Negro	22	Tamaulipas
Flor de Mayo	III	Bayo-Morado	30	Querétaro

* II = Hábito indeterminado con crecimiento erecto.
III = Hábito indeterminado con numerosas ramas postradas.

Los experimentos se establecieron en un suelo de textura migajón-arcillo-arenosa, el cual presenta un pH ligeramente alcalino (7.30), un contenido medianamente pobre de materia orgánica (1.61) y una conductividad eléctrica de 0.90 mmhos/cm, correspondiente a un suelo no salino.

El diseño experimental utilizado en cada experimento fue bloques al azar con 4 repeticiones. La parcela experimental se formó de 4 surcos de 5 metros de longitud; la distancia entre surcos fue de 80 cm, y 5 cm entre plantas. La parcela útil se formó con los mismos 4 surcos, a los cuales se les eliminó 50 cm en cada extremo, para un total de 12.8 m^2 de superficie.

El experimento I se sembró el día 13 de agosto de 1983, mientras que el experimento II fue sembrado el 29 de febrero de 1984. En ambos casos se aplicó un riego de presiembra y 2 riegos de auxilio.

El manejo de los experimentos, en cuanto a las prácticas culturales, se realizó de acuerdo a las recomendaciones del Campo Agrícola Experimental Río Bravo, para el cultivo del frijol en el Norte de Tamaulipas.

En base al promedio de 5 plantas etiquetadas al azar en cada parcela, se midieron las siguientes variables: número de vainas por planta, número de semillas por vaina, altura de planta y rendimiento por planta; en base a la parcela útil se tomaron los siguientes datos: días a 50% de floración, rendimiento por hectárea y peso de 100 semillas.

Los promedios de cada característica se utilizaron para calcular análisis de varianza, parámetros genéticos y correlaciones simples.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los análisis de varianza para todas las características agronómicas, durante los ciclos otoño-invierno de 1983 y primavera-verano de 1984, se presentan en el Cuadro 2, en el cual se observa que revelan diferencias significativas para todas las características entre los genotipos incluidos. Lo anterior sugiere que el mejoramiento genético para desarrollar variedades altamente rendidoras y con buenas características agronómicas, es promisorio en estos genotipos. El coeficiente de variación se presentó para todas las características en un rango de 2.5% a 23.2%, en 1983, y de 2.3% a 21.3% en 1984 lo que indica una alta confiabilidad de los resultados.

Cuadro 2. Análisis de varianza para diferentes características agronómicas de frijol durante los ciclos otoño-invierno de 1983 y primavera-verano de 1984.

Fuentes de variación	Año	G.L.	Rend.	Rend./ planta	Vainas/ planta	Semillas/ vaina	Peso de 100 semillas	Altura	Días a 50 % floración
Repeticiones	1983	3	3.99	3.93	1.44	0.42	3.47	2.33	5.21
	1984	3	2.08	0.50	0.37	2.11	2.46	1.58	2.33
Tratamientos	1983	19	6.53**	5.69**	6.36**	4.20**	25.44**	4.66**	20.37**
	1984	19	5.23**	2.87**	3.65**	6.41**	29.86**	4.24**	62.65**
Error	1983	57	52885.70	23.31	10.16	0.24	3.58	7.59	1.53
	1984	57	77121.37	9.81	8.75	0.21	2.20	23.76	2.13
Total (cm)	1983	79	179164.10	72.37	32.46	0.58	34.58	20.32	12.29
	1984	79	219964.90	19.45	0.67	24.41	59.36	46.77	
C.V. (%)	1983		13.90	23.20	15.20	9.80	8.40	6.60	2.50
	1984		13.50	21.30	18.50	9.10	6.10	3.10	2.30

C.M. = Cuadrado medio
** = Significativo al nivel 5%
C.V. = Coeficiente de variación.

Los promedios de las diferentes características agronómicas obtenidas durante 1983 y 1984 se presentan en el Cuadro 3. El rendimiento por hectárea en 1983 se presentó en un rango de 985 kg/ha a 2 047 kg/ha, con una media de 1 657 kg/ha, mientras que en 1984, dicho rango fue de 1 403 kg/ha a 2 516 kg/ha, con un promedio de 2 061 kg/ha. El promedio de rendimiento por hectárea en 1984 fue superior en un 24.4% al obtenido en 1983. Al considerar en forma simultánea los rendimientos de los 2 años, los genotipos S-17-RB, Adjuntas-21, S-18-RB, Agrarista, Mulato y Fe-30-RB, mostraron los mayores rendimientos por hectárea y por planta. Estos mismos genotipos fueron mencionados por CAERIB (1981-1982), como sobresalientes para alto rendimiento en la región agrícola del Norte de Tamaulipas.

El número de vainas por planta se manifestó en un rango de 15 a 30, con un promedio de 21 vainas en 1983, mientras que en 1984 dicho rango fue de 10 a 21, con una media de 16 vainas por planta. En 1984 el promedio de esta característica se redujo un 31.3% en relación al obtenido en 1983. Al considerar simultáneamente ambos experimentos, los genotipos Fe-30-RB, S-17RB, Lef-25-RB, Fe-33-RB y S-19 RB mostraron el mayor número de vainas por planta. Actualmente, en los programas de fitomejoramiento de frijol se está dando una mayor importancia al carácter vainas por planta, lo cual es un factor determinante en el potencial del rendimiento y este carácter sirve como un índice de selección indirecta para seleccionar genotipos superiores en el campo, bajo riego.

El número de semillas por vaina osciló de 4 a 6, con una media de 5 semillas en 1983, mientras que en 1984 dicha variación fue de 3 a 5, con un promedio de 4.6 semillas. El promedio de este carácter fue más o menos el mismo en ambos experimentos, lo cual indica que no se presentó interacción del genotipo con el medio ambiente. Los genotipos Agramejo, S-19-RB y S-17-RB presentaron el mayor número de semillas por vaina, considerando los 2 experimentos.

El peso de 100 semillas se presentó con una variación de 17.7 g a 34.6 g, con una media de 22.4 g en 1983, mientras que en 1984 dicha variación fue de 20.7 g a 34.8 g, con un promedio de 24.3 g. El promedio de este carácter, en 1983, se redujo con 8.5% en relación al obtenido en 1984. Al considerar simultáneamente ambos experimentos, los genotipos Lef-25-RB, Pinto 114, Flor de Mayo y Fe-30-RB, presentaron el mayor peso de semilla. Este carácter de calidad es muy importante en el Norte de México, donde la preferencia del consumidor se inclina hacia variedades de frijol que presenten granos de mayor tamaño.

Cuadro 3. Promedio de diferentes características agronómicas de frijol durante los ciclos otoño-invierno de 1983 y primavera-verano de 1984.

Genotipo	Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento por planta (g)		Vainas por planta		Semillas por vaina		Peso de 100 semillas (g)		Altura (cm)		Días a 50% de floración	
	83'	84'	83'	84'	83'	84'	83'	84'	83'	84'	83'	84'	83	84'
Mulato	1990	2118	25.0	18.1	22	17	5	5	23.3	25.1	45	45	51	54
Azabache	1714	2336	20.7	17.2	18	19	5	5	20.3	23.6	43	44	52	56
Delicias-71	1349	2488	16.4	15.9	21	20	5	5	17.7	22.3	33	34	50	53
Pinto-114	1359	1403	22.3	9.3	20	10	4	3	33.8	34.5	38	36	41	36
Negro Jamapa	1896	1582	15.5	14.9	20	17	5	4	21.3	23.0	41	46	52	55
Agrarista	1953	2250	13.7	13.9	18	15	5	5	18.8	21.3	43	39	51	53
Ciateño	1802	2075	18.3	14.9	21	16	5	5	18.2	21.0	45	41	52	54
S-18-RB	1808	2490	22.9	14.3	24	14	5	5	20.2	24.2	44	36	49	53
Negro-Huasteco	1521	1762	13.9	13.6	15	15	5	5	19.3	20.7	45	44	49	55
Adjuntas-21	1833	2516	15.2	16.0	17	17	5	5	19.5	21.7	42	40	53	56
Lef-25-RB	1758	1750	38.0	11.9	30	13	4	4	34.6	34.8	41	44	48	36
Agramejo	1844	1959	16.8	17.3	20	16	6	5	17.9	21.7	42	39	52	54
Pinto Norteño	1188	2160	16.3	17.1	18	21	5	4	21.3	20.9	39	34	48	52
Fe-33-RB	1355	2031	22.1	15.3	25	18	5	5	24.9	22.3	45	43	52	53
Fe-30-RB	1907	2246	27.9	13.0	29	16	5	4	25.5	27.0	45	39	52	55
S-19-RB	1807	2067	24.2	16.2	26	17	6	5	20.0	24.1	44	40	51	54
S-17-RB	2047	2381	26.5	19.6	25	20	6	5	20.2	20.9	40	39	51	53
S-4-RB	1417	1932	17.0	15.0	17	18	5	5	23.9	24.0	41	49	49	53
Fe-22-RB	1610	2068	22.4	9.8	22	11	5	4	21.2	26.4	42	27	47	47
Flor de Mayo	985	1610	17.6	11.9	20	14	4	4	26.8	26.6	40	37	47	46
Promedio	1657	2061	20.8	14.8	21	16	5	4.6	22.4	24.3	42	40	50	51
DMS (5%)	399	482	8.4	5.4	6	6	1	1	3.3	2.6	5	8	2	3

Al considerar simultáneamente ambos experimentos, los genotipos de mayor altura fueron: Mulato, S-4-RB, Negro Huasteco y Fe-33-RB. Rocha (1984) señala que la altura de planta en frijol es una función del número y longitud de entrenudos; en cada nudo se desarrolla una hoja y un racimo floral, por lo cual, teóricamente, el rendimiento depende del número de nudos por planta.

Los genotipos Pinto-114 y Lef-25-RB fueron los más precoces, con 39 y 42 días a floración respectivamente, mientras que Azabache y Adjuntas-21 fueron los de mayor número de días a floración, con 54 y 55 días respectivamente. Miranda (1966) señaló que las variedades precoces pueden ser utilizadas para evitar el riesgo de heladas, sequía, plagas, enfermedades y para cubrir el mercado cuando hay escasez de frijol. Por otra parte, las variedades intermedias se prefieren para áreas de riego altamente tecnificadas, y las tardías se utilizan principalmente en asociación con otros cultivos para autoconsumo, en regiones poco tecnificadas.

El rendimiento por hectárea y por planta, vainas por planta, semillas por vaina, peso de 100 semillas, y días a 50% de floración, presentaron valores muy altos (65.05% a 98.40%) de heredabilidad en sentido amplio (Cuadro 4), lo que indica que puede ser muy efectiva en el programa de selección para obtener ganancia genética.

Rocha (1984) estudió la asociación de caracteres en frijol, y encontró una heredabilidad en sentido amplio superior al 80% para el rendimiento de grano. Falconer (1977) indica que la función de la heredabilidad es predecir la confiabilidad del valor fenotípico como indicador del valor reproductivo.

Herbert *et al.* (1955) mencionaron que los coeficientes de correlaciones proporcionan una medida de asociación fenotípica entre diferentes variables, para proveer información útil y básica para distinguir características importantes y no importantes en un programa de selección.

Las correlaciones fueron muy consistentes entre rendimiento con vainas por planta, semillas por vaina y días a 50% de floración, pero no fueron consistentes con peso de 100 semillas, y altura de planta, a través de 2 años (Cuadro 5). Las correlaciones entre semillas por vaina, con peso de 100 semillas y días a 50% de floración fueron consistentemente negativas y altamente significativas en los 2 experimentos. Las 3 características: vainas por planta, semillas por vaina y días a 50% de floración, tuvieron asociación positiva y significativa con rendimiento. Actualmente, en los programas de fi-

Los déficit hídricos ocasionan tensiones y presiones en las membranas, y desarrollan un mecanismo sensible a la turgencia, que evita afectar los procesos fisiológicos, durante la sequía (Zimmermann, *et al.* 1976; Hsiao *et al.* 1984).

La eficiencia en el uso del agua, se considera como la relación que existe entre la tasa de asimilación de CO_2 y la tasa de agua transpirada por el cultivo (Fisher y Turner, 1978; Hsiao y Acevedo, 1974).

Se sabe que existe una marcada interacción entre genotipos de triticale y fechas de siembra, (Sisodia, *et al.* 1970). De esta forma se ha encontrado que, hasta cierto rango, las fechas más tempranas favorecen el rendimiento del cultivo (Larter, *et al.* 1971). En el caso de la variedad utilizada en este trabajo, se ha encontrado que la mejor fecha de siembra es en diciembre (Jasso, 1984).

MATERIALES Y METODOS

El experimento se estableció en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, situada a 1 743 msnm, y cuyas coordenadas geográficas son: 50°23' latitud norte, 101°01" longitud oeste. El clima es BWnw" (e), de acuerdo al sistema de clasificación de W. Koppen. La temperatura media anual es de 17.1°C, y la evaporación es de 1 966 mm.

La unidad experimental fue de 49 m^2. Se utilizó en la siembra la variedad ERONGA 83, a una densidad de 140 kg de semilla por hectárea. Se sembró en surcos a 17 cm de separación. Se aplicó la dosis de fertilización 60-80-00 al momento de la siembra y 60-00-00 al primer riego de auxilio.

El suelo del sitio experimental es arcilloso, sin problemas de sales, pH de 8.7, y 2.7% de materia orgánica en los primeros 30 cm de profundidad.

Los tratamientos fueron 2 fechas de siembra y 3 niveles de riego, con un diseño bifactorial con arreglo combinatorio y una distribución en bloques al azar. Se sembró el 19 de diciembre y 24 de enero del ciclo otoño-invierno de 1985-86. Los tratamientos de riego se controlaron con la aplicación de láminas calculadas, al multiplicar la evaporación libre (Eo) acumulada (medida con un tanque evaporímetro tipo "A") entre un riego y otro, por los factores L.O, 0.6, 0.3 (R1, R2, R3, respectivamente). Los riegos se aplicaron durante las etapas fenológicas de amacolle, encañe, inicio de espigamiento y lle-

nado del grano. Para aplicar las láminas de riego se utilizaron sifones de aluminio previamente aforados.

Los parámetros anatómicos evaluados fueron: altura de la planta, índice de amacollo, área foliar, número de estomas, longitud de espigas y componentes de rendimiento; así mismo se evaluó el índice de aprovechamiento del agua. (IAA).

Para la altura se obtuvo el promedio de 3 plantas por parcela. El dato de índice de amacollo se obtuvo al dividir el número de tallos entre el número de plantas encontradas en una superficie de 0.25 m^2 por parcela. Mediante la impresión de huellas con una solución plástica, se contaron los estomas en el haz de hojas bandera de las plantas, por parcela.

La longitud de espiga se estableció al promediar el tamaño de 10 de ellas, e igualmente se procedió para determinar el número de granos por espiga.

Para determinar los componentes de rendimiento se cosecharon 4 m^2 de plantas en el centro de cada parcela, y se registró el peso de paja, más grano; así mismo, después de la trilla, se pesó el grano y se ajustó el peso a un 13% de humedad. Mediante la determinación del peso hectolítrico se obtuvo el peso de 1 000 granos. El índice de cosecha se estimó al dividir el peso del grano entre el peso conjunto de paja más grano.

Por su parte, el índice de aprovechamiento del agua (IAA) se obtuvo de la relación de materia seca cosechada entre agua aplicada.

RESULTADOS

En el Cuadro 1 se muestran los valores medios generales de algunos parámetros evaluados en términos de fecha de siembra y nivel de riego, como se describieron anteriormente. Se encontraron diferencias significativas en los parámetros de: rendimiento total de biomasa (paja, más grano), rendimiento de grano, peso de 1 000 granos, índice de amacolle, altura final y número de estomas. De las variables reportadas en el cuadro citado, sólo el número de granos por espiga no fue afectado por las fechas de siembra, pero sí por el efecto del riego. El comportamiento de estos parámetros indica que la mejor fecha de siembra fue la de diciembre 19, en la cual se obtuvieron los mayores rendimientos.

Cuadro 1. Valores medios de los componentes del rendimiento y de algunos otros parámetros anatómicos.

Tratamiento	Granos/ espiga	kg/grano	Peso 1000 granos (g)	Altura (cm)	No. de estomas	Biomasa total	Indice de amacollo
F_1	48.58 A	1.64 A	44.00 A	75.9 A	52.3	4.51 A	5.92 A
F_2	47.92 A	1.18 B	47.77 B	64.2 B	62.0	3.21 B	3.93 B
R_1	45.3 B	1.45 A	45.7 A	68.7A	155	4.28	4.81 A
R_2	50.7 A	1.40 A	46.7 A	71.0 A	147	3.93 A	5.41 A
R_3	48.8 A - B	1.37 A	45.9 A	71.2 A	135	3.35 A	4.56 A
CV	7.19	26.92	6.55	13.99	13.4	22.95	37.4

Medios con la misma literal son iguales estadísticamente.

Por lo que respecta al tamaño de espiga, peso hectolítrico, índice de cosecha e índice de área foliar, fueron estadísticamente iguales.

En el Cuadro 2 se muestran los valores medios del rendimiento de biomasa y grano, así como los volúmenes de agua aplicados, mismos que se utilizaron para calcular el IAA; se encontró que el índice se incrementó conforme el volumen de agua fue menor. Estas tendencias se observaron en la producción de biomasa total y de grano, dentro de los tratamientos de riego. Entre fechas de siembra se alcanzó el mejor IAA en la primera, aun con volúmenes de agua muy semejantes, tanto para biomasa como para grano. Desde este punto de vista, la mejor fecha fue la de diciembre 19, lo que corrobora lo anteriormente escrito.

Por lo que respecta a los parámetros físicos, éstos se determinaron solamente en la segunda fecha de siembra (24 de enero) casi al final del ciclo, para asegurarse que la planta hubiese sufrido períodos con déficit de humedad. En el Cuadro 3 se muestran los valores obtenidos, y se observa que la plasmólisis incipiente se alcanzó a valores más altos de CRA, bajo la condición de riego 0.3Eo; esto indica que el cultivo se deshidrata menos cuando sufre déficit de humedad durante su desarrollo.

Los valores más grandes de ψp max. se observaron cuando se aplicó menor lámina durante el ciclo; esto se puede explicar en las bases de que las células desarrollaron paredes más rígidas, como lo indica el valor del módulo de elasticidad. El CRA también demostró ser sensible a los tratamientos de humedad, así como a las aplicaciones de riego. En la Figura 1 se muestran las tendencias de CRA, en los que se observan valores mayores en los tratamientos que recibieron mayor lámina de riego.

DISCUSION

El rendimiento de grano fue mayor en la primera fecha de siembra, debido a que las plantas amacollaron más con el consecuente incremento en el número de espigas. También se observó una tendencia ligera a incrementarse el número de granos por espiga, aunque éstos fueron de menor peso. El rendimiento de biomasa presentó la misma tendencia que el de grano, debido a que las plantas fueron más altas y con mayor número de tallos; esta tendencia la reporta Jasso (1984).

Cuadro 2. Valores medios de rendimiento de biomasa, grano y volúmenes aplicados.

		Biomasa kg ha^{-1}	Volumen m^3 ha^{-1}	EUA g MS (g agua $^{-1}$)	Grano kg ha^{-1}	IAA g grano/ (g. agua $^{-1}$)
F_1	R_1	13 375	8 393	15.93* 10-4	4 750	5.66* 10-4
	R_2	10 500	6 010	17.47* 10-4	5 725	6.20* 10-4
	R_3	9 925	3 540	28.04* 10-4	3 775	10.66* 10-4
	x	11 266.7	5 981	20.48* 10-4	4 083.3	7.51* 10-4
F_2	R_1	8 025	7 105	11.29* 10-4	2 500	3.52* 10-4
	R_2	9 000	5 255	17.12* 10-4	5 250	6.18* 10-4
	R_2	6 750	3 859	17.49* 10-4	3 075	7.97* 10-4
	x	7 925	5 406.3	15.3 * 10-4	2 941.7	5.89* 10-4

Cuadro 3. Valores de los parámetros físicos en plantas de la fecha de siembra 24 de enero al final del ciclo.

Fecha		CRA° %	ψP max M Pa	E M Pa
18 de	R_1	76.39	1.25	1.97
mayo	R_2	82.03	1.40	5.32
1986	R_3	91.73	1.60	17.29

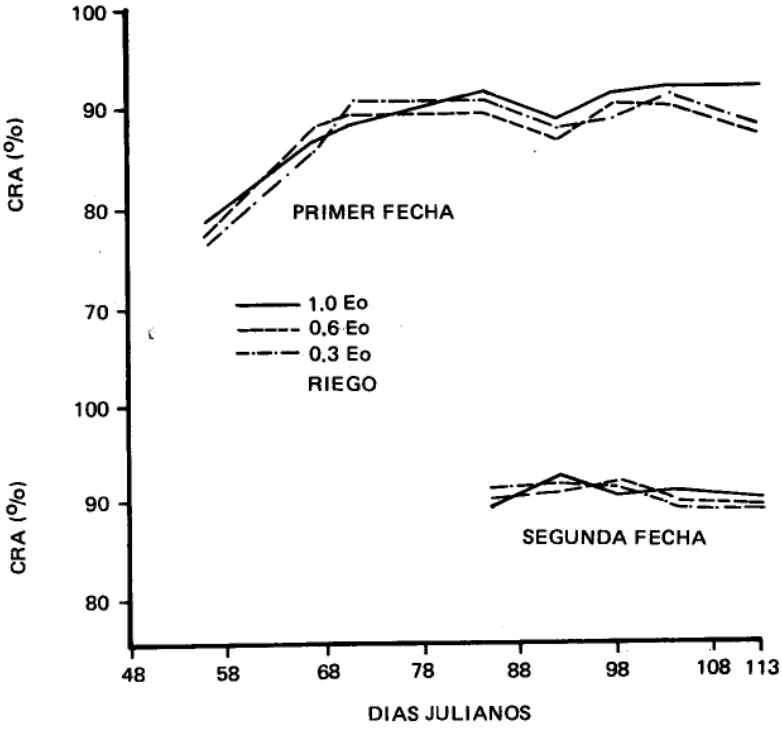

Figura 1. Curvas del comportamiento del contenido relativo de agua (CRA)

Las diferentes láminas de riego aplicadas, sólo afectaron el número de granos por espiga en el tratamiento R2, debido probablemente a la mejor disposición de agua durante la polinización. No hubo diferencias en el resto de los parámetros evaluados por este estímulo, debido a que las diferencias de humedad no fueron lo suficientemente severas para afectarlos; sin embargo, se observaron tendencias en rendimientos de grano y biomasa total, y a incrementarse la producción conforme era mayor la lámina de riego aplicada.

El número de estomas fue afectado por fechas de siembra, lo cual coincide con lo reportado por Miskin y Rasmusson (1970), se detectó una tendencia a incrementarse la densidad de estomas con el incremento de lámina aplicada.

Los valores encontrados de IAA, coinciden con los valores de eficiencia en uso de agua reportados por Begg y Turner (1976), para pastos que perte-

necen al grupo de plantas C_3 (14.9×10^{-4} g MS/g de agua), y con el valor encontrado por Jasso (1984) para la misma variedad (21.28×10^{-4} g MS/g de agua).

El IAA fue influido por la fecha de siembra debido a que afectaron el rendimiento. Al respecto, el mayor índice se tuvo con el volumen menor de agua aplicado, por lo que se puede pensar que es posible aplicar aún menos agua.

Los parámetros anatómicos que describen mejor el aprovechamiento del agua por el cultivo, en términos de biomasa, fueron índice de amacollo y número de estomas, con coeficiencia de determinación de 0.94 y 0.92, respectivamente. Todos los parámetros físicos estudiados se asociaron con el IAA, con coeficientes de determinación de 0.97. Lo anterior indica que este cultivo modifica sus características osmóticas en respuesta a un déficit hídrico, con mayor intensidad que los cambios anatómicos observados. Sin embargo, se puede considerar que la información aquí reportada, puede ser corroborada y comparada con la respuesta de otros cereales como trigo. Nótese también que los tratamientos R1 y R2 pudieron satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo, ya que se aplicaba el riego en base a evaporación. No obstante, pudieron detectarse las tendencias en forma suficiente para observar una respuesta adaptativa del cultivo a las condiciones de humedad del suelo.

CONCLUSIONES

1. Se observó que la fecha de siembra influye sobre el rendimiento de grano y materia seca en el triticale, al incrementarse el número de tallos por planta, y alcanzar una mayor altura.

2. Por lo que respecta a los tratamientos de humedad estudiados, sólo afectaron el número de granos por espiga, en forma significativa y en otros parámetros sólo se encontraron tendencias.

3. Con la aplicación de láminas menores, se incrementó el aprovechamiento del agua, así como también se incrementó por efecto de fechas de siembra.

4. La respuesta física del cultivo, se asoció en un alto grado, con el aprovechamiento de agua por el mismo, lo que indica que ocurrió una modificación en las características osmóticas del cultivo, en respuesta a la intensidad de los déficit hídricos.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la colaboración del M.C. José A. Cruz Ballado en la elaboración del presente artículo.

BIBLIOGRAFIA

Barrs, H.D. and P.E. Weaterly. 1962. A reexamination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. Aust. J. Biol. Sci. 15, 413-428.

Beggs, J.E. and N.C. Turner. 1976. Crop water deficit. Advances in Agronomy. 28, 161-207.

Boyer, J.S. and H.G. McPherson. 1975. Physiology of water deficit in cereal crops. Advances in Agronomy. 27, 1-23.

Cutler, J.M., K.W. Shahan and P.L. Steponkus. 1980. Alteration of the internal water relations of rice in response to drought hardening. Crop Sci. 20, 307-310.

Enríquez, S.M. 1984. Efecto del déficit de humedad en el suelo inducido en 3 etapas fenológicas sobre la producción de frijol. (*Phaseolus vulgaris* L.) Tesis M.C. Monterrey, N.L. México. ITESM.

Fischer, Z.A. and N.C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. Ann Rev. Plant Physiol. 29, 277-317.

Hsiao, T.C. and E. Acevedo. 1974. Plant responses to water deficit water-use eficiency and drought resistence. Agricultural Meteorology. 14, 59-84.

————, J.C. O'Toole, E.B. Yambau and N.C. Turner. 1984. Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oriza sativa* L.) Plant Physiol. 75, 338-341.

Jasso, I.R. 1984. Influencia del medio ambiente sobre el desarrollo, rendimiento y calidad del forraje y grano de triticale (*X. triticosecale* Wittmack) modelo de producción de forraje y grano en función de la humedad del suelo y unidades térmicas en Buenavista, Coah. Tesis M.C. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 66 p.

Kramer, P.J. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas, una síntesis moderna. México. EDUTEX, S.A.

————. 1974a. Fifty years of progress in water relations research. Plant Physiol. 54, 463-471.

Kozlowski, T.T. 1968, Water deficit and plant growth. New York. Academic. Vol 2. 333 pp.

Larter, E.N., S.J. Kaltsikes and R.C. McGinnis. 1971. Effect of date and rate of seeding on the performance of triticale comparison to wheat. Crop Sci. 11, 593-595.

Miskin, K.E. and D.C. Rasmusson. 1970. Frecuency and distribution of stomata in barley. Crop Sci. 10, 575-578.

Sisodia, N.S., E.N. Larter and W.J. Boyd. 1970. Effect of planting date on the meiotic and reproductive behaviour of hexaploid triticale. Crop Science. 10, 543-545.

Slatyer, R.A. 1969. Plant-water relationship. Third printing. London and New York. Academic Press. Printed in Grand Britain.

Slavik, B. 1974. Methods of studying plant water relations. Springer-verlag. New York. Heidelberg Berlin.

Wilson, J.R., M.J. Fischer, E.D. Schulze, G.R. Dolby and M.M. Ludlow. 1979. Comparison between pressure-volume and dewpoint-hygrometry techniques relations characteristics of grass and legume leaves. Oecología (Berl) 41, 77-88.

Zimmermann, U., E. Steudle, and P.I. Lelkes. 1976. Turgor pressure regulation in Volonia Utricularis. Plant Physiol. 58, 608-613.

Cuadro 4. Varianza genética (Vg), fenotípica (Vf) y heredabilidad (%) con sentido amplio de diferentes características agronómicas de frijol, durante los ciclos otoño-invierno de 1983 y primavera-verano de 1984.

Característica	Año	Vg	Vf	h^2
Rendimiento (kg/ha)	1983	73161.21	86382.24	84.69
	1984	85161.21	100796.99	80.87
Rendimiento por planta	1983	27.35	33.18	82.42
	1984	4.58	7.04	65.05
Vainas por planta	1983	13.61	16.15	84.27
	1984	5.78	7.97	72.52
Semilla por vaina	1983	0.19	0.25	76.00
	1984	0.28	0.33	84.84
Peso de 100 semillas	1983	21.86	22.76	96.04
	1984	15.89	16.44	96.65
Altura	1983	6.94	8.84	78.50
	1984	19.27	25.21	76.43
Días a 50% de floración	1983	7.39	7.77	95.10
	1984	32.76	33.29	98.40

tomejoramiento de frijol, se está dando una mayor importancia a las características de vainas por planta y semillas por vaina, las cuales son factores determinantes en el potencial del rendimiento, y estos caracteres sirven como un índice de selección indirecta para seleccionar genotipos superiores en el campo. Días a 50% de floración presentó asociación con rendimiento, vainas por planta y semillas por vaina.

Existen correlaciones negativas y significativas entre diferentes pares de caracteres, tales como: rendimiento de grano con peso de 100 semillas, semillas por vaina con peso de 100 semillas, y peso de 100 semillas con días a 50% de floración.

Cuadro 5. Correlaciones fenotípicas entre diferentes características agronómicas de frijol, durante los ciclos otoño-invierno de 1983 y primavera-verano de 1984.

Característica	Año	Rendimiento por planta	Vainas por planta	Semillas por planta	Peso de 100 semillas	Altura	Días a 50% floración
Rendimiento (kg/ha)	1983	0.309	0.298	0.509*	- 0.289	0.456*	0.558*
	1984	0.547*	0.520*	0.628*	- 0.520*	0.221	0.582**
Rendimiento por planta	1983		0.873**	- 0.169	0.617**	0.153	0.132
	1984		0.864**	0.692**	- 0.678**	0.335	0.687**
Vainas por planta	1983			0.023	0.414	0.151	0.067
	1984			0.538*	- 0.676**	0.282	0.666**
Semillas por vaina	1983				- 0.729**	0.218	0.607**
	1984				- 0.772**	0.338	0.727**
Peso de 100 semillas	1983					0.126	- 0.632**
	1984					- 0.069	- 0.883**
Altura	1983						0.427
	1984						0.238

** = Significativo al 1%
* = Significativo al 5%

Al seleccionar estas características reduce la posibilidad de mejorar estos rasgos, o son difíciles para la obtención de ganancia, y provee una fuente de limitaciones en el mejoramiento de estos caracteres en frijol. Falconer (1977) reporta que las causas para las correlaciones son, principalmente, pleotropía y ligamiento a nivel de genes. Aljibouri *et al.* (1958) sugirieron que las asociaciones negativas entre diferentes características, es debido al efecto pleotrópico y, por lo tanto, serán difíciles para obtener recombinaciones deseables, mientras que si se involucrara el ligamiento, se recomienda aplicar mutagénicos o entrecruzamientos de plantas, individuos en generaciones segregantes para romper los ligamientos desfavorables.

De la presente investigación surge que los 3 componentes del rendimiento: vainas por planta, semillas por vaina y peso de 100 semillas, individualmente o en forma conjunta, pueden aumentar el rendimiento de las variedades de frijol. Los fitomejoradores de frijol pueden utilizar estas características para realizar una selección indirecta o visual, para identificar genotipos superiores.

CONCLUSIONES

1. Se detectó una amplia gama de variabilidad genética para componentes del rendimiento y características agronómicas en los genotipos estudiados.

2. Los genotipos S-17-RB, Adjuntas-21, S-18-RB, Agrarista, Mulato y Fe-30-RB, fueron sobresalientes para rendimiento y sus componentes, simultáneamente.

3. El rendimiento presentó correlaciones positivas y significativas, con rendimiento por planta, vainas por planta, semillas por vaina, altura y días a 50% de floración.

4. Se registraron altos valores de heredabilidad en sentido amplio para todas las características estudiadas.

5. Se sugiere hacer entrecruzamientos entre genotipos con mayor número de vainas por planta, número de semillas por vaina y mayor peso de 100 semillas, para obtener mejores recombinaciones.

6. Se sugiere hacer hibridación al azar entre plantas individuales en generaciones segregantes de esta cruza, para romper los ligamientos desfavorables entre los componentes del rendimiento y generar nueva variabilidad para la selección.

BIBLIOGRAFIA

Aljibouri, H.A., P.A. Miller and H.F. Robinson. 1958. Genotypic and environmental variances and co-variances in an upland cotton cross of interespecific origin. Agron. J. 50:633-636.

Campo Agrícola Experimental Río Bravo (CAERIB). 1981. Informe anual de investigación del programa de frijol y soya. Río Bravo, Tamaulipas, México.

———. 1982. Informe anual de investigación del programa de frijol y soya. Río Bravo, Tamaulipas, México.

Denis, J.C. and M.W. Adams. 1978. A factor analysis of plant variables related to yield in dry beans. I Morfological Traits. Crop Sci. 18:74-78. U.S.A.

Duarte, R.A. and M.W. Adams. 1972. A path coefficient analysis of some yield component interrelations in field beans (*Phaseolus vulgaris,* L). Crop Sci. 12:579-582. U.S.A.

Falconer, D.S. 1977. Introducción a la genética cuantitativa. México. Ed. CECSA.

Herbert, W.J., H.F. Robinson and R.E. Comstock. 1955. Genotypic and phenotypic correlations in soybeans and their implications in selection. Agron. J. 477-483. U.S.A.

Kambal, A.A. 1969. Components of yield in field beans (*Vicia faba,* L.). J. Agr. Sci. 72:359-363.

Krarup, A. and D.W. Davis. 1970. Inheritance of seed yield and its components in a six-parent diallel cross in peas. J. Amer. Soc. Hort. 95: 795-797. U.S.A

Miranda, C.S. 1966. Mejoramiento del frijol en México. México. Folleto misceláneo No. 13.

Rocha, R.G. 1984. Efecto de la interacción genotipo ambiente sobre la asociación de caracteres en frijol común (*Phaseolus vulgaris,* L.). Tesis M.C. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Salinas, G.E. 1982. Comportamiento de variedades en frijol en unicultivo y en asociación con maíz. Tesis M.C. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. ENA.

Sánchez, V.I. 1981. Uso de parámetros de estabilidad como criterio de selección de genotipos de frijol para regiones de baja precipitación. Tesis profesional. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p. 61.

Sarafi, A. 1978. A yield component selection experiment involving american and iranian cultivars of the common bean. Crop Sci. 18:5 - 7. USA.

Sathyanarayanaiah, K. y L.A. Morelos. 1985. Atributos iniciales, parámetros genéticos y correlaciones en nivel de plántula en frijol tepari (Phaseolus acutifolius, G.). Agraria. Revista Científica 1(2):160-172.

----------, H.M. Cortinas E. 1986. Papel de componentes del rendimiento en el mejoramiento genético del frijol común. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Comunna. 123.

----------. 1986. Genotypic and fenotypic correlations and path coefficient analysis of some biometrical characters in macaroni wheat. Turrialba, Costa Rica (in press).

Smartt, J. 1976. Tropical pulses. Longham Group Limited, London. p. 261-292.

Weber, C.R. and B.R. Moorthy. 1952. Heritable and non heritable relationships and variability of oil content and agronomic characters in the F_2 generation of soybean crosses. Agron. J. 44:202-209. USA.