

ESTUDIO DE LA APTITUD COMBINATORIA,  
HETEROSIS Y DEPRESION ENDOGAMICA PARA  
DIFERENTES CARACTERISTICAS CUANTITATIVAS  
EN FRIJOL COMUN (*Phaseolus vulgaris* L.)  
BAJO RIEGO Y TEMPORAL.

VALENTIN ROBLEDO TORRES

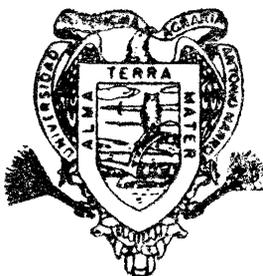
**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS  
EN FITOMEJORAMIENTO



BIBLIOTECA  
EGIDIO G. REBONATO  
BANCO DE TESIS  
U.A.A.A.N.



**Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro**

**PROGRAMA DE GRADUADOS**

**Buenavista, Saltillo, Coah.**

**JUNIO DE 1998**

10127

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCION DE POSTGRADO

ESTUDIO DE LA APTITUD COMBINATORIA, HETEROSIS Y DEPRESION  
ENDOGAMICA PARA DIFERENTES CARACTERISTICAS CUANTITATIVAS EN  
FRIJOL COMUN (*Phaseolus vulgaris* L.) BAJO RIEGO Y TEMPORAL.

TESIS

POR

VALENTIN ROBLEDO TORRES

Elaborada bajo la supervisión del Comité particular de  
Asesoría y aprobada como requisito parcial para optar al  
grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS  
EN FITOMEJORAMIENTO

COMITE PARTICULAR

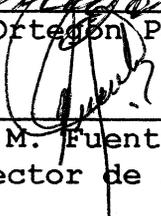
Asesor principal:   
Dr. Jorge Raúl González Domínguez

Asesor:   
Dr. Sathyanarayanaiah Kuruvadi

Asesor:   
Dr. Enrique Navarro Guerrero

Asesor:   
Dr. Abelardo Núñez Barrios

Asesor:   
Dr. Jesús Ortíz Pérez

  
Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez  
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Junio de 1998.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por brindarme la oportunidad de continuar con mi superación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo durante mis estudios de postgrado.

A las Autoridades del Campo Experimental del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 3 del Estado de Durango, por las facilidades para realizar parte de esta investigación en dicho campo.

Al Dr. Sathyanarayanaiah Kuruvadi por el apoyo brindado desde el inicio hasta la conclusión de este trabajo de investigación, sin embargo al ser pensionado y estar fuera de la institución, por reglamento no fue posible continuar hasta el final como presidente del comité de asesoría.

Al Dr. Jorge R. González Domínguez por su apoyo y orientaciones en todo momento.

A los Doctores Enrique Navarro Guerrero y Jesús Ortegón Pérez por sus enseñanzas y contribuciones al presente escrito.

Al Dr. Abelardo Nuñez Barrios por su decidido apoyo y valiosa contribución durante el establecimiento y conducción de esta investigación.

Al Ing. Luis Ramírez Godina por sus orientaciones respecto al procesamiento de los datos de campo en el equipo de cómputo.

A los compañeros del Departamento de Horticultura por todo el apoyo brindado.

A todas aquellas personas que de alguna forma contribuyeron, para concluir esta investigación con el presente escrito.

## DEDICATORIA

A Dios:

Por darme cada día la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres:

Antonio Robledo Díaz

Gavina Torres Dimas

Con profundo cariño y respeto, quienes con sus consejos y ejemplo me han enseñado que el camino de la superación es el trabajo continuo.

A mi esposa:

Francisca Ramírez Godina

Por su comprensión, apoyo y paciencia durante mis estudios.

A mis hijas:

Perla Rocío y Dulce Alejandra

Mi gran tesoro y razón de mi esfuerzo diario.

A mis hermanos:

Antonio, Primitivo, María del Rosario y Gloria

Por todo su apoyo, cariño y respeto que nos une.

A quienes me han brindado su apoyo incondicional en todo momento:

Mis amigos y compañeros.

## COMPENDIO

ESTUDIO DE LA APTITUD COMBINATORIA, HETEROSIS Y DEPRESION  
ENDOGAMICA PARA DIFERENTES CARACTERISTICAS CUANTITATIVAS EN  
FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.) BAJO RIEGO Y TEMPORAL

POR

VALENTIN ROBLEDO TORRES

DOCTORADO EN CIENCIAS

EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, JUNIO DE 1998.

Dr. Jorge R. González Domínguez. Asesor.

Palabras clave: Frijol común, aptitud combinatoria,  
componentes del rendimiento, heterosis,  
depresión endogámica, correlaciones  
fenotípicas, riego, temporal.

Se estudió la aptitud combinatoria general y  
específica, heterosis y depresión endogámica, utilizando 60  
poblaciones (cinco hembras, cinco machos, 25 F<sub>1</sub> y 25 F<sub>2</sub>)

bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones, bajo riego y temporal, en frijol común, con los siguientes objetivos: identificar progenitores con altos valores de ACG y ACE en los híbridos; estudiar las tres formas de heterosis para rendimiento y sus componentes; estimar la depresión endogámica bajo riego y temporal en las poblaciones F<sub>2</sub>; estimar las correlaciones fenotípicas para diferentes características agronómicas, en las tres poblaciones.

Los análisis de varianza revelaron altos valores de ACG para hembras y machos en rendimiento por planta, peso de 100 semillas, longitud de vaina, número de granos llenos y días a floración en riego y en temporal para peso de 100 semillas, granos llenos por vaina y días a floración, indicando que estas características están controladas predominantemente por genes aditivos. Los análisis de varianza individuales de las poblaciones F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> exhibieron una gran gama de variabilidad para los rasgos estudiados.

Los progenitores Navidad 1165, Durango 222 y Negro Portezuelo bajo riego y Navidad 1165, Durango 222 y Bayo Victoria bajo temporal fueron los mejores combinadores para rendimiento de grano por planta.

Las cruzas 3 x 10, 4 x 9, 2 x 7, 5 x 8, y 1 x 10, 5 x 10, 2 x 6, 2 x 9 y 4 x 6 manifestaron altos valores de ACE para rendimiento por planta, vainas llenas por planta y granos llenos por vaina, en riego y temporal respectivamente, por lo tanto se recomienda explotar dichas cruzas en generaciones futuras.

La heterosis osciló de 6.61 a 223.92 por ciento y de -27.17 a 94.31 por ciento para rendimiento bajo riego y temporal, de las 25 cruzas estudiadas 23 y 16 presentaron heterobeltiosis con rangos de -20.43 a 135.60 por ciento y de -37.71 a 80.86 por ciento bajo riego y temporal respectivamente. Así mismo en riego todas las cruzas presentaron heterosis útil, mientras que en temporal solamente 16 de 25 cruzas.

Se encontró que en el ambiente de riego cuatro y en temporal 22 cruzas expresaron segregación transgresiva en F<sub>2</sub> para rendimiento de grano. La variable vainas llenas por planta presentó las correlaciones más altas con rendimiento, bajo riego y temporal.

## ABSTRACT

STUDIES ON COMBINING ABILITY, HETEROSIS AND INBREEDING  
DEPRESSION FOR DIFFERENT QUANTITATIVE CHARACTERS IN COMMON  
BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) UNDER IRRIGATED AND RAINFED  
CONDITIONS

BY

VALENTIN ROBLEDO TORRES

DOCTOR OF SCIENCE

PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, JUNE 1998.

Dr. Jorge R. González Domínguez. Advisor.

Key words: Common bean, combining ability, yield  
components, heterosis, imbreeding depression,  
phenotypic correlations, irrigated, rainfed.

Studies were conducted on general and specific  
combining ability utilizing 60 populations (5 females, 5  
males, 25 F1 and 25 F2 with a randomized block design with

two replications under irrigated and rainfed condition in common bean with following objectives: to identify parents with higher values of GCA and SCA for hybrids; to estimate three forms of heterosis for yield and its components, to calculate inbreeding depression in F2 under irrigated and rainfed conditions and to estimate phenotypic correlations for different agronomic traits.

The analysis of variance showed higher values of GCA for females and males for grain yield per plant, seed weight, pod length, filled grains per pod, days to flower indicating that these characters are predominately controlled by additive genes. The individual analysis of the F1 and F2 also exhibited considerable variability for the traits studied.

The parents Navidad 1165, Durango 222 y Negro portezuelo under irrigated and Navidad 1165, Durango 222 y Bayo Victoria under droughth conditions were the best combiners for grain yield.

The following crosses 3 x 10, 4 x 9, 2 x 7, 5 x 8 and 1 x 10, 2 x 6, 2 x 9, and 4 x 6 manifested higher values of SCA for yield per plant, filled pods per plant and grains

per pod in irrigated and drought conditions respectively, therefore it is recommended to explore these crosses in future.

The heterosis ranged between 6.61 to 223.92% and -27.17 to 94.31% for yield under irrigated and drought conditions. But of 25 crosses studied 23 and 16 presented heterosis with a range of -20.43 to 135.60% and -37.71 to 80.86% under irrigated and drought conditions respectively. All the crosses studied under irrigated conditions manifested heterosis util. Meanwhile, under drought 16 crosses out of 25 expressed heterosis util.

Four crosses in irrigated and 22 crosses in drought expressed transgressive segregation in F2 for grain yield. The character number of filled pods per plant was correlated with grain yield under irrigated and rainfed conditions.

## ABSTRACT

STUDIES ON COMBINING ABILITY, HETEROSIS AND INBREEDING  
DEPRESSION FOR DIFFERENT QUANTITATIVE CHARACTERS IN COMMON  
BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) UNDER IRRIGATED AND RAINFED  
CONDITIONS

BY

VALENTIN ROBLEDO TORRES

DOCTOR OF SCIENCE

PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, JUNE 1998.

Dr. Jorge R. González Domínguez. Advisor.

Key words: Common bean, combining ability, yield  
components, heterosis, imbreeding depression,  
phenotypic correlations, irrigated, rainfed.

Studies were conducted on general and specific  
combining ability utilizing 60 populations (5 females, 5  
males, 25 F1 and 25 F2 with a randomized block design with

two replications under irrigated and rainfed condition in common bean with following objectives: to identify parents with higher values of GCA and SCA for hybrids; to estimate three forms of heterosis for yield and its components, to calculate inbreeding depression in F2 under irrigated and rainfed conditions and to estimate phenotypic correlations for different agronomic traits.

The analysis of variance showed higher values of GCA for females and males for grain yield per plant, seed weight, pod length, filled grains per pod, days to flower indicating that these characters are predominately controlled by additive genes. The individual analysis of the F1 and F2 also exhibited considerable variability for the traits studied.

The parents Navidad 1165, Durango 222 y Negro portezuelo under irrigated and Navidad 1165, Durango 222 y Bayo Victoria under drought conditions were the best combiners for grain yield.

The following crosses 3 x 10, 4 x 9, 2 x 7, 5 x 8 and 1 x 10, 2 x 6, 2 x 9, and 4 x 6 manifested higher values of SCA for yield per plant, filled pods per plant and grains

per pod in irrigated and drought conditions respectively, therefore it is recommended to explore these crosses in future.

The heterosis ranged between 6.61 to 223.92% and -27.17 to 94.31% for yield under irrigated and drought conditions. But of 25 crosses studied 23 and 16 presented heterosis with a range of -20.43 to 135.60% and -37.71 to 80.86% under irrigated and drought conditions respectively. All the crosses studied under irrigated conditions manifested heterosis util. Meanwhile, under drought 16 crosses out of 25 expressed heterosis util.

Four crosses in irrigated and 22 crosses in drought expressed transgressive segregation in F2 for grain yield. The character number of filled pods per plant was correlated with grain yield under irrigated and rainfed conditions.

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS .....	xiv
INTRODUCCION .....	1
REVISION DE LITERATURA.....	5
Origen del frijol común.....	5
Rendimiento y componentes del rendimiento en Frijol .....	9
Influencia del ambiente sobre el rendimiento y sus componentes.....	14
Aptitud combinatoria general y específica.....	21
Heterosis en frijol común.....	27
Depresión endogámica en frijol.....	30
Mecanismos de resistencia a sequía en frijol.....	32
Correlaciones fenotípicas y genotípicas.....	37
Métodos de mejoramiento genético en frijol.....	42
Técnicas de cruzamiento.....	48
MATERIALES Y METODOS.....	50
Material genético.....	51
Obtención de híbridos y población F <sub>2</sub> .....	55
Toma de datos.....	63
Diseño genético.....	65
Aptitud combinatoria general y específica.....	67
Heterosis, heterobeltiosis y heterosis útil.....	71
Depresión endogámica.....	72
Análisis de correlación.....	72

RESULTADOS Y DISCUSION.....	74
Análisis de varianza.....	74
Componentes del rendimiento.....	87
Aptitud combinatoria general.....	104
Aptitud combinatoria específica.....	110
Heterosis.....	112
Heterobeltiosis.....	117
Heterosis útil.....	121
Depresión endogámica en la población F2.....	123
Correlaciones fenotípicas.....	127
CONCLUSIONES.....	137
RESUMEN.....	141
LITERATURA CITADA.....	147
APENDICE.....	159

## INDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Página
3.1. Código de hembras, machos, cruza y poblaciones F <sub>2</sub> , utilizadas en el experimento bajo riego y temporal en frijol común.....	59
3.2. Promedio de cinco años de temperatura y precipitación y las ocurridas durante el trabajo de campo de esta investigación.....	62
3.3. Análisis de varianza combinado para el diseño II de Carolina del Norte para diferentes características en frijol común bajo riego y temporal.....	68
3.4. Componentes del análisis de varianza para el diseño II de Carolina del Norte considerando cada ambiente por separado.....	70
3.5. Componentes del análisis de varianza para la comparación de genotipos dentro de cada población (progenitores, F <sub>1</sub> y F <sub>2</sub> ) y ambiente..	70
4.1. Análisis de varianza para diferentes características agronómicas en los progenitores de frijol común bajo condiciones de riego (R) y temporal (T).....	76

4.2. Análisis de varianza para diferentes características agronómicas de los híbridos en frijol común bajo condiciones de riego (R) y temporal (T).....	77
4.3. Análisis de varianza para diferentes características agronómicas de las F2 en frijol común bajo condiciones de riego (R) y temporal (T).....	80
4.4. Análisis de varianza del diseño II de Carolina del Norte para diferentes características agronómicas bajo condiciones de riego (R) y temporal (T).....	84
4.5. Análisis de varianza combinado para diferentes características agronómicas en los híbridos de frijol común bajo dos ambientes.....	86
4.6. Promedios para diferentes características agronómicas de los progenitores en frijol común bajo condiciones de riego y temporal.....	95
4.7. Promedios para diferentes características agronómicas de los híbridos de frijol común bajo condiciones de riego y temporal.....	100
4.8. Promedios para diferentes características agronómicas de la población F2 en frijol	

común bajo condiciones de riego y temporal.....	105
4.9. Estimación de la aptitud combinatoria general para diferentes características agronómicas de progenitores en frijol común bajo riego y temporal.....	111
4.10. Estimación de los efectos de aptitud combinatoria específica para diferentes características agronómicas en frijol común bajo riego y temporal.....	113
4.11. Heterosis para diferentes características agronómicas en los híbridos de frijol común bajo condiciones de riego y temporal.....	118
4.12. Porcentaje de heterobeltiosis de diferentes características agronómicas para 25 cruas en frijol común bajo riego y temporal.....	120
4.13. Heterosis útil para diferentes características agronómicas de los híbridos de frijol común bajo condiciones de riego y temporal.....	124
4.14. Porcentaje de depresión endogámica para diferentes características agronómicas de la población F <sub>2</sub> de frijol común bajo riego y temporal.....	128

4.15. Correlaciones fenotípicas para diferentes características agronómicas en frijol común, en los progenitores bajo condiciones de riego (R) y temporal (T).....	132
4.16. Correlaciones fenotípicas para diferentes características agronómicas de los híbridos en frijol común bajo condiciones de riego (R) y temporal (T).....	134
4.17. Correlaciones fenotípicas para diferentes características agronómicas en frijol común en las poblaciones de F <sub>2</sub> bajo condiciones de riego (R) y temporal (T).....	136

## INTRODUCCION

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa muy importante por su contenido de proteína y por el alto consumo de este grano en México y otros países. La superficie dedicada a su cultivo es de aproximadamente dos millones de hectáreas por año, de las cuales cerca del 15 por ciento se desarrollan bajo condiciones de riego con un rendimiento de 1300 kg/ha y el 85 por ciento de la superficie restante se cultiva bajo condiciones de temporal con rendimientos aproximados a 500 kg/ha (Kuruvadi y Pérez, 1991).

Los bajos rendimientos en temporal se atribuyen principalmente a la escasa y errática distribución de la precipitación durante el ciclo de cultivo y otros factores como plagas, enfermedades, exceso o deficiencia de macro y micronutrientes en el suelo y baja utilización de agroquímicos.

Los métodos de mejoramiento más frecuentemente usados en el frijol común, para desarrollar variedades y

poblaciones superiores son: introducción, selección visual, masal, hibridación, pedigrí, retrocruzamiento y sus modificaciones, mutaciones, método de descendencia de una semilla y selección recurrente (Rodríguez y Kuruvadi, 1990 y Singh, 1994).

Es muy importante el conocimiento de la naturaleza de la acción de genes para diferentes características cuantitativas para elegir el método de mejoramiento más adecuado, para lograr el máximo avance en el frijol. Para desarrollar variedades rendidoras, híbridos potenciales y variedades sobresalientes el criterio de selección de los progenitores, es primordial en un programa de hibridación. Varios investigadores han realizado mejoramiento genético en frijol (Lépiz, 1980; Rodríguez y Kuruvadi, 1990 y Singh et al., 1992) concluyendo que el conocimiento de la aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica es esencial en la formación de híbridos. La información sobre cruza dialélicas es muy valiosa para determinar la acción génica en los progenitores y estudiar heterosis para rendimiento y sus componentes en frijol. Diversos investigadores (Foland y Bassiri, 1983; Nienhuis y Singh, 1986; Rodríguez y Kuruvadi, 1990; Singh et al., 1992 y Acosta y Arrieta, 1994) estudiaron la aptitud combinatoria

general, específica y heterosis para diferentes características agronómicas bajo condición de riego y alta fertilización e identificaron progenitores superiores con altos valores de aptitud combinatoria general y cruzas sobresalientes con valores superiores de aptitud combinatoria específica, sin embargo y existe poca información sobre ACG y ACE, heterosis y depresión endogámica en las variedades de alto rendimiento que se siembran en los Estados del Norte de México bajo condiciones de temporal. Por lo tanto en esta investigación se utilizaron 10 progenitores (cinco hembras y cinco machos) seleccionados por su potencial de rendimiento bajo riego y temporal, así como por su amplia variabilidad para componentes del rendimiento. Fueron cruzados de acuerdo al diseño II de Carolina del Norte, originando 25 híbridos y posteriormente 25 poblaciones de F<sub>2</sub> que fueron evaluadas bajo condiciones de riego y temporal, con los objetivos siguientes:

a) Identificar progenitores superiores con valores altos de aptitud combinatoria general para rendimiento y sus componentes.

b) Seleccionar las cruzas sobresalientes a partir del estudio de aptitud combinatoria específica.

c) Estudiar la heterosis, heterobeltiosis y heterosis útil para diferentes características cuantitativas en frijol común.

d) Analizar la depresión endogámica en las 25 poblaciones de  $F_2$  para diferentes características agronómicas.

e) Estimar las correlaciones fenotípicas entre diferentes pares de características de progenitores, híbridos y población de  $F_2$ .

## REVISION DE LITERATURA

### Origen del frijol común

Brauer (1981) indica que el frijol pertenece a la familia Leguminosa, subfamilia Papilonoideas, tribu Faseoleas, subtribu Faselíneas y género *Phaseolus*. Las principales especies que se cultivan en México son *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común), *P. Coccineus* L. (Frijol ayocote), *P. lunatus* L. (Frijol lima) y *P. Acutifolius* Gray (frijol Tepary). La especie más importante es *P. vulgaris* L., que es una planta anual, con raíz de tipo fibroso, tallos herbáceos, de crecimiento determinado o indeterminado, los dos primeros pares de hojas son simples y a partir del tercer par las hojas son pinadas trifoliadas, la inflorescencia es un racimo, con flores pediceladas, la flor consiste de cinco sépalos, cinco pétalos, 10 estambres y un pistilo; el cáliz es gamosépalo; los pétalos difieren morfológicamente y en conjunto forman la corola. El pétalo más grande, situado en la parte superior de la corola, se llama estandarte y los dos pétalos laterales reciben el nombre de alas. En la parte inferior se encuentran los dos pétalos restantes, unidos

por los bordes laterales, formando la quilla. Los estambres son diadelfos y cada estambre consta de filamento y antera, nueve filamentos están soldados pero el décimo es libre.

Singh et al. (1991b) reportan que el frijol común es una especie diploide anual ( $2n = 2x = 22$ ) con origen en América y consiste de formas silvestres y cultivadas, las formas silvestres se distribuyen desde el Norte de México al Norte de Argentina. Pero según Koenig et al. (1990) los dos principales centros de domesticación tienen origen en Mesoamérica y sur de los Andes. Un menor y tercer centro de domesticación pudo tener lugar en Colombia o América Central. Kaplan (1981) coincidiendo de alguna forma con los anteriores investigadores, indica que datos arqueológicos y morfológicos sugieren dos centros separados de domesticación, uno en Mesoamérica dando origen a cultivares de semilla pequeña a mediana y otro en los Andes dando origen a cultivares de semilla grande, al respecto Singh et al. (1991b) señalan que los genotipos de origen Andino son predominantemente de semilla grande y son cultivados en ambientes de altiplano, mientras que los genotipos de origen Mesoamericano son predominantemente de semilla pequeña y son cultivados principalmente en

ambientes calientes. Agregando que el grupo Mesoamericano es morfológicamente más diverso que el grupo Andino.

McClellan et al. (1993) reportan que datos arqueológicos, morfológicos y bioquímicos sugieren que el frijol común fue domesticado en Sudamérica y Centroamérica separadamente. Por otro lado Gepts et al. (1988) expresan que los frijoles negros y de semilla pequeña fueron domesticados en partes bajas tropicales de Centroamérica, mientras que los de semilla mediana pinto, rosa, rojos mexicanos y grandes del Norte fueron domesticados en el altiplano árido de la parte central de México. Estas dos regiones son descritas como Centro Mesoamericano de Domesticación. Los frijoles de este centro fueron transportados en el desierto Suroeste, con la posterior dispersión de los frijoles norteros grandes a las Grandes Planicies Centrales y frijol Navy al oriente de Estados Unidos de Norteamérica.

White et al. (1994) argumentan que la variedad Durango 222 y Bayo río grande se cree se originaron de poblaciones separadas de frijol silvestre que evolucionó en diferentes ambientes (elevación baja a media y clima cálido y semiárido, altiplano frío) los cuales pueden poseer

diferentes mecanismos y genes para tolerancia a déficit de agua pero la mayoría del germoplasma del altiplano es altamente sensible a la longitud del día, mencionando Wallace et al. (1993) que los genes que afectan la sensibilidad al fotoperíodo afectan la partición de los fotosintatos y por lo tanto el índice de cosecha.

Debouck et al. (1993) en una investigación sobre la diversidad genética y distribución ecológica en frijol común concluyen que; El conocimiento de la distribución el ancestro silvestre de frijol común es incompleto; En cultivos para los cuales no se ha encontrado el ancestro silvestre, se recomienda recolecciones adicionales junto con análisis de diversidad genética a escala molecular; Materiales intermedios identificados en Ecuador y Norte de Perú podrían tener un papel en la determinación del origen de la especie y como puente entre los dos acervos.

Kornegay et al. (1992) señalan que la expresión del hábito de crecimiento en frijol común, depende principalmente de la herencia de tres caracteres simples que son a) hábito determinado o indeterminado b) longitud de los entrenudos del tallo principal y c) capacidad de trepar mediante enrollamiento. Singh (1982) menciona que la

expresión fenotípica de estos genes en diferentes combinaciones se han agrupado en cuatro hábitos de crecimiento principales, de los cuales los primeros tres son considerados tipo mata y el último tipo trepador.

#### Rendimiento y componentes del rendimiento en frijol

Kohashi (1996) menciona que el rendimiento es la expresión fenotípica y resultante final de los procesos fisiológicos que se reflejan en la morfología y en la fisiología de la planta. También señala que el análisis de los componentes del rendimiento permite saber; en una situación dada, cual de ellos es el que limita en mayor grado al rendimiento, para emprender estudios dirigidos a superar esta limitación, indicando además que en frijol el número de vainas por planta o por unidad de superficie sembrada, es un componente muy estrechamente relacionado con el rendimiento de semilla. Sin embargo Acosta (1988) expresa que el rendimiento de frijol común puede ser considerado como el producto de sus componentes: número de vainas por planta, número de semillas por vaina y peso individual de la semilla y las reducciones en el rendimiento de frijol común debido a estrés por agua puede ser atribuido a efectos sobre uno o más componentes, de

acuerdo a la etapa de crecimiento del cultivo y la intensidad y la duración del estrés. En cambio Adams (1967) señala que no hay una interdependencia entre los componentes del rendimiento en frijol, puesto que las correlaciones entre componentes fueron prácticamente de cero en un ambiente sin condiciones limitantes. Nienhuis y Singh (1988b) trabajando con frijol común encontraron que entre rendimiento y sus componentes, el rendimiento por si mismo fue el criterio de selección más efectivo para incrementar el rendimiento potencial en frijol común de origen Mesoamericano.

Sexton et al. (1994) indican que el rendimiento potencial de semilla puede ser considerado como función de la tasa de acumulación de biomasa, intensidad de distribución a sitios reproductivos y duración del crecimiento. Así mismo la mayor duración en el sitio más frío pudo presumiblemente permitir a las plantas mayor acumulación de nitrógeno y carbono y producir mayor rendimiento. Las líneas de semilla grande florecieron primero que las líneas de semilla pequeña. Este descubrimiento es consistente con lo observado en las líneas de semilla grande que generalmente tienen menor índice de área foliar, que en respuesta fue asociado con

bajas reservas de N en la hoja, tomando como base el área de campo. Al respecto Rosales et al. (1995a) en una investigación en frijol bajo riego y temporal, encontraron que las líneas con mayor producción de biomasa fueron las de mayor rendimiento de grano.

White y González (1990) señalan que los cultivares de semilla grande generalmente tienen menor rendimiento potencial que los cultivares de semilla pequeña, bajo condiciones de crecimiento desfavorables. Por su parte Singh (1989) menciona que los factores que limitan el rendimiento potencial en los cultivares comerciales de semilla grande, son: hábito de crecimiento determinado y número limitado de nudos para sitios de iniciación floral, tamaño de semilla grande asociado con procesos fisiológicos menos eficientes.

Beaver y Kelly (1994) indican que el mayor rendimiento de semilla de las poblaciones indeterminadas de frijol, fue atribuido a un mayor período reproductivo y a un mayor número de días a madurez fisiológica. Beaver y Kelly (1989) señalan que el frijol indeterminado también produce mayores rendimientos de semilla que los genotipos determinados, en bajas densidades de población, lo cual

beneficia a los agricultores de subsistencia del Caribe quienes con frecuencia siembran bajas densidades de plantas para reducir los costos de la semilla.

Salado-Navarro et al. (1986) estudiando 20 genotipos de soya encontraron que el rendimiento de semilla estuvo relacionado linealmente a la tasa de crecimiento de semilla basándose en el área de campo, encontrando también que la duración del llenado de semilla no fue un buen predictor del rendimiento, aunque la mayoría de los genotipos rendidores tuvieron una mayor duración de llenado de semilla. Por otro lado Brothers y Kelly (1993) indican que la arquitectura erecta, se estimó que fue moderadamente heredable en sentido estrecho variando de .42 a .62 y datos de F<sub>2</sub> de 1206 individuos indican que la arquitectura de planta y peso de semilla no están ligados y la selección direccional hacia alto o bajo peso de semilla ocasionó diferencias significativas en el número promedio de semillas por vaina y en número promedio de semillas por planta. Kelly et al. (1987) agregan que el tipo II o hábito erecto provee mayor estabilidad del rendimiento bajo ciertos ambientes. Además la no recombinación entre hábito de crecimiento tipo II y tamaño de semilla puede ser

atribuido a limitados intentos en combinar los rasgos deseables de los dos diversos grupos de germoplasma.

Kornegay et al. (1992) mencionan que las cruzas dentro de las fuentes de genes y hábitos de crecimiento (tipo I x I y II X II) tuvieron muy baja estimación de heredabilidad para rendimiento y la falta de recombinación genética para altos rendimientos sugiere que las líneas parentales usadas en estas cruzas fueron de similar origen genético. En cambio Ramos (1991) concluyó que las variedades de hábito indeterminado tipo III, mostraron mayor plasticidad morfológica que las de hábito determinado, ya que las primeras disminuyeron en mayor proporción el número de ramas, nudos y vainas por planta con el retraso de la fecha de siembra y las variedades intermedias aun con esa disminución presentaron mayor número de nudos totales y con mayor rendimiento que las variedades de hábito determinado. Agregando que la producción de semilla por planta tiene una relación directa con el número de nudos, ya que estos son los sitios donde se originan las hojas e inflorescencias y por lo tanto donde se desarrollan las vainas.

## Influencia del Ambiente Sobre el Rendimiento y sus Componentes

Singh et al. (1989b) argumenta que los factores estresantes y su severidad varían de región a región y enfermedades, baja fertilidad del suelo y sequía son los problemas más frecuentes que afectan los rendimientos y su estabilidad de frijol común en países de Latinoamérica y Africa. Acosta y Ochoa (1992) indican que la evaluación de germoplasma en dos condiciones de humedad en una localidad es una estrategia que permite al mismo tiempo identificar materiales adaptados a las condiciones del temporal y materiales de buen potencial de rendimiento bajo condiciones más favorables, así mismo estudiando diferentes materiales encontraron que entre los de ciclo intermedio y precoz se pudieron identificar genotipos de buen potencial de rendimiento y con buena adaptación al temporal y los materiales tardíos fueron de alto rendimiento pero con pobre adaptación al temporal.

Chaisompongpan et al. (1990) mencionan que temperaturas de 45°C en frijol común inhiben procesos que afectan la productividad total, tales como fotosíntesis y fijación de nitrógeno. Con relación a lo anterior

Monterroso y Wien (1990) mencionan que la mayoría de las etapas reproductivas en frijol común son sensitivas a altas temperaturas, incluyendo formación de yemas florales, floración, formación de polen, fertilización de la flor y amarre de semilla. Por su parte Konsens et al. (1991) mencionan que la aborción de las yemas florales inducida por calor, antes de la antesis puede ser debida una disminución en los niveles de carbohidratos o traslocación limitada, sin embargo el daño por calor que ocurre después de la antesis, tal como la absición floral y pocas vainas y amarre de semillas, es probablemente debido a la falta de polinización o fertilización, así mismo las altas temperaturas nocturnas son altamente detrimenales para la vaina y amarre de semillas de leguminosas, incluyendo frijol común.

Shonnard y Gepts (1994) encontraron que la exposición a altas temperaturas durante las etapas de formación de las yemas florales y llenado de vainas principalmente, ocasionó un severo daño. Ambos rasgos mostraron una variación continua indicando herencia cuantitativa y en estudios genéticos se encontró la presencia de efectos citoplásmicos, incluyendo interacciones de genes del citoplasma con genes nucleares.

La exposición a temperaturas bajas extremas durante etapas reproductivas críticas puede afectar el rendimiento de semilla. Además la presencia de efectos aditivos significativos para tolerancia al calor durante la formación de las yemas florales en cuatro de las cruzas y durante el llenado de la vaina en una de las cruzas, sugiere la posibilidad de ganancia por selección en dichas etapas de desarrollo y las interacciones citoplásmicas significativas para varias de las cruzas en las etapas mencionadas anteriormente indican la importancia de seleccionar la dirección de la craza cuidadosamente.

Con relación a la disponibilidad de agua en el suelo sobre los componentes del rendimiento Acosta y Adams (1991) indican que el rasgo vainas por metro cuadrado fue el más afectado por el estrés de agua, puesto que el número de vainas "amarradas" está altamente determinado pocos días después de la floración y el número de semillas por vaina no fue afectado ya que las plantas afectadas por estrés retuvieron pocas vainas. Ochoa et al. (1995) señalan que en aquellas localidades con mayor precipitación se tuvo el mayor tamaño de semilla, sobre todo cuando hubo disponibilidad de agua durante el período de llenado de grano.

Rosales et al. (1995b) mencionan que el altiplano mexicano se caracteriza por una extrema variación en la cantidad y la distribución estacional de la precipitación y dichas condiciones no permiten la expresión del potencial genético de las variedades de frijol, por lo que es necesario contar con genotipos estables. Una variedad posee amplia adaptación cuando su rendimiento es estable en diversas localidades y tiene adaptación local cuando su rendimiento es estable en determinada localidad a través de los años. Así mismo estos investigadores señalan que al mejorar la arquitectura de la planta con el fin de lograr un mejor manejo del cultivo, se ha disminuido el potencial genético ya que los materiales de hábito III tienen mayor oportunidad en condiciones de temporal errático que los materiales de los hábitos I y II. Los primeros tienen mayor capacidad de recuperación después de pasar por períodos de sequía.

Ochoa et al. (1989) de acuerdo a trabajo realizado en la zona semiárida de México, encontraron que los análisis de varianza por localidad mostraron una fuerte variación a través de localidades indicando que aparentemente los factores que más influyeron en el rendimiento fueron la cantidad y distribución de la lluvia,

la presencia de enfermedades y la adaptación. Villar S. (1989a) resalta la importancia que tiene el contenido de humedad del suelo sobre el rendimiento y sus componentes, agregando que fue el factor que mayor influencia tuvo sobre el rendimiento del cultivo de frijol, así mismo la altura de planta, días a madurez, vainas por planta y granos por vaina fueron las características más afectadas por la disponibilidad de agua.

Villar S. (1989b) indica que la variedad precoz de frijol rindió mejor en los ambientes con menos humedad residual e igual que la variedad de ciclo intermedio en el ambiente más húmedo, también la altura de planta y los componentes del rendimiento del frijol común se incrementaron en las fechas de siembra tempranas.

Estudiando la eficiencia en el uso del agua de cinco especies bajo condiciones de temporal Fernández R. y Martínez M. (1993) concluyeron que el frijol resultó ser el cultivo más rentable, seguido por la avena, cebada, maíz y la asociación maíz-calabaza, con estos dos últimos sistemas de cultivo no se pagó la inversión. Agregando que la mayor producción de grano de la avena, cebada y frijol se puede

atribuir a su corto ciclo de cultivo, que se ajustó mejor a la distribución de la lluvia.

Singh et al. (1989a) mencionan que la tendencia general de las líneas alto rendidoras de poseer semilla más grande y madurez tardía puede sugerir usar esto como un criterio adicional de selección en cruza alto rendidoras, para maximizar la ganancia. Así mismo encontraron que las dos cruza más rendidoras fueron entre germoplasma de origen centroamericano de semilla pequeña (partes bajas) y de semilla mediana del altiplano confirmando resultados encontrados por Nienhuis y Singh (1988a) en los cuales las líneas derivadas de cruza similares presentaron aptitud combinatoria general positiva para rendimiento de semilla y resultaron alto rendidoras.

Singh et al. (1992) encontró que los cuadrados medios debido a machos y hembras fueron significativos ( $p < 0.05$ ) para cinco caracteres estudiados. Aunque los cuadrados medios debidos a la interacción de machos y hembras con localidades también fueron significativos, sus valores fueron más pequeños comparados con los cuadrados medios para machos y hembras. Sin embargo para rendimiento de semilla, número de vainas por metro cuadrado y número de

semillas por metro cuadrado, los valores de los cuadrados medios para macho x hembra y sus interacciones con localidades no fueron significativos ( $p > 0.05$ ). Por lo tanto, las combinaciones parentales específicas para hibridación pueden ser de relativamente menor importancia para mejoramiento de rendimiento de semilla y sus componentes en frijol común de origen andino. La cantidad de varianza genética aditiva que puede ser generada por los progenitores depende en algunas ocasiones de la localidad y esta puede ser explotada por selección de cultivares alto rendidores en la localidad específica.

Generalmente la heredabilidad de madurez y tamaño de semilla es más alta que rendimiento de semilla. Sin embargo en frijol, la madurez y tamaño de semilla están bajo un complejo control genético que incluye genes con efectos aditivos, esto sugiere que los dos rasgos pueden ser influidos por componentes edáficos y humedad, ocasionando una interacción genotipo-ambiente (Saindon y Schaalje, 1993).

## Aptitud Combinatoria General y Específica

Sprague y Tatum (1942) por primera vez emplearon los términos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) y el uso de diseños dialélicos para su estimación. Definiendo a la ACG como el comportamiento de una línea en combinaciones híbridas y la ACE como los casos en los cuales ciertas combinaciones lo hacen mejor o peor de lo que podría esperarse basándose en el comportamiento promedio de las líneas involucradas. En cambio Falconer (1980) indica que el valor medio de las  $F_1$ 's de sus cruzas con otras líneas, se conoce como aptitud combinatoria general, mientras que la desviación de la aptitud combinatoria general aptitud combinatoria especial o específica de la crusa. De manera que las diferencias promedio de las líneas respecto a la actuación de una crusa particular, es conocida como aptitud combinatoria general y se deben a la varianza genética aditiva en la población base, y a las interacciones aditiva x aditiva, pero las diferencias de aptitud combinatoria especial se atribuyen a la varianza genética no aditiva. Brauer (1981) manifiesta que la capacidad de combinación de un solo progenitor con muchos otros es lo que se llama aptitud combinatoria general, mientras que la capacidad individual de

combinación de un progenitor con otro es la aptitud combinatoria específica, señala además, que está demostrado que el cruzamiento entre variedades de genealogía bien distinta, puede dar origen a combinaciones con un alto grado de heterosis medido por su rendimiento, en maíz.

Lépiz (1980) menciona que hasta la fecha en el mejoramiento genético de frijol se ha utilizado poco la aptitud combinatoria general y específica y los estudios genéticos de frijol en el país son recientes, existiendo poca información sobre aptitud combinatoria, heterosis y acción de genes para las características de rendimiento y sus componentes, así como de otras características agronómicas en las variedades actualmente manejadas en los programas de mejoramiento de frijol.

Singh y Jain (1971) en investigaciones de cruzas dialélicas en *Phaseolus aureus* encontraron que en cruzas de alta ACG x alta ACG originaron altos efectos de ACE y ninguna de las cruzas involucrando bajos x bajos combinadores tuvieron altos efectos de ACE. Por su parte Gritton (1975) en un estudio sobre chícharo detectó que tanto la ACG como ACE fueron importantes para días a floración, altura de planta, vainas por planta, granos por

vaina y rendimiento de semilla, vainas por planta mostró alguna influencia materna que en respuesta hubo efectos maternos o recíprocos para semillas por planta y rendimiento.

Singh y Gutiérrez (1990) expresan que las cruizas entre genotipos que poseen ACG positiva para rendimiento de semilla y representan diferentes razas y pools génicos dan como resultado mayor ganancia por selección. White et al. (1994) argumenta que los altos cuadrados medios debido a ACG comparados con los valores de ACE sugieren principalmente acción génica aditiva para rendimiento de semilla, días a madurez y peso de 100 semillas. Esto además apoya la factibilidad de selección para estos rasgos bajo déficits de agua.

Nienhuis y Singh (1988a) encontraron que líneas derivadas de cruizas entre germoplasma Mesoamericano de semilla pequeña de partes bajas y germoplasma de semilla mediana de altiplano presentaron aptitud combinatoria general positiva para rendimiento de semilla y fueron alto rendidores. Resultados similares fueron obtenidos por (Singh 1989).

Kornegay et al. (1992) expresan que la aptitud combinatoria general de las cinco líneas parentales fue la principal fuente de variación entre genotipos, aunque la varianza para aptitud combinatoria específica fue también significativa, para la mayoría de los caracteres evaluados, excepto número de nudos sobre el tallo principal, rendimiento en la F2 y número de semillas por planta y rendimiento en la F3.

Acosta y Arrieta (1994) encontraron en frijol común efectos de ACG positivos e importantes para dos progenitores en dos localidades de estudio, indicando además que la variedad Flor de Mayo M-38 por sus características agronómicas superiores y alta ACG, deberá de utilizarse como progenitor en los programas de mejoramiento de la región templada.

Singh et al. (1992) indica que la identificación de progenitores con valores de ACG positiva para rendimiento de semilla y tamaño de semilla pueden ser deseables para su utilización en hibridación y programas de selección. Además mencionan que el conocimiento de la aptitud combinatoria parental es esencial para crear variación genética útil a través de la hibridación. Encontrando

efectos positivos de ACG para rendimiento (19 progenitores), peso de semilla (seis progenitores) semillas por metro cuadrado (20 progenitores) vainas por metro cuadrado (19 progenitores) y días a madurez (29). Aptitud combinatoria general negativa se encontró para días a madurez en 25 progenitores. En cambio Nienhuis y Singh (1988a) encontraron que la mayoría de los cultivares de frijol común alto rendidores de semilla pequeña de Mesoamerica presentaron aptitud combinatoria general de cero o negativa para rendimiento de semilla, pero algunas líneas derivadas de cruces de semilla mediana con variedades criollas del altiplano de México combinaron bien.

Singh et al. (1989a) señala que la selección para rendimiento en frijol común generalmente ha sido inefectiva, agregando que la falta de respuesta a la selección es la ausencia de variación genética en las poblaciones híbridas. Por su parte Coyne (1968) menciona que es debido a la baja heredabilidad y la fuerte interacción genotipo x ambiente.

En un trabajo de investigación realizado por White et al. (1994) con nueve progenitores en un diseño

dialélico, sin considerar cruzas recíprocas pero incluyendo progenitores en dos localidades en México y dos en Colombia y usando la población masal F2 y F3, la ganancia esperada en rendimiento de semilla varió de 1.8 a 8.4 por ciento en México y de 6.5 a 28.1 por ciento en Colombia. Los progenitores del altiplano mexicano (1700 a 2400 msnm) tendieron a mostrar una aptitud combinatoria general positiva para rendimiento en México pero valores negativos en Colombia, mientras que los progenitores adaptados a elevaciones medias (800 a 1600 msnm) de ambientes tropicales mostraron una tendencia opuesta.

Rodríguez y Kuruvadi (1990) encontraron que al estudiar algunas características en frijol común, la mayoría están controladas predominantemente por varianza genética aditiva con excepción del rendimiento por planta, que mostró igual proporción de varianza genética aditiva y no aditiva en su herencia. Indicando además que existe considerable variabilidad para diferentes características agronómicas en los progenitores e híbridos formados.

## Heterosis en Frijol Común

Kuruvadi et al. (1993) indican que la heterosis es el producto de comparar las características de la generación F1 con el promedio de ambos progenitores, mientras que la heterobeltiosis es la comparación de la F1 con el progenitor superior, así mismo mencionan que el objetivo del mejoramiento genético en cualquier cultivo, es desarrollar materiales altamente rendidores, ya sean líneas puras, híbridos potenciales o poblaciones sobresalientes al progenitor superior. Parga et al. (1992) señalan que la importancia y utilización de la heterosis, depende de los incrementos en el rendimiento y el grado en que se manifiestan otros caracteres de interés agronómico y económico con respecto al mejor de los progenitores, o sea, de la heterobeltiosis.

Allard (1980) menciona que los cruzamientos de genitores de diferentes orígenes produjeron mayor heterosis que los genitores más relacionados, indicando además que el grado de heterosis en cruzamientos varietales de especies autógamias como cereales, judía y tomate, indican respuestas medias menores que en plantas alógamas, aunque algunos híbridos F1 muestran un aumento considerable de vigor sobre

el genitor superior. Robles (1986) manifiesta que la máxima expresión de heterosis se espera obtener al cruzar dos líneas puras por contener el híbrido un mayor número de genes heterocigóticos; otro factor que influye en el aumento del vigor híbrido es la eliminación, por selección, de genes deletéreos que se eliminan en los procesos de autofecundación y homocigosis en la formación de las líneas puras. Además la expresión de la heterosis se debe a la sumatoria de todos los genes que intervienen en todas las variantes de acción de genes interalélicos e intralélicos. Por su parte Kuruvadi (1988) expresa que generalmente los progenitores de fuentes diversas manifiestan más heterosis en sus híbridos para rendimiento y sus componentes que los progenitores relacionados y su progenie exhibe un amplio espectro de variabilidad para selección de genotipos superiores.

Falconer (1980) menciona que cuando se cruzan líneas endogámicas, la progenie muestra un incremento en aquellos caracteres que previamente sufrieron reducción por la endogamia por lo tanto la heterosis es simplemente la depresión endogámica invertida.

Gritton (1975) trabajando con chícharo encontró que las F<sub>1</sub>'s fueron consistentemente más rendidoras que el mejor progenitor de la crucea y un valor aproximado de 28 por ciento fue obtenido a través de años y localidades en ésta comparación.

Beaver y Kelly (1994) señalan que los rendimientos de semilla obtenidos en la F<sub>2</sub> fueron mayores que los obtenidos en generaciones de prueba posteriores, lo que sugiere que la heterosis puede ser importante en la expresión del rendimiento de frijol en generaciones tempranas y la existencia de cantidades significativas de heterosis para rendimiento de semilla puede tender a ocultar las diferencias entre poblaciones cuando son probadas en generaciones tempranas.

Singh (1989) menciona que aunque se pueden presentar seria dificultades cuando son combinados genotipos de diferentes pools génicos, las cruces divergentes también pueden proporcionar mayor oportunidad para el desarrollo de germoplasma de frijol con rendimiento potencial aumentado.

Wassimi et al. (1986) explica que la heterosis significativa en los medios hermanos puede ser debida

ligamiento en la fase de repulsión de genes dominantes, o simplemente debido a asociaciones de alelos en los progenitores endogámicos.

Martin et al. (1995) expresa que la heterosis en la progenie F1 ha sido usada como un indicador de la diversidad genética entre progenitores. Asumiendo que la heterosis es función de la heterocigocidad, la heterosis puede ser una función aumentada de la diversidad parental.

#### Depresión Endogámica en Frijol

Molina (1992) definió la endogamia como el apareamiento preferencial genotípico positivo, por lo tanto el apareamiento entre individuos que son parientes y el grado de parentesco de los individuos puede ser tan estrecho como en la autofecundación o tan amplio como el de dos individuos que son primos lejanos.

Allard (1980) indica que las poblaciones que sufren consanguinidad producen depresión endogámica y llevan gran número de genes recesivos ocultos en los heterocigotos. En cambio Falconer (1980) menciona que la consecuencia observada más sorprendente de la endogamia es la reducción

del valor fenotípico medio mostrado por caracteres conectados con la capacidad reproductiva o con la eficiencia fisiológica, fenómeno conocido como depresión endogámica. Agregando que cada variedad de una planta naturalmente autofecundada es una línea altamente endogámica y la única variación genética dentro de ella se presenta por mutación. Por su parte Reyes (1985) señala que las consecuencias de la endogamia en plantas ha conducido a afirmar que este método de apareamiento no es aconsejable, ya que se han encontrado progenies consanguíneas cuyos individuos han tenido características que los imposibilitan para la lucha por la existencia o para poder competir con sus semejantes; la selección natural los elimina y únicamente sobreviven los mejor dotados. Sin embargo, paralelamente a individuos genéticamente inferiores, por medio de la consanguinidad se han obtenido individuos sobresalientes y organismos genéticamente uniformes que transmiten fielmente sus características a su progenie.

Márquez (1988) establece que pueden existir por lo menos cinco causas de heterosis-endogamia: dominancia, sobredominancia aparente (ligamiento en repulsión), alelos múltiples, sobredominancia real y epistasis, todo esto desde el punto de vista genético cuantitativo, lo cual ha

permitido a los genotecnistas aprovecharla en la formación de híbridos de diferentes especies del reino vegetal.

Gutiérrez y Singh (1985) indica que la reducción en el comportamiento debido a un incremento en la homocidad en la F<sub>2</sub> , resultado de la endogamia, puede ser debido a una reducción de acciones génicas intra e interalélicas no aditivas ( es decir dominancia, sobredominancia y epistasis) asociadas con la heterocigocidad, puesto que en sus cruzas observaron efectos heteróticos positivos. Pero también observaron depresión endogámica con valores de -23.9 a 43 por ciento en rendimiento, -13 a 2.85 para peso de 100 semillas, -5.8 a 27.9 por ciento para vainas por planta.

#### Mecanismos de Resistencia a Sequía en Frijol

Simmons (1984) indica que algunas variedades bien adaptadas pueden tener tolerancia a sequía, pero ésta adaptación comúnmente resulta de la selección por comportamiento promedio a través de varias temporadas, más que de selección específica para tolerancia a sequía. Por su parte Acosta y Adams (1991) mencionan que la exploración para rasgos de resistencia a sequía es

importante y la identificación de tales rasgos en frijol, es necesaria para complementar los programas de mejoramiento genético convencional.

Berg y Hsiao (1986) señalan que las respuestas paraheliotrópicas de las hojas de frijol común bajo estrés de nutrientes son similares a las respuestas de estrés por falta de agua. Por su parte Fu y Ehleringer (1992) manifiestan que las variaciones en el uso eficiente del agua probablemente ocasionó una más baja relación de la fotosíntesis a la conductancia de la hoja en las plantas con baja fertilización que en las plantas con alta fertilización. Indicando además que los movimientos activos de las hojas ocasionan cambios en los niveles de radiación incidente durante el día, por lo tanto provee mecanismos para la regulación u optimización de procesos fisiológicos dependientes de la radiación. En este contexto Ludlow y Björkman (1984) sugieren que los movimientos paraheliotrópicos de las hojas pueden ocasionar un aumento en el uso eficiente del agua, evitación de la fotoinhibición durante el estrés de agua e incremento en el nivel de la tasa fotosintética. Fu y Ehleringer (1992) reportan que como resultado de los movimientos paraheliotrópicos de la hoja, los folíolos de frijol con

bajos niveles de fertilización, recibieron menor densidad de flujo fotónico fotosintético incidente y agregan que la baja densidad de flujo fotónico fotosintético incidente, baja tasa de transpiración y tamaño reducido de hoja en plantas con baja fertilización ocasionó temperaturas foliares similares a las de plantas con alta fertilización con mayor tamaño de hoja y experimentando ambas altos niveles en la densidad de flujo fotónico fotosintético incidente tasas de transpiración. Con relación a lo anterior Kao et al. (1994) establecen que el heliotropismo puede ser un valioso rasgo selectivo para programas de mejoramiento dirigido a mejorar la adaptación de frijol común a la sequía y/o ambientes de baja humedad, también se ha sugerido que los movimientos heliotrópicos pueden ser benéficos para incrementar el uso eficiente del agua bajo sequía y para incrementar la productividad bajo condiciones de buena humedad. El aumento en el paraheliotropismo disminuye los niveles de radiación incidente sobre la superficie de la hoja y así reduce la pérdida de agua por transpiración a través de una reducción en la temperatura de la hoja.

Lynch et al. (1992) mencionan que en colectas de frijol común realizadas en México, Guatemala, Perú y

Argentina, las colectas mexicanas tuvieron altas tasas fotosintéticas, bajos contenidos de proteína soluble y el más alto uso eficiente de nitrógeno(N) fotosintético, concluyendo además que existe variación genética para características fotosintéticas de la hoja, en el germoplasma silvestre. Agregando que una estrategia para mejorar la adaptación genética de frijol a bajos niveles de N en el suelo es desarrollar genotipos de frijol capaces de hacer un uso más eficiente del N adquirido. El uso eficiente del nitrógeno fotosintético de hojas individuales(aquí definido como la tasa instantánea de asimilación de CO<sub>2</sub> por unidad de área foliar dividido por la masa de N por unidad de área foliar) puede por lo tanto ser un importante componente total del uso eficiente del nitrógeno de la planta, y su utilidad potencial en el mejoramiento de frijol. La fijación simbiótica de N y altas reservas de N en la semilla son dos características del frijol común que pueden representar adaptaciones a ambientes de bajo N. Indicando que existe variabilidad genética significativa para rasgos asociados con fotosíntesis foliar, pero tres son los de especial interés en términos de su utilidad potencial en el mejoramiento genético de frijol cultivado, estos son, el uso eficiente del N fotosintético, densidad estomática adaxial y volumen

celular en empalizada. La densidad estomática adaxial es un carácter que puede estar relacionado al uso del agua en la hoja y por lo tanto al uso eficiente del agua. La densidad de estomas puede permitir una rápida asimilación de CO<sub>2</sub> durante períodos de apertura estomática en la mañana y tarde, que puede incrementar la asimilación diaria de carbono (C) en situaciones de limitación de agua del mediodía. Resultando que las colectas Mexicanas tienen la mayor densidad estomática adaxial. Donde las poblaciones silvestres son encontradas en ambientes soleados que reciben poco o nula precipitación después de la floración, condiciones que incrementan la probabilidad de estrés.

Rosales et al. (1995a) mencionan que diferentes genotipos evaluados mostraron diferentes mecanismos de tolerancia al estrés hídrico mediante la modificación de su fenología. El testigo, Pinto Villa muestra alta eficiencia en la utilización de los factores del medio, debido a su hábito de crecimiento, velocidad de establecimiento y alto número, distribución y tamaño de las hojas, lo que confiere adaptación a las condiciones de la región, utiliza menos tiempo a floración y madurez, que los demás y obtiene rendimientos superiores, lo que sugiere que tiene

mayor capacidad para producir asimilados aún después de la floración y la rápida traslocación de éstos a los órganos reproductivos.

Muñoz et al. (1995) mencionan que la plasticidad, principalmente en frijoles que tienen hábito de crecimiento indeterminado, representa un importante mecanismo de resistencia a sequía, por la posibilidad de detener los procesos de crecimiento al ocurrir la deficiencia hídrica y por la capacidad para recuperar las funciones al reanudarse la disponibilidad del líquido.

#### Correlaciones Fenotípicas y Genotípicas

Falconer (1980) indica que la asociación entre caracteres que puede ser observada directamente es la correlación de los valores fenotípicos o correlación fenotípica en este sentido Adams (1967) reportó una interrelación en frijol común donde los componentes del rendimiento se compensaron entre ellos, logrando efectivamente un incremento en el rendimiento por selección de un componente individual.

Kornegay et al. (1992) mencionan que la biomasa y tasa de crecimiento explican en gran medida la variación en el rendimiento, sin embargo la selección directa fue propuesta como un método más eficiente para incrementar rendimiento en frijol que la selección indirecta usando rasgos fenológicos y fisiológicos. Coincidiendo de alguna forma con los investigadores antes citados Acosta y Adams (1991) en frijol común encontraron que el contenido total de materia seca en la madurez fisiológica, índice de cosecha y número de vainas por metro cuadrado fueron los únicos rasgos correlacionados positivamente con rendimiento bajo condiciones de estrés, en dos localidades.

Acquaah et al. (1992) expresan que algunos rasgos están relacionados a otros en el sentido que ellos influyen o involucran la misma función general y pueden estar bajo el mismo control genético y el conocimiento de las relaciones biológicas y funcionales entre rasgos, pueden ser de beneficio para los mejoradores de plantas en la selección de rasgos a usar para incrementar la eficiencia de la selección en un programa de mejoramiento.

Pajarito et al. (1989) trabajando con frijol encontraron que las características días a floración, días

a madurez fisiológica estuvieron positiva y significativamente correlacionadas con rendimiento en los genotipos con escape a la sequía sin embargo, con el período efectivo reproductivo estuvo correlacionado negativamente, en los genotipos que no presentan el mecanismo de escape a la sequía aunque las correlaciones de las variables antes mencionadas con rendimiento fueron significativas, pero negativas para las primeras dos variables y positiva para la tercera. En cambio Nienhuis y Singh (1986) y White y González (1990) señalan que en frijol común el tamaño de semilla frecuentemente está correlacionado negativamente con rendimiento de semilla y componentes del rendimiento de vainas por planta y semillas por vaina, siendo especialmente real esta observación para el hábito tipo I mata determinado y hábito de crecimiento indeterminado tipo II y III. Sin embargo Ochoa et al. (1995) en un trabajo sobre rendimiento y adaptación de variedades de frijol encontró que el peso de semilla mostró una correlación positiva y significativa con rendimiento, pero no con días a floración y días a madurez. Pero Singh y et al. (1991a) afirman que en frijol común existe fuerte asociación entre tamaño de semilla y hábito de crecimiento. Por su parte Brothers y Kelly (1993) indican que el progreso en el tamaño medio de la semilla en frijol

pinto parece estar limitado por ligamiento negativo entre tamaño pequeño de semilla y rasgos de arquitectura deseados así mismo los coeficientes de correlación para número de semillas por planta con el número promedio de semillas por vaina y con el número promedio de vainas por planta fue  $r = 0.47$  y  $r = 0.82$ , respectivamente, indicando que el número de vainas también puede contribuir al rendimiento.

White y González (1990) encontraron que el tamaño de la semilla estuvo correlacionado con el tamaño de las células guardas de los estomas, parénquima del cotiledón, endodermis del hipocótilo y endodermis del tejido de la raíz, hipotéticamente el tamaño reducido de las célula de los cultivares de semilla pequeña presumiblemente concentran su maquinaria celular y así conferir algunas ventajas fisiológicas a estas (tales como mayores tasas fotosintéticas) que pueden explicar su mayor rendimiento. Trabajando con 112 genotipos de frijol común Scully y Wallace (1990) encontraron que el rendimiento de semilla estuvo linealmente relacionado a la tasa de crecimiento de la biomasa, días a llenado de vaina y tasa de crecimiento de semilla.

Lynch et al. (1992) encontraron que la temperatura media en la región de origen del frijol común estuvo positivamente correlacionada con la densidad estomática adaxial y negativamente correlacionada con contenido de proteína soluble, contenido de clorofila b y contenido de clorofila a y la precipitación total fue correlacionada positivamente con la densidad estomática abaxial y negativamente correlacionada con la tasa de intercambio de CO<sub>2</sub>, contenido de clorofila a en la hoja y contenido de clorofila b en la hoja.

Lynch y Rodríguez (1994) indican que la longevidad de la hoja fue altamente correlacionado con la duración del nitrógeno(N) en la hoja y significativamente correlacionado con la asimilación acumulativa de CO<sub>2</sub> por la hoja. Concluyendo que la longevidad de la hoja es un factor importante en el uso eficiente de N pero la variación genética para arquitectura de tallo en frijol común no es importante en la determinación del uso eficiente de N en hojas individuales.

Kornegay et al. (1992) indican que los esfuerzos en el mejoramiento para incrementar el rendimiento potencial en frijol común deben considerar los efectos

interrelacionados de hábito de crecimiento, tamaño de semilla, madurez y grupo génico, sobre la expresión del rendimiento en generaciones segregantes. La capacidad para incrementar el rendimiento de la progenie de la línea G13625 fue asociada con un aumento en la expresión del hábito de crecimiento tipo enredadera, rasgos longitud de guía, número de nudos en el tallo principal y altura de planta.

Rasmusson (1987) indica que en su revisión de ideotipo estableció que los mejoradores pueden estar relacionados no solo con rasgos morfológicos, también con rasgos fisiológicos, bioquímicos, anatómicos y fenológico porque estos rasgos pueden estar interrelacionados o ser interdependientes.

#### Métodos de Mejoramiento Genético en Frijol

Hayman (1954) al analizar la teoría de cruza dialélicas, define una crusa dialélica como el grupo de todos los posibles cruzamientos entre varios genotipos, definiendo genotipo como individuos, clones, líneas homocigóticas, etc. El trabajo fue realizado tomando en cuenta la siguientes asumpciones dado que se tienen en

muchos sistemas genéticos: a) segregación diploide, b) no diferencias entre cruzas recíprocas, c) acción independiente de genes no alélicos y en cruzas dialélicas, d) no alelismo múltiple, e) progenitores homocigóticos, f) distribución independiente entre los genes de los progenitores.

Además menciona que las cruzas dialélicas proveen un poderoso método de investigar los sistemas poligénicos y que asumiendo un simple sistema genético fundamental, es posible mediante mediciones en la progenie, obtener mediciones del grado total de dominancia, de la dominancia relativa de los progenitores y de la distribución de genes en las líneas, Hayman (1957) agrega que el modelo biométrico está basado en las anteriores hipótesis agregando la siguiente; solo diferencias ambientales entre cruzas recíprocas. Kempthorne (1955) coincide grandemente con lo antes citado, indicando además que la asunción del inciso "e" no es esencial. Pero Baker (1978) establece que asumir que los genes se distribuyen independientemente en los progenitores de una cruce dialélica no es una asunción real.

Dudley y Moll (1969) indican que cuando los efectos génicos son principalmente aditivos, los programas de mejoramiento que producen líneas puras son la elección lógica en especies autógamias, pero para situaciones donde los efectos genéticos no aditivos son suficientemente importantes, la producción de híbridos puede ser la elección preferida.

Foolan y Bassiri (1983) indican que aunque hay abundante literatura disponible sobre el uso de los sistemas dialélicos para estudiar la herencia de caracteres cuantitativos en muchas especies cultivadas, pocos trabajos se han realizado al respecto en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

Kelly y Adams (1987) sugieren la selección fenotípica recurrente como esquema de mejoramiento para combinar las características de arquitectura del ideotipo de frijol de semilla pequeña con tamaño de semilla, forma y color de frijol pinto.

Singh et al. (1990) menciona que en ausencia de déficits de agua, la selección para rendimiento de semilla en generaciones segregantes tempranas es efectiva. Por su

parte White et al. (1994) sugieren que un eficiente sistema de mejoramiento para incrementar rendimiento de semilla bajo condiciones de déficit de agua puede ser desarrollado usando pruebas de rendimiento de poblaciones masales, en generaciones tempranas.

Singh (1994) agrega que en las especies autógamas como frijol los métodos de mejoramiento más comúnmente usados son: método masal, pedigrí, retrocruzas y sus modificaciones. Aunque en años recientes se ha usado el método descendencia de una semilla y líneas endogámicas para desarrollar recombinantes, especialmente para propósitos de mapeo de genes, para selección de rasgos de baja heredabilidad y/o selección de rasgos para evaluación que no es posible en generaciones tempranas por alguna razón. Por otro lado la selección por pedigrí basada en la evaluación visual puede no ser muy efectiva, especialmente para rasgos con baja o moderadamente baja heredabilidad, tales como rendimiento de semilla.

Beaver y Kelly (1994) explican que la selección recurrente permite la acumulación de alelos deseables para rasgos cuantitativos como rendimiento de semilla. Además

que es recomendada para los trópicos donde se pueden cultivar tres generaciones por año.

Acquaah et al. (1991) afirma que en el diseño de ideotipos vegetales el objetivo puede ser establecido especialmente para procesos fisiológicos y estructuras morfológicas, por su parte Acquaah et al. (1992) menciona que el conocimiento de las relaciones biológicas y funcionales entre rasgos, puede ser de beneficio para los mejoradores de plantas en la elección del rasgo a usar para incrementar la eficiencia de la selección en un programa de mejoramiento genético. Gouesnard y Gallais (1992) mencionan que en un diseño anidado de cruzamientos pueden haber estimaciones negativas de los componentes genéticos de varianza, como consecuencia de estimaciones incorrectas, problemas experimentales, errores de muestreo o fallas en las asunciones de los modelos genéticos o estadísticos. Bridges y Knapp (1987) coinciden con los investigadores citados, sin embargo agregan que la probabilidad de estimación de un componente de varianza negativo fue más alto para diseños anidados que para diseños factoriales y también fue más alto para la estimación de la varianza de dominancia que para la estimación de la varianza aditiva.

Acosta y Adams (1991) señalan que en frijol común el mejoramiento genético por selección para rendimiento de semilla en regiones semiáridas es difícil debido a la distribución de la humedad difiere con localidades y años.

Burton y Carver (1993) indican que en los cultivos autogamos, las familias de medios hermanos y hermanos completos son generados rutinariamente en varios sistemas de intercruzamiento, pero generalmente estas familias no han sido usadas como unidad de selección, debido a la baja ganancia esperada en relación con otras unidades de selección (ejm. familias S1). El uso de familias de medios hermanos y hermanos completos autofecundados y las diferencias en varianza fenotípica entre estas familias S1, puede reducir la diferencia en la ganancia esperada entre los métodos de selección.

Voysest et al. (1994) indican manifiestan que el mejoramiento genético de frijol común en Latinoamérica se ha caracterizado por estrategias de mejoramiento conservativas diseñadas para satisfacer las preferencias con relación a tamaño de semilla, forma y color y sobretodo resistencia principalmente a enfermedades que afectan la producción en los trópicos.

## Técnicas de Cruzamiento.

El propósito del cruzamiento es producir variación genética sobre la cual pueda operar la selección. Después de que se ha hecho la cruce, se permite a la F1 y a las generaciones subsecuentes que se autofecunden naturalmente. En esta forma se obtiene una nueva población subdividida en líneas y estas llegan a diferenciarse conforme la endogamia prosigue (Falconer, 1980).

Andrade (1988) indica que cualquiera que sea la técnica de polinización que se utilice, ésta debe ser fácil, rápida y eficiente y la eficiencia depende en gran medida de que el estigma de la flor femenina y el polen de la flor masculina permanezcan en contacto continuo por un período suficiente para asegurar la fertilización, tal como ocurre en una flor con autopolinización natural, donde las anteras liberan el polen gradualmente mientras el estigma alcanza su máxima receptividad. La mayor eficiencia en los cruzamientos según Lépiz (1976) se logra siguiendo los siguientes pasos: evitar daños en el estigma de la flor femenina; polinizar 10 flores por planta, de preferencia los primeros botones florales; eliminar las vainas y flores resultantes de autofecundación en el progenitor femenino.

El método de inserción como nueva técnica de polinización en frijol fue desarrollado por Andrade (1988) y consiste básicamente en colocar la quilla de la flor masculina en antesis, sobre el estigma-estilo de la flor femenina previamente emasculada.

## MATERIALES Y METODOS

Esta investigación se desarrolló en los invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, cuyas coordenadas son 101 00` longitud oeste y 25° 22` latitud norte y altura de 1742 msnm. Los materiales genéticos fueron evaluados bajo condiciones de riego y temporal, en el Estado de Durango, en el Campo Experimental del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 3 (CEBETA No. 3), localizado aproximadamente a 104° 38` longitud oeste y 25° 50` latitud norte y 1889 msnm., temperatura media anual de 17.4°C y precipitación de 435.7 mm anuales. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificado por García (1973), el clima es del tipo BSlkw(w) (e).

El suelo en el lote ubicado en el CEBETA No. 3 es de origen aluvión, de textura fina, de tipo franco-arcillo-limoso medianamente alcalino y moderadamente pobre en materia orgánica y de aproximadamente 100 cm de profundidad.

## Material Genético

Los progenitores utilizados en esta investigación fueron 10 genotipos de frijol (Bayo Victoria, Bayo Río Grande, Negro Portezuelo, Flor de Mayo RMC, Bayo Zacatecas, Navidad 1165, Manzano, Flor de Mayo Criollo, Pinto Nacional 1 y Durango 222) previamente seleccionados basándose en su potencial de rendimiento, adaptación y rasgos agronómicos favorables, previamente identificados en ensayos de evaluación realizados de 1980 a 1992 en el Centro de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias del Estado de Durango (CIFAP-Durango), Colegio de Postgraduados y la UAAAN. Además presentan amplia variabilidad para rendimiento y sus componentes como; vainas por planta, semillas por vaina, peso de semilla y otras variables como; color de testa, tolerancia a factores adversos, tamaño y densidad de estomas, tasa de transpiración, arquitectura de la planta, hábito de crecimiento y días a madurez fisiológica. A continuación se presenta una descripción de los 10 genotipos utilizados en esta investigación.

Bayo Victoria (1): material generado por el INIFAP, es de hábito III indeterminado, ciclo intermedio, guía

corta de flor blanca, grano grande de color bayo y madura entre los 95 a 100 días, de buen potencial de rendimiento y amplia adaptación a condiciones de temporal, tolerante a tizón común (*Xanthomonas phaseoli* Dow), antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum* Scrib.) y roya (*Uromyces phaseoli typica* Art.).

Bayo Río Grande (2): variedad de hábito de crecimiento tipo III, ciclo tardío, con aproximadamente 60 días a floración de color blanco y madurez fisiológica a los 99 días después de la siembra, de semilla pequeña de aproximadamente 24g por 100 semillas, adaptado a ambientes favorables y de baja estabilidad a través de ambientes, genotipo generado por el Campo Agrícola Experimental Zacatecas (CAEZAC).

Negro Portezuelo (3): variedad criolla del municipio de Felipe Angeles, Puebla, de hábito de crecimiento tipo III, ciclo tardío y alta plasticidad fenológica, de aproximadamente 65 días a floración de color morado y 100 días a madurez fisiológica, con grano de color negro y peso promedio de 32g por cada 100 semillas moderadamente tolerante a roya (*Uromyces phaseoli typica* Art.) y antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum* Scrib.).

Flor de mayo RMC (4): variedad de grano rosado, de guía corta; altura de vaina sobre el nivel del suelo de 7 cm y altura de planta de 43 cm. Florece a los 50 días de sembrado y madura a los 90 y tiene alto potencial de rendimiento. Resistente al mosaico común (BCMV), a la roya (*Uromyces phaseoli typica* Art.) y pudrición de la raíz (varios hongos).

Bayo Zacatecas (5): genotipo de hábito tipo III y generado en el CAEZAC es de ciclo intermedio, floración a los 43 días después de la siembra y madurez fisiológica a los 96 días, tamaño de grano grande con peso promedio de 53g por 100 semillas, presenta adaptación a ambientes desfavorables y estable en rendimientos, susceptible a enfermedades causadas por bacterias.

Navidad 1165 (6): material generado en la UAAAN es de hábito de crecimiento tipo II, ciclo precoz, con floración de color blanco 35 días después de la siembra y 75 días a madurez fisiológica, de semilla mediana de color manchado con fondo café claro y manchas más oscuras y peso de 35g por cada 100 semillas.

Manzano (7): variedad de hábito tipo III, ciclo intermedio, con inicio de floración 49 días después de la siembra y madurez fisiológica a los 95 días, con peso de 100 semillas de 49g, susceptibilidad intermedia a enfermedades causadas por bacterias, manchas causadas por alternaria (*Alternaria brassical f. Phaseoli* Brun) y antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum* Scrib.).

Flor de Mayo Criollo (8): material de hábito de crecimiento tipo III, de ciclo tardío que requiere de 50 días a inicio de la floración de color blanco y madurez fisiológica a los 105 días, semilla rosado de tamaño mediano y peso de 30g por cada 100 semillas, presenta moderadamente buena adaptación a ambientes con escasa humedad.

Pinto Nacional 1 (9): variedad generada por el INIFAP, de hábito tipo II, ciclo precoz con 45 días a floración y madurez fisiológica a los 73 días, peso de 100 semillas de aproximadamente 40g, presenta buena adaptación a ambientes favorables con susceptibilidad intermedia a enfermedades causadas por bacterias y moderadamente tolerante a roya (*Uromyces phaseoli typica* Art.).

Durango 222 (10): variedad desarrollada por el INIFAP hábito de crecimiento tipo III con numerosa ramificación y con alta sensibilidad estomática y capacidad de ajuste osmótico, ciclo intermedio, de aproximadamente 40 días a floración de color blanco y madurez fisiológica a los 76 de semilla color claro, grande con peso promedio de 52g por cada 100 semillas, con susceptibilidad intermedia a enfermedades causadas por bacterias.

#### Obtención de los Híbridos y Población F2

Los 10 genotipos (cinco hembras y cinco machos) mencionados anteriormente fueron sembrados en los invernaderos de la UAAAN en Saltillo, Coahuila en seis diferentes fechas de siembra. Entre la primera y segunda fechas de siembra, realizadas en el mes de marzo de 1993 hubo tres semanas de diferencia, igualmente entre la tercera y la cuarta realizadas en el mes de agosto del mismo año y la quinta y sexta realizadas en el mes de enero de 1995, lo anterior fue con la finalidad de asegurar la sincronía de la floración entre los materiales utilizados en la presente investigación y siempre disponer de flores para emasculación, polinizar y realizar el mayor número posible de cruces directas de acuerdo al Diseño II de

Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1948). Una vez obtenida la semilla F1, estas poblaciones F1 fueron establecidas en invernadero para obtener la población F2 y posteriormente realizar la siembra de F1 y F2 en lotes de experimentación en campo bajo riego y temporal. La primera fecha de siembra de los progenitores, en el invernadero fue el 5 de marzo de 1993, en la siguiente forma; en camas de un metro de ancho y doce metros de largo se sembraron tres hileras con una separación de 40 cm entre hileras y una distancia de 15cm entre plantas. Las hileras exteriores quedaron separadas de las paredes de la cama aproximadamente 10 cm y cada dos metros se sembró una hembra diferente. En la parte central se sembraron los machos en una distribución de un genotipo por metro lineal, destacando que se utilizaron tutores para guiar el desarrollo de todas las plantas y evitar el entrecruzamiento de guías. Los seis metros restantes de la misma cama se sembraron en una segunda fecha 21 días mas tarde, utilizando el procedimiento anterior se repitió en ciclo otoño invierno de 1993 y primavera-verano de 1995. La siembra de los progenitores se realizó en tres ciclos continuos de la forma antes indicada, con la finalidad de facilitar las emasculaciones y polinización, que generalmente fueron realizadas de 7 a 11 hs y de 16 a 19 hs

logrando los mayores porcentajes de "amarre" en días frescos o nublados o bien con la aspersion de agua limpia al follaje, principalmente en días muy calientes con temperaturas arriba de los 35°C.

Una vez que se tuvo semilla híbrida de las 25 cruza se realizó la siembra de cinco semillas por cruza, identificando desde la siembra cada híbrido y posteriormente se utilizaron tutores para evitar la mezcla de guías y posible mezcla de semilla. La separación entre plantas fue de 20cm y a dos hileras por cama en invernadero, para obtener la población F2.

Durante el desarrollo de los progenitores en invernadero, para la formación de los híbridos y avance de estos hasta la F2, se presentaron las siguientes plagas, mosca blanca (*Trialeurodes vaporarum* West), minador (*Liriomyza persicae*), que fueron controlados con Ometoato a razón de 1.5 lt/ha, Endosulfan 2.0 lt/ha y Carbofuran 1.5 lt/ha, la araña roja (*Tetranychus* sp.) fue controlada aplicando Abamectina a razón de 1.5 lt/ha. En los meses más frescos del año se presentó la cenicilla polvorienta (*Erysiphe polygoni* D.C. ex Merat), que fue controlada con Mancozeb a razón de 4 lt/ha.

Con los 10 materiales antes citados y de acuerdo al Diseño II de Carolina del Norte, donde los primeros cinco fueron asignados como hembras y del seis al 10 como machos se obtuvieron 25 cruzas directas o híbridos, que fueron avanzados hasta la F2, logrando finalmente tener 60 poblaciones, que se presentan en el cuadro 3.1.

La siembra de las tres poblaciones (cinco hembras, cinco machos, 25 F1 25 poblaciones F2) fue realizada el día 30 de junio de 1995 en terrenos del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 3, Km 7.5 de la carretera a la Ferrería en Durango, Durango. Al momento de la siembra se aplicó en banda el 50 por ciento del nitrógeno y el 100 por ciento del fósforo de la fórmula 60-40-00 (N-P-K) kg/ha bajo la condición de riego y temporal y el 50 por ciento del nitrógeno restante se aplicó al momento de la primera labor. El día 3 de julio se aplicó un riego en el lote bajo la condición de riego y el 7 de julio se aplicó el herbicida Bentazón a razón de 1.5 lt/ha, para evitar la incidencia de malezas y el 8 de agosto se realizó la primera labor y segunda fertilización aplicando el 50 por ciento restante de nitrógeno, además de realizar todas las prácticas culturales recomendadas por el Campo Agrícola Experimental Valle de Guadiana, para mantener el cultivo

libre de plagas y malas hierbas y proporcionar un medio adecuado para su desarrollo y expresión de su potencial genético.

Cuadro 3.1. Código de hembras, machos, cruza y poblaciones F2, utilizadas en el experimento bajo riego y temporal en frijol común.

Código	Progenitores	Código	Híbrido	Código	Población F2
<b>Hembras</b>					
1	B. Victoria	11	1x6	36	1x6
2	Bayo Río Grande	12	1x7	37	1x7
3	Negro Portezuelo	13	1x8	38	1x8
4	Flor de Mayo RMC	14	1x9	39	1x9
5	Bayo Zacatecas	15	1x10	40	1x10
<b>Machos</b>					
6	Navidad 1165	16	2x6	41	2x6
7	Manzano	17	2x7	42	2x7
8	Flor de mayo C.	18	2x8	43	2x8
9	Pinto Nacional 1	19	2x9	44	2x9
10	Durango 222	20	2x10	45	2x10
		21	3x6	46	3x6
		22	3x7	47	3x7
		23	3x8	48	3x8
		24	3x9	49	3x9
		25	3x10	50	3x10
		26	4x6	51	4x6
		27	4x7	52	4x7
		28	4x8	53	4x8
		29	4x9	54	4x9
		30	4x10	55	4x10
		31	5x6	56	5x6
		32	5x7	57	5x7
		33	5x8	58	5x8
		34	5x9	59	5x9
		35	5x10	60	5x10

En esta investigación se utilizó el diseño de bloques al azar con dos repeticiones bajo condiciones de riego y temporal. Cada repetición fue formada por los 10 progenitores, 25 híbridos y 25 poblaciones F2. La parcela experimental en el caso de progenitores e híbridos fue de un surco de 3m de largo, mientras que las poblaciones F2 fue de 2 surcos de 3m de longitud. La distancia entre surcos fue de 80cm y 15cm entre plantas dentro del surco. Tanto en riego como en temporal la parcela útil de progenitores e híbridos fue de cinco plantas individuales con competencia completa y tomadas al azar para el registro de datos, mientras que en la población F2 fue de 10 plantas por tratamiento y estas fueron etiquetadas desde antes de la floración. En los progenitores e híbridos el tamaño de muestra fue de cinco plantas dado que frijol es una especie autógama con escasa variabilidad donde prácticamente todas las semillas de una variedad conforman una línea pura, igualmente que en las poblaciones F1, mientras que el tamaño de muestra en la población F2 fue de 10 plantas con competencia completa, debido a que en esta generación se presenta segregación y por lo tanto amplia variación.

El experimento bajo condiciones de temporal se desarrolló exclusivamente con la precipitación ocurrida a

partir del mes de junio y hasta el término del ciclo del cultivo que fue de octubre a noviembre, de acuerdo a la variedad. Mientras que el lote bajo condiciones de riego después de regar el tres de julio se aplicó el segundo riego el 25 de julio coincidiendo con el inicio de la formación de botón de algunos cultivares y el último fue el 15 de agosto cuando las variedades ya estaban en la etapa de floración, destacando que del 25 de julio a la fecha del segundo riego se registraron aproximadamente 30 mm de lluvia, por lo tanto los materiales bajo temporal sufrieron estrés por sequía y en el mes de septiembre se presentaron precipitaciones y no fue necesario aplicar más riegos y las plantas bajo temporal se recuperaron sin problema. Las precipitaciones registradas en el mes de junio (31.8 mm) permitieron tener la humedad suficiente para realizar la siembra, sin embargo en el mes de julio la precipitación fue mayor (86.3mm) y permitió el desarrollo vegetativo del cultivo, en el mes de agosto la precipitación fue de 118.5 mm y en el mes de septiembre de 106.8 mm y dicha precipitación de ambos meses favoreció el desarrollo vegetativo y reproductivo del cultivo y aunque en el mes de octubre no hubo precipitaciones, algunos cultivares ya habían completado el ciclo y otros estaban por concluir ver Cuadro 3.2 y A.1.

En el cuadro 3.2 se presenta un promedio de cinco años de las temperaturas mínimas, máximas, así como la temperatura ambiente o promedio (temperatura tomada a las 8:00 AM), además las precipitaciones y temperaturas medias mensuales del período en el cual se desarrolló el trabajo de investigación.

Cuadro 3.2. Promedio de cinco años de temperatura y precipitación y las ocurridas durante el trabajo de campo de esta investigación.

Mes	Promedio 1991-1995				Promedio 1995			Precip.
	Temp. °C		Precip.		Temp. °C			1995
	Mín.	Máx.	Amb.	mm	Mín.	Máx.	Amb.	mm
Jun.	13.1	34.7	21.6	46.2	12.9	35.8	21.0	31.8
Jul.	14.1	29.7	18.7	124.7	14.6	32.1	19.5	86.3
Ag.	13.7	29.3	18.0	101.7	14.3	30.4	18.9	118.5
Sept.	12.6	26.5	16.2	117.4	13.3	29.8	18.1	106.8
Oct.	8.9	28.1	12.1	25.6	8.8	28.6	13.2	0.0
Nov.	4.9	24.0	7.5	22.9	5.2	24.8	8.8	0.0
Dic.	3.5	23.6	5.6	11.4	4.4	24.2	6.5	5.8

El 4 de octubre se presentó una helada temprana con temperatura de  $-2^{\circ}\text{C}$  (Cuadro A.2.) lo cual ocasionó secamiento de brotes y vainas tiernas en los cultivares tardíos, reduciendo la formación de granos por vaina y su peso y aceleró la madurez de todas las variedades.

La cosecha de este cultivo fue realizada de acuerdo a como se fue registrando la madurez en los diferentes genotipos.

## Toma de Datos

De las plantas etiquetadas inicialmente en todos los tratamientos, se tomaron los siguientes datos:

a) Días a inicio de la floración: número de días de siembra hasta, cuando al menos el 50 por ciento de las plantas de cada parcela tenía una flor abierta.

b) Rendimiento por planta (g): peso del rendimiento promedio de grano de cinco plantas, en el caso de progenitores e híbridos y 10 plantas en el caso de la F<sub>2</sub>, utilizando una báscula digital.

c) Longitud de vaina (cm): promedio de 10 vainas tomadas al azar, de las plantas indicadas en el inciso "b".

d) Número de vainas llenas por planta: se tomaron al azar 10 vainas con al menos un grano bien formado ("no chupado"), de las plantas consideradas en el punto anterior.

e) Número de vainas chupadas por planta: promedio de las vainas con solamente granos chupados, de las plantas indicadas en el inciso "b".

f) Número de granos llenos por vaina: de las vainas consideradas en el inciso d, se tomaron al azar 10, a las cuales se les contó el número total de granos llenos.

g) Número de granos chupados por vaina: de las vainas consideradas en el punto anterior contaron el número de granos chupado.

h) Peso de 100 semillas (g): de la semilla producida por cada planta se tomaron al azar cien semillas y posteriormente pesadas en una báscula digital.

No se tomó el dato de días a madurez fisiológica debido a que el 4 de octubre se presentó una helada temprana que afectó el desarrollo de los materiales más tardíos.

Los promedios de cada carácter fueron utilizados para realizar los análisis de varianza, estimación de la aptitud combinatoria general y específica, heterosis, heterobeltiosis, heterosis útil, depresión endogámica y correlaciones fenotípicas para diferentes características cuantitativas. Para la agrupación de los genotipos tomando como base los valores medios de las variables estudiadas, se utilizó la prueba de Tuckey.

## Diseño Genético

El diseño genético utilizado en la presente investigación fue el Diseño II de Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1948) en el cual se hacen todos los cruzamientos directos posibles entre un grupo de individuos, definido como hembras(h) y otro grupo de individuos como machos(m), dando origen a h x m cruzamientos. Basándose en lo anterior el modelo genético es el siguiente:

$$Y_{ijk} = M + R_k + m_i + h_j + (mh)_{ij} + e_{ijk}$$

donde:

M = efecto general de la media.

R<sub>k</sub> = efecto de la k-ésima repetición.

m<sub>i</sub> = efecto del i-ésimo macho.

h<sub>j</sub> = efecto de la j-ésima hembra.

(mh)<sub>ij</sub> = interacción del i-ésimo macho con la j-ésima hembra

e<sub>ijk</sub> = error experimental.

Los postulados del modelo son: m<sub>i</sub>, h<sub>j</sub>, (mh)<sub>ij</sub> y e<sub>ijk</sub> son efectos aleatorios.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con dos repeticiones y con los valores medios de las diferentes características agronómicas tomadas en progenitores, híbridos y poblaciones F2, se realizaron los análisis de varianza para comparar los genotipos dentro de cada grupo de materiales, el modelo lineal aditivo utilizado fue el siguiente:

$$X_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

para:

$$y = 1, 2, \dots, g \text{ (genotipos)}$$

$$j = 1, 2, \dots, r \text{ (repeticiones)}$$

$$\varepsilon_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$$

donde:

$X_{ij}$  = es el valor observado del  $i$ -ésimo genotipo en la  $j$ -ésima repetición.

$\mu$  = media general.

$\tau_i$  = efecto del  $i$ -ésimo genotipo.

$\beta_j$  = efecto de la  $j$ -ésima repetición.

$\varepsilon_{ij}$  = efecto del error experimental.

El análisis de varianza combinado, (considerando el ambiente de riego y el ambiente de temporal) de acuerdo al

diseño II de Carolina del Norte se presenta en el Cuadro 3.3. Así mismo en el cuadro 3.4 se presentan los componentes del análisis de varianza para los híbridos en cada ambiente y en el Cuadro 3.5 los componentes del análisis de varianza para la comparación de genotipos dentro de un mismo ambiente.

#### Aptitud Combinatoria General y Específica.

La estimación de la aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) fue realizada de acuerdo a la metodología propuesta por Jenkins y Brunson (1932) y Singh y Chaudhary (1979), que es como sigue:

$$\text{ACG (hembras)} = \frac{X_{i..}}{mr} - \frac{X_{...}}{hmr}$$

$$\text{ACG (machos)} = \frac{X_{..j}}{hr} - \frac{X_{...}}{hmr}$$

$$\text{ACE (cruzas)} = \frac{X_{ij.}}{r} - \frac{X_{i..}}{mr} - \frac{X_{.j.}}{hr} - \frac{X_{...}}{hmr}$$

donde:

$$\frac{X_{i..}}{mr} = \text{media de hembras a través de machos y repeticiones}$$

$$\frac{X_{..j}}{hr} = \text{media de machos a través de hembras y repeticiones}$$

$$\frac{X_{...}}{hmr} = \text{media general}$$

Cuadro 3.3. Análisis de varianza combinado para el Diseño II de Carolina del Norte para diferentes características en frijol común bajo riego y temporal.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Esperanza de cuadrados medios
Ambientes (L)	(1-1)		
Repeticiones (R)/L	1 (r-1)		
Hembras (H)	(h-1)	M7	$\sigma^2 e + r \sigma^2 hml + rm \sigma^2 lh + rl \sigma^2 hm + rl \sigma^2 h$
Machos (M)	(m-1)	M5	$\sigma^2 e + r \sigma^2 hml + rh \sigma^2 lm + rl \sigma^2 hm + rl \sigma^2 m$
L x H	(1-1) (h-1)	M6	$\sigma^2 e + r \sigma^2 hml + rm \sigma^2 lh$
L x M	(1-1) (m-1)	M4	$\sigma^2 e + r \sigma^2 hml + rh \sigma^2 lm$
H x M	(h-1) (m-1)	M3	$\sigma^2 e + r \sigma^2 hml + rl \sigma^2 hm$
L x H x M	(1-1) (h-1) (m-1)	M2	$\sigma^2 e + r \sigma^2 hml$
Error	1 (mh-1) (r-1)	M1	$\sigma^2 e$
Total	1 rhm-1		

Cuyo modelo es:

$$Y_{ijkl} = M + h_i + m_j + (hm)_{ij} + p_l + (hp)_{il} + (mp)_{jl} + (hmp)_{ijl} + r_{kl} + (mr)_{jkl} + e_{ijkl}$$

donde:

$Y_{ijkl}$  = la observación del híbrido en la  $i$ -ésima hembra y el  $j$ -ésimo macho en la  $k$ -ésima repetición en el  $l$ -ésimo ambiente.

$M$  = la media general

$h_i$  = el efecto del  $i$ -ésimo progenitor femenino,  $i = 1, \dots, 5$

$m_j$  = el efecto del  $j$ -ésimo progenitor masculino,  $j = 1, \dots, 5$

$(hm)_{ij}$  = el efecto de la interacción de la  $i$ -ésima hembra con el  $j$ -ésimo macho

$p_l$  = el efecto de el  $l$ -ésimo ambiente,  $l = 1, 2$

$(mp)_{jl}$  = el efecto de la interacción del  $j$ -ésimo macho con el  $l$ -ésimo ambiente

$(hmp)_{ijl}$  = el efecto de la interacción de segundo orden de la  $i$ -ésima hembra, el  $j$ -ésimo macho y el  $l$ -ésimo ambiente

$r_{kl}$  = el efecto de la  $k$ -ésima repetición en el  $l$ -ésimo ambiente,  $k = 1, 2$

$(hr)_{ikl}$  = el efecto de interacción de la  $i$ -ésima hembra y la  $k$ -ésima repetición en el  $l$ -ésimo ambiente

$(mr)_{jkl}$  = el efecto de interacción del  $j$ -ésimo macho y la  $k$ -ésima repetición en el  $l$ -ésimo ambiente.

$e_{ijkl}$  = el efecto de la subparcela que contiene el híbrido entre la  $i$ -ésima hembra con el  $j$ -ésimo macho en la  $k$ -ésima repetición del  $l$ -ésimo ambiente

Cuadro 3.4. Componentes del análisis de varianza para el Diseño II de Carolina del Norte considerando cada ambiente por separado.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	Esperanza de cuadrados medios
Repeticiones (R)	(r-1)		
Hembras (H)	(h-1)	M4	$\sigma^2e+r \sigma^2hm+rm \sigma^2h$
Machos (M)	(m-1)	M3	$\sigma^2e+r \sigma^2hm+rh \sigma^2m$
H x M	(h-1)(m-1)	M2	$\sigma^2e+r \sigma^2hm$
Error	(mh-1)(r-1)	M1	$\sigma^2e$
Total	rhm-1		

Cuadro 3.5. Componentes del análisis de varianza para la comparación de genotipos dentro de cada población (progenitores, F1 y F2) y ambiente.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada
Repeticiones	(r-1)	Rxx		
Genotipo	(m-1)	Gxx	M2	M2/M1
Error	(g-1)(r-1)	Exx	M1	
Total	rg-1			

## Heterosis, Heterobeltiosis y Heterosis Util

Para la estimación de la Heterosis (H), heterobeltiosis (HB) y heterosis útil (HU) de las características agronómicas bajo estudio se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Heterosis} = \frac{F1 - (P1 + P2)/2}{(P1 + P2)/2} \times 100$$

donde:

F1 = promedio de una cruza

P1 = promedio del progenitor 1.

P2 = Promedio del progenitor 2.

$$\text{Heterobeltiosis} = \frac{F1 - MP}{MP} \times 100$$

donde:

MP = promedio del mejor progenitor.

$$\text{Heterosis útil} = \frac{F1 - MVC}{MVC} \times 100$$

donde:

MVC = variedad comercial más común usada en la región.

## Depresión endogámica

La depresión endogámica fue estimada para todas las características agronómicas consideradas en el presente estudio, utilizando la fórmula propuesta por Gutiérrez y Singh (1985) que es como sigue:

$$\text{Depresión endogámica} = \frac{\bar{F2} - \bar{F1}}{F1} \times 100$$

donde:

$\bar{F1}$  = media de los híbridos

$\bar{F2}$  = media de la población F2

## Análisis de correlación

Aunque las correlaciones simples no son indicativos de una causa y efecto, estas son útiles en la determinación del grado y dirección de la asociación entre dos variables. De ahí que en el mejoramiento genético tengan amplia utilización para la selección de genotipos sobresalientes en etapas tempranas o bien la selección de un determinado carácter a través de un carácter correlacionado. En el presente caso se estimaron las correlaciones simples entre diferentes características agronómicas, mediante la siguiente fórmula:

$$r = \frac{s_{xy}}{s^2x s^2y}$$

donde:

$r$  = correlación fenotípica

$s_{xy}$  = covarianza de las variables  $x$  e  $y$

$s^2x$  = varianza fenotípica de la variable  $x$

$s^2y$  = varianza fenotípica de la variable  $y$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de Varianza

El análisis de varianza para diferentes características agronómicas de los progenitores se presentan en el Cuadro 4.1, indicando que existe marcada variabilidad para las siguientes características: peso de semilla, longitud de vainas, granos llenos y días a floración bajo la condición de riego, mientras que en temporal en vainas chupadas y días a floración. No se encontraron diferencias significativas para rendimiento en ambos ambientes, probablemente como consecuencia de que las hembras y machos seleccionados en este estudio, son variedades mejoradas de alto rendimiento, el reducido tamaño de muestra, presencia de una helada temprana, aproximadamente 30 días antes de la cosecha que afectó principalmente a las variedades tardías. Las variedades Bayo Río Grande, Negro Portezuelo y Flor de Mayo Criollo sufrieron más el efecto de la helada, reduciendo la producción y traslocación de fotosintatos al grano, ocasionando menor rendimiento y mayor número de vainas y

granos "chupados" (granos parcialmente llenos). Los coeficientes de variación oscilaron entre 2.94 a 67.69 y 3.62 a 44.13 para los progenitores bajo la condición de riego y temporal respectivamente.

El análisis de varianza para los híbridos se presenta en el Cuadro 4.2, el cual manifiesta que existe variabilidad considerable para peso de 100 semillas, vainas chupadas, granos llenos, longitud de vaina y días a floración bajo condiciones de riego y temporal, mientras que para las variables rendimiento de grano y vainas llenas solo se encontraron diferencias significativas bajo la condición de riego. No se encontraron diferencias significativas para rendimiento de grano, vainas llenas y granos chupados en el ambiente bajo estrés por falta de humedad. Los coeficientes de variación oscilaron entre 3.19 a 38.60 y 4.69 a 56.46 para los híbridos bajo la condición de riego y temporal respectivamente.

El análisis de varianza para diferentes características agronómicas en la población F<sub>2</sub> (Cuadro 4.3) revela diferencias significativas para rendimiento de grano y granos chupados y altamente significativas para peso de 100 semillas, vainas llenas, longitud de vaina, grano lleno

Cuadro 4.1. Análisis de varianza para diferentes características agronómicas en los progenitores en frijol común bajo condiciones de riego (R) y temporal(T).

Fuente de variación	Grados de libertad	C u a d r a d o s m e d i o s									
		Rendimiento	Peso cien semillas	V a i n a s llenas chupadas	l o n g i t u d	G r a n o s llenos chupados	D í a s floración				
Repetición	1	R	0.05	1.94	28.80	86.53	0.30	0.004	0.0001	0.08	
		T	1737.99**	204.86**	557.57	112.34	4.00	1.32*	0.001	12.8	
Progenitor	9	R	498.23	228.39**	165.90	97.51	1.33**	0.47*	0.09	187.31**	
		T	110.78	124.91	107.86	343.34**	0.52	0.42	0.08	135.33**	
Error	9	R	171.81	3.27	124.74	38.79	0.08	0.11	0.05	2.47	
		T	126.18	10.41	119.98	32.15	0.30	0.15	0.04	3.69	
Total	19										
CV		R	24.42	4.53	29.97	67.69	2.94	7.55	27.13	3.10	
		T	26.05	8.33	31.44	44.13	6.09	9.78	24.74	3.62	

\* : Significativo al 5% de probabilidad.

\*\* : Significativo al 1% de probabilidad.

CV: Coeficiente de variación

Cuadro 4.2. Análisis de varianza para diferentes características agronómicas de los híbridos en frijol común bajo condiciones de riego (R) y temporal(T).

Fuente de variación	Grados de libertad	C u a d r a d o s m e d i o s									
		Rendimiento	Peso cien semillas	V llenas	V chupadas	l s longitud	G llenos	G chupados	Días floración		
Repetición	1	R 10635.82**	18.24*	2196.52**	34.61*	0.41**	0.35**	0.42**	79.38**		
	T	3614.54**	228.29**	1130.02**	0.04	8.76**	2.20**	0.28**	0.08		
Híbridos	24	R 1241.32*	105.48**	571.67*	119.21**	0.51**	0.24*	0.06	58.19**		
	T	370.65	88.97**	193.72	35.40*	0.85**	4.09**	0.03	20.25**		
Error	24	R 427.75	8.50	218.90	16.02	0.10	0.09	0.03	15.75		
	T	201.02	12.98	156.54	17.29	0.28	0.12	0.08	6.41		
Total CV	49										
		R 19.85	6.76	22.91	38.60	3.19	6.49	20.31	7.72		
	T	26.82	8.82	33.45	56.46	5.57	8.20	34.18	4.69		

\* : Significativo al 5% de probabilidad.

\*\* : Significativo al 1% de probabilidad.

CV: Coeficiente de variación

por vaina, grano chupado por vaina y días a floración bajo riego mientras que en temporal se presentaron diferencias significativas altamente significativas para peso de 100 semillas, vainas chupadas, longitud de vaina granos llenos y días a floración. No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento en los progenitores, híbridos y F<sub>2</sub> (temporal) así como en otras características debido probablemente al reducido número de repeticiones, limitado tamaño de muestra, y al efecto de una helada temprana. Los coeficientes de variación oscilaron entre 4.05 a 30.39 y 3.67 a 35.52 para la población F<sub>2</sub> bajo riego y temporal.

En todos los análisis de varianza el coeficiente de variación fue más alto en la variable vainas chupadas, probablemente como consecuencia de que dicha variable resultó más afectada por la helada temprana que se registró durante la investigación. Así mismo indica que no todas las variedades fueron afectadas en la misma magnitud. El daño fue influido por la distribución de vainas en la planta, la cantidad de follaje y la ubicación del tratamiento en el terreno. Con excepción de los coeficientes de variación de la variable antes citada, estos valores son considerados aceptables. Rodríguez (1987)

trabajando con frijol común encontró coeficientes de variación de 7.22 a 24.72. Lo más frecuentemente encontrado es, que los coeficientes de variación bajo condiciones de temporal casi siempre fueron superiores a los registrados bajo la condición de riego. Coincidiendo con lo señalado por White et al. (1994) quien establece que bajo déficits de agua los rendimientos necesariamente disminuyen y el error experimental se incrementa.

Hallauer y Miranda (1988) indican que las esperanzas de los cuadrados medios de machos y hembras para el diseño II es equivalente a la ACG y la fuente hembras x machos es equivalente a la ACE del análisis dialélico por lo tanto el análisis de varianza combinado (Cuadro 4.4) para diferentes características agronómicas en frijol común bajo riego y temporal, muestra diferencias significativas para ACG en hembras bajo riego y temporal en las variables, peso de 100 semillas, vainas chupadas, granos llenos y días a floración, sin embargo las características rendimiento de grano, vainas llenas y longitud de vaina solo presentaron diferencias en la condición de riego. El análisis de varianza para ACG en machos sólo indicó diferencias significativas para la característica peso de 100 semillas bajo la condición de riego y temporal y vainas

Cuadro 4.3. Análisis de varianza para diferentes características agronómicas de las F2 en frijol común bajo condiciones de riego (R) y temporal(T).

Fuente de variación	Grados de libertad	C u a d r a d o s m e d i o s										
		Rendimiento	Peso cien semillas	V a l o r e s V a l o r e s	l lenas chupadas	Días a floración						
Repetición	1	R 462.87**	0.27	11.14	1.92	0.35*	0.46*	0.02	72.00**			
		T 409.09	20.89**	2.12	7.53	0.78**	0.40**	0.12	13.52			
F2	24	R 1050.48*	176.98**	597.17**	79.46	0.53**	0.44*	0.07**	75.25**			
		T 721.43	162.09**	244.75	73.99**	0.72**	0.59**	0.05	58.05**			
Error	24	R 163.76	5.07	61.52	7.24	0.16	0.06	0.02	20.96			
		T 620.39	2.60	223.11	10.40	0.13	0.11	0.04	10.31			
Total CV	49	R 15.76	5.29	14.65	30.39	4.05	5.39	17.09	9.02			
		T 30.67	3.74	28.72	35.52	3.67	7.62	21.90	6.49			

\* : Significativo al 5% de probabilidad.  
 \*\* : Significativo al 1% de probabilidad.  
 CV: Coeficiente de variación

chupadas y longitud de vainas bajo la condición de riego. Pero granos llenos y días a floración presentaron efectos significativos de ACG solo en la condición de temporal. Efectos significativos para ACE solo se presentaron en los rasgos vainas chupadas y longitud de vaina en el ambiente de riego y granos llenos en el ambiente de temporal, Foolan y Bassiri (1983) estudiando la aptitud combinatoria en frijol encontraron que los cuadrados medios para ACG y ACE fueron altamente significativos para peso de semilla, pero fue mayor la ACG que la ACE indicando que dicho carácter fue gobernado por efectos génicos aditivos.

Tomando como base el mismo Cuadro antes citado es posible afirmar que los cuadrados medios de hembras para las siguientes características: peso de 100 semillas, vainas llenas, vainas chupadas, longitud de vaina, granos llenos, granos chupados y días a floración presentaron mayor magnitud que los cuadrados medios de machos sugiriendo que, genes del citoplasma o herencia materna están contribuyendo en la expresión de los rasgos antes citados en frijol común. Así mismo indicando la importancia de la herencia materna o participación de genes del citoplasma; como genes de mitocondrias, cloroplastos y algunas otras partículas del citoplasma en la determinación

de las características ya señaladas. Kenneth y McNew (1993) estudiando la aptitud combinatoria y heterosis, también encontraron mayores valores de los cuadrados medios de hembras para diferentes características en comparación con los cuadrados medios de machos, indicando el papel de la herencia citoplásmica en la expresión de componentes del rendimiento en arroz.

De acuerdo al Cuadro 4.4 se puede afirmar que los valores de los cuadrados medios de machos y hembras son superiores a los valores de la cruza, por lo tanto, es más importante la ACG que la ACE y que los rasgos mencionados están predominantemente bajo la acción de efectos génicos aditivos, más que de dominancia, resultados similares son reportados por Dickson (1967), Rodríguez y Kuruvadi (1990) en frijol, y por Nienhuis y Singh (1986) quienes detectaron que tanto la acción de genes aditivos y no aditivos están involucrados en la expresión del rendimiento en frijol y sus componentes. Kenneth y McNew (1993) indican que si la acción aditiva es predominante en especies autógamas como arroz, entonces el mejorador puede seleccionar a varios niveles de endogamia, porque los efectos aditivos son fácilmente transmisibles de una generación a la siguiente y se pueden identificar las

mejores combinaciones en la población segregante. En el análisis combinado a través de dos ambientes (Cuadro 4.5) indica que todos los atributos excepto longitud de vainas y granos chupados interaccionaron con el ambiente, en el caso de la interacción de ambiente x hembras se puede indicar que solo se presentaron interacciones en las variables vainas chupadas y días a floración.

Normalmente una variedad bajo condiciones de buena disponibilidad de agua puede alargar el ciclo y a la vez esto ocasionó un daño por helada temprana en materiales genéticos que se comportaron como tardíos. Los machos no manifestaron interacciones con el ambiente, probablemente debido a lo señalado anteriormente acerca de que los materiales utilizados fueron variedades mejoradas de alto potencial de rendimiento que se comportaron bien bajo condiciones de temporal, Singh et al. (1992) trabajando con frijol encontró que los cuadrados medios debido a machos y hembras fueron significativos ( $p < 0.05$ ) para cinco caracteres estudiados. Aunque los cuadrados medios debidos a la interacción de machos y hembras con localidades también fueron significativos, sus valores fueron más pequeños comparados con los cuadrados medios para machos y hembras. Sin embargo para rendimiento de semilla, número de

Cuadro 4.4. Análisis de varianza del diseño II de Carolina del Norte para diferentes características agronómicas bajo condiciones de riego (R) y temporal(T).

Fuente de variación	Grados de libertad	C u a d r a d o s		V a r i a s		m e d i o s		D i a s a		
		Rendimiento	Peso cien semillas	llenar chupadas	longitud	llenar chupados	floración	Días a floración		
Repetición	1	R	10456.89**	18.24	137.12	5.64	0.02	0.00	0.16	15.68
		T	2169.56**	228.29**	226.34	0.10	25.49*	2.15	0.28	0.08
Hembras (h)	4	R	1265.41*	474.75**	2191.27**	451.05**	1.32**	0.71*	0.09	279.47**
		T	184.98	377.56**	525.08	118.19**	2.69	1.13**	0.004	21.63*
Machos (m)	4	R	3309.93**	117.39**	719.26	78.40**	0.54**	0.17	0.04	11.67
		T	501.67	79.34**	157.43	28.49	4.84	0.72**	0.03	30.38**
h x m	16	R	695.69	10.19	182.28	48.52*	0.32*	0.14	0.06	28.12
		T	380.42	19.23	116.72	15.01	4.20	0.27*	0.04	17.44
Error	24	R	425.46	8.50	339.23	17.28	0.12	0.10	0.04	10.60
		T	252.39	12.98	215.43	17.67	4.78	0.12	0.08	6.41
Total	49									
CV		R	19.77	6.76	28.90	40.37	3.44	7.02	23.23	6.32
		T	30.12	8.82	38.39	56.54	22.23	8.27	34.33	4.69

\* : Significativo al 5% de probabilidad.

\*\* : Significativo al 1% de probabilidad.

CV: Coeficiente de variación

vainas por metro cuadrado y número de semillas por metro cuadrado, los valores de los cuadrados medios para macho x hembra y sus interacciones con localidades no fueron significativos ( $p > 0.05$ ). Por lo tanto, las combinaciones parentales específicas para hibridación pueden ser de relativamente menor importancia para mejoramiento de rendimiento de semilla y sus componentes en frijol común de origen andino. La cantidad de varianza genética aditiva que puede ser generada por los progenitores depende en algunas ocasiones de la localidad y esta puede ser explotada por selección de cultivares alto rendidores en la localidad específica.

En esta investigación los coeficientes de variación en el análisis de varianza combinado presentó un rango de 5.53 a 47.15 por ciento valores inferiores a los registrados en los otros análisis de varianza, esto debido al incremento de los grados de libertad del error, indicando que el número de repeticiones debe de ser mayor para reducir dicho coeficiente.

Cuadro 4.5. Análisis de varianza combinado para diferentes características agronómicas en los híbridos de frijol común bajo dos ambientes.

Fuente de variación	Grados de libertad	C u a d r a d o s		m e d i o s		Días a llenos chupados	Días a floración		
		Rendimiento semillas	Peso cien semillas	V a r i a s	l l e n o s				
Ambiente (A)	1	66471.15**	131.24**	16256.25**	204.49**	2.55	2.76**	0.13	148.84**
Repetición (R)/A	1	6313.23**	123.27**	201.73	2.87	12.76**	1.08**	0.22*	7.88
Hembras (H)	4	1165.41*	843.13**	2388.67**	497.99**	1.49	1.68**	0.06	204.38**
A x H	4	285.27	9.18	327.68	71.25**	2.53	0.16	0.04	96.71**
Machos (M)	4	3089.62**	175.27**	624.07	85.54**	3.43**	0.70**	0.03	29.78*
A x M	4	721.98	21.46	252.62	21.35	1.95	0.18	0.04	11.96
H x M	16	566.96	19.32	137.57	53.74**	2.35	0.30	0.07	30.1
A x H x M	16	509.16	10.10	161.43	9.80	2.17	0.11	0.03	15.40
Error	48	338.92	10.74	277.33	17.48	2.45	0.11	0.06	8.50
Total	99								
CV		23.44	7.80	32.66	47.15	15.66	7.63	28.88	5.53

\* : Significativo al 5% de probabilidad.

\*\* : Significativo al 1% de probabilidad.

CV: Coeficiente de variación

## Componentes del Rendimiento

Kuruvadi y Cortinas (1987) mencionan que el rendimiento es un carácter muy complejo, controlado por poligenes del núcleo y genes del citoplasma, más una cadena de eventos interrelacionados de diferentes funciones fisiológicas y bioquímicas e interacción con el ambiente. Acosta (1988) indica que el rendimiento de frijol común puede ser considerado como el producto de sus componentes: número de vainas por planta, número de semillas por vaina y peso individual de la semilla y las reducciones en el rendimiento de frijol común debido a estrés por agua puede ser atribuido a efectos sobre uno o más componentes, de acuerdo a la etapa de crecimiento del cultivo y la intensidad y la duración del estrés. Por su parte Adams (1967) señala que no hay una interdependencia entre los componentes del rendimiento en frijol, puesto que las correlaciones entre componentes fueron prácticamente de cero en un ambiente sin condiciones limitantes. Kohashi (1996) comenta que el rendimiento es la expresión fenotípica resultante final de los procesos fisiológicos que se reflejan en la morfología y en la fisiología de la planta. También señala que el análisis de los componentes del rendimiento nos permite saber; en una situación dada,

cual de ellos es el que limita en mayor grado al rendimiento, para emprender estudios dirigidos a superar esta limitación, indicando además que en frijol el número de vainas por planta o por unidad de superficie sembrada, es un componente muy estrechamente relacionado con el rendimiento de semilla. El mejoramiento de componentes del rendimiento es muy importante en los cultivos, para aumentar los rendimientos totales. Mejorar rendimientos a través del mejoramiento de los componentes del rendimiento es un procedimiento válido y preciso dado que los componentes del rendimiento tales como vainas por planta, semillas por vaina y peso de 100 semillas poseen altos valores de heredabilidad estrecha, poca interacción con el ambiente y cada componente puede ser independiente en su herencia. Grafius (1960) menciona que los componentes del rendimiento tienen una gran importancia para mejorar el rendimiento de los cultivos, debido a su alta heredabilidad y facilidad de selección.

En este estudio el rendimiento de progenitores varió de 31.53 g por planta (Negro Portezuelo) a 77.40g por planta (Manzano) y con un promedio de 53.67g por planta bajo la condición de riego (cuadro 4.6). El progenitor siete (macho) registró el máximo rendimiento por planta seguido

por el progenitor 10 (69.07g), progenitor cinco (67.93g), progenitor seis (60.85g) y progenitor ocho (60.34g) mostrándose estos cultivares como materiales sobresalientes para rendimiento bajo riego. El rendimiento bajo condición de temporal en los progenitores varió entre 27.52g (Flor de Mayo Criollo) a 55.32g (Flor de Mayo RMC) por planta, con un promedio de 43.11g por planta. Los progenitores 4, 1, 3 y 2 presentaron altos rendimientos de 55.32, 48.86, 46.55 y 44.83g por planta respectivamente y fueron los mejores entre los progenitores estudiados en la condición de temporal. El rendimiento bajo riego fue 24.49 por ciento superior al registrado bajo la condición bajo tensión por falta de humedad.

Vainas por planta es uno de los principales componentes del rendimiento para mejorar el rendimiento total en frijol común, el número de vainas por planta se determina entre el inicio de la floración hasta el término de la misma y puede durar desde 30 días a 75 días después de la siembra aproximadamente, dependiendo de varios factores como la constitución genética de la semilla, temperatura, humedad disponible en el suelo, nutrición y hábito de crecimiento entre otros.

En esta investigación el carácter vainas por planta varió de 23.4 a 41.8 y 32.9 a 51.8 en las hembras y los machos respectivamente bajo la condición de riego, el macho siete registro el máximo número de vainas por planta 51.8, seguido por el macho ocho con 48.3 el seis (44.8) y la hembra cinco (41.8) fueron los mejores progenitores.

Los machos expresaron 33.6 por ciento mayor producción de vainas por planta en comparación de las hembras bajo la condición de riego. Mientras que las hembras bajo la condición de temporal manifestaron 27.3 por ciento mayor número de vainas en comparación con los machos. Las hembras produjeron mayores valores para rendimiento de planta y vainas por planta bajo sequía, mientras que los machos presentan valores altos para esta característica bajo la condición de riego. En general se puede decir que la variable vainas llenas por planta no fue muy afectada por la condición ambiental ya que el número de vainas por planta en riego fue 6.9 por ciento superior al registrado en el ambiente sin abastecimiento artificial de humedad. Probablemente esta diferencia fue mínima debido a que la precipitación registrada durante el desarrollo del trabajo no fue muy baja. Acosta y Adams (1991) indican que el componente vainas por metro cuadrado fue el más afectado

por el estrés de agua, puesto que el número de vainas "amarradas" está altamente determinado pocos días después de la floración. El número de semillas por vaina no fue afectado ya que las plantas afectadas por estrés presentaron pocas vainas.

El peso de 100 semillas en el cultivo de frijol es un componente del rendimiento, dado que contribuye al rendimiento total. Este carácter es determinado desde la antesis a la madurez fisiológica. Varios factores determinan el peso de la semilla, tales como la constitución genética de la variedad, número de días de antesis a madurez fisiológica, nutrición, nivel de humedad en el suelo. Ochoa et al. (1995) encontraron que en localidades con mayor precipitación se tuvo el mayor tamaño de semilla, sobre todo cuando hubo disponibilidad de agua durante el período de llenado de grano. En esta investigación el peso de 100 semillas varió de 24.84 a 55.24 g y de 30.9 a 52.48g en las hembras y en los machos respectivamente bajo la condición de riego, así mismo el genotipo Bayo Victoria, Bayo Zacatecas y Durango 222 fueron estadísticamente diferentes al resto de los progenitores. Mientras que en el ambiente de temporal el rango fue de

27.18 a 51.56g y de 28.39 a 45.43g en las hembras y machos respectivamente.

En las hembras Bayo Victoria fue estadísticamente igual a Bayo Zacatecas pero diferente significativamente del resto de las hembras, de los machos Durango 222 presentó el mayor peso de semilla, pero fue estadísticamente igual a Pinto Nacional 1 y Navidad 1165 bajo condición de riego. Las hembras 1 y 5 y los machos 10 y 9 bajo la condición de temporal fueron identificadas como las mejores para peso de 100 semillas en los progenitores.

Los machos presentaron superioridad de 2.01 por ciento para peso de 100 semillas en comparación con las hembras, bajo la condición de riego mientras que las hembras presentaron un valor 4.9 por ciento superior a los machos bajo la condición de déficit hídrico.

En este estudio se encontraron altos porcentajes de vainas chupadas por planta tanto en el ambiente de riego como en el ambiente de temporal. Las hembras presentaron un valor de 12.8 vainas chupadas por planta, mientras que los machos presentaron 5.58, bajo riego. En temporal los

valores fueron de 18.62 a 7.08 en las hembras y machos respectivamente. El porcentaje de vainas chupadas en hembras fue de 129.7 por ciento y 162.99 por ciento superior a los valores encontrados en los machos en los ambientes de riego y temporal respectivamente.

La longitud de vaina es un componente indirecto en la contribución al rendimiento en el cultivo de frijol. En este estudio la longitud de vaina varió de 8.64 a 10.11cm y de 9.71 a 11.36cm en las hembras y machos bajo riego mientras que bajo la condición de estrés hídrico la variación fue de 7.83 a 9.63cm y de 8.84 a 9.64cm por vaina en las hembras y los machos respectivamente. La característica número de granos por vaina se determina al momento de la fecundación en el frijol. El número de semillas por vaina varió de 3.7 a 4.8 y de 4.23 a 4.95 en hembras y machos respectivamente bajo riego respectivamente. Las hembras Bayo Río grande y Flor de Mayo RMC y los machos Flor de Mayo Criollo y Durango 222 produjeron el mayor número de granos bajo riego así mismo en la condición de temporal.

Con relación al período de siembra a inicio de la floración se tuvieron de 43 a 66 días en las hembras y en

los machos el período fue de 34.5 a 53.0 bajo la condición de riego.

Los progenitores Bayo Zacatecas, Navidad 1165 y Durango 222 se identificaron como genotipos precoces con 37.5 a 43 días. Las variedades Negro Portezuelo, Bayo Río Grande y Flor de Mayo RMC se identificaron como materiales tardíos, el resto fueron intermedios, coincidiendo con lo señalado por Sexton et al. (1994) quien encontró que las líneas de semilla grande florecieron primero que las líneas de semilla pequeña.

En el Cuadro 4.7 se presentan los valores medios para diferentes características agronómicas de los 25 híbridos, debido a que para rendimiento de grano bajo riego se presentaron diferencias se realizó una comparación múltiple de medias, encontrando que el híbrido resultante de la cruz 3 x 10 (162.73g) fue estadísticamente diferente del resto de los materiales, mientras que los híbridos 3 x 6 (139.92g), 1 x 6 (137.48g), 2 x 6 (127.64g) y 1 x 10 (127.58g) destacaron bajo la condición de riego donde se presentó un rango de 55.58g a 162.73g y una media de 104.31g por planta. En cambio bajo la condición de

Cuadro 4.6. Promedios pere diferentes características agronómicas de los progenitores en frijol común bajo condiciones de riego y temporal.

Genotipo	Rendimiento g/planta	Peso cien semillas (g)	Vainas		Long. de vaina (cm)	Granos		Días a floración
			llenas/pt.	chupadas/pt.		llenos/vaina	chupados/vaina	
<b>Hembras</b>								
Bayo Victoria	41.30	55.24a	23.4	4.3	8.64c	3.70	0.73	52.5bc
Bayo río grande	37.65	24.84d	29.0	22.6	9.46bc	4.82	1.04	63.5a
Negro Portezuelo	31.53	32.12cd	30.4	20.0	8.64c	3.70	1.22	66.0a
Flor de mayo RMC	38.14	31.90cd	34.9	12.8	10.11b	4.51	1.02	55.0b
Bayo Zacatecas	67.93	53.58a	41.8	4.4	9.87b	3.78	1.01	43.0d
Promedio hembras	43.31	39.54	31.9	12.82	9.34	4.10	1.00	56.00
<b>Machos</b>								
Navidad 1165	60.85	38.18bc	44.8	4.0	9.71bc	4.23	0.88	34.5e
Manzano	77.40	37.64bc	51.8	8.3	9.87b	4.66	0.51	49.5bc
Flor de mayo criollo	60.34	30.90cd	48.3	7.2	10.40ab	4.95	0.77	53.0bc
Pinto Nacional	52.51	42.48b	35.3	4.8	10.35ab	4.19	0.86	47.5cd
Durango 222	69.07	52.48a	32.9	3.6	11.36a	4.81	0.66	41.5d
Promedio machos	64.03	40.34	42.62	5.58	10.34	4.57	0.74	45.2d
Promedio riego	53.67	39.94	37.26	9.20	9.84	4.34	0.87	50.60
<b>Temporal</b>								
<b>Hembras</b>								
Bayo Victoria	48.86	51.56a	32.2	5.2c	7.83	3.32	0.64	49.0bc
Bayo río grande	44.83	27.18d	44.9	30.2ab	8.79	4.87	1.03	66.5a
Negro Portezuelo	46.55	36.44bcd	46.4	42.3a	8.93	3.98	1.01	64.0a
Flor de mayo RMC	55.32	35.7bcd	42.8	9.9bc	9.63	4.73	0.95	53.5bc
Bayo Zacatecas	36.91	47.42ab	28.8	5.5c	8.91	3.46	0.74	52.5bc
Promedio hembras	46.49	39.66	39.02	18.62	8.82	4.03	0.87	57.10
<b>Machos</b>								
Navidad 1165	45.43	38.74abcd	33.2	3.9c	9.13	3.91	0.54	37.5d
Manzano	39.31	35.18bcd	34.3	4.4c	8.84	4.12	0.52	51.0bc
Flor de mayo criollo	27.52	28.39cd	29.8	15.0bc	9.15	4.18	0.92	56.0bc
Pinto Nacional	43.53	40.98abc	31.3	4.2c	9.22	3.84	0.60	47.0c
Durango 222	42.84	45.78ab	24.7	7.9bc	9.64	3.74	0.77	53.0bc
Promedio machos	39.73	37.81	30.66	7.08	9.19	3.96	0.67	48.90
Promedio temporal	43.11	38.74	34.84	12.85	9.01	4.00	0.77	53.00
Promedio general	48.39	39.34	36.05	11.03	9.42	4.17	0.82	51.80

temporal no se presentaron diferencias significativas entre los híbridos, sin embargo el rendimiento osciló entre 32.14g a 85.49g con un promedio 52.75 g por planta. Los híbridos 1 x 10, 2 x 6, 4 x 6 y 5 x 10 fueron los mejores en rendimiento. Los 25 híbridos estudiados produjeron alto rendimiento, superando el promedio de los progenitores con buen abastecimiento de humedad. Mientras que estos mismos híbridos estudiados bajo la condición de temporal solo 18 de 25 superaron la media de rendimiento de los progenitores involucrados en la cruce. Singh (1989) ha encontrado que las cruces entre ciertas fuentes de genes pueden dar por resultado incrementos significativos en el rendimiento.

El carácter número de vainas por planta varió de 37.1 a 106 con un promedio de 63.74 bajo la condición de riego. Los híbridos 3 x 10 y 3 x 6 registraron mayor promedio de vainas por planta con 106 y 104.5 respectivamente, resultando diferentes estadísticamente del resto de los progenitores bajo la condición de riego. Sin embargo en temporal este carácter fluctuó entre 26.2 a 61.7 con un promedio de 38.24. Los híbridos 3 x 6, 3 x 8 y 2 x 6 fueron los que produjeron el mayor número de vainas por planta con 61.7, 61.4 y 53.7 respectivamente, aunque no se presentaron diferencias estadísticamente significativas

para este rasgo bajo temporal. De los 25 híbridos estudiados 24 y 11 manifestaron alta producción de vainas por planta, bajo riego y temporal respectivamente superando la media de los progenitores involucrados en la crucea y en el mismo ambiente. Los híbridos produjeron 71.07 y 9.76 por ciento mas vainas por planta bajo riego y temporal en comparación con los progenitores.

En los híbridos el peso de 100 semillas osciló entre 33.26 y 56.5g con un promedio de 43.15g bajo riego sin embargo para esta característica se encontró una muy amplia variación entre los híbridos resultando diferencias significativas, de tal manera que se formaron varios grupos. En temporal se encontraron resultados similares con un rango de 30.1 a 56.14g y un promedio de 40.86g, formando también varios grupos que resultaron diferentes estadísticamente. El peso de semilla se incremento en 5.60 por ciento en la condición de riego en comparación con la producción bajo temporal y se incremento en 8.03 por ciento y 5.47 por ciento en los híbridos en comparación con el promedio de los progenitores bajo riego y temporal respectivamente. Bajo riego los híbridos 1 x 10, 5 x 10, 1 x 9, 1 x 6 y 5 x 9 y bajo temporal los híbridos 1 x 10, 5 x 10, 1 x 6, 1 x 7, 1 x 8 y fueron los de mejor

comportamiento para esta característica. Las variedades Bayo Victoria, Bayo Zacatecas y Durango 222 estuvieron involucradas en las cruzas potenciales citadas. Por lo tanto, estos progenitores contribuyeron en incrementar la expresión de dicho atributo.

El carácter granos por vaina fluctuó entre 3.9 a 5.2 con un promedio de 4.54 bajo riego y de 3.5 a 5.1 con un promedio de 4.21 bajo temporal. Los híbridos 1 x 8, 2 x 8, 4 x 7 y 5 x 8 bajo riego y 2 x 8, 4 x 8, 5 x 8, 4 x 6 y 2 x 9 bajo presentaron mayor número de granos por vaina. El número de granos por vaina se incrementó en 4.72 y 5.38 por ciento en los híbridos en comparación con el número promedio de granos por vaina de los progenitores, bajo riego y temporal respectivamente.

Considerando todos los componentes estudiados el rendimiento medio en los híbridos fue superior en 94.35 por ciento al rendimiento medio de los progenitores bajo la condición de riego probablemente a causa de un incremento de 71.07 por ciento en el número de vainas por planta, 8.03 por ciento en el peso de 100 semillas y un 4.72 por ciento en número de granos por vaina, mientras que bajo la condición de temporal el rendimiento medio de los híbridos,

en comparación con el rendimiento medio de los progenitores fue superior en 22.36 por ciento a causa de un aumento del 9.76 por ciento en el número de vainas, 5.47 por ciento en el peso de semilla y 5.38 por ciento en el número de granos por vaina. Los tres componentes antes mencionados contribuyeron hacia el incremento del rendimiento en los híbridos estudiados, observando que el componente de vainas por planta fue el que registró el mayor aumento en los híbridos en comparación con los progenitores.

Los promedios para diferentes características agronómicas de la F<sub>2</sub> en frijol común bajo riego y temporal se presentan en el cuadro 4.8. El rendimiento por planta osciló entre 46.04 a 150.43g con un promedio de 81.2 g en la condición de riego. Todas las poblaciones F<sub>2</sub> de las 25 cruzas, mostraron mayor rendimiento que el promedio de los progenitores (excepto en la craza 2 x 7), mostrando segregación transgresiva para esta característica. La población F<sub>2</sub> de la craza 3 x 10 resultó estadísticamente diferente del resto de los híbridos, sin embargo las cruzas 5 x 8, 5 x 10 y 3 x 6 destacaron en rendimiento aunque fueron estadísticamente iguales. Los rendimientos de grano bajo la condición de temporal variaron de 46.23 a 127.12g con un promedio de 81.21g por planta y los híbridos 5 x 10,

Cuadro 4.7 . Promedios para diferentes características agronómicas de los híbridos de frijol común bajo condiciones de riego y temporal.

Genotipo	Rend. g/planta	Peso cien semillas (g)	Vainas llenadas/pt.	Vainas chup./pt.	Long. de vaina (cm)	Granos llenos/vaina	Granos chup./vaina	Días a floración
<b>Riego</b>								
1 x 6	137.48ab	52.74abc	65.7ab	5.6bcd	10.31abcd	4.5abc	0.8ab	52.0abc
1 x 7	79.63ab	48.72abcde	53.1ab	4.5cd	9.21d	4.4abc	0.8ab	43.0bc
1 x 8	97.38ab	45.50abcde	48.5ab	5.2bcd	9.74abcd	5.1ab	0.5b	49.5abc
1 x 9	119.59ab	52.72abc	58.4ab	3.6cd	10.37abcd	4.3abc	1.3a	52.0abc
1 x 10	127.58ab	56.50a	60.9ab	5.1bcd	10.33abcd	4.7abc	0.9ab	48.0abc
2 x 8	127.84ab	35.02ghi	97.2ab	15.3abcd	10.2abcd	4.8abc	1.0ab	54.0abc
2 x 7	116.46ab	34.38ghi	63.0ab	21.0ab	9.68abcd	4.7abc	1.1ab	58.5ab
2 x 8	99.03ab	33.54hi	82.3ab	12.9abcd	10.35abcd	5.2a	1.2ab	50.5abc
2 x 9	95.99ab	33.26i	65.3ab	17.3abcd	9.38cd	4.3abc	1.0ab	52.0abc
2 x 10	106.06ab	38.82defghi	60.0ab	7.9bcd	10.22abcd	4.6abc	1.1ab	54.0abc
3 x 6	139.92ab	42.30cdefghi	104.5a	3.8bcd	9.7abcd	4.2abc	1.0ab	57.0ab
3 x 7	84.16ab	36.82efghi	77.4ab	28.5a	9.45abcd	4.1abc	0.7ab	57.5ab
3 x 8	68.14b	36.38fghi	60.8ab	28.0a	9.68abcd	3.6c	1.0ab	62.0a
3 x 9	95.14ab	41.62cdefghi	83.3ab	20.0abc	9.35cd	3.9bc	0.8ab	58.5ab
3 x 10	162.73a	43.72bcdefghi	106.0a	19.0abcd	10.48abcd	4.4abc	0.9ab	59.5abc
4 x 6	115.05ab	44.10bcdefghi	56.2ab	4.4cd	10.18abcd	4.7abc	1.0ab	44.5abc
4 x 7	61.59b	33.58hi	37.1ab	8.8bcd	10.94a	5.0abc	0.7ab	55.0abc
4 x 8	55.58b	33.96ghi	46.4ab	8.0bcd	10.06abcd	4.7abc	1.1ab	55.0abc
4 x 9	103.09ab	44.46bcdefghi	53.3ab	2.6d	10.78ab	4.8abc	1.0ab	52.5abc
4 x 10	88.06ab	43.60bcdefghi	47.0ab	4.1cd	10.54abcd	4.4abc	0.9ab	49.0abc
5 x 6	111.38ab	47.82abcdef	61.7ab	3.8cd	10.54abcd	4.6abc	0.9ab	46.5abc
5 x 7	90.95ab	45.66abcdefg	56.0ab	4.7bcd	10.00abcd	4.4abc	0.6ab	39.0c
5 x 8	112.83ab	48.22abcdef	61.4ab	8.7bcd	10.85a	5.0abc	0.9ab	49.5abc
5 x 9	102.7ab	50.00abcd	51.5ab	6.4bcd	10.567abc	4.7abc	0.7ab	43.5bc
5 x 10	109.68ab	55.26ab	56.4ab	8.2bcd	10.947a	4.4abc	1.0ab	45.5bc
Prom.	104.31	43.15	63.74	10.30	10.16	4.54	0.91	51.52
<b>Temporal</b>								
1 x 6	51.39	48.12abc	31.7	2.3	8.76ab	3.5b	0.7	55.0abc
1 x 7	49.62	47.86abc	33.5	3.2	8.94ab	4.0ab	0.9	48.5bc
1 x 8	59.17	46.10abcd	39.7	3.8	9.43ab	4.6ab	0.8	53.5abc
1 x 9	44.21	45.72abcd	30.0	4.7	9.25ab	3.5b	1.1	53.0abc
1 x 10	85.49	56.14a	43.2	6.5	10.51a	4.8ab	0.8	52.5abc
2 x 6	78.57	37.80bcde	53.7	8.7	9.93ab	4.5ab	0.8	57.5ab
2 x 7	54.01	33.00de	36.6	16.6	8.23b	3.6b	0.8	51.0bc
2 x 8	38.42	30.10e	40.9	7.9	10.10ab	5.1a	0.9	54.0abc
2 x 9	56.45	33.40cde	43.7	14.9	10.00ab	4.8ab	0.9	56.0abc
2 x 10	32.14	30.24e	27.7	6.3	9.00ab	4.2ab	0.9	62.0a
3 x 6	61.69	43.26abcde	61.7	3.9	10.00ab	4.1ab	0.6	51.5bc
3 x 7	54.99	41.44abcde	49.5	13.3	9.20ab	3.6b	0.9	51.5bc
3 x 8	57.87	36.46cde	61.4	13.8	9.68ab	3.8ab	1.2	58.5ab
3 x 9	47.13	33.40cde	39.3	12.1	8.93ab	3.8ab	0.6	57.0abc
3 x 10	53.35	41.70abcde	37.2	12.7	9.57ab	3.7ab	1.0	55.5abc
4 x 6	65.28	42.30abcde	39.3	4.1	10.14ab	4.7ab	0.9	47.0c
4 x 7	34.46	35.26cde	31.4	7.1	9.67ab	4.6ab	0.7	54.0abc
4 x 8	40.69	34.22cde	31.4	6.5	9.79ab	4.8ab	0.8	54.5abc
4 x 9	49.92	38.46bcde	37.2	7.0	10.64a	4.6ab	0.9	57.0abc
4 x 10	41.45	41.86abcde	26.2	9.1	9.39ab	4.4ab	0.9	54.5abc
5 x 6	55.08	45.06abcd	35.0	4.0	9.61ab	4.0ab	0.7	51.0bc
5 x 7	36.43	40.14bcde	29.2	3.2	8.67ab	3.5b	1.0	54.5abc
5 x 8	50.92	43.58abcde	27.8	4.2	10.42a	4.7ab	0.6	52.0abc
5 x 9	42.53	43.66abcde	28.8	4.4	9.68ab	4.1ab	0.7	52.5abc
5 x 10	77.48	52.12ab	39.8	5.7	10.37ab	4.2ab	0.9	55.0abc
Prom.	52.75	40.86	38.24	7.44	9.84	4.21	0.84	53.96
Prom. G.	78.53	42.00	50.99	8.87	10.00	4.37	0.87	52.74

1 x 6, 3 x 9, 5 x 9 y 2 x 6, fueron identificados como superiores para esta característica. Todas las poblaciones F<sub>2</sub> excepto 4 x 10, mostraron rendimientos superiores a los progenitores en temporal, sin embargo el rendimiento de la población F<sub>2</sub> fue reducido en 28.46 por ciento en comparación con los híbridos bajo riego. Se pudo apreciar que las poblaciones F<sub>2</sub> bajo riego y temporal tuvieron prácticamente el mismo comportamiento con un promedio de 81.20 y 81.22g por planta, mostrando estas poblaciones alta estabilidad del rendimiento en ambientes contrastantes, contrario a lo observado en las poblaciones híbridas donde su comportamiento bajo riego fue superior en 97.7 por ciento al rendimiento de grano bajo temporal. Por lo tanto, fue posible observar que el rendimiento de las poblaciones F<sub>2</sub> bajo condiciones de temporal fue superior a las poblaciones F<sub>1</sub> en 53.97 por ciento.

El carácter vainas por planta en la población F<sub>2</sub> osciló entre 27.2 y 96.1 con un promedio de 53.54, mientras que en el ambiente con déficit hídrico el rango fue de 31.6 a 77.9 con un promedio de 52.01 sin embargo no se observaron diferencias significativas entre las diferentes poblaciones. La población F<sub>2</sub> de la cruce 3 x 10 bajo riego tuvo el máximo rendimiento y fue significativamente

diferente del resto de las poblaciones pero destacaron las poblaciones 3 x 8, 3 x 6, 3 x 9 y 3 x 7 en riego y en temporal 3 x 9, 5 x 9, 3 x 7, 2 x 9 y 2 x 6 fueron identificadas como las mejores poblaciones para este carácter, destacando que en los dos ambientes los genotipos, Negro Portezuelo, Pinto Nacional 1, Navidad 1165, Manzano, Bayo Río Grande y Durango 222 fueron los materiales que más participaron en las cruzas antes indicadas.

El carácter peso de 100 semillas osciló entre 26.02 a 62.13 y 26.2 a 58.27g bajo riego y temporal, las poblaciones F<sub>2</sub> 1 x 10, 1 x 8, 5 x 8 y 5 x 10 bajo riego y 1 x 10, 1 x 8, 1 x 9, 1 x 6, 3 x 10 y 5 x 10 en temporal manifestaron los mayores valores para esta variable. Destacando los genotipos Bayo Victoria, Flor de mayo criollo, Durango 222 y Pinto Nacional, por formar parte de las poblaciones antes mencionadas. Es interesante notar que el peso de 100 semillas fue reducido en 1.4 por ciento en la F<sub>2</sub> en comparación con la F<sub>1</sub> bajo riego, mientras que en la condición de temporal fue incrementado en 5.48 por ciento en la F<sub>2</sub> en comparación con la F<sub>1</sub>.

Respecto al carácter grano lleno por vaina en la población F<sub>2</sub> este osciló entre 3.8 y 5.4 con un promedio de 4.45 granos por vaina en la condición de riego sin embargo la variación en temporal fue de 3.7 a 5.6 con un promedio de 4.42. Las poblaciones F<sub>2</sub> 2 x 8, 2 x 7, 4 x 8 y 4 x 9 en riego fueron las superiores y estadísticamente iguales mientras que las poblaciones 2 x 7, 2 x 6, 2 x 8, 2 x 9 y 4 x 8 en temporal fueron identificadas como las mejores poblaciones y también fueron iguales estadísticamente. Destacando en estas poblaciones los progenitores Bayo Río Grande, Flor de mayo criollo, Flor de Mayo RMC, Manzano y Pinto Nacional 1. En la población F<sub>2</sub> el número de granos por vaina disminuyó 2.02 por ciento en comparación con la F<sub>1</sub> bajo riego pero en temporal manifestó un incremento de 4.99 por ciento en comparación con la F<sub>1</sub>, bajo la misma condición.

El rendimiento en la población F<sub>2</sub> bajo riego fue reducido en un 28.46 por ciento en comparación con la población F<sub>1</sub> probablemente como consecuencia de una reducción del 19.05 por ciento del número de vainas por planta, 1.41 por ciento en el peso de 100 semillas y 2.02 por ciento en el número de granos por vaina, esto bajo la condición de riego. Sin embargo en la condición de temporal

el rendimiento fue muy similar a la condición bajo riego, mientras que en la F<sub>1</sub> al pasar de riego a temporal se registraron fuertes reducciones, por lo tanto bajo temporal los rendimientos fueron superiores a la F<sub>1</sub> bajo riego.

#### Aptitud Combinatoria General.

Márquez (1988) define a la aptitud combinatoria como la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, dicha capacidad medida por medio de su progenie.

El diseño II de Carolina del Norte es una valiosa herramienta para asignar méritos a los progenitores utilizados en dicho diseño de cruzamientos. Esta metodología permite conocer la naturaleza genética de diferentes características cuantitativas y es una herramienta que además permite seleccionar los progenitores más adecuados para utilizarlos en programas de hibridación, mediante estudios de aptitud combinatoria general (ACG), así como las mejores cruzas, mediante el estudio de la aptitud combinatoria específica (ACE), Chávez y López (1987) manifiestan que la ACG es el efecto promedio que una línea imparte a sus cruzas medida como desviación de la media

Cuadro 4.8 . Promedios para diferentes características agronómicas de la población F2 en frijol común bajo condiciones de riego y temporal.

Genotipo	Rend. g/planta	Peso cien semillas (g)	Vainas llenas/pt.	Vainas Chup./pt.	Long. de vaina (cm)	Granos lentos/vaina	Granos Chup./vaina	Días a floración
<b>Riego</b>								
1 x 6	96.77abc	50.61bcde	47.2defg	4.9c	10.2abc	4.4bcdef	0.9abc	36.0c
1 x 7	69.03bcd	50.90bcde	38.7defg	4.7c	9.99abc	4.7abcdef	0.5bc	49.0abcd
1 x 8	59.88bcd	57.53ab	27.2g	4.7c	8.77c	3.6f	1.1ab	42.0bc
1 x 9	75.59bcd	49.95bcde	42.3defg	3.1c	9.83abc	4.3cdef	0.8abc	47.0abc
1 x 10	69.60bcd	62.13a	29.6fg	2.6c	10.56ab	4.0cdef	1.2a	46.5abc
2 x 6	68.59bcd	34.09ijklm	50.2defg	9.4bc	9.97abc	4.5abcdef	0.9abc	53.0abc
2 x 7	52.47cd	26.02m	52.9defg	24.7a	9.28abc	5.3ab	0.7abc	60.0ab
2 x 8	52.35cd	28.84klm	41.5defg	18.9ab	9.62abc	5.4a	0.8abc	55.5ab
2 x 9	46.04d	28.47lm	35.8efg	26.4a	9.10bc	4.8abcde	0.9abc	57.5ab
2 x 10	83.92bcd	38.44fghij	54.4cdefg	5.9c	10.05abc	4.9abc	0.8abc	57.5ab
3 x 6	104.32abc	39.01ghij	85.5abc	7.1c	10.13abc	4.0cdef	1.0abc	55.0ab
3 x 7	85.18bcd	37.74ghijk	63.2bcde	10.4bc	9.77abc	4.3cdef	1.1ab	43.0abc
3 x 8	99.73abc	36.13hijkl	86.8ab	10.0bc	8.98bc	4.2cdef	0.9abc	51.5abc
3 x 9	80.43bcd	36.87ghijkl	68.3abcd	12.9bc	9.51abc	3.9def	1.3a	51.5abc
3 x 10	150.43a	50.52bcde	96.1a	11.5bc	9.89abc	3.9cdef	1.0abc	53.0abc
4 x 6	81.51bcd	38.15fghij	54.9bcdefg	6.9c	10.43ab	4.7abcdef	0.9abc	52.0abc
4 x 7	69.62bcd	37.52ghijkl	50.0defg	6.9c	9.82abc	4.7abcdef	0.8abc	57.0ab
4 x 8	72.29bcd	31.92jklm	53.7cdefg	10.2bc	10.31abc	5.315ab	0.8abc	61.5a
4 x 9	58.22bcd	45.33cdefgh	30.0fg	6.8c	10.75a	4.9abc	1.0abc	48.5abc
4 x 10	87.52bcd	42.84defghi	59.1bcdefg	11.7bc	10.37abc	4.3cdef	1.0ab	56.5ab
5 x 6	65.25bcd	42.09efghi	41.9defg	3.4c	9.84abc	4.5abcdef	0.8abc	51.0abc
5 x 7	84.76bcd	47.37cdef	55.9bcdefg	3.7c	9.76abc	4.1cdef	1.0abc	46.0abc
5 x 8	108.54ab	52.02bcd	55.7bcdefg	7.2c	9.47abc	3.9ef	0.9abc	45.0abc
5 x 9	98.87abc	45.86cdefg	59.8bcdef	5.4c	9.20abc	4.0cdef	0.4c	45.5abc
5 x 10	107.16ab	53.34abc	58.1bcdefg	2.5c	10.53ab	4.4abcdef	0.9abc	48.0abcd
Prom.	81.20	42.55	53.54	8.85	9.85	4.45	0.89	50.76
<b>Temporal</b>								
1 x 6	106.95	51.36bcd	50.0	4.9de	10.49ab	4.3abcde	0.9	45.0bcd
1 x 7	69.75	46.89cde	44.4	6.7de	9.62abcd	4.2bcde	0.8	42.0cd
1 x 8	58.62	58.15a	32.2	4.1de	8.29d	3.7e	1.0	40.0d
1 x 9	84.76	52.53abc	42.9	4.4de	9.86abc	4.1bcde	0.9	43.0cd
1 x 10	77.42	58.27a	34.3	2.1e	10.12abc	4.0bcde	0.9	48.0abcd
2 x 6	100.66	37.55hi	61.4	6.4de	10.82a	5.1abcd	0.7	47.5bcd
2 x 7	65.27	28.43j	55.8	21.5abc	9.82abc	5.6a	0.9	58.0ab
2 x 8	70.31	31.84ij	51.5	22.5ab	9.84abc	5.3abc	0.8	50.5abcd
2 x 9	69.93	26.20j	61.9	24.8a	9.35abcd	5.3abc	0.9	61.0a
2 x 10	89.65	39.28gh	51.0	6.9de	10.10abc	4.8abcde	1.0	56.5ab
3 x 6	79.90	38.13hi	58.7	6.2de	9.38abcd	4.2bcde	0.6	52.0abcd
3 x 7	74.75	36.94hi	62.4	9.8bcde	9.30bcd	4.1bcde	0.8	52.5abcd
3 x 8	69.74	35.10hi	57.3	12.7abcde	9.14bcd	4.2abcde	1.1	54.5abc
3 x 9	105.20	39.91fgh	77.9	10.3bcde	9.71abcd	4.0bcde	1.2	49.5abcd
3 x 10	99.04	51.84abc	57.7	6.5de	9.98abc	3.9cde	0.8	50.0abcd
4 x 6	63.63	36.395hi	48.7	16.2abcd	10.43ab	4.6abcde	1.2	50.0abcd
4 x 7	61.85	37.68hi	44.6	8.8cde	9.95abc	4.8abcde	0.8	48.5abcd
4 x 8	88.16	35.46hi	56.6	10.3bcde	10.29abc	5.2abcd	0.9	58.0ab
4 x 9	65.57	44.90defg	39.3	6.6de	10.28abc	4.5abcde	0.9	48.0abcd
4 x 10	46.23	41.61efgh	31.6	10.4bcde	9.66abcd	3.8de	0.9	50.5abcd
5 x 6	95.94	46.25cdef	54.2	4.4de	10.38ab	4.6abcde	0.8	48.5abcd
5 x 7	68.15	48.98cd	44.2	3.5de	9.50abcd	4.0bcde	0.8	40.0d
5 x 8	86.54	49.90cd	56.8	7.5de	8.69cd	3.7e	0.9	45.5bcd
5 x 9	105.38	47.07cde	65.6	5.1de	9.20bcd	3.9cde	0.5	49.0abcd
5 x 10	127.12	56.74ab	59.9	5.2de	10.81a	4.5abcde	0.8	48.0abcd
Prom.	81.22	43.10	52.01	9.08	9.81	4.42	0.87	49.44
Prom. G.	81.21	42.82	52.78	8.97	9.83	4.44	0.88	50.10

general, mientras la ACE es la desviación del comportamiento predicho tomando como base a la ACG.

La estimación de la ACG para diferentes características agronómicas en los progenitores de frijol común para riego y temporal se presenta en el Cuadro 4.9. En rendimiento por planta la mayor ACG en las hembras fue registrada por los cultivares Negro Portezuelo (7.51), Bayo Río Grande (5.82), Bayo Zacatecas (2.89) mientras que en los machos, los cultivares Navidad 1165 (23.69) y Durango 222 (16.22) manifestaron los mayores valores de ACG bajo la condición de riego.

En el ambiente de temporal la variedad Bayo Victoria, Negro Portezuelo presentaron 5.11 y 2.14 como valores de ACG en las hembras y en los machos Navidad 1165 y Durango 222 presentaron valores de ACG 9.53 y 5.11. Considerando simultáneamente ambos ambientes los genotipos Negro Portezuelo, Navidad 1165 y Durango 222 fueron los mejores combinadores.

Para el carácter número de vainas llenas por planta las variedades utilizadas como hembras, Negro Portezuelo y Bayo Río Grande y como machos Navidad 1165 y Durango 222

fueron los mejores combinadores bajo riego mientras que bajo temporal las variedades Negro Portezuelo y Bayo Río Grande en las hembras y Navidad 1165 en los machos fueron los mejores combinadores, acorde con lo antes citado Singh (1986) establece que se debe de tener especial atención en la selección de padres para la hibridación sobre todo en relación con caracteres como tamaño de semilla entre otros. Los padres con alta producción y ACG positiva para rendimiento deben cruzarse con otros padres que presenten rasgos que favorezcan el alto rendimiento, en este sentido Singh et al. (1992) observaron que la identificación de progenitores con valores de ACG positiva para rendimiento de semilla y tamaño de semilla pueden ser deseables para su utilización en hibridación y programas de selección. Además mencionan que el conocimiento de la aptitud combinatoria parental es esencial para crear variación genética útil a través de la hibridación.

Con relación al peso de semilla los progenitores Bayo Victoria, Bayo Zacatecas, Navidad 1165 y Durango 222 manifestaron altos valores de ACG, en ambos ambientes. Sin embargo en el caso de granos llenos por vaina las variedades Bayo Río Grande, Flor de Mayo RMC y Flor de Mayo Criollo fueron los mejores bajo riego, bajo la condición de

temporal los mejores progenitores fueron Bayo Río Grande, Flor de mayo RMC y Flor de Mayo Criollo. Considerando en conjunto las características rendimiento por planta, vainas por planta, y peso de 100 semillas, las variedades Navidad 1165 y Durango 222, Negro Portezuelo y Bayo Río Grande fueron identificados como los mejores combinadores simultáneamente.

Los progenitores Bayo Victoria, Bayo Zacatecas, Manzano y Durango 222 expresaron valores de ACG negativos para días a floración, concluyendo que pueden ser considerados como buenos combinadores para precocidad mientras que los genotipos Bayo río Grande, Negro Portezuelo y Flor de mayo criollo fueron los mejores combinadores para producción de poblaciones tardías. Los progenitores antes citados con altos valores de ACG indican una acción génica aditiva, por lo que, pueden utilizarse como progenitores en programas de hibridación para obtener nuevas recombinaciones, que permitirán la selección de progenies superiores.

Singh (1985) menciona que el conocimiento de la ACG de los progenitores permite eliminar las combinaciones parentales que producen recombinantes pobres. Hamblin y

Evans (1976) y Nienhuis y Singh (1986) mostraron evidencias de la importancia de la varianza aditiva para rendimiento y sus componentes. Esto indica que los progenitores con altos rendimiento contribuyen a dar excelentes progenies y los cruzamientos pobres pueden eliminarse en generaciones tempranas.

Los progenitores Bayo Victoria, Bayo Río Grande, Navidad 1165, Durango 222, Negro Portezuelo y Flor de Mayo Criollo poseen altos valores de ACG para rendimiento o sus componentes. Razón por lo cual deben considerarse para el desarrollo de una población sintética o líneas en un programa de selección recurrente, para la combinación de genes aditivos favorables y la formación de poblaciones sobresalientes para rendimiento y sus componentes.

En términos generales en el presente estudio se encontraron progenitores con altos valores para cada carácter los cuales expresaron altos valores de ACG y viceversa, progenitores con valores pobres del carácter en cuestión también expresaron valores bajos de ACG en la mayoría de los casos. Diversos investigadores Rodríguez y Kuruvadi (1990) en frijol y Kuruvadi y Smith (1988) en

trigo también encontraron esta relación en sus estudios de ACG.

### Aptitud Combinatoria Específica

La estimación de los efectos de ACE para diferentes características agronómicas en frijol bajo riego y temporal se presenta en el Cuadro 4.10 donde las cruzas 3 x 10, 4 x 9, 2 x 7, 5 x 8 y 1 x 8, manifiestan los mayores valores de ACE para diversas características como rendimiento por planta, vainas llenas por planta, peso de 100 semillas y número de granos llenos por vaina bajo riego. Por consiguiente hay que explotar estas cruzas en generaciones subsecuentes para la identificación de plantas individuales superiores en generaciones tempranas. En temporal las cruzas con mayores valores de ACE fueron la 1 x 10, 5 x 10, 2 x 6, 2 x 9, 4 x 9 y 3 x 7, estas cruzas son diferentes a las observadas en la condición de riego indicando por consiguiente que algunas cruzas funcionan mejor en riego y otras funcionarán mejor en temporal, por lo que se deben seleccionar cruzas por separado para cada ambiente. La ACE constituye la varianza genética no aditiva, comprendiendo por lo tanto efectos de dominancia, epistasis o su interacción.

Cuadro 4.9 . Estimación de la aptitud combinatoria general para diferentes características agronómicas de progenitores en frijol común bajo riego y temporal.

Progenitores	Rendimiento por planta	Peso de semilla	Vainas por planta		Granos por vaina		Días floración
			Llenas	Chupadas	Llenos	Chupados	
<b>Riego</b>							
<b>Hembras</b>							
Bayo Victoria	1.72	8.09	-5.78	-5.57	-0.15	0.04	-2.52
Bayo Río Grande	5.82	-8.14	6.24	4.51	-0.19	0.16	2.38
Negro Portezuelo	7.51	-2.98	22.26	9.75	-0.41	-0.47	5.98
Flor de Mayo-RMC	-17.93	-3.21	-15.54	-4.69	0.34	0.19	0.78
Bayo Zacatecas	2.89	6.24	-7.18	-4.01	0.42	0.08	-6.62
<b>Machos</b>							
Navidad 1165	23.69	1.25	12.50	-3.53	0.04	0.03	0.38
Manzano	-16.06	-3.32	-6.22	3.23	-0.30	-0.06	-0.82
Flor de Mayo Criollo	-16.03	-3.63	-5.56	2.19	0.00	0.20	1.88
Pinto Nacional -1	-7.92	1.26	-2.20	-0.39	-0.08	-0.14	0.28
Durango 222	16.32	4.43	1.50	-1.51	0.34	-0.02	-1.72
<b>Temporal.</b>							
<b>Hembras</b>							
Bayo Victoria	5.11	7.93	-3.29	-3.26	-0.17	-0.12	-1.46
Bayo Río Grande	-0.35	-7.95	1.88	3.52	-0.08	0.24	2.14
Negro Portezuelo	2.14	-1.61	12.00	3.54	-0.36	-0.43	0.84
Flor de Mayo-RMC	-6.51	-2.43	-5.32	-0.70	0.40	0.43	-0.56
Bayo Zacatecas	-0.38	4.06	-5.28	-3.08	0.22	-0.12	-0.96
<b>Machos</b>							
Navidad 1165	9.53	2.45	6.83	-3.02	-0.14	-0.05	-1.56
Manzano	-6.97	-1.31	-2.38	1.22	-0.59	-0.36	-2.06
Flor de Mayo Criollo	-3.46	-2.77	-0.28	-0.12	0.33	0.38	0.54
Pinto Nacional - 1	-4.22	-1.93	-1.60	1.26	0.17	-0.04	1.14
Durango 222	5.11	3.56	-2.58	0.68	0.24	0.07	1.94

Las cruzas bajo riego y temporal 1 x 7, 2 x 8, 2 x 9, 3 x 10, 4 x 6, y 5 x 7 fueron identificadas con valores negativos altos de ACE para el rasgo días a floración. Por consiguiente a partir de estas cruzas es posible obtener materiales genéticos con precocidad en generaciones futuras, mientras que las cruzas 2 x 7, 3 x 8, 4 x 7, 5 x 8, 5 x 10, 1 x 6, 2 x 10 y 5 x 7 presentaron valores positivos y altos de ACE manifestando ser útiles para explotar plantas tardías para la siembra bajo condiciones de riego. Gritton (1975) trabajando con chícharo, detectó que tanto la ACG como ACE fueron importantes para días a floración, altura de planta, vainas por planta, granos por vaina y rendimiento de semilla, también encontró efectos maternos para semillas por planta y rendimiento.

### Heterosis

La heterosis puede definirse en tres formas, como un incremento del vigor en características agronómicas de la  $F_1$  en comparación con la media de ambos progenitores; la comparación de la  $F_1$  con el progenitor superior, para cualquier característica se llama heterobeltiosis; y la comparación del valor de la  $F_1$  para cualquier característica en comparación de la variedad testigo del

Cuadro 4.10 . Estimación de los efectos de aptitud combinatoria específica para diferentes características agronómicas en frijol común bajo riego y temporal.

Híbrido	Rendimiento por planta	Peso de semilla	Vainas llenas	Vainas chupadas	Longitud de vaina	Granos llenos	Granos chupados	Días a floración
1 x 6	9.46	0.26	-5.58	4.33	0.26	-0.14	-0.09	2.72
1 x 7	-8.64	0.80	0.54	-3.53	-0.49	-0.15	0.12	-5.08
1 x 8	9.07	-2.11	2.58	-1.79	-0.18	0.31	-0.37	-1.28
1 x 9	-16.82	0.22	1.82	-0.81	0.44	-0.18	0.39	2.82
1 x 10	6.93	0.83	0.62	1.81	-0.02	0.16	-0.05	0.82
2 x 6	-4.48	-1.23	13.90	3.95	0.21	0.09	-0.10	-0.18
2 x 7	24.09	2.69	-1.58	2.89	0.01	0.02	0.10	5.52
2 x 8	6.62	2.16	3.26	-4.17	0.38	0.25	0.13	-5.18
2 x 9	-7.54	-3.01	-3.30	2.81	-0.52	-0.25	-0.10	-2.08
2 x 10	-18.69	-0.62	-12.30	-5.47	-0.09	-0.11	-0.03	1.92
3 x 6	6.61	0.88	5.18	-11.49	-0.04	0.09	0.13	-0.78
3 x 7	-9.91	-0.03	-3.20	5.15	0.01	0.05	-0.05	0.92
3 x 8	-25.96	-0.16	-18.36	5.69	-0.03	-0.50	0.08	2.72
3 x 9	-7.07	0.19	-1.32	0.27	-0.32	0.00	-0.15	0.82
3 x 10	36.84	-0.88	17.68	0.39	0.39	0.36	-0.01	-3.68
4 x 6	6.74	2.91	-5.32	2.25	-0.35	-0.03	0.03	-3.08
4 x 7	-7.04	-3.04	-0.60	0.39	0.75	0.29	-0.08	3.62
4 x 8	-13.08	-2.35	2.94	0.13	-0.44	-0.24	0.13	0.92
4 x 9	26.32	3.26	6.48	-2.69	0.34	0.24	-0.01	0.02
4 x 10	-12.94	-0.77	-3.52	-0.07	-0.30	-0.26	-0.06	-1.48
5 x 6	-17.82	-2.82	-8.20	0.97	-0.08	-0.01	0.04	1.32
5 x 7	1.50	-0.42	4.82	-4.89	-0.27	-0.21	-0.09	-4.98
5 x 8	23.35	2.46	9.56	0.15	0.27	0.18	0.03	2.82
5 x 9	5.11	-0.66	-3.70	0.43	0.06	0.19	-0.12	-1.58
5 x 10	-12.14	1.44	-2.50	3.35	0.03	-0.15	0.15	2.42

Cuadro 4.10. ....continuación.

	Temporal									
1 x 6	-16.12	-3.12	-9.49	1.22	-0.46	-0.50	-0.03	4.06		
1 x 7	-1.39	0.39	1.77	-2.12	0.17	0.29	-0.02	-1.94		
1 x 8	4.65	0.08	-1.43	-0.18	-0.35	0.10	-0.09	0.46		
1 x 9	-9.55	-1.14	-2.51	-0.66	-0.28	-0.51	0.22	-0.64		
1 x 10	22.40	3.80	11.67	1.72	0.91	0.63	-0.08	-1.94		
2 x 6	16.52	2.44	7.59	0.84	0.63	0.12	0.04	2.96		
2 x 7	8.46	1.41	-0.30	4.50	-0.64	-0.46	-0.03	-3.04		
2 x 8	-10.65	-0.04	-4.30	-2.86	0.32	0.29	-0.01	-2.64		
2 x 9	11.17	2.42	6.02	2.76	0.38	0.36	0.03	-1.24		
2 x 10	-25.49	-6.22	-9.00	-5.26	-0.69	-0.31	-0.02	3.96		
3 x 6	-2.85	1.56	5.47	-5.28	-0.53	0.32	-0.14	-1.74		
3 x 7	6.95	3.50	2.48	1.18	0.62	0.13	0.05	-1.24		
3 x 8	6.32	-0.03	10.18	3.02	0.15	-0.38	0.28	3.16		
3 x 9	-3.66	-3.92	-8.50	-0.06	-0.41	0.03	-0.27	1.06		
3 x 10	-6.77	-1.11	-9.62	1.12	0.17	-0.11	0.09	-1.24		
4 x 6	9.39	1.43	0.39	0.46	0.36	0.11	0.13	-4.84		
4 x 7	-4.93	-1.83	-3.40	-1.28	0.34	0.30	-0.12	2.66		
4 x 8	-2.21	-1.44	-0.40	-0.04	-0.47	-0.20	-0.08	0.56		
4 x 9	7.78	1.97	6.72	-0.92	0.54	0.05	0.09	2.46		
4 x 10	-10.02	-0.12	-3.30	1.76	-0.77	-0.26	-0.02	-0.84		
5 x 6	-6.94	-2.30	-3.95	2.74	0.00	-0.05	0.01	-0.44		
5 x 7	-9.09	-3.46	-0.54	-2.30	-0.49	-0.26	0.13	3.56		
5 x 8	1.89	1.43	-4.04	0.04	0.34	0.19	-0.10	-1.54		
5 x 9	-5.74	0.68	-1.72	-1.14	-0.24	0.07	-0.07	-1.64		
5 x 10	19.88	3.65	10.26	0.64	0.38	0.05	0.03	0.06		

experimento o híbrido comercial se llama heterosis útil. Por su parte Allard (1980) menciona que los cruzamientos de genitores de diferentes orígenes produjeron mayor heterosis que los genitores más relacionados, indicando además que el grado de heterosis en cruzamientos varietales de especies autógamias como cereales, judía y tomate, indican respuestas medias menores que en plantas alógamas, aunque algunos híbridos F<sub>1</sub> muestran un aumento considerable de vigor sobre el genitor superior.

Kuruvadi (1991) expresa que para obtener altos valores de heterosis positiva y favorable para determinado carácter, uno o ambos progenitores que intervienen en la cruce deben de tener altos valores de ACG; una combinación de altos y positivos valores de ACE. También estableció que la presencia de heterosis es a causa de la presencia de genes dominantes heterocigotos en condición favorable o a causa de la sobredominancia en donde el heterocigoto es superior a ambos homocigotos o por efectos epistáticos o debido a genes con acción pleiotrópica.

En este estudio se calculó la heterosis en tres formas, tales como heterosis (H), heterobeltiosis (HB) y

heterosis útil (HU) para diferentes características cuantitativas para los 25 híbridos estudiados.

En el cuadro 4.11 se presentan los valores de heterosis los cuales fluctuaron de 6.61 a 223.52 por ciento con un promedio de 98.43 por ciento para rendimiento de grano por planta, encontrando que los 25 híbridos estudiados presentaron heterosis positiva bajo la condición de riego, los híbridos 3 x 10 y 3 x 6 mostraron los más altos valores de heterosis, de 223.52 y 202.92 por ciento respectivamente para rendimiento por planta y 10 híbridos presentaron una heterosis entre 112.93 y 223.52 por ciento, los híbridos 3 x 10, 3 x 6, 1 x 6, 2 x 6, 1 x 9, 1 x 10, 4 x 9, 2 x 9, 3 x 9 y 4 x 6 presentaron altos valores de heterosis bajo la condición de riego. En la condición de temporal el porcentaje de heterosis osciló entre -27.17 a 94.31 por ciento con un promedio de 23.81 por ciento, seis cruces de las 25 estudiadas manifestaron heterosis negativa para rendimiento de grano por planta, estas cruces fueron la 1 x 9, 2 x 10, 4 x 7, 4 x 8, 4 x 10 y 5 x 7. Fooland y Bassiri (1983) observaron valores de heterosis altos y significativos para rendimiento, número de vainas y semillas por planta, número de semillas por vaina y número de días de siembra a floración, los máximos

valores de heterosis para los componentes antes citadas fueron 133, 104.9, 86.1, 33.9, .5 y 4.5 por ciento respectivamente. En cambio Sarafi (1978) observo heterosis en rendimiento y peso de semilla, pero no en el número de vainas por planta y semillas por vaina. Los valores de heterosis positiva para rendimiento de frijol encontrados en esta investigación fueron muy superiores a los reportados por Gutiérrez y Singh (1985) cuyo rango osciló entre 27.8 a 47.3 por ciento, sobre el valor medio de los progenitores, ninguna de las cruzas mostró heterosis para vainas por planta.

#### Heterobeltiosis

La heterobeltiosis presentó una variación de -20.43 a 135.6 por ciento para el rendimiento por planta como se presenta en el cuadro 4.12. De las 25 cruzas estudiadas solo los híbridos 4 x 7 y 4 x 8 presentaron heterosis negativa mientras que los restantes 23 híbridos manifestaron heterosis positiva de 2.88 (1 x 7) a 135.60 por ciento (3 x 10). Los híbridos 3 x 10, 3 x 6, 2 x 6, 1 x 9 y 1 x 6 expresaron heterosis para rendimiento entre 109.76 a 135.60 por ciento y fueron los híbridos más sobresalientes para la característica rendimiento por

Cuadro 4.11 . Heterosis para diferentes características agronómicas en los híbridos de frijol común bajo condiciones de riego y temporal.

Cruza	Rendimiento por planta	Peso de cien semillas	Vainas llenas/pt.	Vainas chup./pt.	Longitud de vaina	Granos llenos/vaina	Granos chup./vaina	Días a floración
<b>Riego</b>								
1 x 6	169.17	12.91	92.67	34.94	12.31	12.48	-4.35	19.54
1 x 7	34.17	4.91	41.22	-28.57	-0.47	4.31	35.48	-15.69
1 x 8	91.62	5.64	35.29	-9.57	2.37	17.69	-37.33	-6.16
1 x 9	154.96	7.90	98.98	-20.88	9.26	7.73	58.49	4.00
1 x 10	131.19	4.90	116.34	29.11	3.28	10.69	22.30	2.13
2 x 6	159.17	11.14	163.41	15.04	6.60	6.52	3.13	10.20
2 x 7	102.45	10.05	55.94	35.92	0.12	-1.69	36.77	3.54
2 x 8	102.12	20.34	61.19	-13.42	4.28	5.42	32.60	-13.30
2 x 9	112.93	-1.19	103.11	26.28	-5.31	-4.33	2.11	-6.31
2 x 10	98.76	0.41	93.86	-39.69	-1.84	-5.09	29.41	2.86
3 x 6	202.92	20.34	177.93	-68.33	6.19	5.67	-1.90	13.43
3 x 7	54.52	5.56	88.32	101.41	2.07	-2.87	-16.76	-0.43
3 x 8	48.34	15.46	54.51	105.88	1.71	-12.83	-3.52	4.20
3 x 9	126.42	11.58	153.58	61.29	-1.56	-0.38	-25.96	3.08
3 x 10	223.52	3.36	234.91	61.02	4.75	3.64	0.00	10.70
4 x 6	132.45	25.86	41.03	-47.62	2.72	8.01	3.16	-0.56
4 x 7	6.61	-3.42	-14.42	-16.59	9.52	7.96	-3.27	5.26
4 x 8	12.88	8.15	11.54	-20.00	-1.89	-0.85	18.44	1.85
4 x 9	127.45	19.55	51.85	-70.45	5.20	10.80	2.13	2.44
4 x 10	64.28	3.34	38.64	-50.00	-1.85	-4.72	11.90	1.55
5 x 6	72.98	4.23	42.49	-9.52	7.62	15.86	-6.88	20.00
5 x 7	25.16	0.11	19.66	-25.98	1.34	3.08	-18.42	-15.68
5 x 8	75.93	14.16	36.29	50.00	7.06	14.55	-4.49	3.13
5 x 9	70.54	4.10	33.59	39.13	4.54	16.94	-20.86	-3.87
5 x 10	60.12	4.21	51.00	105.00	3.12	3.38	23.35	7.69
<b>Prom.</b>	<b>98.426</b>	<b>8.544</b>	<b>75.318</b>	<b>9.776</b>	<b>3.247</b>	<b>4.879</b>	<b>5.421</b>	<b>2.145</b>
<b>Temporal</b>								
1 x 6	9.00	6.58	-3.06	-49.45	3.27	-2.35	20.34	27.17
1 x 7	12.56	10.36	0.75	-33.33	7.31	7.80	46.55	-3.00
1 x 8	54.94	15.33	28.06	-62.38	11.09	21.87	5.13	1.90
1 x 9	-4.30	-1.18	-5.51	0.00	8.49	-1.40	70.97	10.42
1 x 10	86.46	15.35	51.85	-0.76	20.30	35.41	14.89	2.94
2 x 6	74.10	14.68	37.52	-48.97	10.88	5.13	3.18	10.58
2 x 7	28.38	5.84	-7.58	245.83	-6.67	-17.63	8.39	-13.19
2 x 8	6.21	8.33	9.50	-21.78	12.65	15.71	-7.69	-11.84
2 x 9	27.77	-2.00	14.70	217.02	11.06	11.87	6.75	-1.32
2 x 10	-26.68	-17.11	-20.40	-3.82	-2.36	-0.12	-2.22	3.77
3 x 6	34.14	15.08	55.03	-83.12	77.25	2.66	-21.29	1.48
3 x 7	30.71	15.72	22.68	-43.04	3.53	-12.35	17.65	-10.43
3 x 8	59.97	12.48	61.15	-51.83	7.15	-7.35	21.24	-2.50
3 x 9	6.68	-13.72	1.16	-47.96	-1.57	-3.58	-31.68	2.70
3 x 10	21.71	1.44	4.64	-49.40	3.09	-3.11	8.99	-5.13
4 x 6	29.59	13.65	3.42	-40.58	8.12	8.56	16.78	3.30
4 x 7	-27.17	-0.45	-18.55	-0.70	4.72	3.50	-2.04	3.35
4 x 8	-1.76	6.79	-13.50	-47.79	4.29	8.19	-14.44	-0.46
4 x 9	1.00	0.31	0.40	-0.71	12.86	8.28	16.13	13.43
4 x 10	-15.55	2.75	-22.37	2.25	-2.54	5.05	-1.16	2.35
5 x 6	33.79	4.60	12.90	-14.89	6.52	8.28	14.06	13.33
5 x 7	-4.41	-2.81	-7.45	-35.35	-2.33	-8.44	50.79	5.31
5 x 8	58.06	14.97	-5.12	-59.02	15.44	21.99	-8.43	-4.15
5 x 9	5.74	-1.22	-4.16	-9.28	6.83	12.88	7.46	5.53
5 x 10	94.31	11.85	48.79	-14.93	11.80	16.94	15.23	4.27
<b>Prom.</b>	<b>23.81</b>	<b>5.51</b>	<b>9.79</b>	<b>-10.18</b>	<b>9.25</b>	<b>5.51</b>	<b>10.22</b>	<b>2.39</b>

planta en la condición de riego. Bajo temporal la heterobeltiosis osciló de -37.71 a 80.66 por ciento y 16 cruzas de 25, manifestaron heterosis positiva con un rango de 1.25 a 80.86 por ciento para la variable rendimiento de grano por planta. Los altos valores de heterosis y heterobeltiosis observados en esta investigación pueden ser el resultado de usar variedades mejoradas con acumulación de genes favorables para características cuantitativas, además de presentar diversidad genética y geográfica, como los señalan Bailey y Comstock (1976) quienes explican que la posibilidad de recobrar una progenie genotípica superior es mayor si ambos progenitores son similares en comportamiento, contrariamente a sí un progenitor es inferior para uno o más rasgos. Agregan que la diversidad genética es necesaria entre progenitores para derivar segregantes transgresivos de una craza. En esta investigación aunque los valores obtenidos de heterobeltiosis son altos no se comparan a los reportados por Miranda (1967) que estudiando la heterosis en tres series de cruzas en frijol lima encontró valores de 438.6, 229.6 y 305.8 por ciento de heterosis sobre el progenitor superior.

Cuadro 4.12. Porcentaje de heterobeltiosis para diferentes características agronómicas para 25 cruzas en frijol común bajo riego y temporal.

Genotipo	Rendimiento por planta	Peso de cien semillas	Vainas llenas/pt.	Vainas chup./pt.	Longitud de vaina	Granos llenos/vaina	Granos chup./vaina	Días a floración
<b>Riego</b>								
1 x 6	125.93	-4.53	46.65	30.23	6.12	5.44	-12.50	-0.95
1 x 7	2.88	-11.80	2.51	-45.78	-6.68	-6.44	15.07	-18.10
1 x 8	81.39	-17.63	0.41	-27.78	-6.27	2.83	-38.96	-6.60
1 x 9	127.75	-4.56	85.44	-25.00	0.24	1.43	46.51	-0.95
1 x 10	84.71	2.28	85.11	18.60	-9.10	-2.08	28.79	-8.57
2 x 6	109.76	-8.28	116.96	-32.30	5.21	0.00	-4.81	-14.96
2 x 7	50.47	-8.66	21.62	-7.08	-1.98	-3.32	1.92	-7.87
2 x 8	64.12	8.54	28.99	-42.92	-0.43	4.04	15.38	-20.47
2 x 9	82.80	-21.70	84.99	-23.45	-9.39	-10.58	-6.73	-18.11
2 x 10	53.55	-26.03	82.37	-65.04	-10.08	-5.19	5.77	-14.96
3 x 6	129.94	10.79	133.26	-81.00	0.36	-0.95	-15.57	-13.64
3 x 7	8.73	-2.18	49.42	42.50	-4.28	-12.88	-40.98	-12.88
3 x 8	12.93	13.26	25.88	40.00	-6.86	-23.84	-21.31	-6.06
3 x 9	81.18	-2.02	135.98	0.00	-9.67	-6.21	-36.89	-11.36
3 x 10	135.60	-16.69	222.19	-5.00	-7.79	-8.32	-22.95	-9.85
4 x 6	89.07	15.51	25.45	-65.63	0.71	4.66	-3.92	-19.09
4 x 7	-20.43	-10.79	-28.38	-31.25	8.24	8.22	-27.45	0.00
4 x 8	-7.89	6.46	-3.93	-37.50	-3.25	-5.25	3.92	0.00
4 x 9	96.32	4.66	50.99	-79.69	3.97	6.87	-5.88	-4.55
4 x 10	27.49	-16.92	34.67	-67.97	-7.28	-7.69	-7.84	-10.91
5 x 6	63.96	-10.75	37.72	-13.64	6.77	9.69	-12.87	8.14
5 x 7	17.51	-14.78	8.11	-43.37	1.36	-6.65	-38.61	-21.21
5 x 8	66.10	-10.00	27.12	20.83	4.34	1.01	-15.84	-6.60
5 x 9	51.19	-6.68	23.21	33.33	2.11	11.22	-26.73	-8.42
5 x 10	58.80	3.14	34.93	86.36	-3.67	-7.69	1.98	5.81
Prom.	62.955	-5.175	52.466	-16.901	-1.891	-2.147	-8.821	-8.887
<b>Temporal</b>								
1 x 6	5.18	-6.66	-4.52	-55.77	-4.05	-9.72	10.94	12.24
1 x 7	1.56	-7.17	-2.33	-38.46	1.22	-2.67	32.81	-4.90
1 x 8	21.10	-10.58	23.29	-74.67	3.13	9.33	-10.87	-4.46
1 x 9	-9.52	-11.32	-6.83	-9.62	0.34	-8.07	65.63	8.16
1 x 10	74.97	8.89	34.16	-17.72	9.04	27.81	5.19	-0.94
2 x 6	72.95	-2.43	19.60	-71.19	8.83	-3.43	-21.36	-13.53
2 x 7	20.48	-6.20	-18.49	-45.03	-6.91	-22.48	-18.45	-23.31
2 x 8	-14.30	6.02	-8.91	-73.84	10.46	9.64	-12.62	-18.80
2 x 9	25.92	-18.50	-2.67	-50.66	8.47	1.93	-15.53	-15.79
2 x 10	-28.31	-33.94	-38.31	-79.14	-6.65	-10.06	-14.56	-6.77
3 x 6	32.52	11.67	32.97	-90.78	75.30	1.76	-39.60	-19.53
3 x 7	18.13	13.72	6.68	-68.56	3.00	-13.83	-10.89	-19.53
3 x 8	24.32	0.05	32.33	-67.38	5.87	-9.57	15.84	-8.59
3 x 9	1.25	-18.50	-15.30	-71.39	-3.13	-5.28	-45.54	-10.94
3 x 10	14.61	-8.91	-19.83	-69.98	-0.72	-6.03	-3.96	-13.28
4 x 6	18.00	9.19	-8.18	-58.59	5.29	-0.85	-8.42	-12.15
4 x 7	-37.71	-1.18	-26.64	-28.28	0.39	-3.17	-24.21	0.93
4 x 8	-26.45	-4.15	-26.64	-56.67	1.65	1.90	-15.79	-2.68
4 x 9	-9.76	-6.15	-13.08	-29.29	10.44	-1.90	-5.26	6.54
4 x 10	-25.07	-8.56	-38.79	-8.08	-2.57	-5.94	-10.53	1.87
5 x 6	21.24	-4.98	5.42	-27.27	-0.33	2.05	-1.35	-2.86
5 x 7	-7.33	-15.35	-14.87	-41.82	-10.10	-15.78	28.38	3.81
5 x 8	37.96	-8.10	-6.71	-72.00	8.11	11.48	-17.39	-7.14
5 x 9	-2.30	-7.93	-7.99	-20.00	0.47	7.29	-2.70	0.00
5 x 10	80.86	9.91	38.19	-27.85	7.56	12.57	12.99	3.77
Prom.	12.412	-4.845	-2.697	-50.161	5.005	-1.321	-4.291	-5.915

### Heterosis Útil.

Para estimar la heterosis útil se utilizó la variedad Bayo Victoria como testigo, dicho material fue liberado por el INIFAP Durango en 1989. Esta variedad es sembrada en el Estado de Durango y presenta alto rendimiento bajo condiciones de temporal.

La heterosis útil positiva (Cuadro 4.13) varió de 34.58 a 238.79 por ciento con un promedio de 152.58 por ciento y este fenómeno de heterosis positiva para rendimiento de grano se presentó en las 25 cruzas estudiadas. Las cruzas 3 x 10, 3 x 6, 2 x 6, 2 x 7, 1 x 10, 1 x 9, 1 x 6, 4 x 6, 5 x 6 y 5 x 8 fueron las que demostraron mayor contribución a la heterosis útil. Los progenitores involucrados en las cruzas antes mencionadas fueron Navidad 1165, Bayo Victoria, Bayo Río Grande, Bayo Zacatecas, Negro Portezuelo y Durango 222.

El porcentaje de H, HB y HU en rendimiento de grano por planta fue reducido en 313.38 por ciento, 407.21 por ciento y 916.83 por ciento en la condición de temporal en comparación con el sistema de cultivo bajo riego a causa de que probablemente como consecuencia de disponer de un

buen ambiente en este caso, bajo riego el genotipo expresa mejor todo su potencial, en cambio en una condición limitante parte del potencial genético queda enmascarado por dicho ambiente.

El porcentaje de H, HB y HU para peso de 100 semillas expresó un promedio de 8.5, -5.17 y -21.8 por ciento respectivamente bajo condición de riego, sin embargo bajo temporal fue de 5.51, -4.8 y -20.76 por ciento respectivamente. El porcentaje de H, HB y HU varió de -3.42 a 25.86, -26.03 a 15.51 y -39.79 a 2.28 por ciento respectivamente bajo la condición de riego mientras que bajo temporal de -17.11 a 15.72, de -33.94 a 13.72 y de -41.62 a 8.88 por ciento el promedio en heterosis para esta característica fue de 8.5 y 5.5 por ciento bajo riego y temporal respectivamente, la HB y HU presentan valores negativos en sus promedios. La mayoría de las cruzas manifestaron heterobeltiosis y heterosis útil negativa para días a floración bajo riego y temporal.

Para el carácter de número de vainas por planta se presentó 75.3, 52.5 y 172.3 por ciento bajo riego y 9.79, -2.69 y 18.75 por ciento bajo condiciones de temporal para H, HB y HU respectivamente. El porcentaje de heterosis

varió de -14.42 a 234.9 por ciento para este rasgo bajo riego y las cruzas 3 x 10, 3 x 6, 2 x 9, 2 x 6 y 1 x 10 presentaron los mayores valores de heterosis. En general en este estudio se encontraron valores de heterosis altos probablemente como consecuencia de que durante el proceso de mejoramiento de las variedades utilizadas se acumularon genes heterocigotos favorables para ciertos rasgos, eliminando genes deletéreos y de baja calidad y al formar el híbrido se complementaron dando lugar a la aparición de híbridos superiores, además de utilizar materiales genéticos con amplia variabilidad genética y de diverso origen, dando como resultado altos valores de heterosis, coincidiendo con lo expresado por Kuruvadi (1988) quien reporta que generalmente los progenitores de fuentes de diverso origen expresan más heterosis en sus híbridos para rendimiento y sus componentes, que progenitores relacionados, además su progenie exhibe un amplio espectro de variabilidad para la selección de genotipos superiores.

#### Depresión endogámica en la población de F<sub>2</sub>

La depresión endogámica (DE) se puede definir como la pérdida del vigor o heterosis por efecto de la

Cuadro 4.13 . Heterosis útil para diferentes características agronómicas de los híbridos de frijol común bajo condiciones de riego y temporal .

Cruza	Rend. g/planta	Peso cien semillas	Vainas llenas/pt.	Vainas chup./pt.	Long. de vainas	Granos llenos/vaina	Granos chup./vaina	Días a floración
1 x 6	232.88	-4.53	180.77	30.23	19.27	20.54	5.48	-0.95
1 x 7	92.81	-11.80	126.92	4.85	6.62	17.84	15.07	-18.10
1 x 8	135.79	-17.83	107.26	20.93	12.78	37.57	-35.62	-5.71
1 x 9	189.56	-4.56	149.57	-16.28	20.07	14.86	72.60	-0.95
1 x 10	208.91	2.28	160.26	18.60	19.56	27.30	16.44	-8.57
2 x 6	209.06	-36.60	315.38	255.81	18.25	30.27	35.62	2.86
2 x 7	181.99	-37.76	169.23	388.37	11.99	25.95	45.21	11.43
2 x 8	139.78	-39.28	166.24	200.00	19.80	39.19	64.38	-3.81
2 x 9	132.42	-39.79	179.06	302.33	8.53	16.49	32.88	-0.95
2 x 10	156.80	-29.72	156.41	83.72	18.28	23.51	50.68	2.86
3 x 6	238.79	-23.43	346.58	-11.63	12.80	13.24	41.10	8.57
3 x 7	103.78	-33.35	230.77	562.79	9.36	9.73	-1.37	9.52
3 x 8	64.99	-34.14	159.83	551.16	12.07	1.89	31.51	18.10
3 x 9	130.36	-24.66	255.98	365.12	8.19	6.22	5.48	11.43
3 x 10	294.02	-20.85	352.99	341.86	21.28	19.19	28.77	13.33
4 x 6	178.57	-20.17	140.17	2.33	17.81	27.57	34.25	-15.24
4 x 7	49.13	-39.21	58.55	104.65	26.62	33.78	1.37	4.76
4 x 8	34.58	-38.52	98.29	86.05	16.41	26.76	45.21	4.76
4 x 9	149.61	-19.51	127.78	-39.53	24.54	30.27	31.51	0.00
4 x 10	113.22	-21.07	100.85	-4.65	21.96	20.00	28.77	-6.67
5 x 6	169.69	-13.43	163.68	-11.63	21.93	25.41	20.55	-11.43
5 x 7	120.22	-17.34	139.32	9.30	15.75	17.57	-15.07	-25.71
5 x 8	173.20	-12.71	162.39	102.33	25.54	35.14	16.44	-5.71
5 x 9	148.67	-9.49	120.09	48.84	22.30	25.95	1.37	-17.14
5 x 10	165.57	0.04	141.03	90.70	26.70	20.00	41.10	-13.33
Prom.	152.58	-21.89	172.38	139.44	17.54	22.65	24.55	-1.87
<b>T e m p o r a l</b>								
1 x 6	5.18	-6.67	-1.55	-55.77	11.85	6.33	10.94	12.24
1 x 7	1.56	-7.18	4.04	-38.46	14.23	20.78	32.81	-1.02
1 x 8	21.10	-10.59	23.29	-26.92	20.45	37.65	28.13	9.18
1 x 9	-9.52	-11.33	-6.83	-9.62	18.15	6.33	65.63	8.16
1 x 10	74.97	8.88	34.16	25.00	34.21	43.98	26.56	7.14
2 x 6	60.81	-26.69	66.77	67.31	26.87	35.84	26.56	17.35
2 x 7	10.54	-36.00	13.66	219.23	5.04	9.04	31.25	4.08
2 x 8	-21.37	-41.62	27.02	51.92	29.02	54.22	40.63	10.20
2 x 9	15.53	-35.22	35.71	186.54	27.73	43.37	35.94	14.29
2 x 10	-34.22	-41.35	-13.98	21.15	14.90	26.51	37.50	26.53
3 x 6	26.26	-16.10	91.61	-25.00	104.36	21.99	-4.69	5.10
3 x 7	12.55	-19.63	53.73	155.77	17.43	6.93	40.63	5.10
3 x 8	18.44	-29.29	90.68	165.38	23.65	13.86	82.81	19.39
3 x 9	-3.54	-35.22	22.05	132.69	14.06	13.55	-14.06	16.33
3 x 10	9.19	-19.12	15.53	144.23	22.21	12.65	51.56	13.27
4 x 6	33.61	-17.96	22.05	-21.15	29.53	41.27	35.94	-4.08
4 x 7	-29.47	-31.57	-2.48	36.54	23.50	37.95	12.50	10.20
4 x 8	-16.72	-33.63	-2.48	25.00	25.04	45.18	25.00	11.22
4 x 9	2.17	-25.41	15.53	34.62	35.86	39.76	40.63	16.33
4 x 10	-15.17	-18.81	-18.63	75.00	19.92	34.01	32.81	11.22
5 x 6	12.73	-12.61	8.70	-23.08	22.68	20.18	14.06	4.08
5 x 7	-25.44	-22.15	-9.32	-38.46	10.66	4.52	48.44	11.22
5 x 8	4.22	-15.48	-13.66	-19.23	33.08	40.36	18.75	6.12
5 x 9	-12.96	-15.32	-10.56	-15.38	23.67	24.10	12.50	7.14
5 x 10	58.58	1.09	23.60	9.62	32.40	26.81	35.94	12.24
Prom.	7.96	-20.76	18.75	43.08	25.62	26.69	30.75	10.12

autofecundación o de la cruce entre progenitores estrechamente relacionados en especies alógamas debido a la segregación y recombinación de genes deletéreos, detrimentales, subletales por homocigosis recesiva o interacción factorial poligénica. En este estudio se estimó la DE en 25 poblaciones F<sub>2</sub> para rendimiento y sus componentes. El porcentaje de DE para diferentes características agronómicas de la población F<sub>2</sub> en frijol común bajo riego y temporal se presentan en el Cuadro 4.14

De 25 poblaciones estudiadas 21 poblaciones de F<sub>2</sub> mostraron DE para el rendimiento mientras que solo cuatro poblaciones F<sub>2</sub> presentaron una segregación transgresiva positiva de 1.21 a 46.35 por ciento para rendimiento de grano por planta bajo la condición de riego. La mayor segregación transgresiva y positiva se presentó en las cruces 3 x 8 (46.35 por ciento), 4 x 8 (30.06 por ciento), 4 x 7 (13.03 por ciento) y 3 x 7 (1.21 por ciento) mientras que las cruces 2 x 7, 2 x 9, 2 x 6, 3 x 8 y 1 x 10 registraron DE muy alta, con valores de 54.95, 52.04, 46.27, 46.35 y 45.45 por ciento respectivamente para rendimiento de grano por planta bajo riego. Mientras que en temporal solo dos cruces 1 x 10 (-9.44 por ciento) y 1.8 (-0.93 por ciento) manifestaron DE negativa de las 25 cruces estudiadas. Las

23 cruzas restantes presentaron segregación transgresiva y positiva de 11.53 por ciento(4 x 10) a 178.92 por ciento(2 x 10) para este importante rasgo y las cruzas 2 x 10 (178.92 por ciento), 5 x 9(147.77 por ciento), 3 x 9 (123.2 por ciento) y 1 x 6(108.11 por ciento) mostraron altos porcentajes de segregación transgresiva en F2. Los altos porcentajes de segregación transgresiva positiva probablemente son consecuencia de haber seleccionado materiales mejorados con acumulación de genes aditivos durante su proceso de mejoramiento, observado también en los altos valores de ACG y los valores medios de las características estudiadas, observando también buen potencial de rendimiento bajo condiciones de temporal y la ausencia de genes deletéreos o subletales o detrimentales por homocigosis que probablemente ya se habían eliminado durante el proceso de varios años de mejoramiento. Gutiérrez y Singh (1985) estudiando la depresión endogámica en frijol también encontraron segregación transgresiva en algunas cruzas para las variables rendimiento de frijol, vainas por planta y semillas por vaina manifestando que la presencia de segregantes transgresivos es consecuencia de que los progenitores involucrados en la cruce llevaron genes responsables de la herencia de dichos rasgos y sugiere que la heterosis en

estas cruces fue probablemente debido a genes favorables altamente complementarios y con efectos aditivos. Además dichos segregantes son de especial interés en programas de mejoramiento de frijol, puesto que ofrecen la mejor posibilidad de extraer genotipos alto rendidores.

### Correlaciones Fenotípicas

Kuruvadi et al. (1997) expresan que los valores de los coeficientes de correlación entre diferentes pares de características de la planta proporcionan el grado de asociación entre estas y la estimación de dicha asociación es útil en programas de mejoramiento genético de cultivos alogamos y autogamos así como en especies de propagación vegetativa, para determinar el criterio de selección y mejorar el carácter bajo consideración. El conocimiento de la correlación entre rasgos de importancia económica facilita la interpretación de datos, además de ser herramienta útil en la planeación eficiente de los programas de mejoramiento genético.

En el cuadro 4.15 se presentan los coeficientes de correlación fenotípica entre características agronómicas en frijol común en los progenitores bajo condiciones de riego

Cuadro 4.14. Porcentaje de depresión endogámica para diferentes características agronómicas de la población F2 de frijol común bajo riego y temporal.

Cruza	Rend. g/planta	Peso cien semillas(g)	Vainas llenas/pt.	Vainas chupadas/pt.	Long de vaina (cm)	Granos llenos/vaina	Granos chup./vaina	Días a floración
<b>R i e g o</b>								
1 x 6	-28.16	-4.04	-28.16	-12.50	-1.04	-1.68	16.88	-30.77
1 x 7	-13.32	4.47	-27.12	3.33	8.47	8.26	-36.31	13.95
1 x 8	-38.51	26.44	-44.02	-9.62	-9.98	-24.75	124.47	-15.15
1 x 9	-36.80	-5.25	-27.57	-15.28	-5.24	1.29	-37.30	-9.62
1 x 10	-45.45	9.96	-51.15	-50.00	2.23	-14.54	39.41	-3.13
2 x 6	-46.27	-2.66	-48.35	-38.89	-2.42	-5.91	-9.09	-1.85
2 x 7	-54.95	-24.32	-16.03	17.38	-4.08	14.27	-30.66	2.56
2 x 8	-47.14	-14.01	-33.39	46.12	-7.05	4.47	-37.50	9.90
2 x 9	-52.04	-14.40	-45.25	52.60	-2.93	12.30	-2.58	10.58
2 x 10	-20.88	-0.98	-9.33	-25.32	-1.70	6.24	-23.18	6.48
3 x 6	-25.45	-7.78	-18.23	86.84	3.90	-3.46	-6.31	-3.51
3 x 7	1.21	2.50	-18.35	-63.68	3.40	4.93	50.00	-25.22
3 x 8	46.35	-0.69	42.68	-64.29	-7.25	10.88	-9.90	-16.94
3 x 9	-15.46	-11.41	-18.07	-35.75	1.73	-0.89	68.18	-11.97
3 x 10	-7.56	15.55	-9.39	-39.47	-5.58	-11.11	6.91	-10.92
4 x 6	-29.15	-13.49	-2.40	56.82	2.45	-0.85	-8.67	16.85
4 x 7	13.03	11.73	34.64	-21.59	-10.21	-4.44	11.49	3.64
4 x 8	30.06	-6.01	15.73	26.88	2.47	13.33	-29.25	11.82
4 x 9	-43.53	1.96	-43.71	161.54	-0.06	1.56	5.21	-7.62
4 x 10	-0.61	-1.74	25.74	184.15	-1.59	-2.82	9.04	15.31
5 x 6	-41.42	-11.99	-32.09	-10.53	-6.56	-3.66	-6.25	9.68
5 x 7	-6.81	3.75	-0.27	-21.28	-2.38	-5.29	58.87	17.95
5 x 8	-3.81	7.88	-9.28	-17.24	-12.68	-22.80	11.18	-9.09
5 x 9	-3.73	-8.28	16.12	-16.41	-12.95	-14.38	-47.97	4.60
5 x 10	-2.30	-3.47	3.01	-70.12	-3.80	0.11	-16.99	5.49
Promedio	-18.91	-1.85	-13.77	4.95	-2.91	-1.56	3.99	-0.66
<b>T e m p o r a l</b>								
1 x 6	108.11	6.73	57.57	110.87	19.82	21.95	23.94	-18.18
1 x 7	40.57	-2.03	32.54	109.38	7.53	4.11	-4.12	-13.40
1 x 8	-0.93	26.14	-18.89	6.58	-12.08	-18.82	25.61	-25.23
1 x 9	91.71	14.90	42.83	-6.38	6.58	14.87	-10.85	-18.87
1 x 10	-9.44	3.79	-20.72	-68.46	-3.66	-14.44	10.49	-8.57
2 x 6	28.12	-0.66	14.25	-26.44	8.95	13.97	-17.90	-17.39
2 x 7	20.84	-13.85	52.46	29.22	19.43	54.28	8.93	13.73
2 x 8	83.00	5.78	25.92	184.81	-2.58	3.03	-14.44	-6.48
2 x 9	23.87	-21.56	41.53	66.11	-6.51	11.87	6.32	8.93
2 x 10	178.92	29.89	83.94	8.73	12.29	14.52	14.20	-8.87
3 x 6	29.51	-11.86	-4.94	58.97	-6.17	3.33	-7.38	0.97
3 x 7	35.93	-10.86	25.96	-26.69	1.17	15.21	-7.78	1.94
3 x 8	20.50	-3.73	-6.68	-8.33	-5.55	12.30	-8.97	-6.84
3 x 9	123.20	19.49	98.09	-14.88	8.76	7.29	115.45	-13.16
3 x 10	85.64	24.32	54.97	-49.21	4.29	4.28	-14.43	-9.91
4 x 6	-2.53	-13.96	23.92	293.90	2.88	-2.77	35.63	6.38
4 x 7	79.47	6.80	42.04	23.24	2.93	4.48	4.17	-10.19
4 x 8	116.65	3.62	80.25	57.69	5.06	7.88	14.38	6.42
4 x 9	31.34	16.74	5.51	-6.43	-3.31	-3.45	-0.56	-15.79
4 x 10	11.53	-0.60	20.42	14.29	2.90	-13.58	5.88	-7.34
5 x 6	74.18	2.64	54.86	10.00	8.07	15.04	11.64	-4.90
5 x 7	87.07	22.02	51.20	9.37	9.58	15.56	-20.00	-26.61
5 x 8	69.95	14.51	104.32	77.38	-14.71	-21.35	18.42	-12.50
5 x 9	147.77	7.81	127.78	14.77	-4.99	-5.10	-34.72	-6.67
5 x 10	64.06	8.86	50.50	-9.65	4.25	7.24	-9.77	-12.73
Promedio	61.56	5.40	41.58	34.35	2.60	6.07	5.77	-8.21

y temporal, con las cuales se permite establecer una medida de la asociación que existe entre las diferentes variables consideradas en este estudio.

El rendimiento por planta presentó correlación positiva y significativa solamente con número de vainas llenas por planta ( $r = 0.753$  y  $r = 0.778$ ) en el ambiente de riego y temporal respectivamente, concordando con los resultados reportados por Pajarito (1991) quien reportó correlaciones positivas y significativas entre rendimiento y número de vainas por planta. En este estudio la variable vainas llenas por planta presentó correlaciones positivas y significativas con vainas chupadas por planta ( $r = 0.635$ ) y con granos llenos por vaina ( $r = 0.627$ ) en el ambiente de temporal, concluyendo de lo anterior que al tener mayor número de vainas por planta se incrementa el rendimiento, sin embargo al menos bajo condiciones de temporal al tener mayor número de vainas totales por planta se incrementa el número de vainas chupadas, probablemente como consecuencia de que los déficits de humedad limitan la fotosíntesis y removilización de nutrientes a los granos. Sin embargo se observa que al tener mayor número de granos llenos se incrementa el número de vainas llenas bajo la condición de temporal, esta situación parecería ilógica

sobre todo en condiciones de temporal, sin embargo se menciona que durante la fecundación del óvulo y desarrollo de la semilla se producen giberelinas, por lo tanto al incrementarse el número de óvulos fecundados se incrementan las giberelinas y como éstas tienen un efecto inverso al ácido absícico, que se genera en plantas estresadas, provocando la caída de hojas y flores. Lo anterior pudo haberse presentado bajo las condiciones de estrés en las cuales se desarrolló la investigación, donde probablemente se presentó una determinada relación hormonal donde situaciones más críticas probablemente tendrán otras consecuencias. Kuruvadi y Cortinas (1987) explican que dado que el rendimiento de frijol es una característica no visible en campo, el fitomejorador tiene que auxiliarse de caracteres visibles para identificar genotipos superiores bajo condiciones de riego y temporal, agregando que vainas por planta es un componente del rendimiento muy importante, visible y fácilmente cuantificable en campo, por lo tanto muchos fitomejoradores de frijol, pueden usar este carácter para la selección de genotipos superiores, tanto en riego como en temporal.

También se observó una correlación positiva y significativa entre número de vainas chupadas y días a

floración ( $r = 0.711$  y  $r = 0.775$ ) bajo riego y temporal respectivamente, esta asociación entre mayor número de vainas chupadas a mayor número de días a floración puede ser un reflejo del efecto de la helada temprana que afectó a los materiales más tardíos. La otra asociación encontrada es de que a mayor número de granos llenos mayor longitud de vaina en cambio Dickson (1967) reporta que vainas por planta semillas por vaina y longitud de vaina son heredadas aditivamente pero estos caracteres no están correlacionados.

En el cuadro 4.16 se muestran las correlaciones fenotípicas para diferentes pares de características agronómicas en los híbridos de frijol común, encontrando que bajo riego el rendimiento no mostró correlaciones significativas con ninguna de las variables consideradas en el presente estudio, sin embargo en temporal el rendimiento mostró correlaciones positivas y significativas con peso de 100 semillas ( $r = 0.510$ ), vainas llenas ( $r = 0.696$ ) y longitud de vainas ( $r = 0.449$ ), indicando que en temporal estos componentes del rendimiento fueron los que más contribuyeron a incrementar el rendimiento de grano por planta, el peso de 100 semillas estuvo correlacionado negativa y significativamente con vainas chupadas ( $r = -$

Cuadro 4.15. Correlaciones fenotípicas para diferentes características agronómicas en frijol común, en los progenitores bajo condiciones de riego (R) y temporal (T).

Carácter	Peso de cien semillas		V a i n a s		G r a n o s		Días a floración
	R	T	llenas	chupadas	llenos	chupados	
Rendimiento	R	0.362	0.753*	-0.421	0.330	-0.502	-0.617
	T	0.426	0.778**	0.216	0.518	0.200	0.020
Peso cien semillas	R		-0.136	-0.621	-0.404	-0.267	-0.571
	T		-0.101	-0.367	-0.329	-0.358	-0.358
Vainas llenas	R			-0.129	0.335	-0.385	-0.303
	T			0.635*	0.627*	0.465	0.349
Vainas chupadas	R				0.207	0.264	0.711*
	T				0.357	0.643*	0.775**
Longitud de vainas	R				-0.377	-0.321	-0.494
	T				0.092	0.634*	0.052
Granos llenos	R					0.675**	-0.025
	T					-0.472	0.370
Granos chupados	R					0.280	0.383
	T						0.702*

\* : Significativo al .05 de probabilidad

\*\* : Significativo al .01 de probabilidad

0.516) y días a floración ( $r = -0.491$ ); vainas llenas con longitud de vainas; vainas chupadas, positiva y significativamente con días a floración, esto probablemente por la misma situación indicada para el caso de los progenitores.

En el Cuadro 4.17 se presentan las correlaciones fenotípicas para diferentes pares de características agronómicas de poblaciones F2 de frijol común donde se indica la correlación positiva y significativa de rendimiento con vainas llenas ( $r = 0.767$  y  $r = 0.773$ ) bajo riego y temporal, así mismo con longitud de vainas ( $r = 0.422$ ) en temporal, en riego se presenta una correlación negativa y significativa entre rendimiento y número de granos llenos por vaina. Se presenta también una asociación negativa y significativa entre peso de 100 semillas y número de granos llenos por vaina ( $r = -0.577$  y  $r = -0.614$ ) indicando que al presentarse mayor número de granos por vaina, se presenta menor tamaño de grano, al respecto Rasmusson y Cannell (1970) que una consecuencia de la determinación de los rasgos en diferentes períodos es una variable respuesta que se manifiesta en otros componentes del rendimiento ante cambios ambientales. Adams (1967)

Cuadro 4.16. Correlaciones fenotípicas para diferentes características agronómicas de los híbridos en frijol común bajo condiciones de riego (R) y temporal (T).

Carácter	Peso de cien semillas		V a i n a s		G r a n o s		Días a floración
	R	T	llenas	chupadas	llenos	chupados	
Rendimiento	0.345	0.510**	0.294	-0.108	0.069	0.046	0.063
Peso cien semillas			0.696**	0.016	0.449*	0.067	-0.184
Vainas llenas			-0.015	-0.516**	0.303	-0.164	-0.491**
			0.015	-0.419*	0.105	0.133	-0.323
				0.336	-0.129	-0.040	0.282
				0.238	0.608**	0.016	-0.052
Vainas chupadas					-0.342	0.001	0.591**
					-0.191	0.115	0.211
Longitud de vainas						0.576**	-0.166
						0.368	-0.124
Granos llenos						-0.236	-0.237
						-0.100	0.004
Granos chupados							0.211
							0.122

\* : Significativo al .05 de probabilidad

\*\* : Significativo al .01 de probabilidad

agrega que la compensación entre características conduce a correlaciones negativas entre dichas características.

Cuadro 4.17. Correlaciones fenotípicas para diferentes características agronómicas en frijol común, en las poblaciones de F2 bajo condiciones de riego (R) y temporal (T).

Carácter	Peso de cien semillas	V a i n a s		G r a n o s		Días a floración
		llenas	chupadas	llenos	chupados	
Rendimiento	R 0.359 T 0.262	0.767**	-0.289	-0.445*	0.018	-0.261
Peso cien semillas	R T	0.773**	-0.220	0.130	-0.178	-0.053
Vainas llenas	R T	-0.173	-0.709**	-0.577**	0.152	-0.617**
Vainas chupadas	R T	-0.279	-0.770**	-0.614**	-0.076	-0.692**
Longitud de vainas	R T		0.093	-0.277	0.043	0.151
Granos llenos	R T		0.245	0.242	-0.069	0.289
Granos chupados	R T			0.443*	0.038	0.449*
	R T			0.522**	0.243	0.575**
	R T			0.320	0.144	-0.022
	R T			0.512**	0.038	0.031
	R T				-0.368	0.419
	R T				-0.091	0.489*
	R T					0.042
	R T					0.702*

\* : Significativo al .05 de probabilidad

\*\* : Significativo al .01 de probabilidad

## CONCLUSIONES

- En las poblaciones de frijol común estudiadas, existe gran variabilidad para diferentes características agronómicas, la cual puede ser aprovechada en programas de mejoramiento genético.
- La hibridación entre variedades mejoradas de frijol común de diferente origen genético es una buena alternativa para obtener genotipos superiores.
- Las características rendimiento de grano, peso de 100 semillas, semillas por vaina, longitud de vaina, número de granos por vaina y días a floración en las hembras y peso de 100 semillas, longitud de vaina, en los machos están controladas predominantemente por genes con efectos aditivos.
- La marcada variabilidad en la población F<sub>2</sub> y diferencias altamente significativas para rendimiento, peso de 100 semillas, vainas llenas por planta, longitud de vaina, granos por vaina y días a floración, es el resultado de

la recombinación genética de las poblaciones bajo estudio.

- De acuerdo a los resultados del presente trabajo se puede indicar que la alta aptitud combinatoria general de los genotipos Navidad 1165, Durango 222, Negro Portezuelo y Bayo Río Grande, permite buena expresión de los mismos en ambientes de riego y temporal.
- Las variedades Navidad 1165, Durango 222, Bayo Río Grande y Negro Portezuelo constituyen germoplasma útil para utilizarse como progenitores en programas de hibridación.
- En el cultivo de frijol común, altos valores de un carácter tienen alta coincidencia con altos valores de aptitud combinatoria general para ese mismo carácter, sin ser modificado dicha situación al pasar de un ambiente de riego a un ambiente de temporal.
- De la información obtenida en este trabajo se concluye que mediante la recombinación de genotipos de frijol

fué posible generar genotipos con adaptación a condiciones de riego, los cuales difieren a los que presentan adaptación a condiciones de temporal.

- Las poblaciones segregantes de frijol común, originadas a partir de variedades mejoradas presentan mayor estabilidad del rendimiento a déficits de humedad, que los híbridos originados de dichas variedades.
- En poblaciones de frijol común, al realizar cruzamientos, aún y cuando es una especie autógama es posible encontrar altos valores de heterosis.
- Los altos valores de heterosis registrados en esta investigación permiten concluir que las poblaciones bajo estudio tienen un origen genético diferente.
- La segregación transgresiva encontrada en las poblaciones F2 de este trabajo permite concluir que en las variedades estudiadas existe el potencial genético para desarrollar variedades superiores.

- La expresión de un carácter es modificada por el ambiente de diferente forma de acuerdo al tipo de acción de genes, por lo tanto, dos caracteres pueden mostrar correlación alta en un ambiente favorable, pero diferente si son transferidos a un ambiente con estrés.
  
- En el cultivo de frijol común, la magnitud de la relación entre dos variables, será diferente si se estima en progenitores, híbridos o poblaciones F<sub>2</sub>.

## RESUMEN

Se realizaron estudios de ACG y ACE, heterosis y depresión endogámica en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), utilizando 60 poblaciones (cinco hembras, cinco machos, 25 F1 y 25 poblaciones f2) bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones, bajo riego y temporal.

Para la obtención de la población híbrida las cinco hembras y cinco machos se cruzaron de acuerdo al Diseño II de Carolina del Norte. Estas poblaciones se sembraron con los siguientes objetivos: identificar progenitores con altos valores de ACG y ACE en los híbridos; estudiar las tres formas de heterosis para rendimiento y sus componentes; estimar la depresión endogámica bajo riego y temporal en la poblaciones F2 desarrolladas en frijol común; y estimar las correlaciones fenotípicas para diferentes características agronómicas en las tres poblaciones.

El análisis de varianza combinado manifestó diferencias significativas para ACG en las hembras y machos en rendimiento por planta, peso de 100 semillas, longitud de vaina, granos llenos y días a floración, bajo riego, sin embargo bajo temporal solamente se presentaron diferencias significativas para peso de 100 semillas, granos llenos y días a floración, manifestando una acción génica de tipo aditivo para los rasgos antes mencionados. El mismo análisis muestra que las hembras tanto en riego como en temporal siempre mostraron mayores valores de ACG para todos los rasgos estudiados excepto rendimiento. Los valores de la ACE no resultaron significativos, revelando que los efectos génicos aditivos fueron más importantes que los de dominancia. Los genotipos exhibieron respuestas significativamente diferentes en los ambientes de riego y temporal y aunque los machos no interaccionaron significativamente con el ambiente, la interaccionaron hembras x ambiente fue significativa para los rasgos vainas chupadas y días a floración. Los análisis individuales de las poblaciones F1 y F2 revelaron una gran gama de variabilidad y diferencias significativas, para rendimiento, peso de 100 semillas, vainas llenas, longitud de vaina, granos llenos y días a floración en la condición de riego. Pero en temporal las diferencias significativas

se observaron solamente en peso de 100 semillas, número de vainas llenas, número de vainas chupadas, longitud de vaina, granos llenos por vaina y días a floración.

Para rendimiento de grano por planta se identificaron las variedades Navidad 1165, Durango 222 y Negro Portezuelo bajo riego y Navidad 1165, Durango 222 y Bayo Victoria bajo temporal como los mejores combinadores. En cambio los mejores combinadores para peso de semilla bajo riego y temporal fueron Bayo Victoria, Bayo Zacatecas y Durango 222. Para vainas llenas por planta en riego y temporal Negro Portezuelo, Navidad 1165 y Bayo Río Grande, para precocidad Bayo Zacatecas, Bayo Victoria y Durango 222 bajo riego, pero bajo temporal Manzano, Navidad 1165 y Bayo Victoria fueron los mejores combinadores, mientras que para ciclo tardío los combinadores superiores bajo riego fueron Negro Portezuelo, Bayo Río Grande y Flor de mayo Criollo sin embargo en temporal Bayo Río Grande, Durango 222 y Pinto Nacional 1.

Las cruzas 3 x 10, 4 x 9, 2 x 7 y 5 x 8 expresaron altos valores de ACE para rendimiento de grano por planta, vainas llenas por planta y granos llenos por planta y las cruzas 4 x 9, 2 x 7, 5 x 8 y 2 x 7 altos valores de ACE

para peso de 100 semillas. En temporal las cruzas 1 x 10, 5 x 10, 2 x 6, 2 x 9 y 4 x 6 expresaron valores altos de ACE para rendimiento de grano por planta, peso de 100 semillas, vainas por planta y granos llenos por vaina.

La heterosis varió de 6.61 por ciento a 223.92 por ciento y de -27.17 por ciento a 94.31 por ciento para rendimiento de grano por planta bajo riego y temporal respectivamente; de -3.42 a 25.86 por ciento y de -17.11 a 15.72 por ciento para peso de 100 semillas; de -14.42 a 177.93 por ciento y de -22.37 a 61.68 por ciento para número de vainas llenas por planta; de -12.83 por ciento a 17.69 por ciento y de -31.68 a 70.97 por ciento para número de granos por vaina; de -15.69 por ciento a 20.00 por ciento y de -13.19 por ciento a 27.17 por ciento para días a floración, bajo riego y temporal respectivamente. La heterobeltiosis para rendimiento de grano por planta osciló de -20.43 a 135.60 por ciento y de -37.71 a 80.86 por ciento bajo riego y temporal respectivamente, sin embargo para peso de 100 semillas solo ocho de 25 cruzas (1 x 10, 2 x 8, 3 x 6, 3 x 8, 4 x 6, 4 x 8, 4 x 9 y 5 x 10) presentaron valores positivos pero en vainas por planta solo dos (4 x 7, 4 x 8) presentaron valores negativos bajo riego. En temporal la heterobeltiosis para peso de 100

semillas varió de -33.94 a 13.72 y para vainas por planta de -38.79 por ciento a 38.19 por ciento. Respecto a la heterosis útil se presentaron valores positivos altos para algunos rasgos agronómicos de ciertas cruzas.

Respecto a la depresión agronómica presentada en las poblaciones F<sub>2</sub> se encontró que de las 25 poblaciones estudiadas cuatro expresaron segregación transgresiva para rendimiento de grano por planta bajo riego. Pero en temporal sucedió lo contrario solo tres cruzas manifestaron depresión endogámica, las 22 restantes presentaron segregación transgresiva, resultados similares se observaron en las otras características en el ambiente de riego y temporal.

Se encontró que el rendimiento estuvo correlacionado con número de vainas por planta, al menos bajo la condición de humedad, en los progenitores bajo sequía vainas llenas con vainas chupadas y granos llenos y vainas chupadas con días a floración en ambos ambientes. En la población F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> el peso de 100 semillas fue asociado negativa y significativamente con número de vainas chupadas. Se observó en las poblaciones F<sub>2</sub> en riego y temporal que el peso de 100 semillas fue correlacionado

negativa y significativamente con número de granos llenos por vaina y días a floración.

## LITERATURA CITADA

- Acosta, J.A. 1988. Selection of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes with enhanced drought tolerance and biological fixation. Thesis, Ph.D. Michigan State University. East Lansing. USA. p.15.
- Acosta, J. A. and M. W. Adams. 1991. Plant traits and Yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars under drought stress. J. Agr. Sci. Cam. 117:213-219. Great Britain.
- Acosta, J. A. y M. P. Arrieta M. 1994. Aptitud combinatoria general y específica de progenitores de frijol tipo flor de mayo. Proyecto Colaborativo INIFAP-MSU. *Phaseolus* 9:27-32. México.
- Acosta, J. A. y R. Ochoa M. 1992. Amplia adaptación VS adaptación específica en frijol de temporal. Memorias del Simposio de interacción genotipo-ambiente en genotecnia vegetal. Guadalajara, Jal. México, Marzo 26 y 27 de 1992.
- Acquaah, G., M. W. Adams and J. D. Kelly. 1991. Identification of effective indicators of erect plant architecture in dry bean. Crop Sci. 31: 261-264. USA.
- 
- \_\_\_\_\_. 1992. A factor analysis of plant variables associated with architecture and seed size in dry bean. Euphytica. 60: 171-177. Netherlands.
- Adams, M. W. 1967. Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris* L. Crop Sci. 7:505-510. USA.
- Allard, R. W. 1980. Principios de la mejora genética de las plantas. 4ª ed. OMEGA S. A. Barcelona, España p. 226-246.

- Andrade, J.A.1988. El método de inserción: Una nueva técnica de polinización en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Fitotecnia Mexicana. 11:205- 210. México.
- Bailey, T. B. and R. E. Comstock. 1976. Linkage and the synthesis of better genotypes in self-fertilizing species. Crop Sci. 16:363-370. USA.
- Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. Crop Sci. 18: 533-536. USA.
- Beaver, J. S. and J. D. Kelly. 1989. Yield compensation of beans grown in hill-plots. Hort.Sci.24:137-138.USA.
- \_\_\_\_\_.1994. Comparison of selection methods for dry bean populations derived from crosses between gene pools. Crop Sci. 34:34-37.USA.
- Berg, V. S. and T. C. Hsiao. 1986. Solar tracking: Light avoidance induced by water stress in leaves of kidney bean seedlings in the field. Crop Sci. 26: 980-986.USA.
- Brauer H., O. 1981. Fitogenética aplicada. LIMUSA. México. p.401-440.
- Bridges, W. C. Jr., and S. J. Knapp. 1987. Probabilities of negative estimates of genetic variances. Theor. Appl. Genet. 74:269-274. USA.
- Brothers, M.E. and J.D. Kelly. 1993. Interrelationship of plant architecture and yield components in the pinto bean ideotype. Crop Sci. 33:1234-1238. USA.
- Burton, W. and B. F. Carver. 1993. Selection among S1 families vs. selfed half-sib or full-sib families in autogamous crops. Crop Sci. 33:21-28. USA.
- Chaisompongpan, N., P.H. Li, D.W. Davis and A.H. Markhart III. 1990. Photosynthetic responses to heat stress in common bean genotypes differing in heat acclimation potential. Crop Sci. 30:100-104. USA.
- Chávez A., J. L. y E. López P.1987.Apuntes de Mejoramiento de plantas II. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. p. 103-104.

- Comstock, R. E. and H. F. Robinson. 1948. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics*. 4:254-266. USA.
- Coyne, D.P. 1968. Correlation, heritability, and selection of yield components in field beans, *Phaseolus vulgaris* L. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 93:388-396. USA.
- Debouck, D.G., O. Toro, O. M. Paredes, W.C. Johnson and P. Gepts. 1993. Genetic diversity and ecological distribution of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in Northwestern South America. *Econ. Bot.* 47:408-423 USA.
- Dickson, M. H. 1967. Diallel analysis of seven economic characters in snap beans. *Crop Sci.* 7:121-124. USA.
- Dudley, J.W. and R.H. Moll. 1969. Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in plant breeding. *Crop Sci.* 9:257-262. USA.
- Falconer, D.S. 1980. Introducción a la genética cuantitativa. Trad. del In. Introduction to quantitative genetics, por F. M. Sánchez. 10 ed. CECSA. México. p. 295-346.
- Fernández R., M. y M. R. Martínez. 1993. Eficiencia en uso de agua de cinco especies bajo condiciones de secano. *Fitotecnia Mexicana*. 16:134-142. México.
- Fooland, M. R. and A. Bassiri. 1983. Estimates of combining ability, reciprocal effects and heterosis for yield and yield components in a common bean diallel cross. *J. Agric. Sci. Camb.* 100:103-108. Great Britain.
- Fu, Q. A. and J. R. Ehleringer. 1992. Paraheliotropic leaf movements in common bean under different soil nutrient levels. *Crop Sci.* 32: 1192-1196. USA.
- García E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 2ed. UNAM. México. 246 p.

- Gepts, P., K. Kmiecik, P. Pereira and F.A. Bliss. 1988. Dissemination pathways of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae) deduced from phaseolin electrophoretic variability. I. The Americas. *Econ. Bot.* 42:73-85. USA.
- Gouesnard, B. and A. Gallais. 1992. Genetic variance component estimation in a nested mating design with positive assortative mating, and application to maize. *Crop Sci.* 32:1127-1131. USA.
- Grafius, J.F. 1960. Does overdominance exist for yield in corn. *Agron. J.* 52:351. USA.
- Gritton, E.T. 1975. Heterosis and combining ability in a diallel cross of peas. *Crop Sci.* 15:453-457. USA.
- Gutiérrez J.A. and S.P. Singh. 1985. Heterosis and inbreeding depression in dry bush beans. *Can. J. Plant Sci.* 65:243-249. Canada.
- Hallauer, A.R. and J.B. Miranda, FO. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2<sup>a</sup>.ed. Iowa State University Press. Ames, Iowa. USA. 468p.
- Hamblin, J, and A. M. Evans. 1976. The estimation of cross yield using early generation and parental yield in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L. ). *Euphytica* 25: 515-520. Netherlands.
- Hayman, B. I. 1954. The theory and analysis of diallel crosses. *Genet.* 39:789-809. USA.
- \_\_\_\_\_. 1957. The theory and analysis of diallel crosses II. *Genet.* 43:63-85. USA.
- Jenkins, M. T. and A. M. Brunson. 1932. Methods of testing inbred lines of maize in crossbred combination. *J. Am. Soc. Agron.* 24:523-530. USA.
- Kao, W. Y., J. P. Comstock and J. R. Ehleringer. 1994. Variation in leaf movements among common bean cultivars. *Crop Sci.* 34:1273-1278. USA.
- Kaplan, L. 1981. What is the origin of the common bean? *Econ. Bot.* 35:240-254. USA.

- Kelly, J. D. and M. W. Adams. 1987. Phenotypic recurrent selection in ideotype breeding of pinto beans. *Euphytica*. 36:69-80. Netherlands.
- Kelly, J.D., M.W. Adams and G.V. Varner. 1987. Yield stability of determinate and indeterminate dry bean cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 74:516-521. USA.
- Kempthorne, O. 1955. The theory of the diallel cross. *Genet.* 41:451-459. USA.
- Kennet, A. G. and R. W. McNew. 1993. Combining ability and heterosis in U.S. southern long-grain rice. *Crop Sci.* 33:83-86. USA.
- Koenig, R., S.P. Singh and P. Gepts. 1990. Novel phaseolin types in wild and cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Econ. Bot.* 44:50-60. USA.
- Kohashi, S. J. 1996. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol *Phaseolus vulgaris* L. y su relación con el rendimiento. Instituto de Recursos Naturales. Programa de Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 42 p.
- Konsens, Y., M. Ofir and J. Kiegel. 1991. The effect of temperature on the production and abscission of flowers and pods in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L). *Ann. Bot.* 67:391-399. USA.
- Kornegay, J., J.W. White and O. Ortiz de la Cruz. 1992. Growth habit and gene pool effects on inheritance of yield in common bean. *Euphytica* 62:171-180. Netherlands.
- Kuruvadi, S. 1988. Multivariate analysis of genetic divergence in wheat. *Turrialba*. 38:267-271. Costa Rica.
- \_\_\_\_\_. 1991. Diallel analysis and heterosis for yield and associated characters in durum wheat under upland condition. *Turrialba* 41:335-338. Costa Rica.
- Kuruvadi, S. y H. M. Cortinas E. 1987. Papel de componentes del rendimiento, correlaciones y sus implicaciones

- en el mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agraria. UAAAN. 3:1-14. México.
- Kuruvadi, S. y R. P. Pérez. 1991. Respuesta del frijol común sobre el rendimiento y sus componentes con pretratamiento de semilla bajo condiciones de temporal. Agraria UAAAN 7(2):106-117. México.
- Kuruvadi, S. and T. Smith. 1988. Combining ability and heterosis for root potential in two successive generations in macaroni wheat. Rachis J. International Center Agr. Rese. in Dry Areas. Syria. 6:33-36.
- Kuruvadi, S., D. Jasso C., J. L. Angulo S. 1997. Rubber content in different plant parts and tissues of Mexican guayule shrubs. Industrial Crops and Products. 7:19-25. USA.
- Kuruvadi, S., B. Méndez y L.A. Muñoz. 1993. Análisis dialélico y heterosis para diferentes características cuantitativas en sorgo forrajero. Agraria UAAAN 9:99-107. México.
- Lépiz I.R. 1976. Cruzamiento artificial en frijol. Memoria del Sexto Congreso Nacional de Fitogenética. Monterrey, N.L. México. p. 580-582.
- \_\_\_\_\_. 1980. Plan de investigación. Programa Nacional de Frijol. México, INIA, SARH, p. 10-11.
- Ludlow, M.M. and O. Björkman. 1984. Paraheliotropic leaf movement in siratro as a protective mechanism against drought induced damage to primary photosynthetic reactions: by excessive light and heat. Planta 161:505-518. USA.
- Lynch, J., A. González, J. M. Tohme and J. A. García. 1992. Variation in characters related to leaf photosynthesis in wild bean populations. Crop Sci. 32:633-640. USA.
- Lynch, J. and N.S. Rodríguez. 1994. Photosynthetic nitrogen-use efficiency in relation to leaf longevity in common bean. Crop Sci. 34:1284-1290. USA.
- Márquez, S., F. 1988. Genotecnia vegetal: métodos -teoría

-resultados. Tomo II. AGT Editor. México, D. F. p.5,120.

Martin, J. M., L. E. Talbert, S.P. Lanning and N. K. Blake. 1995. Hybrid performance in wheat as related to parental diversity. *Crop Sci.* 35:104-108. USA.

McClellan, P. E., J. R. Myers and J. J. Hammond. 1993. Coefficient of parentage and cluster analysis of North American dry bean cultivars. *Crop Sci.* 33: 190-197. USA.

Miranda C., S. 1967. Heterosis en *Phaseolus lunatus* L. (Frijol lima). *Agric. Téc. Méx.* 7: 291-298. México.

Molina Galán, J.D. 1992. Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa. Algunas implicaciones en genotecnia. AGT EDITOR. México. p. 91.

Monterroso, V. A. and H. C. Wien. 1990. Flower and pod abscission due to heat stress in beans. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 115:631-634. USA.

Muñoz, O., A., S. Miranda C. y L. M. Serrano C. 1995. Diversidad genética y resistencia a factores adversos en frijol. En: Pérez Moreno J., R. Ferrara Cerrato y R. García Espinosa (Eds.). *Diversidad genética y patología del frijol*. Colegio de Postgraduados. Montecillo Edo. de México. p. 1-9.

Nienhuis, J. and S.P. Singh. 1986. Combining ability analysis and relationships among yield, yield components and architectural traits in dry bean. *Crop Sci.* 26:21-27. USA.

---

\_\_\_\_\_. 1988a. Genetics of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle-American origin: I. General combining ability. *Plant Breed.* 101:143-154. USA.

---

\_\_\_\_\_. 1988b. Genetics of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle-American origin: II. Genetic variance, heritability and expected response from selection. *Plant Breed.* 101:155-163. USA.

- Ochoa M., R., I. Sánchez V., A. Pajarito R., D. Alvarado A. y P. Fernández H. 1989. Ensayos uniformes de genotipos de frijol de diferente ciclo de cultivo en la zona templada semiárida de México. Informe de investigación sobre frijol 1988. Proyecto colaborativo INIFAP-MSU. *Phaseolus*. p. 30-59. México.
- Ochoa M., R., S. Nuñez G., R. Rosales S., P. Fernández H., I. Sánchez V. y J.A. Acosta G. 1995. Rendimiento y adaptación de variedades de frijol de diferente ciclo en la región semiárida de México. Proyecto colaborativo INIFAP-MSU. *Phaseolus*. 10:59-67. México.
- Pajarito R., A. 1991. Caracterización del sistema radical y contenido de ácido abscísico de variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a sequía. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. p.137.
- Pajarito R., A., J. A. Acosta G., F. J. Ibarra P. e I. Sánchez V. 1989. Mecanismo fenológico de "escape" en frijol en relación con la adaptación a sequía. Informe de Investigación sobre frijol 1988. Proyecto colaborativo INIFAP-MSU. p.124. México.
- Parga T., V. M., S. Kuruvadi, A. Palomo G. y F. Borrego E. 1992. Heterosis para diferentes características cuantitativas el algodón (*Gossypium hirsutum* L.) Agraria UAAAN 8:145-153. México.
- Ramos H., M. 1991. Efecto de la fecha de siembra sobre la morfología y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México. p. 76-77.
- Rasmusson, D.C. 1987. An evaluation of ideotype breeding. *Crop Sci.* 27:1140-1146. USA.
- Rasmusson, D. C. and R. Q. Cannell. 1970. Selection for grain yield and components of yield in barley. *Crop Sci.* 10:51-54. USA.

- Reyes C., P. 1985. Fitogenotecnia: básica y aplicada. AGT Editor. México, D.F. p. 20.
- Robles S., R. 1986. Genética elemental y fitomejoramiento práctico. LIMUSA. México, D.F. p.210-211.
- Rodríguez F., G. 1987. Estudio de la aptitud combinatoria y heterosis para diferentes características cuantitativas en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- Rodríguez, F.G. y S. Kuruvadi. 1990. Aptitud combinatoria general y específica para diferentes características cuantitativas en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Turrialba. 40:346-352. Costa Rica.
- Rosales S., R., J.A. Acosta G. y F. J. Ibarra P. 1995a. Mejoramiento genético por tolerancia a sequía y resistencia a enfermedades en frijol de temporal. Proyecto colaborativo INIFAP-MSU. *Phaseolus* 10:47-58. México.
- Rosales S., R., F.J. Ibarra P., J.D. Kelly y J.A. Acosta G. 1995b. Caracterización de líneas recombinantes de frijol con base en su respuesta a dos condiciones de humedad. Proyecto colaborativo INIFAP-MSU. *Phaseolus* 10:17-34. México.
- Saindon, G. and G. B. Schaalje. 1993. Evaluation of locations for testing dry bean cultivars in western Canada using statistical procedures, biological interpretation and multiple traits. *Can. J. Plant Sci.* 73:985-994. USA.
- Salado-Navarro, L. R., T.R. Sinclair and K. Hinson. 1986. Yield and reproductive growth of simulated and field-grown soybean: II. Dry matter allocation and seed growth rates. *Crop Sci.* 26:971-975. USA.
- Sarafi, A. 1978. A yield-component selection experiment involving American and Iranian cultivars of the common bean. *Crop Sci.* 18:5-7. USA.
- Scully, B.T. and D. H. Wallace. 1990. Variation in relationship of biomass, growth rate, harvest index and

- phenology to yield of common bean. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 115:218-225. USA.
- Sexton, P.J., J.W. White and K. J. Boote. 1994. Yield determining processes in relation to cultivar seed size of common bean. Crop Sci. 34:84-91. USA.
- Shonnard, G. C. and P. Gepts. 1994. Genetics of heat tolerance during reproductive development in common bean. Crop Sci. 34:1168-1175. USA.
- Simmons, N.W. 1984. Principles of crop improvement. LONGMAN. New York, USA. 408 p.
- Singh, S. P. 1982. A key for identification of different growth habits of *Phaseolus vulgaris* L. Bean Improv. Coop. 25:92-94. USA.
- \_\_\_\_\_. 1985. Conceptos básicos para el mejoramiento del frijol por hibridación. In. Frijol: investigación y producción. Cali, Colombia, CIAT. p. 109-126.
- \_\_\_\_\_. 1986. Mejoramiento para potencial de rendimiento en frijol. Reunión del PCCMCA, San Salvador, El Sal. P. 17-22.
- \_\_\_\_\_. 1989. Patterns of variation in cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris* Fabaceae) Econ. Bot. 43: 39-57. USA.
- \_\_\_\_\_. 1994. Gamete selection for simultaneous improvement of multiple traits in common bean. Crop Sci. 34:352-355. USA.
- Singh, R. K. and B. D. Chaudhary. 1979. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. KALYANI PUBLISHERS. Nueva Delhi, India. 304 p.
- Singh, S.P. y J.A. Gutiérrez. 1990. Effect of plant density on selection for seed yield in two population types of *Phaseolus vulgaris* L. Euphytica 51:173-178. Netherlands.
- Singh, K. B. and R. P. Jain. 1971. Analysis of diallel cross in *Phaseolus aureus* Roxb. Theor. Appl. Gen. 41:279-281. USA.

- Singh S.P., P. Gepts and D. Debouck. 1991a. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris* Fabaceae). *Econ. Bot.* 45: 379-396. USA.
- Singh, S. P., R. Nodari and P. Gepts. 1991b. Genetic diversity in cultivated common bean: I. Allozymes. *Crop Sci.* 31:19-23. USA.
- Singh, S.P., H. Terán, A. Molina and J.A. Gutiérrez. 1992. Combining ability for seed yield and its components in common bean of andean origin. *Crop Sci.* 32:81-84. USA.
- Singh, S.P., C. Urrea, J.A. Gutiérrez and J. García. 1989a. Selection for yield at two fertilizer levels in small-seeded common bean. *Can. J. Plant. Sci.* 69:1011-1017. USA.
- Singh, S. P., C. Cajiao, J. A. Gutiérrez, J. Garcia, M. Pator-Corrales and F. J. Morales. 1989b. Selection for seed yield in inter-gene pool crosses of common bean. *Crop Sci.* 29:1126-1131. USA.
- Singh, S. P., R. Lépez, J. A. Gutiérrez, J. A. Urrea, C. Molina and H. Terán. 1990. Yield testing of early generation populations of common bean. *Crop Sci.* 30:874-878. USA.
- Sprague, G. F. and L.A. Tatum. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34:923-932. USA.
- Villar S., B. 1989a. Estabilidad del rendimiento y reacción a enfermedades de variedades de frijol en el centro de Chiapas. *Fitotecnia Mexicana.* 11:74-80. México.
- \_\_\_\_\_. 1989b. Genotipo, fecha de siembra y reducción del riesgo de sequía en frijol de humedad residual. *Fitotecnia Mexicana* 12:136-146. México.
- Voysest, O., M. C. Valencia and M. C. Amezquita. 1994. Genetic diversity among Latin American Andean and Mesoamerican common bean cultivars. *Crop Sci.* 34:1100-1110. USA.

- Wallace, D. H., K.S. Yourstone, P.N. Masaya and R.W. Zobel. 1992. Photoperiod control over partitioning between reproductive and vegetative growth. *Theor. Appl. Genet.* 86:6-16. USA.
- Wassimi, N.N., T.G. Isleib and G.L. Hosfield. 1986. Fixed effect genetic analysis of a diallel cross in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theor. Appl. Genet.* 72:449-454. USA.
- White, J. W. and A. Gonzalez. 1990. Characterization of the negative association between seed yield and seed size among genotypes of common bean. *Field Crops Res.* 23:159-175. USA.
- White, J.W., R. Ochoa, F. Ibarra y S.P. Singh. 1994. Inheritance of seed yield, maturity and seed weight of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under semi-arid rainfed conditions. *J. Agric. Sci.* 122: 265-273. USA.

A P E N D I C E

Cuadro A.1. Precipitación (mm) registrada durante la fase de campo de esta investigación, en Durango, Dgo. 1995.

Días	Julio	M Agosto	E Sept.	S Octubre	E Noviembre	S Diciembre
1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0
3	5.6	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	6.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0
9	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	18.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	17.9	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0
12	1.9	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.6	9.4	8.7	0.0	0.0	0.0
14	1.6	2.9	50.2	0.0	0.0	0.0
15	4.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.4	1.8	0.5	0.0	0.0	0.0
17	0.2	12.5	7.4	0.0	0.0	0.0
18	0.5	31.6	1.1	0.0	0.0	0.0
19	17.7	0.5	0.0	0.0	0.0	1.7
20	0.0	1.1	23.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0
24	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.9	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
27	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.5
28	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
29	1.9	32.8	0.0	0.0	0.0	0.6
30	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31	0.0	3.5		0.0		0.0
Total	86.3	118.5	106.8	0.0	0.0	5.8

Cuadro A.2. Temperaturas mínimas y máximas diarias (°C) ocurridas durante el trabajo de campo de esta investigación, en Durango, Dgo. 1995.

Día	J u l i o		M A g o s t o		E S e p t i e m b r e		S O c t u b r e		S N o v i e m b r e		D i c i e m b r e	
	1	15	30	15	30	15	28	13	28	2	23	5.5
2	15	31	12	30	15	26	13	29	5	26	4	22
3	15	30	15	30	14	23	10	29	6	25	4	25
4	14	28	12	29	13	24	-2	27	6	26	4	24
5	16	29	15	31	12	24	11	28	4	22	6	26
6	13	30	13	30	12	27	8	28	11	27	2	26
7	15	26	16	28	10	28	12	26	13	25	3	27
8	13	29	16	27	10	28	12	26	9	25	4	26
9	15	26	14	28	10	28	9	27	10	26	4	19
10	12	28	14	28	11	29	8	27	10	27	3	20
11	13	25	14	28	12	29	6	27	10	23	4	21
12	15	27	14	29	13	27	4	25	8	25	2	22
13	15	29	16	23	14	26	3	23	8	26	0	22
14	15	29	14	27	13	19	6	22	8	28	6	23
15	13	27	13	28	14	25	4	21	9	28	1	22
16	14	29	14	28	12	27	2	23	11	26	0	21
17	16	30	14	27	12	27	5	25	7	24	2	21
18	13	26	13	27	14	28	7	26	4	21	2	27
19	13	27	10	23	13	29	7	22	2	23	0	18
20	13	24	15	24	13	28	7	28	4	24	2	20
21	15	27	12	26	13	28	6	27	2	22	3	27
22	13	27	13	28	13	27	10	25	3	21	2	14
23	16	30	12	28	13	23	8	27	1	22	1	22
24	14	30	13	27	12	24	9	26	0	23	0	19
25	16	31	13	27	11	27	9	28	2	21	1	22
26	16	31	14	28	10	27	9	28	0	18	5	14
27	13	30	14	28	10	27	9	26	2	25	1	14
28	15	31	14	28	9	29	4	22	7	25	2	15
29	15	32	14	27	11	29	7	25	3	22	1	12
30	13	30	15	27	13	30	6	25	3	24	0	16
31	14	31	15	27			4	25			2	14
Prom.	14.29	28.71	13.81	27.61	12.23	26.70	7.61	25.84	5.67	24.10	2.47	20.77