

ANÁLISIS Y COMENTARIOS

MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA SEQUÍA DEL
FRIJOL COMUN EN MEXICO ¹

Jorge A. Acosta², Efraín Acosta², Saúl Padilla², Ma. Antonieta Goytia³, Rigoberto Rosales², Ernesto López²

RESUMEN

Mejoramiento de la resistencia a la sequía del frijol común en México. Desde sus inicios en 1980 a la fecha, el mejoramiento de la resistencia a la sequía en México se ha basado en la fenología (escape o acoplamiento entre el ciclo biológico y la disponibilidad de humedad) y en el rendimiento en pruebas en múltiples localidades bajo condiciones de secano. Para la evaluación del rendimiento, los genotipos se agruparon por hábito de crecimiento y fenología similar. En material segregante, la selección de familias por adaptación a sequía se pospuso hasta la generación F₄ o posteriores utilizando diseños de bloques incompletos. En generaciones tempranas se seleccionó con base a características de moderada a alta heredabilidad como son el ciclo biológico, el aspecto físico del grano (color, tamaño y brillantez), y reacción a enfermedades. En la última década se ha entregado a los productores de frijol del Altiplano semiárido ocho variedades mejoradas, raza Durango, con adaptación a déficits temporales de humedad: Pinto Villa, Pinto Mestizo, Pinto Bayacora, Negro Altiplano, Negro Sahuatoba, Negro Durango, Bayo Victoria y Azufrado Namiquipa. En 1998 se registrará e iniciará la multiplicación de semilla de dos nuevas variedades: Pinto Zapata y Flor de Mayo 2000. Las principales características de todas esas variedades son: hábito de crecimiento indeterminado tipo III, ciclo biológico corto, rápida transición de la fase vegetativa a la reproductiva y alto índice de cosecha.

ABSTRACT

Improving resistance to drought in common bean in Mexico. Since its inception in 1980, the breeding project for adaptation to drought has been based on crop phenology (escape or matching between biological cycle and water availability), and seed yield in multilocal trials under water stress conditions. For yield evaluation, bean genotypes were grouped on the basis of similar growth habits and phenology. Selection of segregating families according to adaptation to drought was postponed up until the F₄ generation or subsequent ones, using incomplete block designs. Selection in early generations was based on moderate to high heritability traits such as biological cycle, grain phenology (color, size, shine), and reaction to diseases. Eight improved Durango bean varieties that are tolerant to temporary water deficits (Pinto Villa, Pinto Mestizo, Pinto Bayacora, Negro Altiplano, Negro Sahuatoba, Negro Durango, Bayo Victoria, and Azufrado Namiquipa) have been given to bean producers from Mexico's semi-arid highlands. In 1998 seeds of two new varieties (Pinto Zapata and Flor de Mayo 2000) will be increased and registered. Their main traits are: type III indeterminate growth habits, short biological cycle, fast transition from vegetative to reproductive phase, and high yield rates.



INTRODUCCIÓN

A pesar de varias décadas de investigación, la sequía sigue siendo la principal limitante de los rendimientos del frijol en México. En el Altiplano Mexicano

la sequía intermitente, impredecible en cualquier etapa durante el ciclo biológico del cultivo, es una amenaza constante para los agricultores, sobre todo en la región semiárida. En las partes bajas tropicales, aún cuando la precipitación anual registrada es alta, la principal siem-

¹ Presentado en la XLIV Reunión Anual del PCCMCA, Nicaragua, 1998. Parcialmente financiado por USMD Grant N° DAN-G-SS-86-0008-00 y por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México.

² Investigadores del Programa de Frijol del INIFAP, Apdo. Postal N° 10, Chapingo, edo de México, CP 56230 México.

³ Departamento de Fitotecnia de la UACH, Chapingo, edo de México, C.P. 56230 México.

bra de frijol en el año se realiza al final de la temporada de lluvias y el cultivo con frecuencia enfrenta sequía terminal, sobre todo en suelos con baja capacidad para almacenar humedad.

El desarrollo de variedades mejoradas para esas condiciones es difícil, a la fecha ha sido lento y costoso. Eso es porque el rendimiento bajo sequía es un carácter elusivo, ya que genotipos que muestran un rendimiento superior bajo sequía en una localidad o año, pueden no repetir esa respuesta debido a diferencias en la severidad, tiempo de ocurrencia y duración de la sequía. Aún en años en que la sequía no representa el principal problema de producción, la presencia de una fuerte interacción genético-ambiental impide el rápido avance del mejoramiento (Acosta y Ochoa, 1992).

La sequía es un estrés multidimensional que afecta a las plantas en varios niveles de su organización. Las respuestas de la planta a la sequía son muy complejas porque reflejan la integración de los efectos del estrés a todos los niveles de organización y a través del tiempo. Para el caso del mejoramiento genético, su principal objetivo es el rendimiento final, lo que simplifica o ignora muchos de los procesos fisiológicos de la adaptación a la sequía. A la fecha el mejor criterio de selección de frijol bajo sequía es el rendimiento per se (White y Singh, 1991).

Los efectos de la sequía con frecuencia se magnifican por la ocurrencia de otros estreses, tanto bióticos (i.e. pudriciones de raíz) como abióticos (i.e. altas temperaturas, baja fertilidad del suelo, etc.). En el Altiplano Mexicano la mayoría de los suelos donde se cultiva frijol son pobres en materia orgánica, nutrientes y con baja capacidad de retención de humedad. En este trabajo se describe el proceso y los logros del mejoramiento, así como las perspectivas en el mejoramiento de la resistencia a la sequía en frijol común en México.

MEJORAMIENTO DE LA ADAPTACIÓN A LA SEQUÍA

La estrategia de mejoramiento se ha basado en la evaluación bajo temporal de genotipos del banco de germoplasma para la identificación y utilización de las variedades nativas como progenitores en combinación con fuentes de caracteres específicos. Antes de pasar al grupo de progenitores, las accesiones o introducciones sobresalientes en rendimiento bajo temporal pasan a formar viveros que se evalúan en tres niveles de humedad, sequía en la fase reproductiva, temporal y temporal más riego suplementario en la fase reproductiva. Además de permitir conocer la resistencia a la sequía con base en el rendimiento, con ese método también se conoce el potencial de rendimiento bajo condiciones favorables de humedad. Estas fuentes pueden ser de origen local o introducido, criollas o mejoradas. En el Cuadro 1 se presentan algunas fuentes confiables de adaptación a déficits temporales de humedad; la mayoría son tolerantes a los patógenos causantes de la pudriciones de raíz, *Fusarium* spp. en el Altiplano (Navarrete y Acosta, 1998) o *Macrophomina phaseolina* en el trópico bajo (Mayek *et al.*, 1997). La resistencia a las pudriciones de la raíz es una característica clave es términos de adaptación a déficits temporales de humedad.

En cuanto a poblaciones segregantes generadas por hibridación, la selección en generaciones tempranas se basa en características de moderada a alta heredabilidad como son: los días a floración y a madurez fisiológica, el aspecto físico del grano, el vigor de la planta y la resistencia a enfermedades. La evaluación por adaptación a sequía, con base en rendimiento, se realiza en generaciones intermedias o avanzadas, ya que el rendimiento bajo sequía es controlado por la acción de genes aditivos (Ayele, 1994; Kornegay, *et al.*, 1997) y su heredabilidad de moderada a baja (White, *et al.*, 1994; Schneider *et al.*, 1996).

Cuadro 1. Genotipos de frijol con adaptación a periodos temporales de sequía en regiones contrastantes de México. INIFAP, México.

Genotipo	Raza (*)	Hábito	Tipo de grano	Adaptación
Pinto Zapata	Durango	lila	Pinto	Amplia
Pinto Villa	Durango	lila	Pinto	Altiplano
Bayo Baranda	Durango	lila	Crema	Altiplano
Bayo cr. de El Uano Durango		IIIb	Crema	Altiplano
BAT 477	Mesoam.	lila	Crema	Amplia
	Mesoam.	II	Crema	Amplia
Negro Veracruz	Mesoam.	lila	Negro opaco	Trópico bajo
ICA Palmar	N. Granada	I	Rojo/Crema	Altiplano

(*) De acuerdo a Singh *et al.*, 1991.

En el Altiplano de México la evaluación de las familias segregantes se lleva a cabo en localidades de baja precipitación en al menos dos niveles de humedad, temporal y temporal más riego suplementario, aplicado éste durante la fase reproductiva. Las familias/líneas seleccionadas, si cumplen con los requisitos de calidad comercial del grano y de resistencia a enfermedades pasan a los ensayos uniformes de rendimiento en múltiples localidades. De esos ensayos se eligen las nuevas variedades, las que se validan en campos de agricultores antes de su liberación y registro. Genotipos que no cumplen con los requisitos de calidad comercial y que poseen atributos agronómicos superiores se utilizan como progenitores junto con las nuevas variedades mejoradas y fuentes de caracteres específicos.

Evaluación de germoplasma (Interacción genético-ambiental)

La mayoría de las variedades que se utilizan en el Altiplano de México corresponden al hábito indeterminado postrado tipo III (Acosta y Kohashi, 1989). Es probable que los agricultores a través de generaciones de prueba y error se hayan dado cuenta que las variedades de ese tipo de crecimiento son las más adaptadas a las aleatorias condiciones de precipitación del altiplano semiárido. Estas poseen muchas características de tipo defensivo o rusticidad, como son plasticidad fenotípica, floración en flujos, recuperación en caso de condiciones favorables después de un período de sequía, etc. Sin embargo, la mayoría de esas variedades criollas son tardías y de bajo índice de cosecha; al parecer los agricultores daban la misma importancia a la producción de biomasa y a la de grano. En el Altiplano de México la paja o rastrojo de frijol tiene un valor comercial alto ya que se utiliza en la alimentación de ganado bovino.

En relación a los ensayos de rendimiento en diversas localidades, después de varios años de evaluación se concluyó que para llevar a cabo una evaluación confiable es conveniente agrupar los genotipos con base en similitudes en hábito de crecimiento y fenología. En análisis estadísticos de grupos de variedades, sin separar por ciclo de cultivo, la contribución de la interacción genético-ambiental a la variabilidad observada el rendimiento y otras características agronómicas resultó alta (Acosta, *et al.*, 1985) y disminuyó cuando se realizaron los análisis por grupo de madurez (Acosta y Ochoa, 1992).

La interacción genético-ambiental que enfrentan los mejoradores en el Altiplano de México, con problemas recurrentes de sequía, presenta dos dificultades:

i) reduce la eficiencia en la selección y por lo tanto el avance genético ya que la interacción no es sistemática.

ii) La probabilidad de combinar alto rendimiento con estabilidad es reducida. Esto último se debe a que los mecanismos que conducen a la obtención de altos rendimientos (caracteres ofensivos), son diferentes a los caracteres que confieren tolerancia a sequía intermitente (caracteres defensivos). Estos últimos, en cambio, pueden contribuir a una amplia adaptación y estabilidad del rendimiento. Una premisa importante para el éxito de un programa de mejoramiento para condiciones de sequía intermitente, es aceptar que un genotipo adaptado a esas condiciones, excluye la máxima expresión del potencial de rendimiento.

Además del desarrollo de variedades con adaptación a sequía, las prácticas agronómicas que ayuden a captar, conservar y utilizar el agua de las lluvias también pueden coadyuvar a incrementar y estabilizar los rendimientos en regiones con problemas de sequía intermitente. La alta significancia del efecto de la localidad de prueba al analizar el rendimiento en pruebas en múltiples localidades sugirió la posibilidad de incrementar los rendimientos en la región semiárida en base a prácticas agronómicas encaminadas a la captación y eficiente utilización del agua de las lluvias (Acosta, *et al.*, 1985). En la última década se ha implementado la utilización de una cultivadora modificada que hace bordes en la calle del surco a intervalo regulares. Esta cultivadora incluye una contreadora o pileteadora y su utilización no eleva los costos del cultivo. Resultados obtenidos con y sin uso de pileteadora han mostrado la obtención de rendimientos de 15 a 30% mayores en el frijol de temporal con el uso de pileteadora. El uso de la pileteadora, además de permitir una mayor captación de humedad, ayuda a disminuir la erosión del suelo (Comunicación personal: Muñoz, 1995, INIFAP).

LOGROS DEL MEJORAMIENTO

Durante la última década se han registrado y liberado, para las condiciones de temporal de la región semiárida, ocho variedades mejoradas en las principales clases comerciales que se explotan en la región, estas son: Pinto Villa, Pinto Mestizo, Pinto Bayacora, Negro Altiplano, Negro Sahuatoba, Negro Durango, Bayo Victoria y Azufrado Namiqulpa. Este año se registrará e iniciará la multiplicación de semilla de dos nuevas variedades Pinto Zapata y Flor de Mayo 2000. En comparación con las variedades criollas, las variedades mejoradas se caracterizan por un ciclo biológico corto, hábito indeterminado compacto (tipo IIIa), por ser tolerantes a las enfermedades endémicas de la región y por un alto índice de cosecha; esos atributos contribuyen a la adaptación y estabilidad de rendimiento en esos

genotipos. De todas las variedades mejoradas liberadas, Pinto Villa es la más popular en la región semiárida. En el ciclo agrícola de primavera-verano de 1997, en el estado de Chihuahua en la región semiárida el rendimiento comercial promedio fue de 530 kg/ha comparado con 320 kg en Durango y Zacatecas y 420 en todo el país (SAGAR, 1998). En Chihuahua la variedad Pinto Villa se sembró en 160 mil ha y con seguridad contribuyó a la estabilización del rendimiento a pesar de la sequía intermitente ocurrida en 1997 (Fernández, 1998).

INVESTIGACIÓN ACTUAL Y ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO

En mejoramiento genético del frijol común se optó por cruzar genotipos locales adaptados a las condiciones agroecológicas del Altiplano Semiárido con fuentes de resistencia a enfermedades. En la actualidad la estrategia se basa en la recombinación de fuentes de resistencia a sequía de diferente acervo genético bajo la premisa de que esos genotipos poseen diferentes mecanismos

de adaptación a la sequía temporal y de que es posible obtener genotipos superiores a los progenitores.

Durante 1996 y 1997 se condujo un experimento con 20 genotipos de diferente origen (Cuadro 2). El objetivo de este fue la identificación de genotipos de diferente acervo genético con adaptación a periodos cortos de sequía intermitente o a sequía terminal. La identificación de esos genotipos permitirá en el futuro cercano, a través de cruzamientos dirigidos, la acumulación de diferentes alelos relacionados con la adaptación a la sequía. Este ensayo se condujo bajo dos condiciones de humedad: bajo riego y bajo sequía en la etapa reproductiva en Chapingo, Méx., Zacatepec, Mor. y Cotaxtla, Ver. y bajo temporal y temporal más riego suplementario en Pabellón, Ags. En Chapingo las plantas en el tratamiento de sequía se cubrieron con un cobertizo de plástico para evitar la incidencia de lluvias, mientras que en Zacatepec y Cotaxtla las siembras se realizaron en la época seca durante el ciclo de otoño-invierno. En esas tres localidades el tratamiento de sequía se inició cuando los genotipos más precoces iniciaron la floración. En la localidad de Pabellón las plantas estuvieron

Cuadro 2. Rendimiento y características agronómicas de 20 genotipos de frijol sometidos a dos condiciones de humedad en diversas localidades de México durante 1996 y 1997.

Genotipo	Raza (*)	Rendimiento g x m ²		Media geométrica(**)
		Riego	Sequía	
Bayo cr. El Uano	Durango	169(***)	100	130
Satevó	Durango	169	96	127
Bayo Zacatecas II	Durango	196	87	130
Bayo Madero	Durango	195	89	132
Pinto Villa	Durango	175	83	120
Pinto Zapata	Durango	225	125	168
Bayo Baranda	Durango	203	102	144
Bayo Victoria	Durango	163	93	123
ICA Palmar	N. Granada	175	101	133
Bayomex	N. Granada	164	83	117
Bayo Mecentral	Jalisco	171	80	117
Manzano	Jalisco	111	61	82
flor de Mayo M38	Jalisco	172	65	106
Negro Tacaná	Mesoam.	163	80	114
Negro Cotaxtla 91	Mesoam.	135	73	99
Negro INIFAP	Mesoam.	158	67	103
Negro 8025	Mesoam.	144	76	105
Negro Veracruz	Mesoam.	138	78	104
SEQ 12	Mesoam.	138	84	108
BAT 477	Mesoam.	151	81	110
Promedio		166	85	119
DMS 0,05		23	17	

(*) De acuerdo a Singh *et al.* 1991

(**)Media geométrica del rendimiento bajo riego y sequía o temporal.

(***) Rendimiento promedio de ocho experimentos, tres repeticiones cada uno.

expuestas a las condiciones naturales de precipitación y las del tratamiento favorable recibieron dos riegos de auxilio en la etapa reproductiva.

A través de localidades el rendimiento promedio de los 20 genotipos resultó 48% más bajo en condiciones de sequía/temporal en la etapa reproductiva o de sequía terminal durante el llenado de grano (Cuadro 2). El análisis combinado del rendimiento bajo sequía, de la media geométrica y del índice de susceptibilidad a sequía mostró un efecto significativo para la interacción genotipo por localidad, indicando que diferentes genotipos resultaron sobresalientes en las diferentes localidades (Datos no mostrados). Los cambios en el orden de los genotipos para el rendimiento a través de localidades ilustra la importancia de la adaptación específica o efecto de la interacción genético-ambiental. A la fecha no se ha tomado ventaja de la adaptación específica en el desarrollo de variedades de frijol para temporal. Uno de los cuellos de botella que impiden el desarrollo de tantas variedades como niveles de sequía existen a lo largo del Altiplano mexicano, es la dificultad para la multiplicación de semilla. Esto es porque por un lado las compañías semilleras no están interesadas en la multiplicación de muchas variedades similares y por el otro, los agricultores por el riesgo de la sequía, realizan una agricultura de bajo uso de insumos. En esta región semiárida de México valdría la pena iniciar un programa de producción artesanal de semilla a gran escala.

En base a la media geométrica del rendimiento, con excepción de ICA Palmar (Nueva Granada), los genotipos de la raza Durango resultaron sobresalientes en los sitios del Altiplano, i.e.: Bayo Zacatecas II y Bayo Victoria en Pabellón, Ags.; Bayo Zacatecas II y Bayo criollo de El Llano en Texcoco. Los mejores genotipos mesoamericanos en los sitios del Altiplano fueron: Negro 8025, Negro Tacaná y Negro INIFAP. En Cotaxtla, Ver. los mejores genotipos bajo sequía fueron de la raza mesoamericana: Sequía 12, BAT 477, Negro 8025 y Negro Veracruz.

En promedio de todos los experimentos, los genotipos superiores bajo sequía y con media geométrica alta fueron Pinto Zapata y Bayo Baranda, ambos de raza Durango, y ICA Palmar de raza Nueva Granada. Pinto Zapata es una variedad mejorada desarrollada para la región semiárida de México que mostró excelente adaptación en Zacatepec, Mor. (Sub-trópico) y Cotaxtla, Ver. (Trópico bajo) en la época seca. Su amplia adaptación puede deberse a su precocidad e insensibilidad al fotoperiodo. Bayo Baranda es una vieja variedad criolla, precoz, del estado de Zacatecas en la región semiárida e ICA Palmar es una vieja variedad Colombiana. La adaptación a sequía de ésta última variedad puede deberse a que a pesar de ser de hábito de crecimiento

determinado, posee una gama de características defensivas como son: una alta capacidad de movimiento foliar densa pubescencia y sensibilidad estomática.

En el caso del trópico bajo, la resistencia a *Macrophomina phaseolina* es una característica que deben poseer los genotipos resistentes a sequía. Esta es una enfermedad con amplia distribución en el trópico bajo de México y su severidad es mayor bajo estrés de sequía (Mayek *et al.*, 1997). El mismo vivero de 20 genotipos fue evaluado bajo condiciones de riego y sequía en un suelo naturalmente infestado con el patógeno causante de la pudrición carbonosa en Cotaxtla, Ver. Bayo Mecentral, SEQ 12 y BAT 477 resultaron menos dañados por el hongo. Es ampliamente conocida la resistencia de BAT 477 a este patógeno. La línea SEQ 12, también resistente, fue derivada de la cruce de BAT 477 por Negro 8025.

En comparación con los genotipos de la raza Durango, los genotipos de la raza Jalisco mostraron pobre adaptación bajo sequía a través de localidades (Cuadro 2). La distribución natural de la raza Jalisco cubre principalmente el Altiplano del eje neovolcánico en la parte central de México y son considerados como fuentes de resistencia a insectos y con alto potencial de rendimiento y aptitud combinatoria general positiva (Singh *et al.*, 1991).

Sin considerar raza y origen, los genotipos de máximo rendimiento bajo sequía fueron de hábito de crecimiento indeterminado tipos II (Trópico bajo) y lila (Altiplano) y precoces, ICA Palmar fue la excepción. Los genotipos precoces de la raza Durango también mostraron bajo sequía una transición blén definida de la fase vegetativa a la reproductiva y alto índice de cosecha. Por lo tanto, en términos de rendimiento, la precocidad y una eficiente distribución de asimilados hacia el grano parecen ser buenos indicadores de adaptación a la sequía.

En otra serie de experimentos se evaluaron: (a) 98 familias F_6 y sus progenitores bajo dos condiciones de humedad en tres localidades y (b) 79 familias F_6 y sus progenitores en una localidad del Altiplano semiárido (Cuadro 3). Aquí sólo se presenta información sobre el rendimiento, sin embargo, el objetivo principal de esos estudios es la identificación de características asociadas con el rendimiento bajo sequía que permitan en el futuro la selección indirecta. En el primer caso, ambos progenitores fueron desarrollados para condiciones de temporal, Bayo Victoria (raza Durango) para la región semiárida y Bayo Mecentral (raza Jalisco) para el Altiplano subhúmedo. En el segundo experimento, las familias se derivaron de la cruce de Pinto Villa (Durango) por Carioca (Mesoamericana).

Cuadro 3. Rendimiento promedio (g/m²) y heredabilidad del rendimiento(%) en 98 familias F₆ establecidas bajo dos condiciones de humedad en tres localidades de México, INIFAP, México.

Localidad Genotipo	Zacatepec, Mor. ¹		Texcoco, Mex. ²		Sandovales, Ags. ²	
	Sequía	Riego	Temporal	Riego	Temporal	Riego
Familias						
Prom. (n=98)	98,7	165,0	45,0	93,6	54,6	109,2
Rango	32-166	54-275	11-119	16-199	13-99	57-193
Progenitores						
Bayo Mecentral		157,0	216,0	46,0	117,0	47,0
83,0						
Bayo Victoria	53,0	123,0	50,0	110,0	77,0	151,0
H ²	0,54	0,46	0,06	0,26	0,40	0,38

¹ Siembra en otoño-invierno, sin lluvias (trópico seco, <900 msnm).

² Siembra en verano, con lluvias (templado sub-húmedo, > 2000 msnm).

En el primer experimento (a), los progenitores mostraron respuesta diferencial en rendimiento bajo ambas condiciones de humedad (Cuadro 4). Bayo Victoria resultó superior a Bayo Mecentral en las dos localidades del Altiplano, pero mostró pobre adaptación en Zacatepec, donde Bayo Mecentral mostró estar bien adaptado. En esta última localidad, ninguna de las familias resultó superior a Bayo Mecentral, mientras que en las dos localidades del Altiplano hubo familias significativamente superiores a ambos progenitores. Los valores intermedios de heredabilidad para el rendimiento obtenidos en este experimento coinciden con los valores observados en estudios previos bajo condiciones de sequía (White *et al.*, 1994; Singh, 1995, Schneider *et al.* 1996).

Los resultados obtenidos en los sitios del Altiplano sugieren complementariedad entre los progenitores

Cuadro 4. Rendimiento (g/m²) de familias superiores bajo sequía o temporal en tres localidades de México. INIFAP, México.

Localidad	Zacatepec, Mor. ¹	Texcoco, Méx. ²	Sandovales, Ags. ²
Familia			
BM X BV-92	107,9 (36)	60,0 (2)	99 (1)
BM X BV-38	92,5 (55)	58,0 (4)	92 (2)
BM X BV-33	112,5 (27)	67,0 (1)	82 (3)
BM X BV-40	104,4 (42)	59,0(3)	72 (4)
BMXBV-70	110,0(24)	39,0(18)	72(5)
Promedio (n=98)	98,7	45,0	54,6

¹ Siembra en otoño-invierno, con riego y sin lluvias (trópico seco).

² Siembra en verano, con lluvias (templado sub-húmedo). (#) = Rango entre líneas en cada localidad.

utilizados. En cuanto a las familias de mayor rendimiento bajo sequía, la mayoría de las fanuhas superiores coincidieron en las localidades del Altiplano, Pabellón y Texcoco y fueron diferentes de las de Zacatepec (Cuadro 5). En esta última localidad la sequía fue terminal y las temperaturas medias durante el llenado de grano fueron superiores a las observadas en las localidades de Altiplano.

Los resultados de éste y otros estudios (White *et al.*, 1993; Singh, 1995, Schneider *et al.*, 1996) sugieren que en un programa de mejoramiento de la resistencia a la sequía o de adaptación a las condiciones de temporal del Altiplano, la selección en base al rendimiento debería ser retrasada a generaciones avanzadas y realizar selección en generaciones tempranas en base a caracteres de herencia simple. A pesar de las familias que coincidieron al ocupar los puestos superiores bajo sequía en los sitios del Altiplano, es difícil que éstas muestren amplia adaptación en años subsecuentes debido a la magnitud de la interacción genético-ambiental. Esta interacción no sólo es debida a la sequía, sino también a otros factores de estrés, tanto bióticos como abióticos.

En el caso del segundo experimento (b), la precipitación ocurrida durante el ciclo biológico del cultivo fue menor a 300 mm y la condición favorable recibió dos riegos de 30 mm de lámina durante la etapa de floración. Las diferencias en acumulación de biomasa, rendimiento e índice de cosecha no fueron significativas entre los progenitores en la condición favorable, mientras que en la condición de temporal, Pinto Villa resultó significativamente superior a Carioca. La superioridad mostrada por Pinto Villa se debió probablemente a su precocidad y adaptación a las condiciones climáticas de la región semiárida, para la cual fue desa-

Cuadro 5. Rendimiento promedio (g/m²) y heredabilidad del rendimiento(%) en 79 familias F₆ establecidas bajo dos condiciones de humedad en Sandoval, Ags. México. INIFAP, México.

Genotipo	Biomasa g/m ²	Rendimiento g/m ²	Índice de Cosecha
Temporal más riego suplementario			
1 Pinto Villa	288,4	136,7	47,6
Carioca	231,6	106,8	46,4
Familias (n=79)	216,9	109,5	50,6 ¹
H ²	0,25	0,30	0,43
Temporal 2			
Pinto Villa	233,0 a	104,0 a	45,1 a
Carioca	163,1 b	47,8 b	30,5 b
Familias (n=79)	163,4	68,0	41,5
H ²	0,28	0,42	0,58

¹ Se aplicaron dos riegos de auxilio durante la etapa reproductiva.

² Precipitación total registrada durante el ciclo del cultivo 270 mm.

rollada (Acosta, *et al.*, 1995). El bajo valor para el índice de cosecha mostrado por Carioca bajo temporal es un reflejo de su tardicidad y falta de adaptación a la sequía intermitente, ya que se observaron durante la etapa reproductiva del cultivo dos periodos de dos semanas sin precipitación.

PERSPECTIVAS

El Altiplano semiárido de México es muy variable en cualquier estación de crecimiento por combinaciones específicas de factores bióticos y abióticos limitantes del rendimiento. Por lo anterior, la frecuencia de años de bajos rendimientos es alta. Una estrategia para maximizar el rendimiento cuando la interacción genético-ambiental es significativa y repetible, requiere de explotar la adaptación específica a través de acoplar las variedades al ambiente particular en lugar de modificar el ambiente o de utilizar variedades de amplia adaptación las que en la mayoría de los ambientes estarán por debajo de las de máximo rendimiento. Para tomar ventaja de la adaptación específica, se deben caracterizar y delimitar áreas geográficas con similar nivel de sequía y desarrollar variedades para cada nivel.

La investigación actual esta encaminada a la identificación de caracteres secundarios asociados con el rendimiento bajo sequía. En el caso de selección indirecta, principalmente en base a características fisiológicas, los pasos a seguir antes de que un carácter en particular se pueda utilizar en un programa de mejoramiento para resistencia sequía son (Subbarao *et al.*, 1995):

1. Validar la contribución potencial del carácter en particular.

2. Buscar genotipos con una alta expresión del carácter.
3. Determinar el modo de herencia del carácter.
4. Desarrollar métodos rápidos y eficientes para evaluar y seleccionar poblaciones segregantes y líneas avanzadas.
5. Incorporar el carácter en genotipos agrónomicamente superiores. A la fecha el mayor obstáculo para una estrategia de mejoramiento que involucre aspectos fisiológicos, es la obtención de evidencia convincente que relacione altos niveles de expresión de un carácter y la respuesta superior en rendimiento bajo condiciones de sequía intermitente.

Para disminuir los riegos por sequía existen ambas opciones, genéticas y de manejo del cultivo. Las opciones genéticas, i.e. variedades, son menos costosas y fáciles de adoptar por los agricultores, pero, es difícil lograr progreso' y se deben establecer metas modestas en relación a incrementar el potencial de rendimiento bajo sequía. La sequía intermitente es muy difícil de simular, en el caso del Altiplano mexicano, las pruebas se establecen en sitios de baja precipitación y si se cuenta con protección contra las lluvias, la sequía se establece al inicio de la etapa reproductiva. En el caso del trópico bajo, las pruebas se conducen en la época seca bajo riego y se evalúa la respuesta a la sequía terminal.

La estrategia futura de mejoramiento contempla ampliar la base genética del germoplasma adaptado a sequía actualmente utilizado, de raza Durango. Para ello, se busca identificar fuentes confiables en otros acervos genéticos y combinar diferentes fuentes, las que podrían tener diferentes mecanismos/características de adaptación a los déficits temporales de humedad. Esta estrategia conducirá a la acumulación a través de selección de alelos favorables de adaptación a sequía en

un mismo genotipo (Ayele, 1994). En un futuro cercano se evaluará bajo condiciones de temporal o de sequía la colección representativa de la variabilidad contenida en el banco de germoplasma del CIAT y germoplasma tolerante a sequía Africa oriental.

LITERATURA CITADA

- ACOSTA, J.; OCHOA, R.; SÁNCHEZ, I. 1985. Efecto del genotipo y del ambiente sobre algunas características del frijol *Phaseolus vulgaris* L. bajo condiciones de temporal. Agn. téc. Méx. 11:105-119
- ACOSTA, J.; KOHASHI, J. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Field Crops Res. 20:81-93
- ACOSTA, J.; OCHOA, R. 1992. Amplia adaptación vs adaptación específica en frijol de temporal. In: Memorias del Simposio Interacción Genotipo- Ambiente en Genotecnia Vegetal. Soc. Méx. de Fitogenética, A.C. Guadalajara, Jal. México. pp. 297-324.
- ACOSTA, J.; OCHOA, R.; ARRIETA, M.; IBARRA, F.; PAJARITO, A.; SANCHEZ, I. 1995. Registration of Pinto Villa common bean. Crop Sci. 35:1211.
- AYELE, M. 1994. Diallel analysis for yield and yield components in haricot bean, *Phaseolus vulgaris*. Ami. Rep. Bean Improv. Coop. 37:159-160
- FERNÁNDEZ, P.; 1998. Dinámica de la superficie sembrada con la variedad de frijol Pinto Villa, en el estado de Chihuahua. Ponencia. Primera Reunión Internacional de Frijol. Zacatecas Zac., México. p.
- KORNEGAY, J.; WHITE, J.; LLANO, G.; RAMÍREZ, H. 1997. Análisis dialélico para el rendimiento del frijol andino bajo condiciones de sequía y riego. In: S.P. Singh y O. Voysest (eds.), Taller de mejoramiento de frijol para el siglo XXI: Bases para una estrategia para América Latina 1996. CIAT, Cali, Colombia. pp. 74-78.
- NAVARRETE, R.; ACOSTA, A. 1998. Reacción de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a *Fusarium* spp. en el Altiplano de México. Reunión Anual del PCCMCA, Managua, Nicaragua. p.
- MAYEK, N.; ACOSTA, J.; LÓPEZ, C.; LÓPEZ, E.; CUMPEAN, J.; ACOSTA, E. 1997. Resistance to *Macrophomina phaseolina* in common bean under field conditions. Annu. Rep. Bean Improv. Coop. 40:99-100.
- SCHNEIDER, K.; ROSALES, R.; IBARRA, F.; CAZARES, B.; ACOSTA, J.; RAMÍREZ, P.; WASSIMI, N.; KELLY, J. 1996. Improving common bean performance under stress. Crop Sci. 37: 43-50.
- SINGH, S.; GEPTS, P.; DEBOUCK, D. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, fabaceae). Econ. Bot. 45:379-396
- SINGH, S. 1995. Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean. Crop Sci. 35:118-124.
- SUBBARAO, G.; JOHANSEN, C.; SLINKARD, A.; NAGESWARA, R.; SAXENA, N.; CHAUHAN, Y. 1995. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. Critical Reviews in Plant Sci. 14(6): 469-523.
- WHITE, J.; SINGH, S. 1991. Breeding for adaptation to drought. pp. S01-560, In: A. van Shoonhoven and O. Voysest (eds.), common bean: Research for crop improvement. CAB-CIAT, Cali, Colombia. pp.
- WHITE, W.; OCHOA, R.; IBARRA, F.; SINGH, S. 1994. Inheritance of seed yield maturity and seed weight of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under semi-arid rainfall conditions. J. Exp. Agric. (Cambridge) 122:265-263.