

AMPLIACION DE LA ADAPTABILIDAD DEL SORGO. II. LA INTERACCION GENETICO AMBIENTAL DE GENOTIPOS DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L) Moench) TOLERANTES AL FRIO

Aquiles Carballo Carballo y Manuel Livera Muñoz ¹

RESUMEN

Se evaluó la adaptabilidad de genotipos de sorgo tolerantes al frío en una amplia gama de ambientes. Se encontró que los parámetros de estabilidad que caracterizan a un genotipo determinado cambian con el número de genotipos involucrados en la prueba y al cambiar los ambientes. Sin embargo, los resultados demuestran que el carácter tolerancia al frío ha permitido ampliar las áreas de adaptación del cultivo de sorgo en México. Los resultados validan la proposición de dos variedades de sorgo para pruebas semicomerciales en localidades con una altitud entre 1800 y 2350 m.

SUMMARY

The adaptability of cold tolerant sorghum genotypes was assessed over a wide range of environments. The stability parameters of a given genotype changed as the number of genotypes and locations for the test changed. However, the results demonstrated that the cold tolerance trait has allowed to extend the adaptation areas for sorghum cultivation in Mexico. The results validate the proposition of two cold-tolerant open-pollinated varieties for semi-commercial tests in areas which altitude ranges from 1800 to 2350 m.

INTRODUCCION

Existen variedades experimentales de sorgo tolerantes al frío que presentan mayor precocidad, una mejor distribución de la materia seca (mayor índice de cosecha) y, aparentemente, una área foliar más eficiente para producir grano que sus progenitores donadores de la tolerancia al frío. Los resultados de Livera y Carballo (1985) muestran que la precocidad, la tolerancia y la insensibilidad al frío podrían ser considerados tres caracteres independientes.

El objetivo de este estudio fue evaluar la interacción genético-ambiental de genotipos mejorados tolerantes al frío, de sus progenitores y de testigos comer-

¹ Profesor Investigador e Investigador Docente del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados. Montecillos, Méx.

ciales susceptibles, con base en el rendimiento de grano obtenido en una amplia gama de ambientes con y sin problemas de bajas temperaturas durante el desarrollo del cultivo.

REVISION DE LITERATURA

La evaluación de la adaptabilidad adquiere una gran importancia, sobre todo cuando se trata de analizar la validez en la recomendación de genotipos para su siembra por los agricultores. Cuando la selección de los genotipos se hace exclusivamente con base en su rendimiento promedio, obtenido de cierto número de ambientes localizados en la región para la cual van a recomendarse, dicha selección es deficiente pues ignora que puede existir el efecto de interacción entre el genotipo y el ambiente. Para la evaluación de ésta, los modelos de Finlay y Wilkinson (1963) y de Eberhart y Russell (1966) han constituido herramientas importantes para los fitomejoradores. En el caso de este trabajo, se decidió utilizar el modelo de Eberhart y Russell (1966) porque, al igual que Jowett (1972), se consideró más objetivo que el de Finlay y Wilkinson (1963) al utilizar datos sin transformar.

Márquez (1973) demostró que cuando una variedad interacciona con el ambiente su coeficiente de regresión (b_i) es diferente a la unidad, de manera similar al criterio adoptado por Eberhart y Russell (1966), quienes consideran como estable el genotipo que tiene una b_i igual a 1.0 y una desviación de la regresión (S_{di}^2) igual a cero; también incorpora el criterio de Carballo (1970) al mencionar que estos valores deben estar asociados con un rendimiento promedio alto.

MATERIALES Y METODOS

En el período comprendido entre el Verano 1974 y el Invierno 1978, se condujeron ensayos de rendimiento en ambientes contrastantes en su clima, pues se incluyeron desde localidades subtropicales hasta templadas frías. En cada localidad las prácticas culturales que se siguieron fueron las acostumbradas regionalmente por los agricultores; salvo en el caso de las localidades con temperaturas bajas, donde no se siembra sorgo; ahí, el surcado y la fertilización fue similar a la que se usa en maíz. En todos los experimentos se realizó un análisis de varianza por localidad y posteriormente se formaron seis combinaciones de genotipos y ambientes para realizar, con los genotipos comunes en cada experimento, un análisis conjunto utilizando el modelo de Eberhart y Russell (1966) que permitió estimar los parámetros de estabilidad, mismos que se usaron para evaluar la adaptabilidad de los genotipos.

Los genotipos estudiados fueron:

- a) Tolerantes al frío: Nyundo, Mabere, Magune y los genotipos SVA1, SVA2, ..., SVA10 y Altiplano 22.
- b) Susceptibles al frío: 38 day Milo (38dM), 40 day Kafir, Hegari precoz, INIA-Otomí, INIA-Náhuatl, NK 125, NK 180, DD50 y R1010.

Respecto a las seis combinaciones para evaluar la adaptabilidad, en el Cuadro 1 se presentan los genotipos y el número de ambientes utilizados en cada una de ellas, y en el Cuadro 2 se especifican los ambientes involucrados. El criterio seguido para integrar los experimentos fue el origen de los genotipos y la heterogeneidad ambiental; de esta manera se tuvieron desde combinaciones únicamente con genotipos tolerantes al frío en sólo ambientes templados, hasta combinaciones que incluyeron genotipos tolerantes y susceptibles en toda la amplitud de ambientes abarcando climas tropicales, templados y fríos.

Cuadro 1. Genotipos y número de ambientes utilizados en seis combinaciones para evaluar la adaptabilidad.

Combinación	Genotipos	No. de ambientes
1	Mabere, Magune, Nyundo, 38 day Milo, 40 day Kafir, Hegari precoz, SVA1, SVA2, SVA3, SVA4, SVA7, SVA8, INIA-Otomí, NK 125 y DD50.	4
2	SVA1 a SVA10, INIA-Otomí, INIA-Náhuatl, NK 125, NK 180, R1010 y Altiplano 22.	6
3	SVA1, SVA2, SVA3, SVA4, SVA7, SVA8, INIA-Otomí, NK 125 y DD50.	12
4	SVA1, SVA2, SVA3, SVA4, SVA7 y SVA8.	16
5	SVA1, SVA2, SVA3, SVA4, SVA7 y SVA8.	9
6	SVA1, SVA2, SVA3, SVA4, SVA7 y SVA8.	7

Cuadro 2. Ambientes involucrados en cada combinación para evaluar la adaptabilidad.

Combinación	No. de Ambientes	Ambientes
1	4	Chapingo, Méx. 1975, 1976 y 1978; Iguala, Gro. 1978.
2	6	Tamazulapan, Oax. 1974; Col. Veracruz, Hgo. 1975; Río Bravo, Tamps. 1974; Iguala, Gro. 1974; Roque, Gto., 1974; Reyes Mantecón, Oax. 1974.
3	12	Chapingo, Méx. 1975, 1976 y 1978; Ixmiquilpan, Hgo. 1975 y 1976; Zacatepec, Mor. 1974-75; Coyuca de Benítez, Gro. 1975; Fco. I. Madero, Dgo. 1976; Roque, Gto. 1975; Iguala, Gro. 1978; Col. Veracruz, Hgo. 1975; Tamazulapan, Oax. 1975.
4	16	Chapingo, México. 1975, 1976 y 1978; Tamazulapan, Oax. 1974 y 1975; Iguala, Gro. 1974 y 1978; Río Bravo, Tamps. 1974; Roque, Gto. 1974 y 1975; Ixmiquilpan, Hgo. 1975 y 1976; Reyes Mantecón, Oax. 1974; Zacatepec, Mor. 1974-75; Col. Veracruz, Hgo. 1975; Fco. I. Madero, Dgo. 1976.
5	9	Iguala, Gro. 1974 y 1978; Ixmiquilpan, Hgo. 1975 y 1976; Río Bravo, Tamps. 1974; Roque, Gto. 1974 y 1975; Reyes Mantecón, Oax. 1974; Zacatepec, Mor. 1974-75.
6	7	Chapingo, Méx. 1975, 1976 y 1978; Tamazulapan, Oax. 1974 y 1975; Col. Veracruz, Hgo. 1975; Fco. I. Madero, Dgo. 1976.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 3 se muestra el rendimiento promedio y los parámetros de estabilidad de los genotipos incluidos en la Combinación 1. En él se observa que 38dM fue el único genotipo cuyo b_i resultó estadísticamente diferente de uno ($b_i = -0.15$) aunque hubo valores de b_i que variaron de 3.43 a -0.32 y no difirieron estadísticamente de la unidad. Asimismo, 13 de los 15 genotipos tuvieron valores de S_{di}^2 estadísticamente diferentes de cero. Dentro de este grupo están incluidos los tres progenitores tolerantes cuyo rendimiento promedio fue mayor que el de las seis variedades experimentales tolerantes; el rendimiento promedio de los seis genotipos restantes, por su susceptibilidad al frío, fue bajo debido al escaso grano formado en Chapingo, Méx. (grano producido principalmente por cruzamiento). Todos los genotipos fueron productivos en Iguala, Gro. 1978 (Livera y Carballo, 1985).

Cuadro 3. Rendimiento medio y parámetros de estabilidad de progenitores tolerantes, progenitores susceptibles, genotipos tolerantes sobresalientes y testigos (Combinación 1).

Genotipo	(kg ha ⁻¹)	bi	S ² _{di}
Nyundo	6881	3.43	6630174***
Mabere	5255	2.68	1203767***
Magune	6600	2.78	3070489***
38 day Milo	321	-0.15*	287437
40 day Kafir	803	0.48	673746*
Hegari precoz	921	-0.32	2319723***
SVA 1	2765	0.83	967651***
SVA 2	4538	1.10	509876*
SVA 3	3136	0.71	373553*
SVA 4	3426	0.74	-47779***
SVA 7	3909	1.36	843813*
SVA 8	4410	1.05	508738*
INIA-Otomí	1092	-0.14	3073327***
KN 125	1840	0.62	3617381***
DD50	869	-0.17	1947606***

*, **, *** = Significancia a los niveles de 0.05, 0.01 y 0.005, respectivamente, de probabilidad de error.

$$r_{\bar{x},bi} = 0.94^{**}$$

En el Cuadro 4 se tienen los cuatro ambientes de prueba ordenados del menos al más favorable. En este caso el más favorable fue el de Chapingo, Méx, 1978, en tanto que la misma localidad en 1975 fue el ambiente menos favorable debido a una helada temprana que se presentó el 25 de septiembre y que afectó más a los genotipos tardíos. Queda claro que el valor de los índices ambientales estuvo determinado principalmente por la tolerancia al frío de los genotipos. Es decir, que conforme los ambientes fueron más fríos, éstos resultaron más desfavorables para las variedades susceptibles; ello se reflejó en los valores de los coeficientes de regresión, que tendieron a ser altos para las variedades tolerantes al frío (TF) y bajos para las susceptibles (Cuadro 3).

En la Figura 1, donde se presentan las líneas de regresión para los progenitores tolerantes, para los progenitores precoces y para dos variedades experimentales TF, puede apreciarse que las variedades experimentales tienen valores de bi

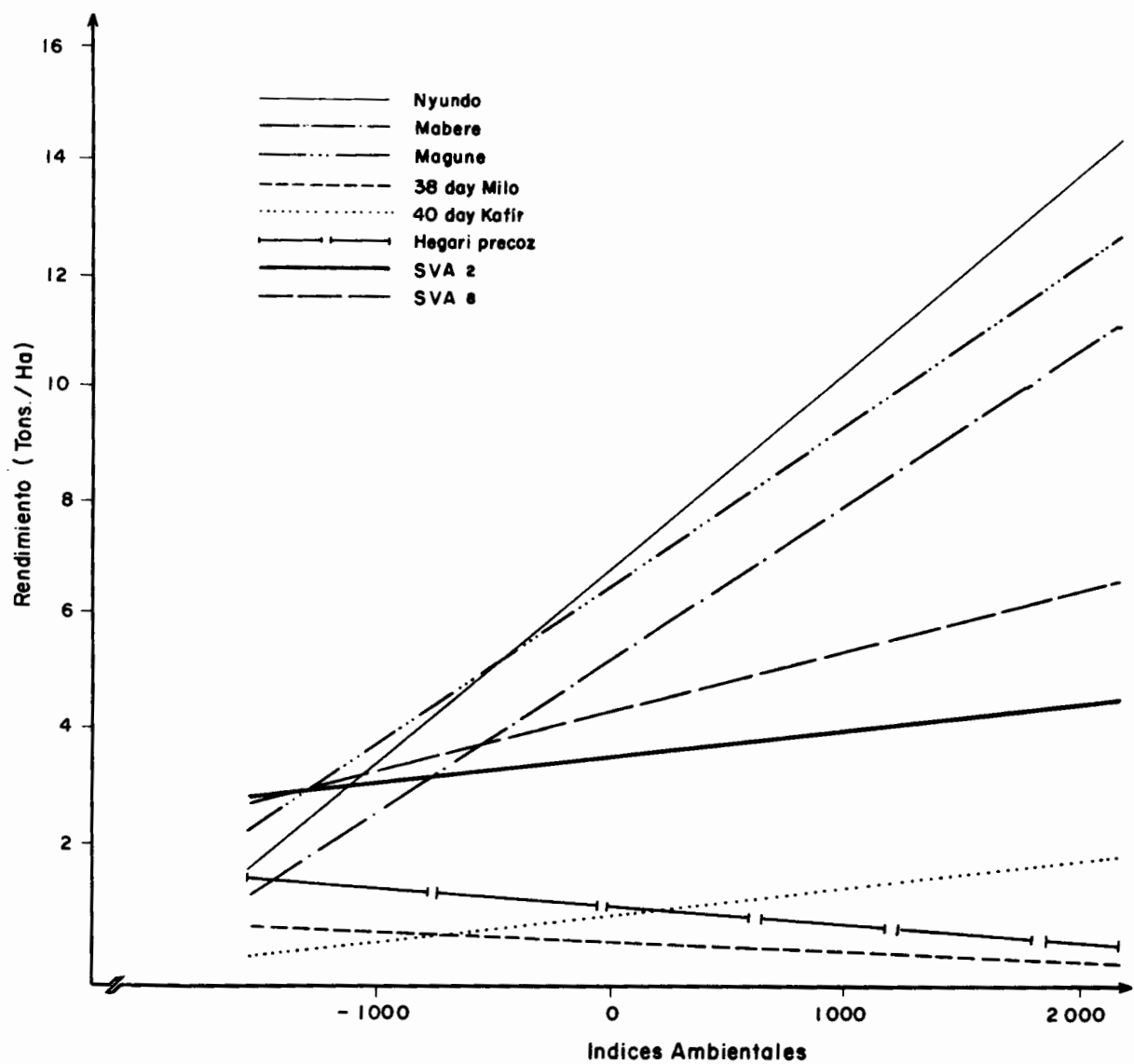


Fig. 1 Respuesta de los progenitores tolerantes, de los progenitores precoces y de dos variedades experimentales tolerantes al frío. (Combinación uno)

Cuadro 4. Valor de los índices ambientales de los cuatro ambientes de prueba para los genotipos de la combinación 1.

Ambiente	Indice Ambiental
Chapingo, Méx. 1975	-1563
Iguala, Gro. 1978	-1110
Chapingo, Méx. 1976	479
Chapingo, Méx. 1978	2194

intermedios entre los progenitores tolerantes y los genotipos susceptibles, debido a que los ambientes favorables estuvieron asociados con una estación de crecimiento más larga por la ausencia de heladas tempranas, que favoreció en mayor grado a los genotipos más tardíos, los que además tienen el mayor potencial de rendimiento. Por lo anterior, parece explicable que haya resultado una alta correlación entre el rendimiento medio y el coeficiente de regresión ($r_{\bar{x}}, b_i$) (Cuadro 3).

Los rendimientos promedio y los parámetros de estabilidad para los genotipos incluidos en la Combinación 2 se muestran en el Cuadro 5. En este caso, la mayor parte de las variedades tuvieron $S_{di}^2=0$; además, no se detectó correlación significativa entre b_i y rendimiento.

Considerando el valor de los parámetros de estabilidad, el rendimiento promedio y, adoptando la clasificación de variedades propuesta por Carballo (1970), de considerar consistentes a las variedades con $S_{di}^2=0$ e inconsistentes a las de $S_{di}^2 > 0$, los genotipos más sobresalientes fueron, en primer lugar la SVA4 por ser una variedad estable, con adaptabilidad amplia, consistente y con rendimiento alto, y en segundo lugar la SVA2, la cual es una variedad con adaptabilidad específica a ambientes desfavorables ($b_i < 1$) y consistente ($S_{di}^2=0$). Otros genotipos estables, consistentes y con rendimiento alto fueron SVA8 y NK 125.

En el Cuadro 6 se tienen los rendimientos promedio y los parámetros de estabilidad para los genotipos de la Combinación 3; puede observarse que no hubo correlación significativa entre b_i y rendimiento, pero los valores de las desviaciones de regresión (con excepción de SVA4) fueron altamente significativas. De este grupo de genotipos, sobresale la SVA4 por su alto rendimiento y sus desviaciones de regresión pequeñas, mientras que si sólo se considera el rendimiento promedio otros genotipos sobresalientes fueron SVA2, SVA8 y NK 180.

Cuadro 5. Rendimiento medio y parámetros de estabilidad de genotipos tolerantes y susceptibles al frío (Combinación 2).

Genotipo	(kg ha ⁻¹)	bi	S ² _{di}
SVA 1	2284	0.86*	-106167
SVA 2	3089	0.82*	-90875
SVA 3	2920	1.28	493868**
SVA 4	3327	0.88	50502
SVA 5	2658	0.82*	-99605
SVA 6	2527	0.95	-104540
SVA 7	2493	0.93	356199**
SVA 8	2837	0.82	58388
SVA 9	2465	0.97	136322
SVA 10	2455	0.86	424060**
INIA-Otomí	2299	1.49**	-98563
NK 125	2857	0.93	100579
NK 180	3043	1.37	211811*
INIA-Náhuatl	2793	1.57*	274784*
R1010	1947	0.59	155338
Altiplano 22	2609	0.86	19340
DSH 0.05	1015		
DSH 0.01	1171		

*, **= Significancia a los niveles de 0.05 y 0.01, respectivamente, de probabilidad de error.

$r_{\bar{x},bi} = 0.22$

El rendimiento promedio y los parámetros de estabilidad de los genotipos incluidos en la Combinación 4 se encuentran en el Cuadro 7. En la evaluación de estos genotipos está comprendida la mayor amplitud ambiental, desde ambientes cálidos hasta templados con problemas de temperaturas bajas. Considerando el rendimiento promedio, el valor de bi y el de S²_{di}, las variedades más sobresalientes fueron SVA2 y SVA4, las cuales presentaron rendimiento alto, estable y consistente. La SVA8 tuvo un rendimiento aceptable, con bi=1,0, pero fue inconsistente.

En el Cuadro 8 están los resultados obtenidos al aplicar el modelo de Eberhart y Russell (1966) a los genotipos de la Combinación 5, en la cual no se incluyeron ambientes con temperaturas bajas que limiten la producción del sorgo. Debe notarse que en este caso todos los genotipos fueron estables pero no todos consistentes;

Cuadro 6. Rendimiento medio y parámetros de estabilidad de genotipos tolerantes y susceptibles al frío (Combinación 3).

Genotipo	(kg ha ⁻¹)	bi	s ² _{di}
SVA 1	2562	0.90	210178**
SVA 2	3752	0.95	732806**
SVA 3	3244	0.74	285593***
SVA 4	3275	0.73	123795*
SVA 7	3168	1.27	971369***
SVA 8	3527	1.06	823092***
INIA-0tomí	2151	1.13	2534496***
NK 125	2636	1.25	863923***
DD50	2006	0.96	3553596***
DSH 0.05	1461		
DSH 0.01	1711		

*, **, ***=Significancia a los niveles de 0.05, 0.01 y 0.005, respectivamente, de probabilidad de error.

$r_{\bar{x}, bi} = 0.23$

Cuadro 7. Rendimiento medio y parámetros de estabilidad de genotipos tolerantes al frío sobresalientes (Combinación 4).

Genotipo	(kg ha ⁻¹)	bi	s ² _{di}
SVA 1	2592	0.87	-26732
SVA 2	3641	1.06	-33281
SVA 3	3197	0.94	414359**
SVA 4	3349	0.78	93981
SVA 7	3024	1.25	235388**
SVA 8	3362	1.09	165033**
DSH 0.05	660		
DSH 0.01	672		

*, **=Significancia a los niveles de 0.05 y 0.01, respectivamente, de probabilidad de error.

$r_{\bar{x}, bi} = 0.14$

SVA1, SVA2 y SVA 4 fueron consistentes ($s^2_{di}=0$), en tanto que las variedades SVA3, SVA7 y SVA8 fueron inconsistentes ($s^2_{di}>0$). Considerando el rendimiento promedio y los parámetros de estabilidad, los genotipos más sobresalientes fueron SVA2 y SVA4,

porque reunen los tres requisitos para un genotipo de amplia adaptabilidad: rendimiento promedio alto, $b_i=1.0$, y $S_{di}^2=0$.

Cuadro 8. Rendimiento medio y parámetros de estabilidad de variedades tolerantes al frío sobresalientes (Combinación 5).

Genotipo	(kg ha ⁻¹)	b_i	S_{di}^2
SVA 1	2760	0.98	-115792
SVA 2	3585	0.86	-99358
SVA 3	3419	1.38	220417*
SVA 4	3703	0.86	1749
SVA 7	3134	0.98	296097**
SVA 8	3304	0.94	272424**
DSH 0.05	697		
DSH 0.01	842		

*, **=Significancia a los niveles de 0.05 y 0.01, respectivamente, de probabilidad de error.

$$r_{\bar{x}, b_i} = 0.20$$

Los parámetros de estabilidad y el rendimiento promedio para los genotipos incluidos en la Combinación 6 se encuentran en el Cuadro 9. En todos estos ambientes de prueba inciden temperaturas nocturnas bajas, las cuales han impedido hasta la fecha el cultivo comercial del sorgo. Considerando sus parámetros de estabilidad, los genotipos pueden agruparse en la forma indicada en el Cuadro 10, y si además se considera el rendimiento promedio destacan las variedades SVA2 y SVA8, aún cuando tienen una ligera tendencia hacia un mejor comportamiento en ambientes favorables.

Cuadro 9. Rendimiento medio y parámetros de estabilidad de genotipos tolerantes al frío sobresalientes (Combinación 6).

Genotipo	(kg ha ⁻¹)	b_i	S_{di}^2
SVA 1	2376	0.82	112886
SVA 2	3713	1.17*	-116866
SVA 3	2910	0.75	527888**
SVA 4	2893	0.71*	24679
SVA 7	2882	1.37	170304
SVA 8	3437	1.19*	-67605

*, **=Significancia a los niveles de 0.05 y 0.01, respectivamente, de probabilidad de error.

$$r_{\bar{x}, b_i} = 0.50$$

Cuadro 10. Características de adaptabilidad de acuerdo con el valor de los parámetros de estabilidad de los genotipos incluidos en la Combinación 6.

Genotipos	Descripción
SVA 1	Estable y consistente
SVA 7	Estable y consistente
SVA 3	Estable e inconsistente
SVA 2	Con mejor comportamiento en ambientes favorables y consistente
SVA 8	Con mejor comportamiento en ambientes favorables y consistente
SVA 4	Con adaptabilidad a ambientes desfavorables y consistente

Debido a que en las combinaciones 1 y 3 (Cuadros 3 y 6), las desviaciones de la regresión son grandes, se considera que esos resultados son de poca utilidad ya que, como señala Goldsworthy (1974), el coeficiente de regresión como medida de la adaptabilidad pierde significado y valor conforme aumenta la magnitud relativa del cuadrado medio de las desviaciones, incluso aunque no hubiera significancia para su valor. Okuno e Hirosaki (1975), al referirse al modelo de Finlay y Wilkinson (1963), también consideran que el coeficiente de regresión da toda la información acerca de la adaptabilidad de los genotipos, siempre y cuando los residuales sean pequeños. Además, en la Combinación 1 se detectó correlación significativa entre el índice ambiental y el rendimiento de los genotipos; al respecto Goldsworthy (1974) señala que la objeción más seria de esta metodología para estimar los parámetros de estabilidad es la falta de independencia entre las variedades evaluadas y los índices ambientales. Freeman y Perkins (1971) han criticado estos análisis de regresión lineal desde el punto de vista estadístico y Hardwick y Wood (1972) demostraron que existe sesgo en la estimación de la regresión cuando se utilizan índices ambientales no independientes, por lo que para lograr la independencia recomiendan emplear como índices ambientales a algunas variables físicas.

Por todo lo anterior, se considera que los resultados obtenidos en las combinaciones 1 y 3 no son útiles para caracterizar la adaptabilidad de los genotipos con base en el valor de sus parámetros de estabilidad. Cabe señalar que en un caso (Combinación 1) se manejaron 15 genotipos y cuatro ambientes, mientras que en el otro fueron nueve genotipos y 12 ambientes. Todos los valores de S^2_{di} (salvo en una variedad) fueron significativos y podrían considerarse el resultado de la heterogeneidad de los ambientes y de las respuestas muy contrastantes de los genoti-

pos estudiados, ya sea por su susceptibilidad al frío o por otras causas (enfermedades, plagas, ciclo biológico, etc) que pudieron limitar su expresión en ciertos ambientes. Este tipo de comportamiento refleja que bajo la amplitud de ambientes en que se hizo la evaluación, ningún genotipo mostró adaptabilidad adecuada, aún cuando el nivel de inconsistencia es variable y ello de hecho está reflejando la existencia de ambientes que limitan en mayor o menor grado la expresión del rendimiento en el sentido en que el promedio lo indica.

Analizando los resultados de las seis combinaciones, se observa que los valores de los parámetros para un genotipo determinado cambian conforme lo hacen el número de genotipos incluidos y la diversidad de los ambientes involucrados; por ejemplo, compare los parámetros de SVA1 en las combinaciones 2 y 4 (Cuadros 5 y 7), y los de SVA2 en las combinaciones 2, 4 y 6 (Cuadros 5, 7 y 9). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en sorgo por Juárez (1977), quien encontró que el valor de los parámetros de estabilidad cambian con el número de ambientes; en el mismo sentido son los resultados de López (1978), quien al evaluar genotipos de maíz previamente clasificados por el valor de sus parámetros encontró que tal clasificación varía de una prueba a otra debido al cambio en el número de ambientes y de genotipos involucrados en la prueba. En el caso del modelo de Finlay y Wilkinson también se ha encontrado que el valor de los parámetros (coeficiente de regresión y rendimiento promedio) depende de la serie de ambientes y/o variedades (Kikuchi *et al.*, 1975).

En cuanto a la adaptabilidad de las líneas tolerantes experimentales, cuando seis de ellas se evaluaron en 16 ambientes (Combinación 4; Cuadro 7), las seis se comportaron como estables ($b_i=1.0$) pero tres de ellas fueron inconsistentes ($S_{di}^2 > 0$). Al estimar los parámetros de estabilidad de las mismas en ambientes donde no existen temperaturas bajas que afecten negativamente la producción de grano, estas características de adaptabilidad se mantuvieron (Cuadro 8); sin embargo, cuando la evaluación se realizó en ambientes con incidencia de temperaturas bajas se manifestaron diferencias en su adaptabilidad (Cuadro 9).

Los resultados de los Cuadros 7, 8 y 9 deben ser tomados con reserva porque fueron obtenidos con solamente seis genotipos. La mayoría de los investigadores que han utilizado el modelo de Eberhart y Russell (1966) no han hecho consideración alguna sobre el número de genotipos que deben incluirse, y, como ya se indicó, este número influye en el valor de los parámetros de estabilidad.

Los modelos de Finlay y Wilkinson (1963) y/o de Eberhart y Russell (1966) han sido utilizados por diferentes investigadores para evaluar la adaptabilidad (Carballo, 1970; Kikuchi *et al.*, 1975; Gómez, 1977; Reich y Atkins, 1970; Mejía, 1977; Palomo y Molina, 1975; Varela y Franco, 1974; etc), y la relación entre plasticidad y estabilidad (Morishima y Oka, 1975). La ventaja fundamental de estos dos modelos y a la vez su punto más criticado, es la evaluación de los ambientes por el mismo grupo de genotipos que se prueba. Es considerada ventaja porque difícilmente se dispone de los recursos y conocimientos para evaluar y analizar los factores del ambiente, sus interacciones y su relación con el comportamiento de los genotipos. También se considera que, además de las críticas estadísticas (Freeman y Perkins, 1971; Hardwick y Wood, 1972; Goldsworthy, 1974), la evaluación del ambiente es amplia y no es posible establecer la relación causa-efecto entre el comportamiento de los genotipos y los factores ambientales. No obstante estas consideraciones, Fripp (1972) encontró que los resultados obtenidos al evaluar la adaptabilidad utilizando índices ambientales no independientes es similar a los obtenidos cuando estos son independientes.

En arroz se ha encontrado que la adaptabilidad de las variedades de un mismo origen genético tiende a ser similar (Kikuchi *et al.*, 1975); en el caso de los resultados de las combinaciones 4 y 5 (Cuadros 7 y 8) se les podría dar la misma explicación, ya que los seis genotipos cuando menos tienen un progenitor en común y se han seleccionado en los mismos ambientes, por lo cual podría suponerse que, dentro de los límites de temperatura existentes en los ambientes de prueba, presentaron el mismo grado de homeostasis fisiológica, que resultó en una respuesta similar ante los cambios ambientales que ocurrieron en esas dos pruebas. Sin embargo, esta explicación no puede aplicarse a los resultados de la combinación 6 (Cuadro 9), donde se evaluaron los mismos seis genotipos exclusivamente en ambientes con temperaturas nocturnas bajas; en este caso, además de que hubo diferencias genotípicas en adaptabilidad, los parámetros que la estiman fueron diferentes a los obtenidos en las combinaciones 4 y 5 que involucraron los mismos genotipos pero un número de ambientes diferente. Aunque se podría suponer que en la combinación 6 las diferencias genotípicas en adaptabilidad posiblemente se deban a diferencias en intercepción de energía radiante, en tolerancia al frío y/o en los procesos fisiológicos, en la duración de los períodos de desarrollo, etc., la explicación correcta no se puede deducir de los resultados obtenidos y es necesario realizar investigaciones adicionales.

CONCLUSIONES

La bondad del modelo de Eberhart y Russell (1966) como auxiliar en la caracterización de genotipos por su adaptabilidad parece estar en función de su uso adecuado, debiendo ponerse atención tanto a la elección de los genotipos como de los ambientes de prueba con el objeto de evitar limitaciones climáticas, o de otra índole, que afecten drásticamente la respuesta de sólo algunos de ellos (inadaptación por bajas temperaturas, susceptibilidad a enfermedades, a salinidad, etc).

Las variedades SVA2 y SVA8 aunque caracterizadas como genotipos "con mejor comportamiento en ambientes favorables", se consideran sobresalientes por su amplia adaptabilidad a ambientes con y sin problemas de temperaturas bajas, como lo indican su rendimiento promedio y sus parámetros de estabilidad en todas las combinaciones estudiadas. Estos resultados validan su proposición para pruebas semicomerciales hecha anteriormente (Carballo y Livera, 1978).

AGRADECIMIENTOS

A nuestros ex-compañeros del INIA (hoy INIFAP): Enrique Romo C., Guillermo Pérez G., Alberto Betancourt V., Juan Cañedo y J. Ron P. por su auxilio en el establecimiento de los experimentos. A los Dres. Leopoldo E. Mendoza O. y Víctor A. González H. por sus sugerencias para una mejor presentación del escrito.

BIBLIOGRAFIA

- Carballo C., A. 1970. Comparación de variedades de maíz del Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo, Méx.
- Carballo C., A. y M. Livera M. 1978. Primeras variedades de sorgo obtenidas por el INIA. En: Memoria de la Reunión Internacional de Sorgo. Buenos Aires, Argentina.
- Eberhart, S.A. y W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6: 36-40.
- Finlay, K.W. y G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. Aust. J. Agr. Res. 14: 742-754.
- Freeman, G.H. y J.M. Perkins. 1971. Environmental and genotype-environmental components of variability. VIII. Relations between genotypes grown in different environments and measures of these environments. Heredity 27: 15-23.
- Fripp, Y.J. 1972. Genotype-environmental interactions in *Schizophyllum commune*. II. Assessing the environment. Heredity 28: 223-238.

- Goldsworthy, P. 1974. Adaptación del maíz. En: El mejoramiento de maíz a nivel mundial en la década del setenta y el papel del CIMMYT (Memoria). El Batán, Méx.
- Gómez M., N. 1977. Estabilidad del rendimiento y delimitación de áreas del cultivo de sorgo para grano en México. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo, Méx.
- Hardwick, R.C. y J.T. Wood. 1972. Regression methods for studying genotype-environment interactions. *Heredity* 28: 209-222.
- Jowett, D. 1972. Yield stability parameters for sorghum in East Africa. *Crop Sci.* 12: 314-17.
- Juárez, E.R. 1977. Interacción genotipo-medio ambiente en la selección y recomendación de híbridos de sorgo para grano. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo, Méx.
- Kikuchi, F., K. Kumagai y S. Suzuki. 1975. Evaluation of adaptability by Finlay and Wilkinson's method. En: T. Matsuo (ed.). *Adaptability in plants*. JIBP Synthesis 6: 17-35.
- Livera M., M. y A. Carballo C. 1985. Ampliación de las áreas de adaptación de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench). I. Análisis del potencial productivo de genotipos tolerantes al frío en los Valles Altos. *Fitotecnia* 7: 96-113.
- López H., A. 1978. Selección y evaluación de genotipos de maíz en condiciones limitantes para aumentar la producción y el rango de adaptación. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Márquez S., F. 1973. Relationship between genotype-environment interaction and stability parameters. *Crop Sci.* 13: 577-579.
- Mejía C., A. 1977. Evaluación de maíces criollos de temporal en el estado de Yucatán. Tesis Profesional. ENA. Chapingo, Méx.
- Morishima, H. y H.I. Oka. 1975. Phenotypic plasticity, growth pattern and yield stability. En: T. Matsuo (ed.) *Adaptability in plants*. JIBP Synthesis 6: 133-140.
- Okuno T. y S. Hirosaki. 1975. Use of adaptability indices. En: T. Matsuo (ed.). *Adaptability in plants*. JIBP Synthesis 6: 185-193.
- Palomo, G.A. y J. Molina G. 1975. Estabilidad del rendimiento en variedades de algodonero (*G. hirsutum* L.) para la Comarca Lagunera. *Agrociencia* 21: 67-76.
- Reich, V.H. y R.E. Atkins. 1970. Yield stability of four population types of grain *Sorghum bicolor* (L) Moench, in different environments. *Crop Sci.* 10:511-517.
- Varela, A.J.D. y J. Franco D. 1974. Adaptabilidad de variedades promisorias de trigo. IX Reunión de ALAF. Panamá, Marzo de 1974. (Mimeografiado).