AMPLIACION DE LAS AREAS DE ADAPTACION DEL SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). I. ANALISIS DEL POTENCIAL PRODUCTIVO DE GENOTIPOS TOLERANTES AL FRIO EN LOS VALLES ALTOS[1]

Manuel Livera Muñoz y Aquiles Carballo Carballo[2]

RESUMEN

Se evaluaron la tolerancia al frío (TF), la precocidad y el rendimiento de grano de variedades experimentales de sorgo (VES) que fueron obtenidas para cultivarse en los Valles Altos de México. Estas VES tuvieron menor rendimiento y precocidad que los progenitores donadores de esos caracteres. Se discute el concepto de "insensibilidad al frío" en el período siembra-antesis y se propone como un carácter diferente a la precocidad (días a antesis) y que parece ser independiente tanto de ésta como de la TF.

SUMMARY

Cold tolerance (CT), earliness and grain yield of grain sorghum experimental varieties (SEV), which were bred for cultivation in the high valleys of México, were evaluated. These SEV had both lower grain yield and earliness as compared to the genetic sources for these traits. The concept of "cold insensitivity" (CI) during the planting-anthesis period is discussed. CI is proposed as a different and independent trait with respect to earliness (days to anthesis) and CT.

INTRODUCCION

El sorgo es una especie con potencial para cultivarse en los Valles Altos de México, ya que sus características de resistencia a sequía

---

[1] Este trabajo contiene parte de la información presentada en la tesis con que el autor principal optó al grado de Maestro en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

[2] Ex-Investigadores del Programa de Sorgo; Campo Agrícola Experimental del Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Actualmente Investigador Docente y Profesor Investigador, respectivamente, del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

serían de gran utilidad para diversificar la agricultura temporalera en esas áreas. En 1960, el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) inició un programa de mejoramiento para obtener genotipos adaptados a esas áreas. Se identificaron tres genotipos africanos tardíos, Mabere, Magune y Nyundo, con capacidad para producir grano en Chapingo, México, que se definieron como tolerantes al frío, en contraste con el gran número de genotipos que resultaron estériles en esa localidad y a los cuales se les denominó susceptibles al frío. También se introdujeron los genotipos 38 day Milo, 40 day Kafir y Hegari precoz, para utilizarlos como fuentes de precocidad; sin embargo, al igual que todos los híbridos comerciales y la mayoría del material genético introducido, fueron susceptibles al frío y no formaron grano.

Con esa base germoplásmica compuesta de genotipos inadaptados, el mejoramiento de sorgo para Valles Altos ha tenido como objetivo la obtención de genotipos tolerantes y precoces que, eventualmente, puedan ofrecerse a los agricultores como una alternativa a sus cultivos tradicionales. Un primer logro del INIA fue la definición de un grupo de variedades experimentales con tolerancia al frío similar a la de los progenitores tolerantes, pero más precoces que éstos.

El objetivo de este estudio fue evaluar la tolerancia al frío, precocidad y rendimiento de las variedades experimentales del INIA comparándolas con los progenitores donadores de esos caracteres con los cuales se inició su mejoramiento genético.

REVISION BIBLIOGRAFICA

Las temperaturas bajas, además de producir androesterilidad en sorgos susceptibles (Ortíz y Carballo, 1972; González, 1977; Brooking, 1976; González *et al.*, 1986; Downes y Marshall, 1971) también pueden alargar considerablemente el ciclo vegetativo de genotipos susceptibles y tolerantes, aunque Livera y Carballo (1976-1977) han identificado genotipos que sufren un retraso pequeño en su período siembra-floración por efecto del frío, a los que han denominado "insensibles".

González (1977) comparó el comportamiento de sorgos susceptibles (SSF) y sorgos tolerantes al frío (STF) en dos localidades; una templada (Chapingo, Méx.) y una subtropical (Zacatepec, Mor). En promedio, todos los genotipos presentaron la iniciación floral y la antesis en Zacatepec en la mitad del tiempo requerido en Chapingo. González (1977) encontró que el retraso por bajas temperaturas fue mayor en los SSF que en los STF. También indica que la tolerancia al frío permitió a los genotipos reducir el efecto inhibitorio del frío sobre la velocidad del crecimiento del tallo principal.

Con relación a la capacidad productiva del sorgo en los Valles Altos, Muñoz *et al.* (1972) encontraron líneas tolerantes con un rendimiento de grano de 6 ton/ha y con características agronómicas aceptables. De éstas, Livera y Carballo (1974) seleccionaron 20 genotipos que fueron evaluados en diferentes estados de la República Mexicana, cubriendo una gama de altitudes desde 1800 a 2600 msnm. A cada una de las 10 líneas más prometedoras les practicaron selección masal con objeto de disminuir su variabilidad en cuanto a precocidad, altura, excersión, tipo de planta y panoja, color de grano, etc., seleccionando en ellas el estrato más precoz y con mejores caracteres agronómicos. Las líneas así obtenidas constituyeron las primeras variedades experimentales de sorgo tolerantes al frío para los Valles Altos de México (Carballo y Livera, 1978).

MATERIALES Y METODOS

Material genético

1. Tres variedades africanas donadoras de tolerancia al frío: Mabere, Magune y Nyundo.
2. Tres variedades donadoras de precocidad, pero susceptibles al frío; Hegari precoz, 40 day Kafir y 38 day Milo.
3. Once variedades experimentales tolerantes al frío (SVA1, SVA2, SVA3 ... SVA10 y SVA10PB[1/], seleccionadas del material sobresaliente del programa de Sorgo para los Valles Altos, dependiente del INIA.
4. Seis híbridos comerciales considerados como susceptibles al frío: NK125, NK180, DD-50, R1010, INIA-Otomí e INIA-Náhuatl.

1/ Las variedades liberadas por el INIA y actualmente conocidas como VA-110, VA-120 y VA-130 (Romo y Carballo, 1980), corresponden a SVA2, SVA7 y SVA8, respectivamente.

Experimentos de campo y toma de datos

Los seis progenitores, seis líneas tolerantes y tres híbridos comerciales se evaluaron en Chapingo, México (2240 msnm) en 1975 y 1976. En 1978, la evaluación se llevó a cabo en Iguala, Gro (900 msnm) y en Chapingo, Méx., incluyendo los 23 genotipos. En el experimento establecido en Chapingo, Méx. en 1975, se utilizó un diseño de tratamientos en parcelas divididas con cuatro repeticiones; en el resto de experimentos se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El experimento establecido en Iguala se condujo todo el ciclo bajo condiciones de riego y los de Chapingo se auxiliaron con riego desde la siembra hasta el establecimiento del temporal.

En el experimento de Chapingo, Méx., 1975, que se sembró el 28 de abril, se estudiaron también dos niveles de fertilización (F): 00-00-00 y 80-40-00 y dos densidades de población (P): 333 333 plantas/ha (5 cm entre plantas) y de 111 111 plantas/ha (15 cm entre plantas) en surcos de 0.60 m de ancho. Las parcelas grandes (PG) correspondieron a las combinaciones F x P, y las parcelas chicas (PCH) a los genotipos. La parcela fue de cuatro surcos de cinco metros de longitud, excepto cuando los genotipos de porte bajo quedaron junto a genotipos altos; en este caso se agregaron dos surcos más con el fin de evitar el efecto de sombreo. En 1976, el experimento se sembró el 4 de mayo, con un tamaño de parcela de dos surcos de 5 m de longitud y anchura de surco de 0.60 m; se fertilizó con el tratamiento 80-40-00 a la siembra y la densidad de población fue de 333 333 plantas/ha.

Los caracteres que se midieron en ambos experimentos fueron: rendimiento de grano ó económico (RE, kg ha^{-1}), días a floración (DF), y en una muestra de 10 plantas con competencia completa tomadas al azar, se determinó el largo de la panoja (LP), excersión (EXC) y altura de planta (APL) en centímetros. Adicionalmente, en la cosecha se hizo una apreciación visual de la formación de grano (FORGRA) mediante calificaciones de uno a cinco, en 10 plantas al azar, mismas que fueron protegidas oportunamente para evitar cruzamientos. La calificación de uno fue para panojas sin fallas aparentes en la formación de grano y la de cinco para panojas sin grano, 100% estériles.

El experimento de Chapingo, Méx., 1978 se sembró el 29 de abril con tamaño de parcela, densidad de población y fertilización igual que en 1976. Además de los datos obtenidos en 1975 y 1976, en 1978 se determinó el área foliar presente en antesis (AFA), en una muestra de 10 plantas por parcela, con un integrador electrónico y se determinaron los días a madurez fisiológica (MF) utilizando como indicador de ésta la capa negra que se forma en la región placental del grano (Eastin *et al.*, 1973).

En las mismas plantas en las cuales se tomó MF, se cuantificó, dos semanas después, el rendimiento biológico (RB, kg h^{-1}) de la parte aérea de las plantas. Con la diferencia MF-DF se calculó el período de llenado del grano (PLLG) de cada variedad. Dividiendo el rendimiento económico (RE) entre RB se calculó el índice de cosecha (IC). La tasa de acumulación de materia seca en el grano, expresada en kg por hectárea y por día del período de llenado del grano se calculó mediante el cociente RE/PLLG, y para el cálculo de esa tasa expresada en kg por hectárea y por cada día del ciclo total se dividió el RE entre los días a madurez fisiológica (DMF). Estos dos últimos índices permiten la comparación del rendimiento de los genotipos eliminando sus diferencias en PLLG y en el ciclo total (Wallace *et al.*, 1972; Mendoza *et al.*, 1984). También se calculó el porcentaje que PLLG representó respecto al ciclo total.

El experimento de Iguala, Gro., se estableció el 8 de enero de 1978. En él se tomaron datos de RE, DF y APL. Con objeto de estimar el efecto de las temperaturas bajas prevalecientes en Chapingo sobre la duración del período siembra-floración, se calculó, para cada genotipo, un índice de insensibilidad al frío (IIF) del período siembra-floración, utilizando los datos de DF obtenidos en Iguala y Chapingo en 1978. Este índice se calculó como $IIF = \frac{1}{DF_{CH} - DF_{IG}} \times 100$; donde DF_{CH}= días a floración en Chapingo, y DF_{IG}= días a floración en Iguala. Entre mayor sea el valor del IIF, mayor será la insensibilidad al frío de un genotipo dado.

En cada experimento solamente se hicieron los análisis de varianza para RE y DF; la comparación entre medias se hizo de acuerdo a la prueba de Tukey (DSH).

RESULTADOS Y DISCUSION

Tolerancia al Frío

Los progenitores tolerantes no tuvieron problemas de esterilidad en Chapingo, Méx., ya que sus calificaciones de formación de grano por autofecundación (FORGRA) fueron de 1.0 en los 3 años (Cuadros 1 y 2), lo que concuerda con lo encontrado por Carballo y Muñoz (1969) y por Muñoz *et al.* (1970).

En esa misma localidad, las fuentes de precocidad y los híbridos comerciales presentaron calificaciones de FORGRA de 3.8 a 5.0 en los experimentos de 1975 y 1976, pero en 1978 variaron desde 1.7 a 5.0 (Cuadros 1 y 2).

La formación parcial de grano de estos genotipos considerados como susceptibles pudiera deberse a un escape parcial al frío, escape que es posible dada la variación anual, estacional y diaria de las temperaturas mínimas. Es decir, que tal vez durante el período susceptible, que según Brooking (1976) y González *et al.* (1986) dura de 10 a 21 días, ocurrieron algunas noches con temperaturas superiores al nivel inductor de androesterilidad, dando como resultado la formación de algunos granos de polen fértiles. Por otro lado, bajo la hipótesis de que la tolerancia al frío es un carácter cuantitativo, como lo proponen Livera y Carballo (1976-1977), Brooking (1979) y González *et al.* (1986), la formación parcial de grano también podría ser una consecuencia de este tipo de herencia, ya que el nivel de tolerancia variaría con el genotipo y con los niveles de temperaturas mínimas.

Las variedades experimentales tolerantes tuvieron también calificaciones de FORGRA variables en los tres experimentos establecidos en Chapingo, Méx., pero siempre fueron iguales o menores a 2.5, indicando que estos genotipos pueden presentar cierto grado de esterilidad, lo cual concuerda con González *et al.* (1986). La explicación de este comportamiento pudiera estar asociada con las posibilidades de escape y/o de tolerancia parciales, aunque problemas relacionados con la funcionalidad de los estigmas también pudieran estar involucrados (Mendoza *et al.*, 1979). Lo anterior indica que las variedades experimentales no alcanzan el nivel de tolerancia de los genotipos do-

Cuadro 1. Rendimiento económico (RE), días a floración (DF) y formación de grano (FORGRA) de genotipos de sorgo evaluados en Chapingo, Méx., 1975 y 1976.

GENOTIPO	RE (kg ha^{-1})		DF		FORGRA	
	1975	1976	1975	1976	1975	1976
Nyundo	1622	11493	126	127	1.0	1.0
Mabere	980	7910	127	134	1.0	1.0
Magune	2829	9682	122	132	1.0	1.0
$\bar{X}$	1811	9695	125	131	1.0	1.0
38 day Milo	26	0	87	83	4.6	5.0
40 day Kafir	10	0	102	88	4.1	5.0
Hegari precoz	256	0	95	104	4.4	4.5
$\bar{X}$	98	0	94	91	4.4	4.8
SVA1	2425	2348	88	89	2.0	1.5
SVA2	3540	5208	93	92	1.5	1.0
SVA3	2241	4197	91	92	1.5	1.5
SVA4	2272	4152	91	95	2.4	2.0
SVA7	2751	4237	93	93	2.2	1.5
SVA8	3554	4727	94	98	1.4	1.0
$\bar{X}$	2798	4145	91	93	1.8	1.4
INIA-Otomí	70	0	122	123	4.2	5.0
NK-125	628	0	101	104	3.8	4.5
DD-50	105	0	109	106	4.6	5.0
$\bar{X}$	268	0	110	111	4.2	4.8
DSH (0.05)	405.8	2596.0	3.2	8.2		
CV (%)	26	28				

Cuadro 2. Rendimiento económico (RE), días a floración (DF), índice de insensibilidad al frío (IIF) y formación de grano (FORGRA) de genotipos de sorgo evaluados en 1978.

GENOTIPO	RE (kg ha^{-1})		DF			FORGRA
	Chapingo	Iguala	Chapingo	Iguala	IIF	Chapingo
Nyundo	12997	1413	113	64	2.0	1.0
Mabere	10474	1655	118	65	1.9	1.0
Magune	11953	1934	118	69	2.0	1.0
$\bar{X}$	11808	1667	116	66	2.0	1.0
38 day Milo	40	1219	76	51	4.0	4.9
40 day Kafir	0	856	91	54	2.7	4.7
Hegari precoz	431	2995	105	52	1.9	5.0
$\bar{X}$	235	1690	90	52	2.6	4.9
SVA1	5083	1202	84	50	2.9	1.7
SVA2	6970	2433	90	56	2.9	1.5
SVA3	4383	1724	89	54	2.8	1.6
SVA4	4860	2418	87	53	2.9	2.0
SVA5	4792	1391	84	52	3.1	1.2
SVA6	5192	1399	83	52	3.2	1.9
SVA7	7178	1469	91	51	2.5	1.6
SVA8	6908	2450	91	55	2.8	1.6
SVA9	6727	1701	89	53	2.8	1.7
SVA10	6750	1464	92	55	2.7	1.4
SVA10 PB	6452	1242	91	55	2.8	1.6
$\bar{X}$	5935	1717	88	53	2.8	1.6
NK125	4190	2542	101	48	1.9	4.6
NK180	3865	3844	103	54	2.0	4.5
DD 50	744	2625	107	56	1.9	5.0
INIA-Otomí	1113	3185	115	56	1.7	4.5
INIA-Náhuatl	8296	3714	109	58	1.8	2.4
$\bar{X}$	3642	3182	109	54	1.8	4.2
DSH (0.05)	2772	1232				
CV (%)	19	23				

nadores de este carácter. En forma preliminar se puede señalar que de las variedades experimentales, SVA2 y SVA8 son los genotipos con mayor grado de tolerancia.

Rendimiento Económico

En el análisis de varianza para rendimiento de grano o económico del experimento establecido en 1975, en Chapingo, Méx., no hubo diferencias significativas entre las combinaciones de fertilización y densidades de población (PG) ni para la interacción de PG x genotipos. En cambio, el efecto de genotipos fue altamente significativo y sus diferencias se pueden observar en el Cuadro 1. También se encontró significancia para la interacción densidad de población x genotipos. Mientras que la variedad SVA2 fue el genotipo que incrementó más su rendimiento al aumentar la población, otras variedades no presentaron incremento alguno y se podría considerar que esta falta de respuesta de algunas variedades experimentales a la densidad de población posiblemente se debió a que el nivel de fertilización 80-40-00 fue bajo. En el caso de los progenitores tolerantes debe mencionarse que en 1975 su rendimiento fue afectado por una helada temprana que se presentó durante su llenado del grano, pero afectó menos a las variedades experimentales por ser más precoces. En los resultados de Chapingo 1976 y 1978 (Cuadros 1 y 2), años en los cuales no hubieron problemas de heladas tempranas, se observa la alta capacidad de rendimiento de las fuentes de tolerancia, de modo que éstas incluso duplican el rendimiento de las variedades experimentales tolerantes. Considerando los riesgos impredecibles de heladas tempranas, es evidente la ventaja de la mayor precocidad en las variedades tolerantes.

Con relación a las fuentes de precocidad y los híbridos comerciales, su rendimiento observado en polinización libre (PL) en Chapingo 1975 y 1976 fue muy bajo, en concordancia con su calificación de FORGRA bajo autofecundación. Sin embargo, en Chapingo 1978 los altos rendimientos observados en PL en la mayoría de los sorgos susceptibles se contraponen a sus bajas calificaciones de FORGRA que indican que la producción de grano en plantas autofecundadas fue pobre, lo que sugiere que en ese año debió ocurrir un alto grado de polinización cruzada con polen de genotipos tolerantes. La fecundación de estigmas de genotipos susceptibles por polen de

genotipos tolerantes se demuestra por el comportamiento del híbrido DD50 (Cuadro 2) que en autofecundación resultó completamente estéril en Chapingo 1978, pero bajo PL tuvo una producción de grano de 744 kg ha^{-1}. Un caso excepcional en Chapingo 1978 lo mostró el híbrido INIA-Náhuatl que sólo tuvo un 50% de formación de grano bajo autofecundación pero que en PL logró rendir 8000 kg ha^{-1}; es posible que en este híbrido se hayan combinado efectos de escape con tolerancia parcial al frío, y que a su vez las temperaturas bajas no hayan impedido una adecuada exposición de estigmas funcionales, que en ocasiones, dependiendo del genotipo, puede verse afectada total o parcialmente por el frío (Livera *et al.*, 1978).

En el Cuadro 2 se muestran los rendimientos que en 1978 presentaron los genotipos en Iguala, Gro., y en Chapingo, Méx.; el híbrido R1010 se eliminó del análisis por su baja germinación. Se observa que tanto los progenitores tolerantes como las variedades tolerantes experimentales presentaron un rendimiento mayor en Chapingo; en cambio las fuentes de precocidad presentaron su mayor rendimiento en Iguala, Gro., localidad subtropical donde no se presentan temperaturas tan bajas como en Chapingo. De los híbridos comerciales se observa que INIA-Otomí y DD50 presentaron un rendimiento mayor en Iguala que en Chapingo; mientras que los otros tres, NK125, NK180 e INIA-Náhuatl, a pesar de presentar un alto grado de esterilidad en Chapingo, en ese ambiente y en ese año presentaron rendimientos altos bajo polinización libre, seguramente a causa del cruzamiento con polen de genotipos tolerantes, tal como se ha mencionado antes.

Precocidad e Insensibilidad

Considerando como índice de precocidad los días a la floración (DF), los progenitores tolerantes y los híbridos INIA-Otomí e INIA-Náhuatl fueron los genotipos más tardíos en Chapingo (Cuadros 1 y 2). Respecto a los tres genotipos que en el inicio del mejoramiento por tolerancia al frío se utilizaron como fuentes de precocidad, se puede observar (Cuadros 1 y 2) que 38 day Milo fue el más precoz en Chapingo; por lo cual 40 day Kafir y Hegari precoz, que fueron relativamente tardíos, no debieran seguirse considerando como donadores de precocidad. Respecto a las variedades experimentales, en los mismos cuadros puede observarse que presentan un número de DF intermedio

entre los de 38 day Milo y el de los progenitores tolerantes, siendo la más precoz la variedad SVA1. Considerando los días a madurez fisiológica (DMF), en el Cuadro 3 se observa que 38 day Milo fue el progenitor más precoz, pero no obstante las diferencias en DF entre 38 day Milo y las variedades experimentales, la mayoría de éstas tuvieron un ciclo total similar al de 38 day Milo pues este genotipo tuvo un PLLG más largo (46% de la duración de su ciclo total) que el de las variedades experimentales (cuyos PLLG en promedio fueron equivalentes al 36% del ciclo total, Cuadro 3). El período de llenado de grano relativamente largo de 38 day Milo también ha sido observado por otros investigadores (Sorrels y Myers, 1982). Los híbridos comerciales, las otras fuentes de precocidad y los progenitores tolerantes presentaron un ciclo más largo.

En el Cuadro 2 se observa que en 1978, algunos genotipos aumentaron sus DF en mayor proporción que otros al comparar Iguala con Chapingo, aunque en Iguala hayan tenido precocidades (DF) similares. Los genotipos que prolongan menos su período siembra-floración por efecto del frío han sido denominados insensibles (Livera y Carballo, 1976-1977). En este sentido, en el Cuadro 2 se observa que el genotipo con mayor índice de insensibilidad al frío (IIF) bajo las condiciones que se presentaron en Iguala y Chapingo en 1978, fue 38 day Milo con 4.0, seguido por las variedades experimentales tolerantes (TF) y Kafir que variaron de 3.2 a 2.5; finalmente los progenitores TF y los híbridos comerciales y el Hegari precoz mostraron los IIF más pequeños (de 1.7 a 2.1).

Los resultados muestran que hay respuestas genotípicas diferentes al efecto de las temperaturas bajas sobre la duración del período siembra-floración. González (1977) explica la insensibilidad al frío (IF) como una respuesta a la interacción entre la temperatura y las diferencias genéticas en tolerancia al frío, pues encontró que la incidencia de temperaturas altas en genotipos susceptibles o de temperaturas bajas en genotipos tolerantes al frío promueven la iniciación floral y señala que, proporcionalmente, las temperaturas bajas retrasan más la iniciación floral de los sorgos susceptibles que la de los tolerantes.

El control genético del fotoperiodismo en sorgo está relativamente bien definido (Quinby, 1973). Sin embargo, éste no es el caso cuando se

Cuadro 3. Promedios de días a madurez fisiológica (DMF), período de llenado de grano (PLLG), rendimiento por día del ciclo biológico (RE/DMF) y por día de PLLG (RE/PLLG) e índice de cosecha (IC) de los genotipos evaluados en Chapingo, Méx., 1978.

GENOTIPO	DMF	RE/DMF ($kg\ ha^{-1}d^{-1}$)	PLLG (días)	PLLG/DMF (%)	RE/PLLG ($kg\ ha^{-1}d^{-1}$)	IC (%)
Nyundo	166	78	52	32	248	37
Mabere	177	59	60	34	173	32
Magune	174	69	56	32	213	34
$\bar{X}$	172	69	56	33	211	34
38 day Milo	136	0	63	46	0	9
40 day Kafir	144	0	56	38	0	4
Hegari precoz	163	3	60	37	7	5
$\bar{X}$	147	1	60	40	2	6
SVA1	136	37	54	39	94	53
SVA2	137	51	47	34	150	47
SVA3	137	32	48	35	91	45
SVA4	137	35	52	38	93	55
SVA5	137	35	54	39	89	47
SVA6	138	38	55	40	95	51
SVA7	139	52	48	34	151	42
SVA8	142	49	51	36	135	44
SVA9	138	49	49	35	137	43
SVA10	143	47	52	36	129	53
SVA10 PB	143	45	50	35	128	46
$\bar{X}$	139	43	51	36	117	47
NK 125	160	26	60	37	70	30
NK 180	155	25	55	35	71	22
DD 50	167	4	60	36	12	6
INIA-Otomí	180	6	66	36	17	5
INIA-Náhuatl	180	46	62	35	133	34
$\bar{X}$	168	22	61	36	61	19

consideran las respuestas a la temperatura en términos de días a la iniciación floral y días a la floración; además existe interacción entre fotoperíodo y temperatura en ambas etapas de desarrollo (Caddel y Weibel, 1971). No obstante, se ha sugerido que a medida que el fotoperíodo se vuelve menos importante en el control de esas etapas de desarrollo la influencia de la temperatura puede volverse más importante (Eastin y Lee, 1985), considerándose que los Valles Altos mexicanos, más cercanos al ecuador que las áreas sorgueras de E.U., podría ser uno de estos casos. Es decir, es posible que en ambientes fríos como Chapingo y Toluca, Méx. (2240 y 2600 m de altitud) el control de la precocidad (DF) no sea exclusivo de los genes que determinan la respuesta al fotoperíodo, planteándose la posibilidad de que existan genes de insensibilidad al frío en el período siembra-floración.

Al respecto, se ha encontrado que mientras que 38 day Milo es foto-insensitivo (Quinby, 1974), SVA2 y SVA8 son foto-sensibles (datos no publicados de M. Livera M. y J.D. Eastin), por lo cual sería muy útil emprender estudios para determinar si reduciendo ó eliminando la respuesta al fotoperíodo se puede ganar precocidad en ambientes con incidencia de temperaturas como las de Chapingo.

Dado que los resultados muestran que un genotipo puede ser precoz en Iguala pero no tener alta IF ni ser tolerante (p. ej. 48 day Kafir), asimismo que un genotipo tolerante no necesariamente es precoz (p. ej. Nyundo) o con alta IF, se puede inferir que la IF, la precocidad (tomando como índice los DF) y la tolerancia al frío, son tres caracteres independientes, los cuales deberán ser conjuntados en los nuevos genotipos tolerantes cuyo desarrollo se ajuste a la estación de crecimiento que normalmente existe en las áreas para las cuales se desean generar.

De estas consideraciones y los presentes resultados se puede deducir que en las variedades tolerantes aquí estudiadas se han conjuntado las características de precocidad y de IF de 38 day Milo y la tolerancia al frío de Nyundo y Mabere, ya que fueron derivadas de cruzas entre éstos, aunque es claro que aún hay lugar para derivar mejores genotipos.

Parámetros Fisiotécnicos

En el Cuadro 3 se puede apreciar que Nyundo superó a todos los demás genotipos en la tasa de acumulación de MS en el grano, expresada tanto en función del período de llenado de grano como del ciclo completo. Sin embargo, las variedades tolerantes experimentales presentaron un índice de cosecha superior al de los progenitores tolerantes y, desde luego, superior al de los susceptibles.

Comparando las tres fuentes de tolerancia, en 1978 Nyundo presentó el mayor rendimiento, el menor ciclo (DMF), el menor período de llenado del grano (PLLG), el mayor rendimiento por día de PLLG, el mayor IC y el mayor rendimiento por día de su ciclo. Por lo tanto se le considera como un genotipo sobresaliente, ya que además de su tolerancia al frío tiene alta capacidad de rendimiento.

Acerca de las características agronómicas de los genotipos estudiados (Cuadro 4), hay que señalar que se han considerado como características deseables el porte bajo, panoja y granos grandes y buena excersión, que son características que reunen la mayoría de los híbridos comerciales. En contraste, las fuentes de tolerancia presentaron el porte más alto, la mayor área foliar y prácticamente no tuvieron excersión. Las fuentes de precocidad también mostraron características indeseables como son panoja pequeña y escasa área foliar. Los resultados indican que las variedades tolerantes experimentales no tenían de donde heredar tales características agronómicas favorables, de manera que están en desventaja respecto a los híbridos comerciales en cuanto al tamaño de la panoja y del grano. Además, su menor número de hojas en combinación con hojas más cortas y más angostas que las de los híbridos comerciales y progenitores tolerantes, ocasionó que tales variedades presentaran un área foliar reducida en la antesis (AFA), la cual fue aproximadamente 1/3 de la que tuvieron los progenitores tolerantes. Sin embargo, si se tiene en cuenta la mayor eficiencia de estas variedades en la acumulación de fotosintetizados en el grano, representada por un IC mayor, se puede suponer que bajo un manejo agronómico diferente al de las evaluaciones aquí realizadas, se incrementaría su rendimiento, pues con sólo la tercera parte del área foliar de los progenitores tolerantes, las variedades rindieron la mitad de lo que ellos producen.

Los resultados de estos experimentos demuestran que las variedades experimentales tolerantes al frío (VETF), en comparación con los progenitores tolerantes con que se inició su mejoramiento, presentaron dos importantes ventajas: una mayor precocidad, ya sea considerando los días a la floración ó el ciclo vegetativo completo, y una mayor eficiencia en la acumulación de fotosintetizados en el grano. Sin embargo, los resultados también demuestran que en las VETF no se recuperó el nivel de tolerancia al frío ni de rendimiento de sus progenitores donadores de estos caracteres y tampoco la insensibilidad al frío mostrada por 38 day Milo, lo cual deja abierta la posibilidad de avanzar en la obtención de mejores genotipos con un ciclo total corto en donde, por ejemplo, se conjuguen un menor período siembra-floración y un mayor período de llenado de grano en relación al ciclo total, tal y como sucede en 38 day Milo.

Cuadro 4. Medias de algunas características fenotípicas* de genotipos tolerantes y de genotipos susceptibles al frío evaluados en Chapingo, Méx., en 1975, 1976 y 1978.

GENOTIPO	Altura de planta (cm)	Longitud de panoja (cm)	Excersión (cm)	Area foliar en antesis (cm^2/planta)
Nyundo	178	14.0	0.2	2947
Mabere	196	14.5	0.5	3129
Magune	256	13.0	0.8	3006
$\bar{X}$	210	14.1	0.5	3028
38 day Milo	71	12.3	3.8	278
40 day Kafir	67	11.9	6.1	301
Hegari precoz	111	14.0	9.2	884
$\bar{X}$	83	12.7	6.4	487
SVA1	101	15.5	9.1	792
SVA2	104	18.3	7.0	1038
SVA3	113	18.9	12.6	893
SVA4	104	15.9	5.5	972
SVA7	108	13.0	5.9	829
SVA8	109	16.4	6.6	1086
$\bar{X}$	106	16.3	7.8	935
INIA-Otomí	93	17.9	7.1	1544
NK 125	91	19.3	11.5	1411
DD 50	95	17.4	11.8	1378
$\bar{X}$	93	18.2	10.1	1444

* Promedios de 10 plantas/año.

Por otro lado, si bien es cierto que los rendimientos de las VETF en Chapingo pueden considerarse como promisorios, hay que tener en cuenta que éstos fueron obtenidos en siembras tempranas con riegos de auxilio hasta el inicio del temporal (principios de junio). Cuando estas VETF se siembran exclusivamente bajo condiciones de temporal corren un alto riesgo de ser muertas por las heladas tempranas antes de alcanzar su madurez fisiológica y, en consecuencia, de producir un rendimiento de grano muy bajo ó nulo.

Por todo lo anterior, en el futuro habrá que obtener genotipos tolerantes con un ciclo de 120-130 días, tanto para el Valle de México como para localidades con mayor altitud. Desde un punto de vista genético-fisiológico, tal parece que es posible obtener mejores genotipos que los actuales, conjuntando mayor insensibilidad al frío, precocidad y tolerancia al frío; para lo cual se debe explotar el vigor híbrido, la herencia transgresiva, nuevas fuentes de tolerancia e insensibilidad al frío, etc, así como mejorar la calidad del grano.

Finalmente, no hay que desconocer que en caso de obtener estos genotipos de sorgo, tanto la posible adopción de ellos como su efecto en la economía campesina, dependerá de factores socio-culturales, económicos y políticos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca para los estudios de Maestría del primer autor. Al Sr. Tomás Navarrete, Sr. Manuel Méndez, Ing. M.C. Enrique Romo C. e Ing. Juan Cañedo por su colaboración en la toma de datos de campo. A los Dres. Víctor A. González H. y Leopoldo E. Mendoza O., por su revisión, discusión y sugerencias al manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

Brooking, I.R. 1976. Male sterility in *Sorghum bicolor* (L.) Moench by low night temperature. I. Timing of the stage of sensitivity. Aust. J. Plant Physiol. 3: 589-596.

Brooking, I.R. 1979. Male sterility in *Sorghum bicolor* (L.) Moench induced by low night temperature. II. Genotypic differences in sensitivity. Aust. J. Plant Physiol. 6: 143-147.

Caddel, J.L. y D.E. Weibel. 1971. Effect of photoperiod and temperature on the development of sorghum. Agron. J. 63: 799-803.

Carballo C., A. y M. Livera M. 1978. Primeras variedades de sorgo tolerantes al frío obtenidas por el INIA. En: Memorias de la Reunión Internacional de Sorgo. 6-11 de marzo, 1978. Buenos Aires, Argentina. p. 464-67.

Carballo C., A. y A. Muñoz O. 1969. Resultados y proyecciones del programa de Maíz y sorgo para la Mesa Central. Informe de resultados del Campo Exp. Chapingo. CIAMEC-INIA. (Mimeografiado).

Downes, R.W. 1972. Effect of temperature on the phenology and grain yield of *Sorghum bicolor*. Austr. J. Agr. Res. 23: 585-594.

Downes, R.W., y D.R. Marshall. 1971. Low temperature induced male sterility in *Sorghum bicolor*. Austr. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 11: 352-356.

Eastin, J.D., y Kit-Wah Lee. 1985. *Sorghum bicolor*. En: Handbook of flowering. Vol. IV. A.H. Halevy (ed). CRC Press. p. 367-375.

Eastin, J.D., J.H. Hulquist, y C.Y. Sullivan. 1973. Physiological maturity in grain sorghum. Crop Sci. 13: 175-178.

González H., V.A. 1977. Efecto de la temperatura sobre el desarrollo y el crecimiento del sorgo para grano (*Sorghum bicolor*, Moench). Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo, Méx.

González H., V.A., L. Soltero D. y A. Carballo C. 1986. Efecto del frío sobre el desarrollo del polen en el sorgo. Agri. Téc. Méx. (en prensa).

Livera M., M. y A. Carballo C. 1974. Selección estratificada en sorgo. Resúmenes del V. Congreso CIAMEC-INIA. Oaxtepec, Mor. (Mimeografiado).

Livera M., M. y A. Carballo C. 1976-77. Mejoramiento genético del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) por tolerancia al frío. Adaptación de genotipos tolerantes. Agric. Téc. Méx. (4): 77-99.

Livera M., M., A. Carballo C., y M. Mendoza R. 1978. "La androesterilidad ecológica" y su aprovechamiento en el mejoramiento genético y en la producción de híbridos de sorgo. En: Resúmenes de la Reunión Internacional de Sorgo, Marzo de 1978. Buenos Aires, Argentina.

Mendoza R., M., M. Livera M. y A. Carballo C. 1979. Híbridos ecológicos de sorgo. Chapingo, Nueva Epoca. 20: 9-17.

Mendoza O., L.E., J. Osuna O. y J. Ortíz C. 1984. Criterios agronómicos y fisiotécnicos en la evaluación de genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tolerantes al frío. Agrociencia 55: 115-126.

Muñoz O., A., A. Carballo C. y J. Ortíz C. 1970. Mejoramiento de sorgo de grano para los Valles Altos de México. VIII. Congreso de ALAF. 22-28 de noviembre. Bogotá, Colombia. (Mimeografiado).

Muñoz O., A., V.A. González H. y A. López H. 1972. Avances del mejoramiento de sorgo para temporal en los Valles Altos. Informe del Programa de Maíz y Sorgo del Campo Exp. Chapingo. CIAMEC-INIA.

Ortíz C., J. y A. Carballo C. 1972. La problemática del mejoramiento del sorgo de grano para los Valles Altos de México. Anais do I Simposio Interamericano de Sorgo. Brasilia, D.F. Brasil.

Quinby, J.R. 1973. The genetic control of flowering and growth in sorghum. En: Advances in Agronomy. Brady, N.C. (ed). American Soc. of Agronomy, Madison, p. 125-162.

Quinby, J.R. 1974. Sorghum improvement and genetics of growth. Texas A&M Univ. Press, College Station.

Romo C., E. y A. Carballo C. 1980. Características de tres variedades de sorgo para los Valles Altos. Circular CIAMEC Núm. 130 del Inst. Nal. de Invest. Agrícolas. México.

Sorrels, M.E. y O. Myers Jr. 1982. Duration of developmental stages of 10 Milo maturity genotypes. Crop Sci. 22: 310-314.

Wallace, D.H., J.L. Ozbun, y H.M. Munger. 1972. Physiological genetics of crop yield. Adv. Agron. 24: 97-146.