

LA INVESTIGACION FISIOTECNICA EN MAIZ DE TEMPORAL EN AGUASCALIENTES

Salvador Martín del Campo Valle, Alfonso Peña Ramos
y Ricardo J. Zapata Altamirano¹

INTRODUCCION

La importancia del maíz (*Zea mays* L.) en México radica en que es el cultivo que ocupa mayor superficie sembrada y es la base fundamental de la dieta del pueblo mexicano, sobre todo en el medio rural donde su consumo supera los 150 kg anuales per cápita y el rastrojo es usado en el mantenimiento de la ganadería de corral que predomina en muchas regiones agrícolas.

El maíz en México se cultiva desde el nivel del mar hasta los 3,500 m de altitud, como ocurre en algunas regiones de los Valles Altos de la Mesa Central, bajo una amplia gama de condiciones ambientales y de manejo (Ortiz, 1990).

En el Altiplano de los estados de Durango, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Jalisco y Guanajuato, cuyas elevaciones van de los 1,900 a los 2,100 msnm, se siembran bajo temporal más de un millón de hectáreas de maíz. En estos lugares, la escasa precipitación, lo errático de su distribución y la poca capacidad de retención de humedad de los suelos, limitan hasta en 70% las posibilidades de cosechar grano (Luna y Zapata, 1988). Esta, es sin duda, una de las regiones donde la sequía

causa los daños más severos; no obstante, el maíz sigue siendo el cultivo que más se siembra. Dentro de ella, el programa de mejoramiento del maíz del INIFAP en Aguascalientes, ha elegido la localidad de El Llano por sus excelentes condiciones para seleccionar genotipos con mayor adaptación a la sequía.

El objetivo del presente trabajo es presentar algunos resultados de la investigación fisiotécnica en maíz de temporal realizada en los últimos 10 años por el INIFAP en Aguascalientes en apoyo a la producción de maíz de temporal del Altiplano de México.

CARACTERIZACION AGROCLIMATICA

Dada la importancia que tiene la caracterización de áreas uniformes en la planeación agronómica de cultivos, se procedió a caracterizar el Estado de Aguascalientes desde el punto de vista agroclimático para identificar regiones relevantes para la producción con condiciones ambientales homogéneas.

En esa regionalización se analizó la información de 24 estaciones climatológicas de un total de 42 que existen en el estado, determinando y utilizando las variables siguientes:

¹ Investigadores del Programa de Maíz del INIFAP-CIFAP-AGS. Apdo. Postal 20. C.P. 20660, Pabellón, Ags.

1) Duración de la estación de crecimiento (EC); 2) Precipitación pluvial (PP) durante la EC; 3) Índice de humedad [PP/evapotranspiración potencial (ETP)] durante la EC; 4) Unidades calor (UC) durante la EC y 5) Período libre de heladas.

En el Cuadro 1 se presenta la información sobre el uso del suelo en el Estado, donde resalta la importancia de los agostaderos para la ganadería y la superficie agrícola.

Cuadro 1. Distribución del uso actual del suelo en el Estado de Aguascalientes.

Uso	Sup. (ha)
Agricultura de riego	55,547
Agricultura de temporal	116,380
Agostadero	284,380
Bosques	77,491
Improductivas	14,566
<u>Fundo legal</u>	<u>10,618</u>
Total	558,900

En la Figura 1 se aprecia la regionalización obtenida mediante la interposición de las variables indicadas. Destacan para el área de temporal de El Llano las regiones 1 y 6 que se caracterizan por tener una estación de crecimiento del orden de los 80 días, un índice de humedad (PP/ETP) < 0.5 , y UC que van de 500 a 1000. De estos resultados resalta la necesidad de trabajar, por un lado, hacia mayor precocidad, y por otro, para resistencia a la sequía.

BALANCE HÍDRICO

Como parte de la propia regionalización agroclimática, se procedió a calcular los balances hídricos en las estaciones climato-

lógicas ubicadas en las áreas de temporal para determinar la disponibilidad de humedad en función de la ETP e identificar los períodos de sequía que coinciden con etapas fenológicas críticas del maíz de temporal. En la Figura 2 se presenta como ejemplo, el balance hídrico obtenido en la Estación Experimental de Sandoval, en El Llano de Aguascalientes, observándose que al inicio del temporal se registran los eventos lluviosos más altos y posteriormente la cantidad de lluvia va disminuyendo hacia el final del ciclo de los cultivos, con un período seco intermedio (canícula), el cual, dependiendo de su extensión, es la causa de los índices de siniestralidad tan altos (70 %) que se registran en el área de estudio (CIFAP/AGS, 1987). Sin embargo, la sequía predominante es del tipo terminal, la cual afecta principalmente el llenado del grano del maíz.

ENFOQUE DE LA INVESTIGACION

La investigación en el área de fisiotecnia del maíz de temporal en el Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Aguascalientes tiene los objetivos siguientes:

- a) Apoyar al mejoramiento genético;
- b) Aprovechar racionalmente los recursos del medio;
- c) Disminuir los riesgos por sequía;
- d) Aumentar la eficiencia en el uso del agua,
- y e) Incrementar la resistencia a la sequía del maíz.

La sequía es el factor que limita en mayor proporción la producción de maíz en la región Norte-Centro de México y el mejoramiento genético es una opción muy importante para extender los beneficios de la resistencia a la sequía de esta especie en la región.

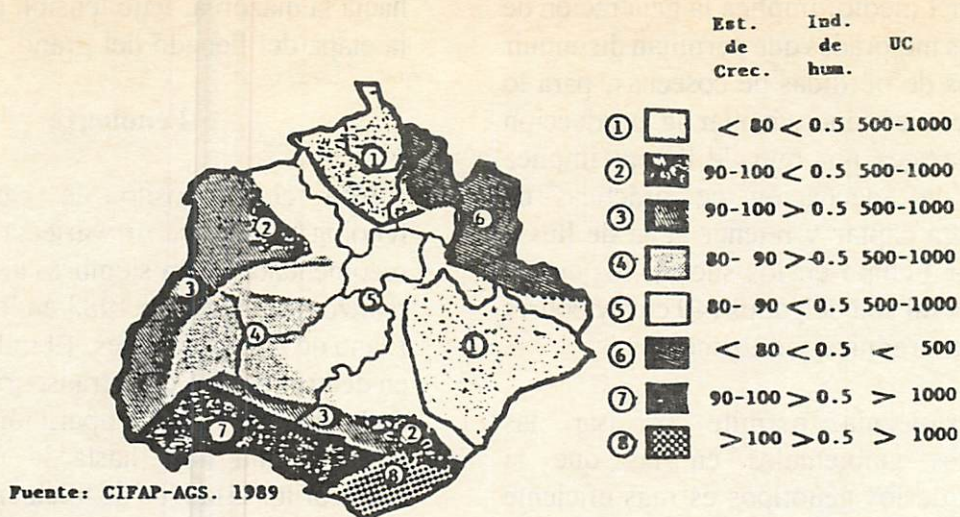


Figura 1. Área de ambiente homogéneo con base en estación de crecimiento, índice de humedad y unidades calor a un 60% de probabilidad, en Aguascalientes.

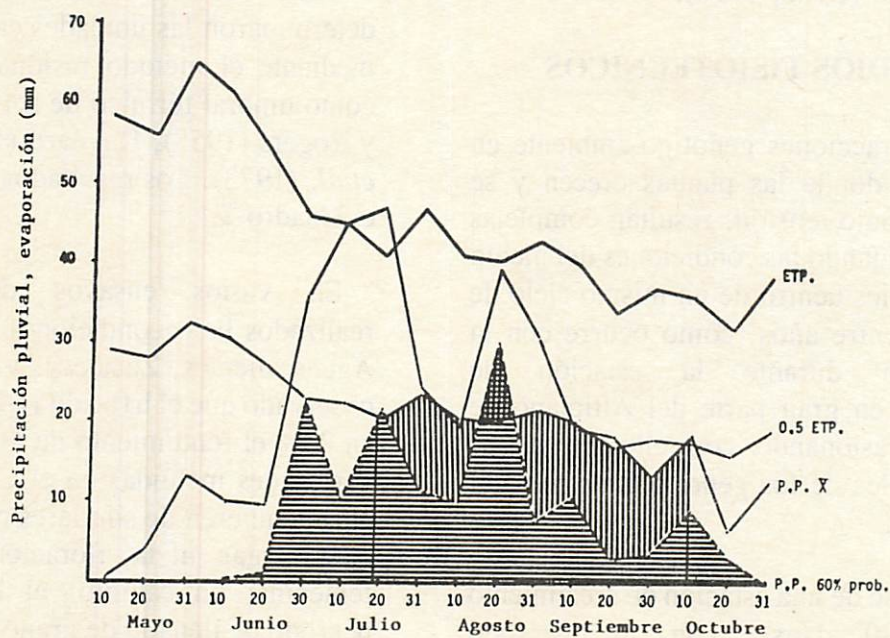


Figura 2. Balance hídrico de la Estación Experimental de Sandoval, Ags.

El aprovechamiento racional de los recursos del medio, implica la generación de variedades mejoradas que permitan disminuir los riesgos de pérdidas de cosechas, para lo cual se requiere incrementar la producción de materia seca por mm de lluvia; implica también, la adecuación de prácticas de cultivo para captar y retener agua de lluvia por mayor tiempo en los suelos, los cuales por lo general son delgados (40 cm) y pobres en materia orgánica y nutrimentos.

La Fisiotecnia permite precisar las condiciones ambientales en las que la expresión de los genotipos es más eficiente al realizar selección bajo condiciones limitantes de humedad. La investigación fisiotécnica también permite explicar con mayor profundidad los incrementos del rendimiento de los genotipos sobresalientes y considerar criterios de eficiencia productiva, además del propio rendimiento, en los diferentes pasos de los esquemas de mejoramiento (Ortiz, 1990).

ESTUDIOS FISIOTECNICOS

Las interacciones genotipo-ambiente en condiciones donde las plantas crecen y se desarrollan bajo tensión, resultan complejas y más aún, cuando las condiciones del medio no son estables dentro de un mismo ciclo de cultivo, ni entre años, como ocurre con la precipitación durante la estación de crecimiento en gran parte del Altiplano de México, ocasionando con ello respuestas muy inestables de los genotipos respecto al rendimiento.

Por tratarse de una estación de crecimiento corta (80-90 días), con un período intraestival seco y con predominio de una sequía terminal, los programas de mejoramiento genético se enfocan a la obtención de genotipos con alta eficiencia en

su capacidad de translocación de asimilados hacia la mazorca, bajo tensión por sequía en la etapa del llenado del grano.

Fenología

Con el propósito de caracterizar la fenología de cuatro variedades de maíz recomendadas para siembras de temporal, se realizó un estudio en 1983 en la región de El Llano de Aguascalientes. El trabajo consistió en determinar los días transcurridos después de la siembra hasta la aparición de la lígula de la quinta hoja hasta la última, y en alcanzar los estadios de iniciación floral (IF) y madurez fisiológica (MF). Esta última fue determinada con base en la aparición de la "capa negra" que describieron Daynard y Duncan (1969) por su importancia con relación al período efectivo de llenado del grano, al cual también hicieron referencia Daynard *et al.* (1971) y Goldsworthy (1974).

Para cada etapa fenológica, se determinaron las unidades calor acumuladas mediante el método residual usando 10 °C como umbral térmico de acuerdo a Gilmore y Rogers (1958), Daynard (1972) y Duncan *et al.* (1973). Los resultados se presentan en el Cuadro 2.

En varios ensayos de rendimiento realizados bajo condiciones de temporal en Aguascalientes, Zacatecas y Durango, se ha observado que el híbrido H-204 supera hasta en 20% el rendimiento de grano de las otras variedades incluidas en el Cuadro 2. Todas ellas requieren de similares números de días para llegar a la floración masculina y femenina; en cambio, el H-204 tuvo un período de llenado de grano más amplio, ya que alcanzó la madurez fisiológica hasta los 112 días después de la siembra, mientras que el resto la alcanzaron a los 103 días. Por otra parte, ese híbrido presentó 15 hojas

Cuadro 2. Días transcurridos y unidades calor (UC) acumuladas, desde la siembra hasta los diferentes estadios fenológicos, en 4 variedades de maíz de temporal.

Variedad	Etapas fenológicas				Aparición de hojas liguladas						
	IF	FM	FF	MF	5	10	11	12	13	14	15
Días											
H-204	24	65	66	112	28	55	58	60	62	64	67
VS-202	24	66	66	103	27	51	53	55	58	60	
VS-203	24	63	63	103	28	52	54	55	57		
Compuesto											
Criollo	24	63	63	103	28	50	52	53	54		
Unidades calor											
H-204	236	582	591	963	273	496					600
VS-202	236	591	591	806	264	465				535	
VS-203	236	563	563	896	273	473			512		
Compuesto											
Criollo	236	563	563	896	273	458			488		

contra 14 de VS-202 y 13 de VS-203 y del Compuesto de Criollos, lo que puede ser un indicio de que el H-204 mantiene una mayor capacidad fotosintética, sobre todo en años como 1983 donde se registraron 376 mm de lluvia durante el ciclo de cultivo, sin que hubiera tensiones notables por sequía.

Profundidad del suelo

En las áreas temporaleras del Altiplano, el efecto de la sequía es más severo sobre los cultivos, porque además de que la precipitación es escasa y mal distribuida, se tienen suelos de poca profundidad (40 cm o menos) con reducida capacidad para retener la humedad de las lluvias. Estos niveles ambientales plantean dudas acerca del uso agrícola de esas áreas.

Durante el verano de 1985, se estableció un trabajo en ese mismo Campo Experimental con el propósito de evaluar la respuesta de tres cultivos: maíz, frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y mijo proso (*Panicum miliaceum* L.), en tres profundidades de suelo: 20, 40 y 80 cm.

La precipitación ocurrida desde la siembra (4 de julio) hasta la madurez fisiológica de los cultivos (octubre) fue de 255 mm, considerada normal para estas áreas. Los registros de humedad de las diferentes profundidades del suelo reflejaron mayores porcentajes de humedad en los suelos más profundos, tal como se esperaba, lo cual repercutió en el rendimiento económico de maíz y frijol pero no tuvo efecto en el mijo proso (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento de grano (kg/ha) de tres especies establecidas en suelos con diferente profundidad del perfil, que recibieron 255 mm de lluvia durante la estación de crecimiento.

Prof. suelo (cm)	Cultivo		
	Maíz	Frijol	Mijo proso
20	224 b ¹	1090 b	789 a
40	185 b	954 b	858 a
80	1434 a	1294 a	967 a

¹ Medias con la misma letra son estadísticamente iguales dentro de cada especie (DMS, 0.05).

Los resultados anteriores reflejan que no sólo la escasa y errática precipitación es la causa de las bajas producciones agrícolas en áreas de temporal, sobre todo en maíz, ya que con la misma precipitación se tuvo una diferencia de más de 1200 kg/ha de grano entre el suelo de 80 y el de 20 cm de profundidad. Además, se aprecia que el rendimiento del frijol y del mijo proso fueron poco afectados, sobre todo en suelos menos profundos. En consecuencia, estas dos especies deben considerarse en trabajos de regionalización para ubicar cultivos que se adapten mejor a condiciones ambientales que combinan tanto problemas de precipitación limitada como de suelos delgados.

ESTUDIOS DE APOYO AL MEJORAMIENTO GENETICO DEL MAIZ

La Fisiotecnica ha servido de apoyo al mejoramiento genético para resistencia a sequía del maíz en las zonas semiáridas del Norte-Centro de México, especialmente en

los trabajos desarrollados por el INIFAP en el Campo Experimental de Pabellón. En este caso se han empleado dos condiciones ambientales durante el proceso de selección, cuyos objetivos son:

1. Determinar la condición ambiental más eficaz para llevar a cabo la selección.

2. Seleccionar una población con genes para resistencia a la sequía que sirva de fuente de plasma germinal a otros programas de mejoramiento genético similares.

3. Obtener variedades con mayor capacidad de adaptación a la sequía y que mantengan un rendimiento más estable en condiciones limitantes de humedad.

Las condiciones bajo las cuales se ha llevado a cabo la selección son:

a) **Condiciones críticas (CC).** Consisten en limitar el agua a los genotipos, principalmente durante la floración y parte del llenado del grano; sembrar a una mayor densidad (55 mil pl/ha) respecto a la que normalmente se establece en temporal (40 mil pl/ha) a fin de generar un mayor esfuerzo competitivo, y aplicar dosis bajas de N, P (20-20).

b) **Condiciones favorables (CF).** Consisten en no limitar el agua aplicada, realizando la selección bajo condiciones de riego; establecer una densidad de población de 40 mil pl/ha y fertilizar con el tratamiento 40-40 para N y P, respectivamente.

En 1981 se inició el proyecto utilizando el criollo de maíz Zacatecas-218 aplicando cuatro ciclos de selección masal bajo las dos condiciones ambientales descritas. Posteriormente se aplicaron cuatro ciclos más de selección familiar modificada.

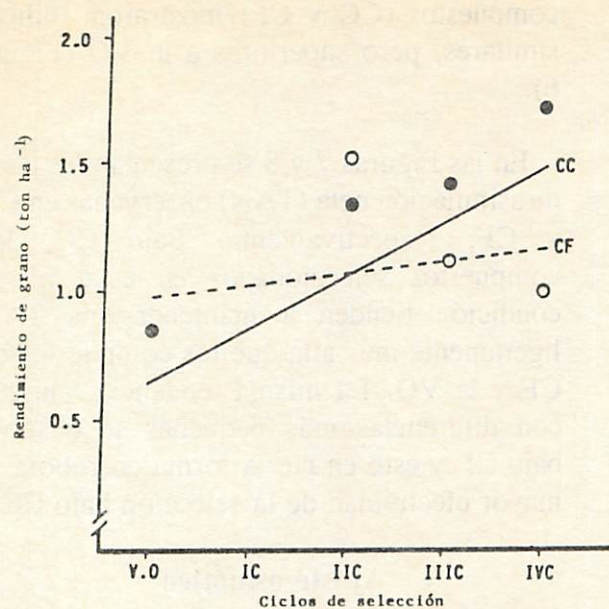


Figura 3. Respuesta a la selección de compuestos derivados de Zac-218 y evaluados bajo CC.

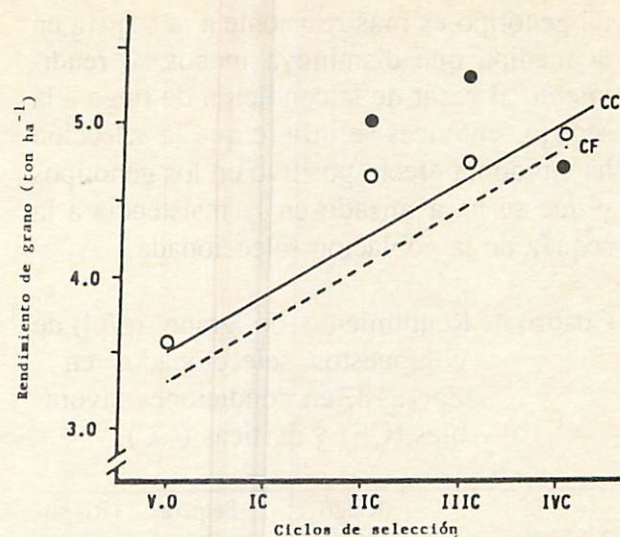


Figura 4. Respuesta a la selección de compuestos derivados de Zac-218 evaluados bajo CF.

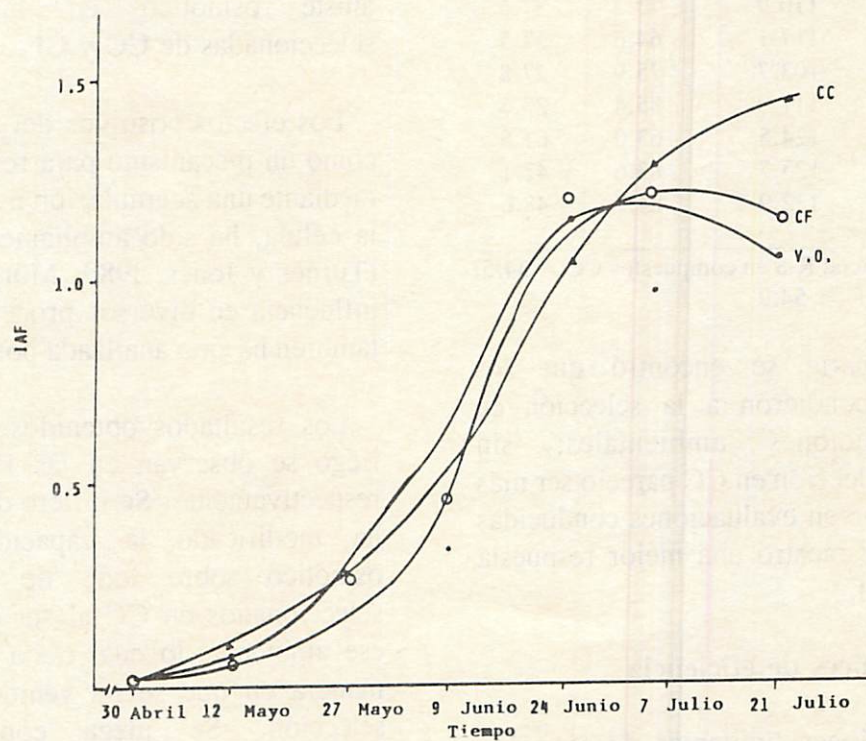


Figura 5. Índice de Área foliar en compuestos derivados de Zac-218, evaluados bajo CC.

Uno de los efectos más notables que tuvo la selección en CC, fue la reducción del diferencial (riego-sequía) como se puede apreciar en el Cuadro 4. Si se considera que un genotipo es más resistente a la sequía en la medida que disminuya menos su rendimiento al pasar de la condición de riego a la sequía, entonces se infiere que la selección ha tenido un efecto positivo en los genotipos y que se ha avanzado en la resistencia a la sequía de la población seleccionada.

Cuadro 4. Rendimiento de grano (g/pl) de compuestos seleccionados en Zac-218, en condiciones favorables (CF) y críticas (CC).

Población	Riego (CF)	Sequía (CC)	(Riego-sequía)
Zac-218 (Orig.)	107.6	55.2	52.4
ICSMCC	98.5	59.2	39.3
IICSMCC	110.9	73.3	37.6
IICSMCF	117.1	64.6	52.5
IIICSMCC	103.7	75.9	27.8
IVCSMCC	111.0	85.4	25.6
IVCSMCF	124.5	63.0	61.5
ICSFCC	125.7	83.6	42.1
ICSFCF	132.9	84.7	48.6

Media del diferencial R-S en compuestos CC = 34.5; en compuestos CF = 54.2.

Por otra parte se encontró que los genotipos respondieron a la selección en ambas condiciones ambientales; sin embargo, la selección en CC pareció ser más eficiente ya que en evaluaciones conducidas bajo CC y CF mostró una mejor respuesta (Figuras 3 y 4).

Indices de eficiencia

Bajo condiciones limitantes de agua los compuestos seleccionados en CC tuvieron índices de área foliar (IAF) mayores que los compuestos seleccionados en CF y que la

variedad original (VO) (Figura 5), mientras que en condiciones no limitantes ambos compuestos (CC y CF) mostraron índices similares, pero superiores a la VO (Figura 6).

En las Figuras 7 y 8 se presentan las tasas de asimilación neta (TAN) observadas en CC y CF, respectivamente. Bajo CC, los compuestos seleccionados en esta misma condición tienden a mantener una TAN ligeramente más alta que los compuestos de CF y la VO. La misma tendencia, aunque con diferencias más pequeñas se observó bajo CF y esto en cierta forma corrobora la mayor efectividad de la selección bajo CC.

Ajuste osmótico

Mediante un trabajo cooperativo con investigadores del área de Resistencia a Sequía del CP, en 1987 se determinó el ajuste osmótico en las poblaciones seleccionadas de CC y CF.

Los efectos positivos del ajuste osmótico como un mecanismo para resistir la sequía, mediante una acumulación neta de solutos en la célula, ha sido ampliamente demostrado (Turner y Jones, 1980; Morgan, 1980). Su influencia en diversos procesos fisiológicos también ha sido analizada por Turner (1986).

Los resultados obtenidos bajo sequía y riego se observan en las Figuras 9 y 10 respectivamente. Se infiere que la selección ha modificado la capacidad de ajuste osmótico sobre todo de los genotipos seleccionados en CC al ser evaluados bajo ese ambiente, lo cual tiene sentido por la manera en que se ha venido aplicando la selección. Se juzga conveniente, sin embargo, intensificar este tipo de evaluaciones que apoyan al mejoramiento genético convencional de plantas como el

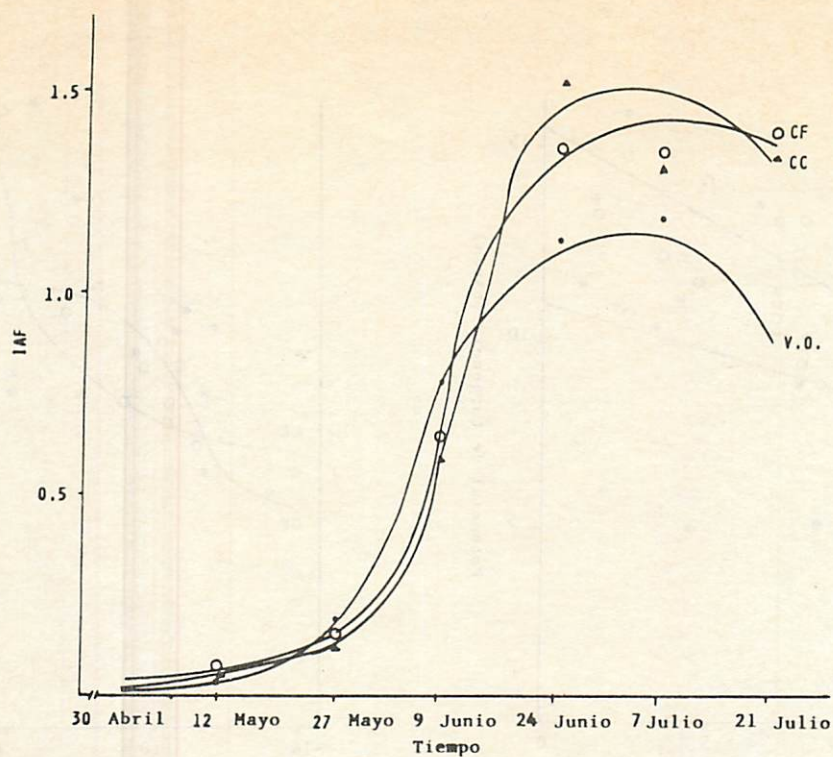


Figura 6. Índice de área foliar de compuestos derivados de Zac-218, evaluados bajo CF.

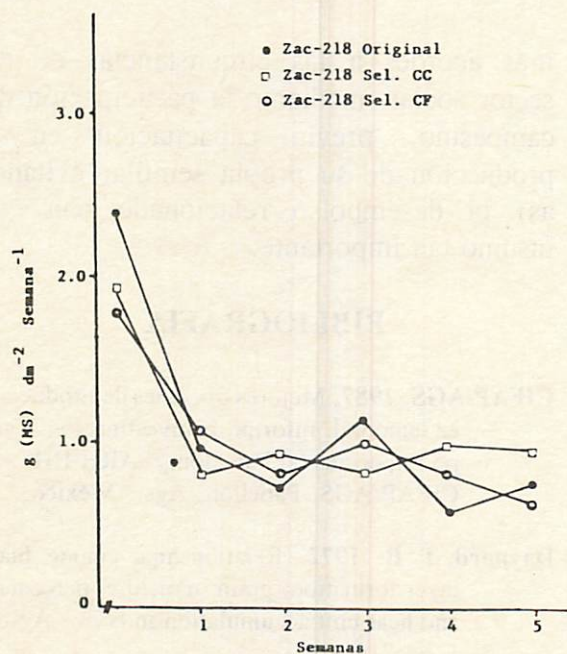


Figura 7. Tasa de asimilación neta (TAN) en compuestos seleccionados de Zac-218 bajo condiciones -- críticas y favorables, evaluados en condiciones críticas.

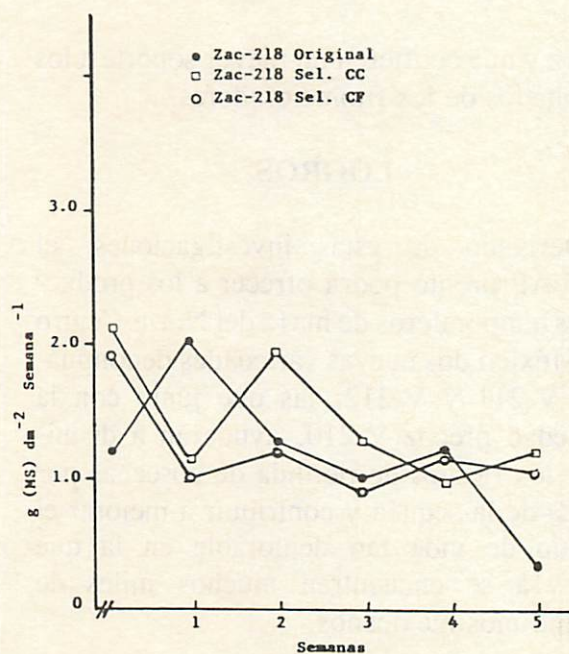


Figura 8. Tasa de asimilación neta (TAN) en compuestos seleccionados de Zac-218 bajo condiciones -- críticas y favorables, evaluados en condiciones favorables.

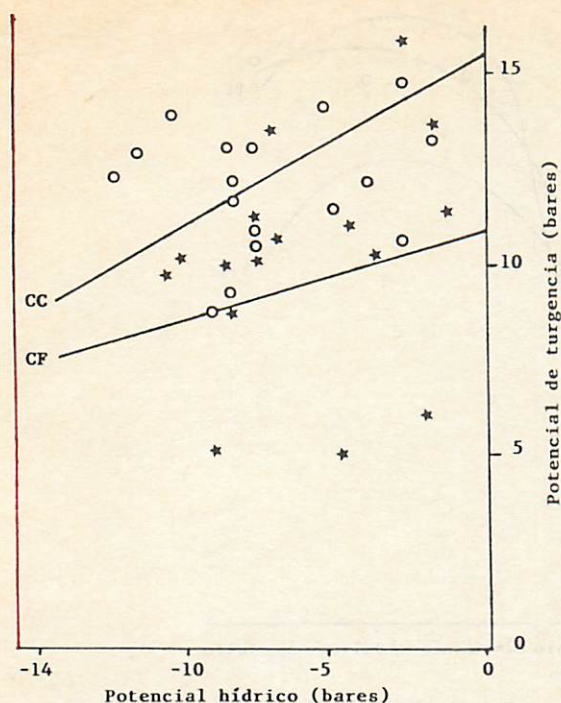


Figura 9. Ajuste osmótico de compuestos de Maíz Zac-218 seleccionados en condiciones críticas (CC) y favorables (CF), evaluados en condiciones críticas.

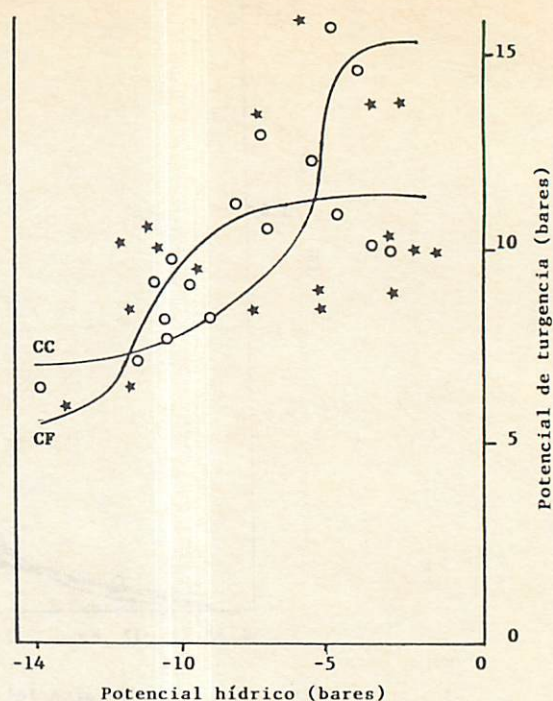


Figura 10. Ajuste osmótico de compuestos de Maíz Zac-218 seleccionados en condiciones críticas (CC) y favorables (CF), evaluados en condiciones favorables.

maíz y que confieren un mayor soporte a los resultados de los fitomejoradores.

LOGROS

Derivado de estas investigaciones, el INIFAP pronto podrá ofrecer a los productores temporaleros de maíz del Norte-Centro de México dos nuevas variedades denominadas V-211 y V-212, las que junto con la variedad precoz V-210, ayudarán a disminuir los riesgos de pérdida de cosechas por causa de la sequía y contribuir a mejorar el estado de vida tan deplorable en la que todavía se encuentran muchos miles de campesinos mexicanos.

Para lograr lo anterior, es necesario también implementar campañas de multiplicación y distribución de semillas que sean

más acordes a las circunstancias de ese sector social, mediante la participación del campesino, previa capacitación en la producción de su propia semilla, evitando así el desembolso relacionado con este insumo tan importante.

BIBLIOGRAFIA

- CIFAP/AGS. 1987. Mejores opciones de producción en temporal. Informe de investigación. Campo Experimental Pabellón. SARH-INIFAP-CIFAP/AGS. Pabellón, Ags., México.
- Daynard, T. B. 1972. Relationships among black layer formation, grain moisture percentage and heat unit accumulation in corn. Agron. J. 64:716-719.
- _____, and W. G., Duncan. 1969. The black layer and grain maturity in corn. Crop Sci. 9:473-476.

- _____, J. W., Tanner, and W.G. Duncan. 1971. Duration of the grain filling period and its relation to grain yield in corn (*Zea mays* L.). Crop Sci. 11: 45-48.
- Duncan, W. G., D. L., Shaver, and W. A., Williams. 1973. Insolation and temperature effects on maize growth and yield. Crop Sci. 13:187-190.
- Gilmore, E. C. Jr. and J. S. Rogers. 1958. Heat units as method of measuring maturity in corn. Agron. J. 50: 611-615.
- Goldsworthy, P. 1974. Adaptación del maíz. In: El Mejoramiento del Maíz a Nivel Mundial en las Década del Setenta y el Papel del CIMMYT (Memoria). El Batán, Méx. pp. 6-51.
- Luna F., M. y R. J., Zapata A. 1988. Investigación de maíz en el CIANOC. Marco de Referencia. Publicación Especial No. 11. SARH-INIFAP-CIFAP/AGS. Pabellón, Ags., Méx.
- Morgan, J. M. 1980. Differences in adaptation to water stress within crop species. In: Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. N. C. Turner and P. J. Kramer (eds.). Wiley-Intersci. Publ. New York-Chichester-Brisbane-Toronto. pp. 369-382.
- Ortiz C., J. 1990. La red de maíz del INIFAP. Justificación, estrategias, perspectivas y necesidades. In: El maíz en la Década de los 90. H. Ayuntamiento de Zapopan. Zapopan, Jal., México.
- Turner, N. C. 1986. Crop water deficits: A decade of progress. Adv. Agron. 39: 1-51.
- _____, and M. M. Jones. 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. In: Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. N. C. Turner and P. J. Kramer (eds.). Wiley-Intersci. Publ. New York-Chichester-Brisbane-Toronto. pp. 87-104.