Rev. Fitotec. Mex. Vol. 23. 195-210. 2000

INVESTIGACIÓN FISIOTÉCNICA DE MAÍZ DE TEMPORAL EN LA REGIÓN ALTA DEL NORTE DE MÉXICO

ECO-PHYSIOLOGICAL RESEARCH OF CORN UNDER RAINFED CONDITIONS IN THE HIGHLAND REGION OF NORTHERN MEXICO

Maximino Luna Flores y José Ricardo Gutiérrez Sánchez[1]

RESUMEN

La región semiárida y árida del Centro-Norte de México se localiza principalmente en los estados de Zacatecas, Durango, San Luis Potosí, Aguascalientes y Guanajuato; en ella se siembra en promedio 760,000 ha de maíz (*Zea mays* L.) de temporal cada año. En 400,000 ha llueven irregularmente entre 250 y 400 mm en un ciclo de cultivo de 80 a 100 días, y en el resto entre 400 y 500 mm en un ciclo de 100 a 120 días; en ambos casos la temperatura media en el ciclo es de 15 a 20°C. En promedio el 70% de la lluvia se registra antes de la antesis y el 30% después de ella. El 52% de los suelos tienen menos de 50 cm de profundidad y otro 46% entre 50 y 100 cm y su contenido de materia orgánica es inferior a 1%; esto causa que la capacidad de retención de humedad sea baja. Esas caracteristicas ecológicas son inferiores a las indicadas por la literatura para las regiones nórdicas del mundo, como mejores para el cultivo de maíz de temporal; por esa razón en esta región de México se ha hecho una gran cantidad de trabajos de investigación de tipo fisiotécnico y sobre resistencia a sequía en maíz. En este escrito se hace un resumen de ellos, con el objeto de ver si es necesario reorientar los trabajos de mejoramiento genético de maíz de temporal y adecuar las metodologías de trabajo, para hacer más eficiente el esfuerzo en investigación y mejoramiento genético de maíz de esta región.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Zea mays L., ecofisiología, resistencia a sequia, mejoramiento genético, caracteres morfosiológicos, caracteres anatómicos.

SUMMARY

The highland region in the North-Central part of Mexico includes mainly the states of Zacatecas, Durango, San Luis Potosi, Aguascalientes and North of Guanajuato. In this region, 760,000 ha are sown with maize (*Zea mays* L.) under rainfed conditions. Approximately, 400,000 ha in this region have 250 to 400 mm of rainfall over a period of 80 to 100 days; in the remaining area (360,000 ha), the rainfall goes from 400 to 500 mm, over a period of 100 to 120 days; in both areas average temperatures are ranging from 15 to 20°C. Seventy percent of the rainfall is registered before anthesis, and 30% after it. Fifty two percent of the highland soils have depths of 50 cm or less, and 46% have 50 to 100 cm, with an organic matter content lower than 1% ; therefore, moisture storage capacity of soils in the area is very low. These ecological characteristics are lower than the best ones for a satisfactory maize growing; for this reason in this region of Mexico most of the eco-physiological research in rainfed corn have been carried out. In the present work the drought type is defined, and a summary of the eco-physiological research in rainfed corn already carried out is presented, to observe the corn breeding orientation, and to improve corn breeding metodologies.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Zea mays L., eco-physiology, drougth resistance, corn breeding, morphophysiological characters, anatomical characters.

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatecas. Apdo. Postal No. 18, 98500 Calera de Víctor Rosales, Zac. Tel. y Fax: 01(498) 5-0198

Fecha de Recepción: 15 de Octubre de 1998.
Fecha de Aprobación: 20 de Octubre del 2000.

INTRODUCCIÓN

La región semiárida y árida del Centro-Norte de México (RESA C-N), comprende parte de los estados de Zacatecas, Durango, San Luis Potosí y Guanajuato, el estado de Aguascalientes y una pequeña parte del estado de Jalisco. También existen áreas con características ecológicas semejantes a las de esta región, donde se cultiva maíz de temporal, en la parte central de Oaxaca, el sur de Coahuila y otras de menor superficie (Stretta y Mosiño, 1963; Contreras, 1990).

En esta región se obtienen bajos rendimientos de maíz de temporal, entre 500 y 1000 kg/ha, y también, uno de los porcentajes más altos de siniestralidad, con 20% a 30% de la superficie sembrada. No obstante lo anterior, se siembran en promedio por año 760,000 ha de maíz en estas condiciones, por unas 300,000 familias que esperan obtener algo de grano y casi tienen la seguridad de cosechar rastrojo para sus animales o para vender (Montañez y Warman, 1985; Luna y Zapata, 1988; Luna y Zárate, 1994).

Las características ecológicas de esta región son específicas y distintas de las de otras regiones maiceras; las principales son: baja precipitación en el ciclo de cultivo (250 a 500 mm), el cual es muy corto (80 a 120 días), déficits de agua de 30 a 50 mm en las etapas fenológicas críticas que son la floración y llenado de grano, temperatura media inferior en 3 a 5°C a la indicada por la literatura como mínima óptima para el cultivo de maíz y suelos con muy baja capacidad de retención de humedad por su poca profundidad (menos de 100 cm) y muy bajo contenido de materia orgánica (menos de 1%) (Luna y Zapata, 1988; Luna y Gutiérrez 1990; Luna, 1993).

Estas características ecológicas y otras de manejo del cultivo como la siembra de variedades tardías y de bajo potencial de rendimiento, siembras fuera de época, bajas densidades de población, falta de fertilización y ausencia de prácticas de captación, conservación de agua de lluvia y alta siniestralidad son causas por las que los rendimientos unitarios de maíz de temporal de la RESA C-N sean bajos (Luna, 1993; Luna y Zárate, 1994; Luna y Gutiérrez, 1996).

Lo anterior ha motivado que en la RESA C-N, quizás más que en otras regiones, la realización de estudios de tipo fisiotécnico y resistencia a sequía en maíz de temporal, para ayudar a entender los problemas de producción y buscar respuestas a ellos.

El objetivo del presente trabajo es describir ecológicamente la RESA C-N, precisar el tipo de sequía que incide en el cultivo de maíz de temporal y presentar en forma resumida, los trabajos de tipo fisiotécnico realizados en este cultivo. Además, analizar los resultados, con el propósito de definir si existe la necesidad de reenfocar el programa de mejoramiento genético que se lleva a cabo sobre este cultivo de temporal en la región, para corregir fallas y adecuar metodologías de trabajo.

Descripción de la RESA C-N y características ecológicas bajo las que se cultiva maíz de temporal

Castro (1982) indica que hay diferentes tipos de sequía, por lo que Muñoz (1980) y Fischer *et al.* (1983) señalan que para trabajar con resistencia a sequía, antes debe definirse ésta. La RESA C-N de México se localiza entre los 21° y 26° de latitud Norte, 99° 30' y 106° 00' de longitud Oeste y 1700 a 2200 msnm, aunque la mayoría del área agrícola se ubica entre 1850 y 2150 msnm. Predominan los climas $BS_1kw(w)(e)$ y $BS_1hw(w)(e)$ en el área de mejor productividad y climas BS_0 en la de baja productivi-

dad, según la clasificación de Koppen modificada por García (1973). Esta última área abarca el estado de Aguascalientes, el Altiplano de San Luis Potosí, el Norte de Guanajuato y gran parte del centro y sureste de Zacatecas, como principales (CIANOC, 1982; Luna y Zapata, 1988); la otra se localiza en Durango y Zacatecas.

El ciclo de cultivo de temporal en la RESA C-N normalmente comienza los primeros días de julio, cuando los suelos han almacenado la humedad suficiente para sembrar. En la mejor de las áreas de la región llueven entre 400 y 500 mm en un ciclo de cultivo de 100 a 120 días; en la otra llueven de 250 a 400 mm en 80 a 100 días; en ambas, las temperaturas medias en el ciclo de cultivo van de 15 a 20°C. En casi toda la región, en promedio, más del 70% de la lluvia se registra antes de la antesis, y el resto durante ésta y el llenado del grano (Luna, 1993; Luna y Gutiérrez, 1996) (Figura 1), cuando se sabe que las etapas fenológicas en las que el cultivo de maíz requiere más agua son la floración y el llenado del grano (Denmead y Shaw, 1960; Claasen y Shaw, 1970; Ludlow y Muchow, 1990).

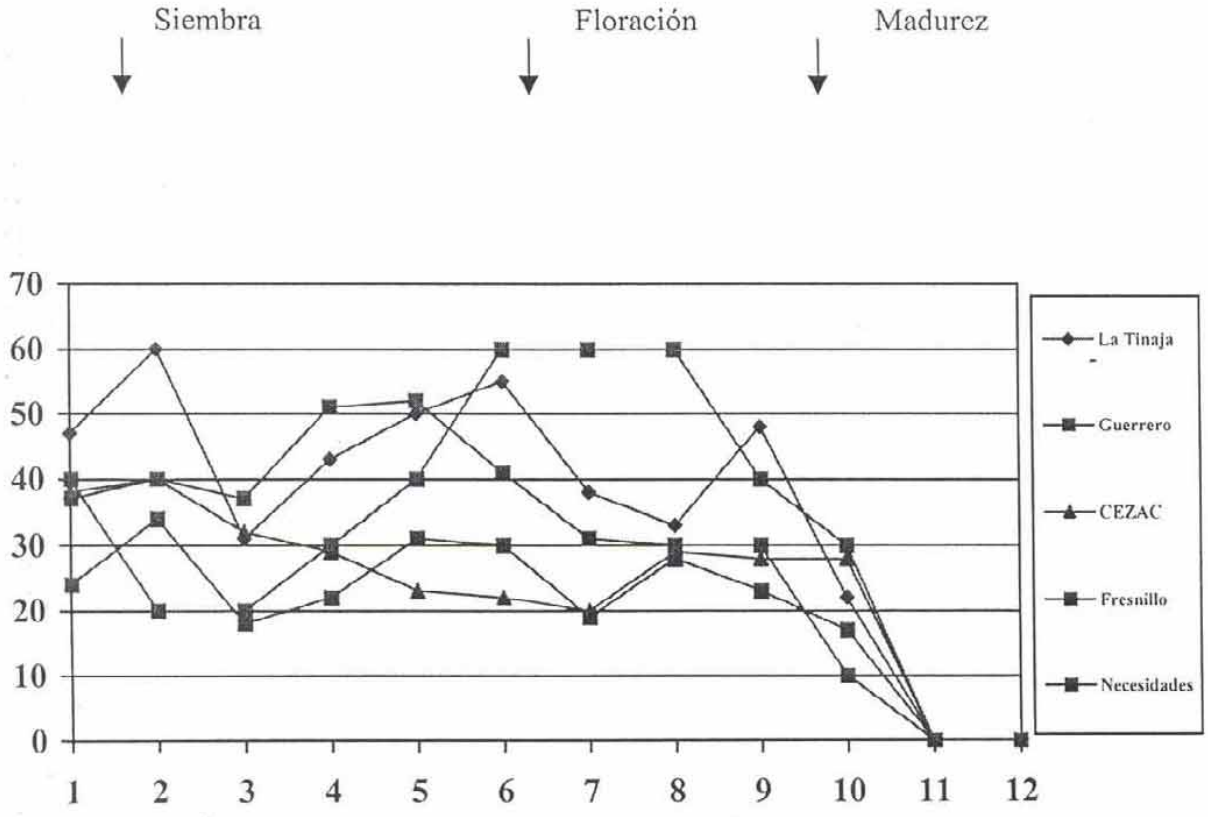


Figura 1. Precipitacion decenal registrada en cuatro localidades y necesidades de agua para un buen cultivo de maíz de temporal en la RESA C-N.

El 51% de los suelos tiene menos de 50 cm de profundidad, 46% entre 50 cm y 100 cm y su contenido de materia orgánica es inferior a 1%; por ello, su capacidad de retención de humedad es de una tercera parte respecto a la de un suelo de 1.5 m de profundidad, no obstante que predominan las texturas arcillo-arenosa y areno-arcillosa y pendientes inferiores a 6% (CIANOC, 1982; Luna y Zapata, 1988). Martín del Campo *et al.* (1991) encontraron que el rendimiento de maíz de temporal en Aguascalientes fue significativamente mayor en un suelo de 80 cm de profundidad, que en uno de 40 cm.

Por las características ecológicas de la RESA C-N, existen en ella déficits de humedad para el cultivo de maíz; Martínez Gamiño, citado por Zapata y Luna (1989), determinó déficits fuertes de humedad para maíz de temporal en Aguascalientes (Cuadro 1); se considera que estos déficits son de los más altos en la RESA C-N, porque Aguascalientes registra condiciones de precipitación y de suelo más deficientes que Durango y la mayoría del área agrícola de Zacatecas. Sin embargo, se han generado maíces criollos por los productores, y mejorados por los investigadores, adaptados a esas condiciones de cultivo, para alcanzar rendimientos satisfactorios de rastrojo y grano (Luna, 1993).

Luna y Gutiérrez (1990) observaron que las características climáticas bajo las que se cultiva maíz de temporal en Zacatecas son inferiores a las indicadas por la literatura para las regiones maiceras nórdicas, las cuales como mínimas para obtener buenos rendimientos según Shaw (1977) y Jugenheimer (1981) son: 600 a 800 mm en el ciclo de cultivo, el cual debe ser de 140 días cuando menos, temperatura media de 21 a 27°C, y un suelo de más de 1.5 m de profundidad y 4% de contenido de materia orgánica. Luna y Gutiérrez (1990) y Luna (1993) también señalan que los bajos rendimientos de maíz de temporal en esta región se deben en gran medida a lo escaso e irregular de la precipitación y a la falta de calor; que existe correlación positiva entre la precipitación de septiembre y octubre con el rendimiento y negativa con la superficie perdida, meses en los que normalmente ocurre la floración y el llenado del grano en maíz de temporal (Figura 1); estas etapas son en las que más se reduce el rendimiento de grano cuando falta agua a la planta (Claasen y Shaw, 1970; Denmead y Shaw, 1960). Thompson (1969) ya había señalado que las temperaturas inferiores a 25°C afectan negativamente el rendimiento de maíz y lo que influye más que la precipitación, como también lo señalan Flores *et al.* (1985) y Luna y Gutiérrez (1990) para maíces de temporal en Zacatecas. Del trabajo de Lechuga (1997) se deriva que al sembrar maíz de temporal en el Altiplano de Zacatecas después del 10 de julio, el rendimiento medio de grano se puede reducir en 50%, respecto al que se puede obtener al sembrar antes del 5 de julio, debido a la baja disponibilidad de humedad en la etapa de llenado de grano. Con base a lo anterior, en el programa de mejoramiento genético de la RESA C-N se buscó la formación de variedades de polinización libre con la precocidad necesaria para cultivarse en esta región y resistentes a sequía terminal.

Características de una variedad criolla de maíz de temporal y las mejoradas mediante selección genética en la RESA C-N

En contraste con el maíz híbrido H-311, de 145 días a madurez fisiológica y recomendado para siembras tempranas de riego en la RESA C-N, las variedades de maíz de temporal de esta misma región son muy precoces, de bajo porte, con sincronía floral bajo estrés por sequía, de pocas hojas y reducida área foliar, de mazorcas pequeñas, bajo número de hileras y granos por mazorca, y una baja relación rastrojo/grano, entre

otras características (Cuadro 2). Peña y Cortés (1988) estimaron el riesgo de pérdida de la cosecha de grano de maíz de temporal en Durango, en base al ciclo de cultivo y la ocurrencia de heladas tempranas, llegaron a los resultados que se muestran en la última hilera del Cuadro 2, donde se observa que entre más tardíos son los variedades, mayor es el riesgo de pérdida por sequía y heladas.

Cuadro 1. Déficits de humedad y escorrentías en maíz de temporal en Aguascalientes.

Etapas de crecimiento	Lluvia en el ciclo (mm)	Déficit (mm)	Escorrentía (mm)
0-45 días	160	38	29
46 a floración	56	28	16
Floración	2	35	0
Llenado de grano	18	47	0

Fuente: Martínez G., citado por Zapata y Luna (1989).

Gutiérrez (1986) observó que algunas de las selecciones por sequía del VS-201 retrasan la floración masculina 2 o 3 días al cultivarse bajo sequía, respecto al cultivo bajo riego. Además, algunas de las selecciones transpiraron menos que el VS-201, resistieron más tiempo a PMP, germinaron en mayor porcentaje a 15 atmósferas de potencial osmótico y formaron mayor área foliar. Luna y Gutiérrez (1993). También observaron que los días al 50% de antesis tanto del compuesto Cal.74, como de sus derivados por selección familial o masal, se retrasan entre 2 y 4 días en siembras bajo sequía, respecto a siembras bajo riego; estas características han hecho que las nuevas variedades evadan los efectos de la sequía.

Peña (1981) observó que el peso y volumen de raíz de plántulas de VS-201, fueron menores que los de sus derivados por selección masal y familial; con ello las nuevas variedades presumiblemente pueden extraer más agua del suelo, evadiendo problemas de sequía. El área foliar y diámetro del tallo de plantas maduras, correlacionó positivamente con el rendimiento de grano y negativamente con días a antesis. Sobre las mismas variedades, Gutiérrez (1986) observó que algunos de los compuestos derivados por selección masal o familial, mostraron mayor tasa transpiratoria que el VS-201 original, resistieron más tiempo condiciones de marchitez permanente, formaron mayor área foliar y las semillas germinaron en mayor porcentaje a 15% de presión osmótica. Esto significa que al mejorar genéticamente las variedades se modificaron sus características originales confiriendo el comportamiento de tolerancia a sequía (Lafitte y Edmeades, 1994; Bolaños *et al.*, 1993; Ludlow y Muchow, 1990; Muñoz, 1980).

Cortés (1981), Castro (1982), Gutiérrez y Luna (1989) y Luna y Gutiérrez (1993) observaron que los maíces precoces de la RESA-CN, como V-209, VS-202, H-204 y VS-201, muestran un intervalo corto entre la antesis y el jiloteo (1 a 6 días), tanto bajo condiciones de buena humedad, como de baja; esta respuesta es diferente a la observada en variedades de maíz tropicales, subtropicales y de riego, en los que la asincronía floral bajo sequía es de 10 a 35 (Bolaños *et al.*, 1993), y de selecciones por sequía de 3.6 a 5.7 días (CIMMYT, 1997). Peña *et al.* (1992) encontraron que la heredabilidad del rendimiento de grano, del intervalo de floración y del número de mazorcas por planta en variedades de maíz de la RESA C-N, es algo más alto bajo sequía que bajo riego. Tal vez esto se deba a que los maíces de los que se derivaron éstos, evolucionaron bajo condiciones de baja humedad; en todo caso, esto permitiría tener más éxito al seleccionar para rendimiento bajo condiciones de sequía que bajo riego, para derivar variedades mejoradas para esas condiciones, que son las de interés en la RESA C-N. Esto ya ha sido observado por Cortés (1981), Peña (1981), Gutiérrez y Luna (1989), Martín del Campo

et al. (1991), Peña *et al.* (1992) y Luna y Gutiérrez (1996).

Peña y Martín del Campo (1993) observaron que la asincronía entre las floraciones masculina y femenina de los maíces H-204, H-204F4 y ICSLS1del H-204F4, mostraron una correlación con el rendimiento de grano más alta y negativa en evaluaciones bajo riego (-0.33), que en evaluaciones bajo temporal; en cambio, la correlación del rendimiento con el índice de cosecha y el número de mazorcas por planta mostró valores altos y significativos bajo temporal y bajo riego (0.57 y 0.83, respectivamente); con sincronía floral se asegura la fecundación y formación de grano, más que con una asincronía fuerte.

Luna y Gutiérrez (1993) determinaron que el rendimiento de grano del Compuesto Cal 74 se redujo 69% al pasar de una prueba bajo riego a una bajo sequía, mientras que el de los compuestos derivados de él por selección bajo sequía se redujo 62%. En promedio de los compuestos derivados, el número de granos por mazorca se redujo 52%, el peso de grano 16%, la longitud de la mazorca 22% y su diámetro 13%. El número de granos por mazorca correlacionó positivamente con el rendimiento de grano, y el peso del grano negativamente; esto quiere decir que bajo las condiciones de cultivo de la RESA-CN, se ve más afectado negativamente el número de granos por mazorca que el peso del grano.

Cuadro 2. Características de algunas variedades de maíz de temporal de la RESA C-N.

	Variedades					
Característica	V-209	VS-202	H-204	Criollo	VS-201	H-311
Días al 50% de antesis	62	63	64	65	69	88
Periodo de floración (días)	10	13	11	20	15	18
Asincronía floral bajo sequía (días)	1	1	1	2	1	-
Altura de planta (cm)	170	170	185	170	185	260
Número de hojas	11.4	12.0	12.5	12	13	18
Área foliar (cm^2)	2900	3200	3500	3100	4000	7000
Índice de área foliar	1.5	1.6	1.7	1.6	1.9	--
Longitud de mazorca (cm)	13.3	12.0	12.8	14.0	12.5	16
Granos por hilera	20-28	18-28	20-30	20-27	22-30	30-40
Peso de 100 granos (g)	20-29	20-27	20-30	20-28	20-28	30-36
Peso olote/peso mazorca	0.12	0.15	0.16	0.15	0.17	17
Peso rastrojo/peso grano	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.9
Índice de cosecha	0.42	0.38	0.35	0.30	0.35	0.33
Riesgo de pérdida por sequía (%)	8	10	10	15	25	100

Los datos son promedio de mediciones realizadas en siembras de temporal en Zacatecas, Durango y Aguascalientes por: M. Luna F., J.R. Gutiérrez S., V.M. Castro R. y A. Peña R. Los del H-311 se tomaron en Zacatecas en una siembra de riego. No todos los promedios provienen del mismo número de observaciones de campo, pero siempre se consideraron 10 plantas como mínimo para obtenerlos.

Similares resultados observaron Peña *et al.* (1989) en H-204 y H-204F4, los cuales al pasar de riego a sequía redujeron los granos por mazorca en 11 y 17%, respectivamente, el peso del grano en 27 y 17%, y el rendimiento de grano en 31% ambas variedades. Esto no va de acuerdo con resultados de otros investigadores, como Claasen y Shaw (1970), quienes indican que la sequía durante la floración reduce más el número de granos por mazorca que el peso del grano, y la sequía posterior a la floración reduce más el peso del grano; probablemente las características de resistencia a sequía de las variedades utilizadas por los investigadores son distintas, como lo señalan Muñoz (1980), Fischer *et al.* (1989), Ludlow y Muchow (1990) y Bolaños *et al.* (1993). Peña y Martín del Campo (1993), en H-204, H-204F4 y en ICSLS1 del H-203F4, determinaron reducciones del rendimiento de grano de 53, 53 y 44%, respectivamente, al pasar de pruebas de riego a pruebas bajo sequía. En maíces tropicales Bolaños *et al.* (1993) observaron reducciones de rendimiento de grano de 55 a 84% al compararlos bajo riego y sequía, respectivamente, tal vez por evación al efecto de la sequía.

Gutiérrez y Luna (1990) observaron que la frecuencia estomática media de los compuestos formados por selección familial bajo riego-sequía, fue de 34/mm^2, contra 43/mm^2 del original y del compuesto de selección bajo riego; en ese mismo orden, la tasa transpiratoria fue 15.76 g/dm^2/día, contra 16.05 g/dm^2/día; éstos son mecanismos de evasión de la sequía.

López *et al.* (1996) determinaron que los déficits hídricos intermedios afectaron más los mecanismos fisiológicos como la producción de materia seca y la transpiración, que la morfología (altura de la planta, área foliar y volumen de la raíz), en diversos maíces; en cambio, los déficits fuertes afectaron ambos tipos de características. Un maíz de húmedo, de ciclo vegetativo tardío, fue eficiente en el uso del agua debido a la hipersensibilidad estomática; el H-220, de ciclo intermedio, fue intermedio en esa hipersensibilidad (evación), mientras que los precoces VS-202 y H-204, casi no ahorraron agua mediante este mecanismo, indicando que por su precocidad les permite escapar a periodos de sequía, sin que ello indique ausencia de características de evación en ellas.

Peña y Martín del Campo (1993) determinaron que el maíz H-204, su F4 y su derivado ICSLS1 rindieron en promedio 45% más de grano bajo riego que bajo temporal y casi 100% más que bajo sequía; de materia seca, bajo riego produjeron 35% más que bajo temporal y 70% más que bajo sequía (Cuadro 3). Lo anterior indica que el rendimiento de grano del H-204 y sus derivados fue más afectado que la producción de biomasa, porque la sequía ocurrió en la etapa de llenado de grano.

Investigaciones sobre parámetros de estabilidad e interacción genotipo por medio ambiente

En un estudio sobre parámetros de estabilidad de maíz de temporal en Durango, con cuatro variedades y siete ambientes de prueba, Martín del Campo *et al.* (1979) encontraron que el híbrido tardío H-220 mostró buen comportamiento sólo en buenos ambientes; el híbrido también tardío H-221 fue inconsistente en ambientes desfavorables; el VS-201 de ciclo intermedio fue consistente en ambientes desfavorables; y el VS-202 de ciclo precoz, fue inconsistente en ambientes desfavorables.

En un estudio similar al anterior, Peña y Cortés (1988) observaron que H-220 solamente rindió bien cuando hubo buena

Cuadro 3. Rendimiento de grano (ton/ha), de biomasa (ton/ha) del maíz H-204, su F4 y su derivado ICSLS1 cultivados bajo riego, temporal y sequía en Aguascalientes.

Variedad	Rendimiento grano (ton/ha)			Rendimiento materia seca (ton/ha)		
	R	S	R-S/R	R	S	R-S/R
H-204	3.4a	1.6b	0.53	6.0a	3.6b	0.40
H-204F4	3.8a	1.8b	0.53	7.2a	3.6b	0.50
ICSLS1	3.6a	20.0b	0.44	5.9a	3.8b	0.36

Valores con la misma letra son iguales entre sí según la t de Student al 95% de probabilidad.
R = Riego; S = Sequía
Fuente: Peña y Martín del Campo (1993).

humedad durante todo el ciclo de cultivo, condición no muy común en Durango; el VS-201 rindió bien con buena humedad y aceptablemente cuando le faltó humedad en la floración; el VS-202 produjo grano aún bajo condiciones de escasa humedad, pero su rendimiento se vio limitado cuando se dispuso de buena humedad. El H-220 y H-221 son maíces de 130 a 135 días a madurez fisiológica bajo las condiciones de cultivo de temporal de Durango, y en general de la RESA C-N, mientras que el ciclo de cultivo de temporal en esta área es de 100 a 120 días; así mismo, la precipitación es inferior a la necesaria para el buen comportamiento de maíces como los mencionados; en cambio, VS-201 es de 110 días a madurez e y el VS-202 de 105 días, por lo que su comportamiento bajo las condiciones de cultivo anotadas es mejor que el de aquellos.

Campos (1994) hizo un estudio de parámetros de estabilidad de once variedades de maíz bajo temporal en cuatro localidades de Aguascalientes (Cuadro 4). Sobresalieron el H-204 y VS-202, de 105 días a madurez fisiológica, ya que fueron los de mejor respuesta en los cuatro ambientes de prueba. Las nuevas variedades incluidas en el estudio y el ICSLSI (compuesto formado con líneas tolerantes a sequía, derivadas de H-204F4) no sobresalieron, tal vez porque se trató de un solo año de prueba. Los más bajos rendimientos se obtuvieron donde llovió menos y los más altos donde llovió más, aunque el volumen total de lluvia en general fue bajo.

Martín del Campo (1980) detectó interacción genotipo por medio ambiente en la región que nos ocupa y Lechuga (1997), en Zacatecas, obtuvo ese resultado no obstante tratarse de un solo estado y haber considerado cuatro variedades relativamente similares en precocidad para siembras de temporal de la región, como son: H-204, VS-202, V-209 y el Criollo. Lo anterior indica que a pesar de la relativa homogeneidad ambiental de la RESA C-N, el comportamiento relativo de las variedades no es igual a través de localidades, aunque algunas como H-204, y VS-201 son más estables que otras como H-220, VS-202 y V-209.

Los maíces más precoces como H-204, VS-202 y V-209 son más apropiados para

Cuadro 4. Rendimientos de maíz obtenidos bajo temporal en cuatro localidades de Aguascalientes.

Variedad	Rendimiento de grano (kg/ha)			
	Pabellón	Los Campos	Sandovales	Peñuelas
H-204	1165a	1500a	940b	635a
VS-202	1120a	1155b	965b	430a
ICSLS1	945a	1095b	960b	445a
V-210	405	970b	1325a	660a
V-211	770c	615	670b	250
V-212	590	1010b	820b	275
Criollo local	880b	850	680b	195
pp (mm)	190	390	220	100

pp – Precipitación registrada de agosto a noviembre.
Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales entre sí según la t de Student al 95% de probabilidad.

Cuadro 5. Porcentaje de emergencia de cuatro variedades de maíz sembradas bajo temporal en Calera, Zac.

Variedad	Días al 50% de antesis	Días después de la siembra				
		6	7	8	9	10
Cal.74	62	2	27	87	93	100
V-209	62	9	42	80	93	100
H-204	64	0	11	57	84	100
H-311	88	0	22	76	91	100

Cuadro 6. Área foliar (cm^2) de las dos hojas más grandes de cuatro variedades de maíz sembradas bajo temporal en Calera, Zac.

Variedad	Días después de la siembra					
	11	14	28	42	56	70
Cal. 74	55a	105a	385a	569	873	870
V-209	58a	118a	302	439	966	996
H-204	53	94	384a	794a	1019	1020
H-311	50	111a	364a	678	1285a	1434a
DMS (0.05)	4.7	10.6	61.8	92.7	148.3	137.0

siembras tardías, posteriores al 10 de julio, que los de ciclo intermedio (VS-201) y tardío (H-220), por el corto ciclo de cultivo; el intermedio VS-201 muestra buen comportamiento bajo buenas condiciones de humedad y de ciclo de cultivo, pero compite con los precoces bajo condiciones limitadas de humedad; el tardío H-220 solamente produce buen rendimiento en siembras muy tempranas, anteriores al 20 de junio, y con buena precipitación; con estas conclusiones, se disminuye el riesgo de pérdida por sequía terminal y heladas . En general, en Aguascalientes, en el Altiplano de San Luis Potosí y gran parte de Zacatecas y Durango, desarrollan mejor las variedades precoces que las intermedias y tardías, por el corto periodo con lluvias y los suelos de baja capacidad de retención de humedad.

Velocidad de germinación y crecimiento inicial

José Ricardo Gutiérrez Sánchez y Maximino Luna Flores, realizaron un trabajo bajo temporal en 1993 en Calera, Zac., con 277 mm de precipitación en el ciclo de cultivo y 26 días sin lluvia (entre 12 y 38 días después de la siembra); encontraron que la variedad V-209 emergió más rápidamente que la Cal. 74 de la cual se derivó mediante selección por sequía; estas mismas variedades, de 100 días a madurez fisiológica, emergieron más rápidamente que el H-311, el cual es de 145 días a madurez y se recomienda para siembras de riego en la RESA C-N (Cuadro 5). También observaron que la formación de área foliar fue uniforme durante el ciclo vegetativo en Cal. 74, H-204 y H-311; en cambio, en V-209 fue relativamente rápida al principio, y lenta cuando faltó agua de lluvia, y otra vez fue rápida cuando volvió a haber humedad (Cuadro 6).

Eficiencia en la producción de grano

En un estudio sobre el maíz H-204, su F4, su derivado ICSLS1 y otros, realizado bajo temporal en Aguascalientes, Peña *et al.* (1992) observaron que H-204 y ICSLS1 mostraron la eficiencia en producción de grano más alta, respecto a los demás maíces estudiados (Cuadro 7).

Cuadro 7. Rendimiento de grano (ton/ha), días a madurez fisiológica y eficiencia en la producción de grano (EPG) del maíz H-204 y otros, obtenidos bajo temporal en Aguascalientes.

Variedad	Rendimiento	Días a madurez	EPG
ICSLS1	2.3	105	22
H-204F4	2.1	110	19
H-204	2.3	105	22
VS-211	1.9	112	17
VS-201	1.8	113	16

EPG = kg/ha/día a madurez fisiológica.

También sobre eficiencia en producción de grano, Gutiérrez y Luna (1992) en siembras de temporal en Zacatecas observaron que los maíces mejorados evaluados fueron más eficientes que el Criollo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Eficiencia en la producción de grano de algunos maíces mejorados probados bajo temporal en Zacatecas.

Variedad	DMF	ELLG	EPG
H-204	104	42	1.64
V-209	102	42	1.66
VS-202	104	41	1.49
Criollo	106	42	1.42

DMF = Días a madurez fisiológica; ELLG = Etapa de llenado de grano; EPG = Eficiencia en la producción de grano (rendimiento por planta en gramos entre días de la etapa de llenado de grano.

Pajarito (1984) determinó que con 270 mm de precipitación en el ciclo de cultivo, la variedad de maíz H-204 produjo 58 g de grano y 46 g de forraje por día y por mm de

lluvia, la VS-202 produjo 57 g y 64 g de grano y forraje, respectivamente, un criollo produjo 25 g y 192 g, respectivamente, y otro 11 y 163. Los criollos produjeron más forraje y menos grano por ser más tardíos, y porque los productores han seleccionado el maíz también para producir forraje.

Generaciones avanzadas de híbridos de temporal

Peña *et al.* (1989) observaron que el rendimiento de grano de la generación F4 del maíz H-204, no se vio afectado respecto al del H-204 cuando hubo agua suficiente para su desarrollo, pero fue menor bajo condiciones de sequía; en el primer caso también disminuyeron el número de granos por mazorca y el peso del grano, aunque no con diferencia estadística significativa (Cuadro 9).

DISCUSIÓN GENERAL

En relación a los aspectos ecológicos bajo los que se cultiva maíz de temporal en la RESA C-N, se puede decir que con base en los trabajos realizados en la región, se ha determinado con bastante precisión que existe un área importante en la que el ciclo de cultivo es de 80 a 100 días y otra de 100 a 120 días; en ambas se registran bajas precipitaciones (250-400 mm y 400-500 mm, respectivamente); el 70% o más de esa lluvia cae antes de la antesis media del maíz y la capacidad de retención de humedad del suelo es muy baja, porque es poco profundo y su contenido de materia orgánica es inferior a 1%; esto es causa de que los cultivos tradicionales de maíz de temporal de la RESA C-N se vean afectados por sequía terminal, sobre todo las más tardías. Esto indica que las variedades de maíz que se deben generar para siembras de temporal de esta región deben ser de 90 a 100 días o 100 a 120 días de ciclo vegetativo, así como resistentes a sequía terminal, lo cual se ha estado buscando en los programas de mejoramiento genético de maíz de la región.

Cuadro 9. Rendimiento de grano, número de granos por mazorca y peso de grano del maíz H-204 y su F4 obtenidos bajo temporal en Pabellón, Aguascalientes.

Concepto	Genealogía	R0	R1	R2
Rendimiento (g/pl)	H-204	108a	87a	74ab
	H-204F4	94a	61a	65b
Granos/mazorca	H-204	365a	232a	325a
	H-204F4	341a	228a	262a
Peso de 100 granos (g)	H-204	30a	29a	22a
	H-204F4	29a	29a	24a

R0 = sin sequía; R1 = 15 días sin riego cuando el 65% de las plantas estaban en hoja bandera; R2 = sin riego desde 10 días antes de la antesis.
Valores con la misma letra son iguales entre sí según la t de Student al 95% de probabilidad.

Según lo anterior y los resultados de las pruebas de variedades de diferente ciclo vegetativo que se consignan en este artículo, se aprecia que la precocidad es fundamental para esperar buenos resultados en siembras de maíz de temporal en la RESA C-N. Si a esa precocidad se puede agregar resistencia a sequía terminal, se ayudaría a que los productores que siembren esas variedades obtengan grano con más seguridad que con variedades sin esas carcaterísticas.

De los diversos trabajos analizados, se deriva que existe asociación entre algunas características fisiológicas, anatómicas y morfológicas con la precocidad y resistentes a sequía, tales como: tolerancia a la presión osmótica y a marchitez permanente, peso y volumen radical, la baja frecuencia estomatal, la mayor velocidad y porcentaje de germinación, la sincronía floral, retraso de la floración en siembras con sequía respecto a riego, alto porcentaje de mazorcas formadas, pequeña reducción del rendimiento de grano al pasar de riego a sequía, alta heredabilidad bajo sequía y mayor sensibilidad a la sequía del número de granos por mazorca que del peso del grano.

No en todas las variedades se observó la asociación de todas esas características; en algunas están asociadas unas y en otras son diferentes, por lo que se debe profundizar en estudios sobre ello para llegar a conclusiones más precisas y específicas al respecto. Al hacerlo se tendrá conocimiento sobre los mecanismos de resistencia a sequía asociados a cada tipo de variedad y podrá utilizarse la selección de variedades resistentes a sequía, a través de la selección de esos caracteres, pero específicos de las variedades o poblaciones genéticas adaptadas a la RESA C-N.

También se observó irregularidad en los índices de estabilidad del comportamiento de las variedades a través de localidades; las variedades formadas en un lugar, no han dado el mismo resultado en otras, y a la inversa; esto significa que sería más eficaz generar las variedades localmente, que traerlas de otros lugares. Esto no es difícil, puesto que se formarían variedades de polinización libre, ya que el uso de híbridos bajo temporal en la RESA C-N es casi imposible, por las limitadas condiciones ecológicas de cultivo y el bajo poder adquisitivo de los productores de la región.

Considerando lo anterior, se sugiere la realización de un protocolo de investigación nuevo para la RESA C-N, que considere los criterios anotados en los dos párrafos anteriores, para formar variedades de maíz para siembras de temporal en esta región; deben utilizarse las metodologías más sencillas pero efectivas, como la selección bajo sequía; pero ésta debe hacerse localmente, en materiales genéticos adaptados y considerando las características morfofisiológicas y/o anatómicas asociadas a la precocidad que se desea y a la resistencia a sequía terminal. Es necesario profundizar sobre cuales características están asociadas a la resistencia a sequía en cada área de trabajo.

Con la ayuda de un especialista en estadística y cómputo, se podría diseñar un modelo estadístico que sirva de herramienta para determinar qué características repercuten en el comportamiento de una población y de una variedad y con ello facilitar y hacer más efectivo un programa de mejoramiento genético. El enfoque de un nuevo programa de mejoramiento genético puede ser similar al del programa anterior, es decir, buscar precocidad y resistencia a sequía, pero ahora se propone tomar en cuenta las características varietales asociadas a la precocidad y resis-

tencia a sequía, la selección local y el uso de un modelo estadístico como auxiliar en la selección

CONCLUSIONES

Están bien determinadas las condiciones ecológicas de la RESA C-N. Existe una extensa área que necesita variedades de 80 a 100 días de ciclo vegetativo y otra de 100 a 120 días. De preferencia, estas variedades deben poseer resistencia a sequía terminal.

Se han identificado características de las plantas que pueden ser utilizadas para elaborar índices de selección para precocidad y resistencia a sequía, aunque algunas de ellas deben estudiarse con mayor profundidad y en cada fuente genética, porque no en todas las variedades afectan en igual magnitud todas las características.

No obstante que los programas de mejoramiento genético de maíz de temporal de la RESA C-N han tenido éxito, es posible hacerlos más eficientes y efectivos si se toman en cuenta las características de la planta asociadas a la precocidad y resistencia a sequía, se realizan selecciones locales, se utilizan materiales genéticos adaptados y se auxilian de modelos estadísticos que faciliten la jerarquización de la influencia de las características sobre el comportamiento globalizado de las variedades.

La selección bajo sequía parece dar mejor resultado que la selección bajo riego.

Se sugiere hacer un protocolo de investigación de maíz de temporal para la RESA C-N, en el que se consideren los aspectos anotados antes, aunque las metodologías de mejoramiento genético sigan siendo semejantes a las ya usadas.

BIBLIOGRAFÍA

Bolaños J., G.O. Edmeades, and L.Martinez. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. III. Responses in drought-adaptative physiological and morphological traits. Field Crops Res. 31:269-286.

Campos C., A. 1994. Estabilidad de rendimiento de once variedades de maíz bajo temporal en el estado de Aguascalientes. Tesis Profesional, UACH. Chapingo, Edo. de México. 72 p.

Castro R., V.M. 1982. Relative drought resistance among selections of mexican highland maize. M.Sc. Thesis. Univ. of Guelph. Ontario, Canada. 85 p.

CIANOC. 1982. Resúmenes de investigación: maíz 1980. CIANOC N° 4. CIANOC-INIA-SARH. Calera, Zac. 33 p.

CIMMYT. 1997. Maize research in 1995.1996. Maize Program Special Report. Mexico, D.F. p 31.

Claasen, M.M. and R.H. Shaw. 1970. Water deficit effects on corn. I. Vegetative components. Agron. J. 62:649-652.

Contreras M., V.H. 1990. Distribución de las zonas áridas y semiáridas en la República Mexicana en base a cinco índices de aridez. Tesis Profesional URUZA-UACH. Bermejillo, Durango. 132 p.

Cortés N., J.R. 1981. Selección recurrente para tolerancia a sequía en el compuesto de maíz Calera 74. Tesis M.C., UAAAN. Saltillo, Coah. 78 p.

Denmead, D.T. and R.H. Shaw. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. Agron. J. 52:272-274.

Fischer, K.S., E.C. Johnson, and G.O. Edmeades. 1983. Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. CIMMYT. El Batan. Mexico.

Fischer, K., G.O. Edmeades, and E.C. Johnson. 1989. Selection for the improvement of

maize yield under moisture deficits. Field crops Res. 22:227-243.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía de la UNAM. México, D.F. 246 pp.

Gutiérrez S., J.R. 1986. Comportamiento en campo y tolerancia a marchitez permanente y a presión osmótica de poblaciones de maíz seleccionadas bajo el sistema riego-sequía. Tesis M.C., C.P. Chapingo, Edo. de México. 125 pp.

Gutiérrez S., J.R. y M. Luna F. 1989. Selecciones para resistencia a sequía en un compuesto de maíz en Zacatecas. Fitotecnia Mexicana 12 (2):94-104.

Gutiérrez S., J.R. y M. Luna F. 1990. Frecuencia estomática y transpiración en maíces seleccionados para tolerancia a sequía. XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Resúmenes. SOMEFI. Cd. Juárez, Chihuahua. p 297.

Gutiérrez S., J.R. y M. Luna F. 1992. La precocidad y sus eficiencias en maíz de temporal en Zacatecas. XIV Congreso Nacional de Fitogenética. Resúmenes. SOMEFI. Tuxtla Gutiérrez, Chis. p 320.

Jugenheimer, R.W. 1981. Maíz; variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla. Ed. Limusa, S.A. México, D.F. pp 42-45.

Lafitte, H.R. and G.O. Edmeades. 1994. Improvement for tolerant to low soil nitrogen in tropical maize. I. Selection criteria. Field Crops Res. 39:1-14.

Lechuga A., M. 1997. Comportamiento de genotipos de maíz (Zea mays L) en diferentes ambientes de temporal del Altiplano de Zacatecas. Tesis Profesional, Facultad de Agronomía-UAZ. Zacatecas, Zac. 77 p.

López H., J., A. Muñoz O., H.H. Angeles A. y V.M. Castro R. 1996. Características morfológicas y fisiológicas de un patrón varietal de maíces temporaleros de Durango. XVI Congreso Nacional de Fitogenética. SOMEFI. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. p 217.

Ludlow, M.M. and R.C. Muchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. Adv. Agron. 43:107-153.

Luna F., M. y J.R. Zapata A. 1988. Investigación de maíz en el CIANOC: Marco de Referencia. Publicación Especial No. 11. CIANOC-INIA-SARH. Pabellón, Ags. 40 p.

Luna F., M. y J.R. Gutiérrez S. 1990. Relaciones entre el clima y el rendimiento de maíz de temporal en Zacatecas. Fitotecnia Mexicana 13(2):104-116.

Luna F., M. 1993. Mejoramiento genético de maíz para condiciones adversas. En: Simposium Internacional "El Maíz en la Década de los 90". Memorias in extenso. Zapopan, Jal. pp 161-170.

Luna F., M. y J.R. Gutiérrez S. 1993. Efectos de la selección familial sobre la floración y componentes de rendimiento en maíz. Fitotecnia Mexicana 16 (2): 151-160.

Luna F., M. y J.L. Zárate V. 1994. La producción de maíz en México ante el tratado de libre comercio. *In*: "El TLC y sus Repercusiones en el Sector Agropecuario del Centro-Norte de México". Shwentwsius R., R. M.A. Gómez C., J.C. ledesma M. y C. Gallegos V. (eds.) CIESTAAM-UACH. Chapingo, Edo. de México. pp 1-27.

Luna F., M. y J.R. Gutiérrez S. 1996. Mejoramiento de maíz y estrategias de producción para temporal de la región semiárida y árida del Centro-Norte de México. *In*: "Developing Drought-and Low N-Tolerant Maize". Edmeades,G.O. M. Banziger, H.R. Mic to el son, and C.B. Peña-Valdivia (eds.). Proceedings of a Symposium. CIMMYT, El Batan. Mexico. pp 66-71.

Martín del Campo V., S., V.M. Castro R. y J.R. Gutiérrez S. 1979. Parámetros de estabilidad para cuatro variedades de maíz en siete ambientes de temporal en el estado de Durango. Fitotecnia 3:3-12.

Martín del Campo V., S. 1980. Análisis de medias y componentes de varianza de tres grupos de poblaciones de maíz en el Norte-Centro de México. Tesis M.C., C.P. Chapingo, Edo. de México. 156 p.

Martín del Campo V., S., A. Peña R. y R.J. Zapata A. 1991. La investigación fisiotécnica en maíz de temporal en Aguascalientes. Revista Fitotecnia Mexicana 14 (2):229-239.

Montañez, C. y A. Warman. 1985. Los productores de maíz en México: restricciones y alternativas. Ecodesarrollo. México, D.F. 226 pp.

Muñoz O., A. 1980. Resistencia a la sequía y mejoramiento genético. Ciencia y Desarrollo 33:26-35.

Pajarito R., A. 1984. Estudio de 10 especies vegetales anuales y variedades dentro de especies bajo secano en Pánfilo Natera, Zac. Tesis Profesional, U de G. Guadalajara, Jal. 202 p.

Peña R., A. 1981. Comportamiento de maíces mejorados mediante diversas metodologías y criterios de selección bajo condiciones de temporal. Tesis profesional, U de G. Guadalajara, Jal. 77 p.

Peña R., A. y J.R. Cortés N. 1988. Efecto de la precipitación pluvial en tres etapas fenológicas del maíz en los Llanos de Durango. Revista Fitotecnia Mexicana 11 (1):18-24.

Peña R., A., S. Martín del Campo V. S. y R.J. Zapata A. 1989. Respuesta a la sequía de un híbrido de maíz y su generación F4. Revista Fitotecnia Mexicana 12 (1):32-44.

Peña R., A., S. Martín del Campo V. y C.A. Jiménez G. 1992. Mejoramiento para resistencia a sequía en maíz. XIV Congreso Nacional de Fitogenética. SOMEFI. Cd. Juárez, Chih. p 319.

Peña R., A., S. Martín del Campo V., A. Castillo R. y J.R. Gutiérrez S. 1992. Variedades de maíz resistentes a sequía bajo temporal deficiente. XIV Congreso Nacional de Fitogenética. SOMEFI. Cd. Juárez, Chih. P 340.

Peña R., A. y S. Martín del Campo V. 1993. Selección de líneas y respuesta de variedades de maíz bajo condiciones ambientales diferentes. Revista Fitotecnia Mexicana 16 (1):47-56.

Shaw, R.H. 1977. Climatic requirements. *In*: "Corn and Corn Improvement". Sprague G.E. (ed.). Am. Soc. Agron. Madison, Wis. U.S.A. pp 591-623.

Streta E., J.P. y P.A. Mosiño. 1963. Distribución de las zonas áridas en la República Mexicana según un nuevo índice de aridez derivado del de Emberger. Ingeniería Hidráulica en México 16(1):40-47.

Thompson, L.M. 1969. Weather and tecnology in the production of corn in the U.S.A. corn belt. Agron. J. 61:453-456.

Zapata A., R.J. y M. Luna F. 1989. Investigaciones de maíz en el CIANOC: Resultados y Avances hasta 1985. Publicación Especial N° 2. CIANOC-INIA-SARH. Calera, Zac. 78 p.