



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA**

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE HÍBRIDOS EN MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA VALLES ALTOS BAJO CONDICIONES DE SEQUÍA

FLORENCIO SANTIAGO LUNA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2016

La presente tesis titulada: **COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE HÍBRIDOS EN MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA VALLES ALTOS BAJO CONDICIONES DE SEQUÍA**, realizada por el alumno: **FLORENCIO SANTIAGO LUNA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

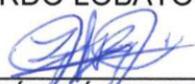
CONSEJERO


DR. J. JESÚS GARCÍA ZAVALA

ASESOR


DR. RICARDO LOBATO ORTÍZ

ASESOR


DR. J. JESÚS LÓPEZ REYNOSO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2016

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA VALLES ALTOS EN CONDICIONES DE SEQUÍA

Florencio Santiago-Luna

Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

En los Valles Altos de México se requieren híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para temporal rendidores y precoces, de mazorcas grandes con muchos granos y que sean baratos. En este trabajo se evaluó el rendimiento de híbridos experimentales de maíz de cruza simple y trilineal de temporal para Valles Altos para identificar cruza sobresalientes con respecto a híbridos comerciales. Se evaluaron 13 cruza simples, 42 cruza trilineales, un mestizo y cuatro híbridos testigo. En 2015 se establecieron dos ensayos con los 60 genotipos en Montecillo, Texcoco, Edo. de México; uno se condujo bajo riego y el otro bajo temporal, ambos en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se midieron las variables: rendimiento, índice de prolificidad, días a floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras, número de granos por hilera y peso volumétrico de 250 ml. Hubo significancia entre ambientes para la mayoría de los caracteres, siendo mejor el de riego que el de temporal. En temporal la humedad no fue del todo limitativa, por lo que el híbrido testigo HS-2, recomendado para siembras de riego, rindió 10.72 t ha⁻¹ y las cruza sobresalientes fueron T₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H40-3-3-2) y T₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H40-27-3-1) con rendimientos de 9.39 y 9.16 t ha⁻¹ respectivamente. En riego, HS-2 rindió 10.92 t ha⁻¹ y destacaron las cruza (T₄xT₆) x T₇ y (T₄xT₁) x T₃ con 10.79 y 10.75 t ha⁻¹, respectivamente. En promedio de ambientes sobresalieron por su alto

rendimiento, buena expresión genotípica y fenotípica el HS-2 y las cruzas T₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H40-3-3-2) y (T₄xT₁) x T₃, con valores de 10.82, 9.86 y 9.83 t ha⁻¹ respectivamente. HS-2 rindió más, pero las cruzas trilineales sobresalientes fueron más precoces y de mejor porte de planta, con la mayor longitud y diámetro de mazorca que los testigos HS-2, H-70, H-66, y H-40. Además, algunas cruzas simples resultaron todavía más precoces, de porte intermedio, con rendimientos de hasta 8.8 t ha⁻¹, superando a varias cruzas trilineales y a otros testigos, por lo que estas podrían ser utilizadas como hembras en la formación de híbridos trilineales.

Palabras clave: *Zea mays*, riego, sequía, cruzas simples y trilineales, híbridos, variedades, prolificidad.

AGRONOMIC PERFORMANCE OF HYBRIDS OF RAINFED MAIZE FOR HIGHLANDS IN DROUGHT CONDITIONS

Florencio Santiago-Luna

Colegio de Postgraduados, 2016

ABSTRACT

In the high valleys of Mexico it is required to have hybrids of maize (*Zea mays* L.) for rainfed conditions with good agronomic performance, early and economical. In this work, it was evaluated the yield performance of experimental rainfed hybrids of maize of single and three-way crosses for the Mexican highlands to identify outstanding crosses with respect to commercial hybrids. Thirteen single crosses, 42 three-way crosses, a topcross hybrid and four hybrids as checks were evaluated. In 2015, two trials with 60 genotypes were established in Montecillo, Texcoco, State of Mexico; one was carried out under irrigation and the other under rainfed conditions. A randomized complete block design with three replications was used in each trial. Ear yield, prolificacy index, days to male and female flowering, plant height, ear height, ear length, ear diameter, number of rows, number of grains per row, and volumetric weight of 250 ml of grain were the traits measured. There was significance between environments for most traits, being better the one with irrigation than that with rainfed conditions. Moisture was not entirely limited under rainfed conditions, so that the check hybrid HS-2, which is recommended for irrigated maize production, yielded 10.72 t ha⁻¹ and the outstanding crosses were T18 x (Hit7-28-1-2 x H40-3-3-2) and T18 x (Hit7-13-2-1 x H40-27-3-1) with yields of 9.39 and 9.16 t ha⁻¹ respectively. Under irrigation, HS-2 yielded 10.92 t ha⁻¹ and the outstanding crosses were (T4xT6) x T7 and (T4xT1) x T3 with 10.79 and 10.75 t ha⁻¹, respectively. On average of environments, HS-2 and the crosses T18 x (Hit7-28-1-

2 x H40-3-3-2) and (T4xT1) x T3 excelled in yield, with values of 10.82, 9.86, 9.83 t ha⁻¹ respectively. HS-2 yielded more, but the outstanding three-way crosses were earlier and had lower bearing plant with bigger ears in length and diameter than the checks HS-2, H-70, H-66, and H-40. Moreover, some single crosses were even more early and had intermediate bearing, with yields up to 8.8 t ha⁻¹, overcoming several three-way crosses and other checks, so they could be used as the female progenitor in the formation of three-way hybrids.

Keywords: *Zea mays*, single and three-way crosses, irrigation, drought, rainfed, varieties

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo Mexicano y al Consejo Nacional de la Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo financiero otorgado en el transcurso de mis estudios de Postgrado (Maestría en Ciencias).

*Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo: Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-**Genética**, y al Personal Académico de este postgrado, que ayudó a mi formación profesional.*

A los miembros de mi Consejo Particular: Dr. J. Jesús García Zavala, Dr. Ricardo Lobato Ortiz y Dr. J. Jesús López Reynoso, por su muy valiosa enseñanza, orientación, sugerencias, motivación, dirección y correcciones emitidas durante la realización de esta investigación y que mejoraron este importante trabajo.

A todas las personas, sean profesor(a), compañero(a), amigo(a), trabajador(a) de apoyo, quienes de alguna manera u otra contribuyeron en la realización del presente trabajo y cuyos nombres no menciono para evitar omisiones.

DEDICATORIAS

A mis padres:

- ❖ *Máximo Santiago Méndez*
- ❖ *Eulalia Luna Francisco*

Con mi cariño eterno.

Por su gran apoyo, confianza y motivación brindadas. Por el amor y respeto que siento hacia ellos. A su dedicación que han mostrado para enseñarme el camino de la honestidad y responsabilidad. Por su abnegado apoyo que me han brindado para que triunfe en la vida.

A mi hermana:

- ❖ *Concepción Santiago Luna*

Con todo mi aprecio.

Por el estímulo, el cariño y el amor que siempre nos ha unido. A su ayuda incondicional mostrada para desarrollar mis propósitos.

A mi hermano:

Ángel Dariel Santiago Luna

A mis tíos:

- ❖ *Armando Santiago Méndez*
- ❖ *Álvaro Santiago Méndez*
- ❖ *Clara Santiago Méndez*

Grandes personas que admiro, respeto, por la confianza y apoyo brindado. Y en especial a toda la familia que de alguna manera contribuyeron a la realización de mis estudios.

A mis compañeros y amigos.

Al Colegio de Postgraduados

“Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas”

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. JUSTIFICACIÓN	5
1.2. OBJETIVOS	6
1.3. REVISIÓN DE LITERATURA	7
1.3.1. Mejoramiento genético por hibridación	7
1.3.1.1. Híbrido de cruza simple	9
1.3.1.2. Híbrido de cruza de tres líneas	10
1.3.1.3. Híbrido de cruza doble	10
1.3.2. Ventajas y desventajas de los híbridos	11
1.3.3. Algunos híbridos trilineales de maíz para Valles Altos	12
1.3.4. Variedades mejoradas para temporal en Valles Altos	15
1.4. LITERATURA CITADA	17
CAPÍTULO II. RENDIMIENTO DE HÍBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAÍZ DE TEMPORAL PARA VALLES ALTOS EN DOS CONDICIONES DE HUMEDAD	22
2.1. RESUMEN	22
2.2. INTRODUCCIÓN	24
2.3. MATERIALES Y MÉTODOS	27
2.3.1. Localización del experimento	28
2.3.2. Diseño del experimento	30
2.3.3. Manejo agronómico	30
2.3.4. Variables evaluadas	31
2.3.5. Análisis estadístico	32
2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
2.5. CONCLUSIONES	49
2.6. LITERATURA CITADA	50
CAPÍTULO III. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO EN HÍBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAÍZ DE TEMPORAL PARA VALLES ALTOS EN DOS CONDICIONES DE HUMEDAD	51

3.1.	RESUMEN	51
3.2.	INTRODUCCIÓN	53
3.3.	MATERIALES Y MÉTODOS	57
3.3.1.	Localización del experimento	58
3.3.2.	Diseño del experimento	60
3.3.3.	Manejo agronómico	60
3.3.4.	Variables evaluadas	61
3.3.5.	Análisis estadístico	62
3.4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
3.5.	CONCLUSIONES	80
3.6.	LITERATURA CITADA	81

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Genealogía de 60 híbridos de maíz evaluados en el ciclo primavera-verano 2015, en dos condiciones de humedad en Montecillo, México.	27
Cuadro 2. Precipitación y temperatura en Montecillo, Texcoco, Edo. de México, durante 2015.	29
Cuadro 3. Cuadrados medios y coeficientes de variación del análisis de varianza combinado de seis variables de 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano 2015, Montecillo, México.	33
Cuadro 4. Promedio de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.	35
Cuadro 5. Promedio de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.	39
Cuadro 6. Promedio de ambientes de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.	43
Cuadro 7. Promedio de seis variables medidas en 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.	46
Cuadro 8. Correlaciones fenotípicas de seis variables agronómicas de	

60 híbridos de maíz evaluados en riego y temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.	48
Cuadro 9. Genealogía de 60 híbridos de maíz evaluados en el ciclo primavera-verano 2015, en dos condiciones de humedad en Montecillo, México.	57
Cuadro 10. Precipitación y temperatura en Motecillo, Texcoco, Edo. de México. durante 2015.	59
Cuadro 11. Cuadrados medios y coeficientes de variación del análisis de varianza combinado de seis variables de 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano 2015, Montecillo, México.	63
Cuadro 12. Promedio de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.	66
Cuadro 13. Promedio de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.	70
Cuadro 14. Promedio de ambientes de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.	75
Cuadro 15. Promedio de seis variables medidas en 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.	78
Cuadro 16. Correlaciones fenotípicas de seis variables agronómicas de 60 híbridos de maíz evaluados en riego y temporal. Ciclo	

primavera-verano, 2015, Montecillo, México.

79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Precipitación y temperatura en Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 2015.	30
Figura 2. Precipitación y temperatura en Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 2015.	60

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

En México, el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es el más importante desde el punto de vista alimenticio, económico, industrial, social y cultural; por su superficie sembrada, valor de la producción, por ser el alimento principal de la población y por ocupar el 20 % de la población económicamente activa. En el año 2014 se sembraron en nuestro país alrededor de siete millones de hectáreas con este cultivo, con un rendimiento de 3.30 t·ha⁻¹ (SAGARPA, 2014).

En México se cultiva el maíz en primavera-verano y otoño invierno, bajo las más diversas condiciones agroclimáticas, geográficas y de humedad. Por lo que se refiere a la modalidad hídrica, alrededor del 82 % de la superficie cultivada con maíz se siembra en condiciones de temporal, proporción que representa aproximadamente 5.8 millones de hectáreas; mientras que el restante 18 % de la superficie se siembra bajo condiciones riego, representando poco más de un millón de hectáreas (SAGARPA, 2014)

Del total de la superficie sembrada con maíz, anualmente se reportan en promedio 1.4 millones de hectáreas siniestradas (SAGARPA, 2014) en temporal, lo que representa el 20 % de la superficie sembrada con dicho cultivo, siendo la sequía y/o un temporal errático unas de las causas principales.

México es centro de origen y diversidad del maíz, y esta especie es cultivada a lo largo y ancho del territorio nacional en una amplia diversidad de ambientes, lo cual ha impactado en su variabilidad genética (Méndez *et al.*, 2005). Esto ha permitido disponer de poblaciones nativas que han sido la base en los programas de mejoramiento genético de esta especie, los cuales han puesto énfasis en la

obtención de variedades mejoradas de grano blanco y grano amarillo, principalmente.

Los retos del mejoramiento genético del maíz son el diseño y desarrollo de variedades mejoradas con adaptación específica y para usos especiales. En el diseño de nuevos materiales genéticos, es necesario considerar la reducción de los costos de producción y generar líneas, variedades sintéticas e híbridos que superen en rendimiento y cualidades a los actuales (Mendoza, 2004).

El principal factor ambiental que limita la productividad de los cultivos anuales en condiciones de temporal es la sequía; la magnitud del daño que ésta puede ocasionar, en particular al maíz, depende de las etapas de desarrollo de la planta en que la sequía ocurra; y las etapas más críticas son las más cercanas a la floración y durante la formación y llenado del grano (Edmeades *et al.*, 1998).

El periodo de deficiencia hídrica conocido como sequía de medio verano o canícula, coincide con la etapa de floración del maíz y causa una disminución considerable del rendimiento (López-Castañeda, 1996). Una forma de reducir el impacto de esa sequía es mediante el uso de variedades o híbridos que la soporten lo más posible, con el mínimo detrimento del rendimiento.

El efecto de la sequía sobre los procesos de crecimiento y desarrollo ha sido estudiado ampliamente en el maíz. Estos procesos dependen de la actividad fisiológica y metabólica que la planta realiza según la duración e intensidad de las deficiencias hídricas. Así, las respuestas a las deficiencias hídricas pueden variar entre cultivares bajo condiciones de campo, en las que además, las plantas tienen oportunidad de adaptarse a los cambios de los factores ambientales, si éstos se presentan en forma gradual (Nissanka *et al.*, 1997).

El bajo rendimiento de grano se debe principalmente a las deficiencias hídricas edáficas, las cuales ocurren durante el periodo de lluvias y con frecuencia coinciden con las etapas reproductivas de la planta, lo que disminuye el número, peso y calidad del grano (Reyes-Ramones *et al.*, 2000). Las deficiencias hídricas en el periodo cercano a la floración, pueden reducir en más de 50 % el rendimiento de grano; cuando la planta se encuentra entre 2 y 7 días previos a la antesis, la sensibilidad a las deficiencias hídricas es mayor, porque se afecta la polinización y el número total de granos (Grant *et al.*, 1989). El déficit de agua durante el llenado del grano también reduce el rendimiento al disminuir el peso del grano (NeSmith y Ritchie, 1992).

El mejoramiento en maíz para resistencia a sequía se ha enfocado a la selección para rendimiento de grano de las plantas tolerantes o resistentes a la falta de humedad, y uno de los métodos usados para este fin es la selección masal visual estratificada (SMVE). Bajo esta metodología opera el supuesto genético de que mediante la selección y recombinación de las plantas más productivas en condiciones de humedad restringida del suelo se incrementa la resistencia a sequía en poblaciones de maíz (Molina, 1980).

El rendimiento de grano en maíz es un carácter de herencia compleja (poligénica), por tanto es afectado en gran medida por el ambiente, existiendo una relación del rendimiento con respecto al número de mazorcas por planta, tanto en condiciones de riego como en sequía (Hernández y Muñoz, 1988). Con respecto a los componentes del rendimiento, el número de granos y su peso pueden considerarse como los principales, pero el peso del grano es un componente muy afectado por el ambiente (Andrade *et al.*, 1996; Borrás y Otegui, 2001).

Una alternativa para que la disminución del rendimiento de grano no sea significativa en ambientes restrictivos de humedad, es el uso de variedades tolerantes a la sequía (Raya *et al.*, 1996). Para ello es necesario mejorar las poblaciones con tolerancia o resistencia *per se* a la sequía para hacerlas más productivas y para que sirvan como fuentes genéticas de resistencia para otras variedades que no amortiguan bien los efectos de los factores ambientales adversos, pero que tienen otros atributos.

Ante los retos que impone el cambio climático global de mayores e intensos periodos de estiaje y heladas tempranas, en los Valles Altos de México, y en otras regiones agrícolas, se requieren materiales mejorados de maíz para temporal con resistencia a la sequía, de buen rendimiento y ciclo corto o intermedio que sean accesibles y del agrado del productor, esto con el fin de asegurar e incrementar la producción de grano en la región dada su creciente demanda.

Entre las instituciones públicas que efectúan mejoramiento genético en maíz en los Valles Altos Centrales de México, con el objetivo de generar materiales mejorados de maíz para temporal, se encuentran el Colegio de Postgraduados (CP), la Universidad Autónoma Chapingo, el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

En particular, en el CP se hizo selección en Montecillo, Texcoco, para resistencia a sequía en las poblaciones de maíz Zacatecas 58, Cafime, Criollo del Mezquital y Cónico Compuesto, las cuales tienen tolerancia intrínseca a la sequía por provenir de ambientes de clima seco y semiseco. De los compuestos de ciclos de selección avanzados de estas poblaciones se derivaron líneas endogámicas que se cruzaron entre ellas y con líneas precoces derivadas de los híbridos Hit-7 del

ICAMEX y H-40 del INIFAP, formándose cruza simples y trilineales experimentales que se compararon en rendimiento y otras características con los híbridos comerciales HS-2 del CP y H-40, H-66, y H-70 del INIFAP. El HS-2 está recomendado para siembras de riego, mientras que H-40, H-66, y H-70 son para siembras de punta de riego y buen temporal.

Con la finalidad de identificar híbridos de maíz sobresalientes en rendimiento recomendados para siembra de secano en Valles Altos, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento y otras características agronómicas de 13 cruza simples, 42 cruza trilineales y de un mestizo línea x variedad, todos experimentales, y compararlos con el comportamiento de un híbrido recomendado para siembra de riego y el de tres híbridos para siembra de punta de riego o buen temporal.

1.1. JUSTIFICACIÓN

Uno de los métodos frecuentemente utilizados en el mejoramiento genético del maíz es la hibridación, que consiste en la combinación de líneas autofecundadas mediante cruza, para obtener híbridos simples, trilineales o dobles, y variedades sintéticas de polinización libre. En un programa de mejoramiento por hibridación en maíz es necesario evaluar el comportamiento agronómico de los híbridos experimentales formados para identificar los materiales sobresalientes en rendimiento bajo diferentes condiciones ambientales.

Ante los efectos del cambio climático global, reflejados en mayores e intensos periodos de sequía, y ante la disminución de la superficie cultivada y la creciente demanda de alimentos de la población, es necesario contar con materiales de maíz que expresen mejor las características genéticas y fenotípicas que les permitan adaptarse a las condiciones ambientales del lugar donde se

establezcan, y con ello incrementar su rendimiento de grano, resistencia a plagas y enfermedades, resistencia a sequía y otros factores adversos para poder ofrecerlos a los productores como nuevas opciones.

1.2. OBJETIVO

Evaluar el rendimiento, características agronómicas y componentes del rendimiento de 13 cruzas simples, 42 cruzas trilineales y de un mestizo línea x variedad, todos experimentales, y compararlos con el comportamiento de un híbrido recomendado para siembra de riego y el de tres híbridos para siembra de punta de riego o buen temporal.

1.3. REVISIÓN DE LITERATURA

1.3.1. Mejoramiento genético por hibridación

El maíz híbrido comercial es la primera generación de una cruce entre líneas autofecundadas. Una línea autofecundada se produce mediante autofecundación y selección, hasta que se obtienen plantas homocigóticas en la mayoría de sus *loci*, para lo cual se requiere de cinco a siete autofecundaciones. El propósito de la autofecundación es fijar genéticamente características favorables en una condición homocigótica (Poehlman y Allen, 2003; Flores, 2001).

Una línea obtenida por autofecundación es una línea “pura”, que desciende por autofecundación de una planta capaz de reproducirse idéntica así misma, por lo tanto, dentro de una misma línea cada planta será exactamente igual a las otras (Flores, 2001). Márquez (1988) señala que una línea pura es la progenie de un individuo en el momento en que este se considera homocigótico, de manera que de esa generación en adelante, los individuos reproductores pueden ser tantos como sea posible y deseable.

Ante los factores y efectos adversos del ambiente sobre los genotipos, los objetivos del mejoramiento de maíz híbrido son aumentar su rendimiento, y que estos tengan mayor adaptación, resistencia al acame, resistencia a plagas y enfermedades, y que el grano tenga alta calidad (Poehlman y Allen ,2003).

Los híbridos más comunes en maíz son: cruza simples, cruza de tres líneas y cruza dobles. En la práctica agrícola, generalmente no se usan híbridos de cruce simple en México porque no se cuenta con líneas hembra altamente homocigóticas y rendidoras, sino cruza de tres líneas y dobles (Márquez, 1988).

En México, a partir de 1940, con la revolución tecnológica de la agricultura nacional y el impulso a la investigación agrícola y la enseñanza superior por parte de la Oficina de Estudios Especiales de la Fundación Rockefeller, se dio origen al enfoque científico del mejoramiento genético del maíz, (Rodríguez, 1981; Reyes 1990; Mata, 1992).

Para 1960, a partir de la clasificación racial del maíz en México iniciada por Wellhausen *et al.* (1951), se consideraron varias características vegetativas y agronómicas para el mejoramiento genético del maíz, tales como: altura de la planta y de la mazorca superior, aspecto de la planta, número de hojas totales, longitud y anchura de hojas, longitud de mazorca, número de hileras por mazorca, días a floración masculina y femenina, acame, precocidad, días a madurez fisiológica y rendimiento de grano por hectárea (Reyes, 1990).

En México, los retos con respecto al mejoramiento genético del maíz son el diseño y desarrollo de variedades con adaptación específica y usos especiales, con el fin de obtener mejores resultados y acumular valor agregado en las diferentes estructuras aprovechables de la planta. En el diseño de nuevos materiales genéticos, es necesario considerar la reducción de los costos de producción y realizar el mejoramiento a través de la obtención de líneas, variedades sintéticas e híbridos que superen a las que actualmente tienen un buen comportamiento en campo o en el área donde vayan a ser utilizados (Mendoza, 2004).

En nuestro país, el mejoramiento genético para la obtención de nuevas variedades e híbridos de maíz alto rendimiento sólo ha considerado principalmente a las razas: Tuxpeño, Celaya, Vandeno, Chalqueño y Cónico, ya que son de las más productivas. En los Valles Altos Centrales de México, el mejoramiento genético del maíz se realiza principalmente a partir de las razas locales Chalqueño y Cónico,

con la inclusión de algún material exótico proveniente de las razas Celaya y Tuxpeño (Carrera, 2002).

1.3.1.1. Híbrido de cruce simple

Una cruce simple es la generación F_1 de la cruce entre dos líneas autofecundadas o puras. Las líneas autofecundadas que se utilizan en una cruce simple son probablemente homocigóticas para la mayoría de los loci que determinan una característica, por lo que las plantas de la cruce simple son heterocigóticas para todos los pares de genes en que difieren las dos líneas autofecundadas. Una cruce simple superior recupera el vigor y la productividad que perdieron las plantas de la línea durante el proceso de autofecundaciones y será más vigorosa y productiva que la variedad progenitora original de polinización libre de la que se derivaron las líneas autofecundadas. No obstante, no todas las combinaciones de líneas autofecundadas producen cruces simples superiores, ya que esto depende de la ACG de las líneas (Poehlman y Allen, 2003).

De acuerdo con Flores (2001), los híbridos simples tienen un alto costo de semilla, y Jugenheimer (1990) indica que las cruces simples tienden a ser de rendimiento ligeramente mayor y más uniforme en las características de planta y mazorca que otros tipos de híbridos. Sin embargo el elevado costo de la semilla es otra vez la principal objeción.

Las cruces simples tienen grandes ventajas sobre las cruces dobles y trilineales, ya que manifiestan una varianza mayor que permite detectar mejores cruces simples que las trilineales o dobles, además, requieren un esquema más corto y simplificado de mejoramiento, así como de producción de semilla (Ron *et al.*, 1999). Sin embargo, una desventaja para el agricultor es que tendrían un valor de

compensación por costo de semilla más alto, comparado con los híbridos trilineales y dobles (CIMMYT, 1987).

1.3.1.2. Híbrido de cruzas de tres líneas

Es la progenie híbrida entre una craza simple y una línea autofecundada. Estas cruzas pueden utilizarse cuando se dispone de tres buenas líneas que combinen bien entre ellas (Chávez, 1995; Poehlman y Allen, 2003), y son las más utilizadas en siembras comerciales para la producción de grano (Chávez, 1995).

En las cruzas trilineales el progenitor masculino debe ser siempre una línea muy productora de polen, es decir, muy buena polinizadora ya que está en desventaja con la craza simple (muy vigorosa), mientras que las líneas de la craza simple deben ser rendidoras y combinar bien con la tercera línea (Flores, 2001).

La semilla de craza de tres líneas es menos costosa de producir que la de cruza simple, aunque es más cara que las de cruza doble. Las cruza de tres líneas tienden a ser más uniformes y a tener un rendimiento ligeramente superior que el de las cruza dobles (Jugenheimer, 1990; López, 1995).

1.3.1.3. Híbrido de craza doble

La craza doble es la progenie híbrida obtenida de una craza entre dos cruza simples. La semilla de una craza doble se produce en una planta de craza simple, que ha sido polinizada por otra craza simple. Una craza doble es la craza entre dos cruza simples (A x B) x (C x D) (Márquez, 1988).

Una craza doble es formada a partir de cuatro líneas autofecundadas; es decir, es la progenie híbrida obtenida de una craza entre dos cruza simples. Estas cruza no son tan uniformes como las cruza simples, pero sí se esperaría mayor

producción de semilla híbrida y buena calidad, ya que tanto el progenitor hembra como el macho, presentan máximo vigor y producción de polen (Flores, 2001).

La semilla de cruza doble se produce en plantas de cruza simple, las cuales son altamente productivas y la semilla es de mejor calidad. Las cruzas dobles son ligeramente más variables en los caracteres de la planta y la mazorca que las cruzas simples o las de trilineales, lo cual puede ser una ventaja cuando el cultivo se siembre bajo condiciones adversas (Jugenheimer, 1990). Es posible obtener cruzas dobles con rendimientos tan altos como los de las cruzas simples y trilineales siempre y cuando se utilice el patrón heterótico adecuado (Ron *et al.*, 1999).

También la producción de semilla híbrida de cruza doble es mayor que la cruza simple, debido a que en la cruza doble la semilla proviene de cruzas simples y no de líneas, por consiguiente, la producción de semilla es más económica en cruzas dobles. Asimismo, es importante señalar que una cruza simple produce mayor rendimiento que una trilineal y esta a su vez más que una doble (Chávez, 1995).

1.3.2. Ventajas y desventajas de los híbridos

Las ventajas de los híbridos en relación con las variedades criollas y sintéticas, son las siguientes (Reyes, 1990):

- Mayor producción de grano o buen rendimiento en ambientes desfavorables.
- Uniformidad en floración, altura de plantas y maduración. Esto permite la aplicación de una tecnología moderna (maquinaria para cosechar).
- Plantas más cortas y vigorosas, que resisten el acame de raíz y de tallo.
- Mayor sanidad de mazorca y grano.
- Mayor precocidad y mejor desarrollo inicial.

Desventajas:

- Reducida área de adaptación, tanto en tiempo como en espacio. Alta interacción genotipo-ambiente.
- Escasa variabilidad genética.
- Necesidad de obtener semilla para cada siembra y su alto costo.
- Manejo de varias líneas y necesidad de mano de obra para mantener pureza.
- Necesidad de tecnología avanzada y uso de insumos para aprovechar su potencialidad genética.
- Bajos rendimientos de forraje o rastrojo.

1.3.3. Algunos híbridos trilineales de maíz para Valles Altos

Los siguientes híbridos han sido generados bajo el esquema del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, con sede en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que ha logrado formar híbridos con diferentes ciclo vegetativo y adaptación, lo que permite disponer de cultivares mejorados para las principales regiones en que se cultiva el maíz en Valles Altos.

H-40: El H-40 es un híbrido de porte bajo liberado por el INIFAP para siembras de punta de riego y temporal benigno en los Valles Altos, y destaca por su alta productividad, buena uniformidad y alta resistencia al acame. Fue obtenido a partir de cruzamientos entre líneas y cruza simples del Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y sus correspondientes del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias (INIFAP). Es un híbrido trilineal cuya clave comercial es: (CML246 x CML242) x M-39. La cruza simple hembra corresponde a la cruza (CML246 x CML242), que proviene de líneas

obtenidas por el CIMMYT a través del método de pedigree. Estas líneas son altamente uniformes debido a sus altos niveles de endogamia (más de 10 autofecundaciones). La línea macho M-39 es una línea con un nivel de endogamia S_4 (cuatro autofecundaciones) que se obtuvo en el CEVAMEX (Campo Experimental Valle de México) derivada de la colecta Michoacán 21, utilizando el método de pedigree. Este híbrido se caracteriza por tener una altura de planta entre los 2.0-2.10 m, y de 0.90-1.0 m en altura de mazorca. Su mazorca es cónica cilíndrica con grano de color blanco-cremoso. Sus características a floración y madurez en localidades ubicadas en altitudes de 2200 a 2300 msnm son: 82-84 días a floración masculina y 84-86 días a floración femenina. Su madurez se alcanza a los 165-175 días (Velázquez, 2005).

H-66: El híbrido de maíz H-66, se liberó en el 2009 por el programa de maíz del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y fue inscrito en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) con el número de registro: 2261-MAZ-1135-020709/C. Es un híbrido trilineal de grano blanco y textura semicristalina, con adaptación a altitudes de 2 300 a 2 600 m. Está integrado por la línea macho progenitora M-52 y la craza simple M-43*M-44. La línea macho M-52 tiene un nivel de endogamia de S_5 y se derivó de la población 85 blanco precoz semidentada del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (Arellano *et al.*, 1996). Las líneas progenitoras de la craza simple hembra (M-43*M-44), se derivaron de un criollo colectado en una localidad de altura del estado de Michoacán. La línea M-43 tiene un nivel de endogamia de S_5 y la línea M-44 de S_4 . Las dos líneas que integran la craza simple hembra pertenecen al germoplasma de Valles Altos del INIFAP (Ávila *et al.*, 2008). Las características agronómicas y de

rendimiento del H-66 son: madurez intermedia, en altitud de 2 250 m, 50 % de floración en la espiga ocurre a los 84 días después de la siembra y expone sus estigmas en el jilote a los 86 días, mientras que en sitios localizados por encima de 2 500 m el espigamiento y floración femenina se presentan a los 98 y 102 días, respectivamente; estas características en la floración permiten extender la siembra del H-66 hasta el 20 de mayo en áreas de temporal. La altura de planta y mazorca es de 1.9 y 0.9 m, respectivamente, lo que permite la siembra de 70 000 plantas ha⁻¹ y la cosecha mecanizada. La mazorca tiene una longitud de 15 cm con 18 hileras y 32 granos por hilera (Arellano *et al.*, 2010).

H-70: El H-70 resultó de esa combinación como un híbrido trilineal, de grano blanco y textura semicristalina, con adaptación favorable a altitudes de 2 200 a 2 600 m, de madurez intermedia, ya que logra su floración masculina o espigamiento a 100 días y la femenina o jiloteo a 102 días, en promedio. Presenta altura de planta de 2.4 m y de mazorca de 1.4 m. Es resistente al acame, y a enfermedades de planta y mazorca. El rendimiento varía de 4 a 13.3 t ha⁻¹, bajo densidad de 65 mil plantas ha⁻¹. La mazorca tiene en promedio una longitud de 16 cm con 18 hileras y 34 granos por hilera. El peso de mazorca es de 180 g y su relación grano/mazorca es 86%. El peso de 100 granos es de 43.3 g. La cosecha se puede realizar a 180 días, con un contenido de humedad en grano de 25 a 26 %, por lo que la mazorca debe someterse a un proceso de secado para reducir la humedad al 14 %. Si el productor no dispone de almacenes para secado, puede efectuar la cosecha a 210 días con un contenido de humedad del grano de 18 % a 19 % y procurar que la mazorca continúe su secado natural. Los rendimientos obtenidos con H-70 superaron 13 % el rendimiento de híbridos comerciales. La constitución genética de este híbrido permite prosperar favorablemente a niveles distintos de precipitación

pluvial y la siembra en áreas con retraso del temporal hasta el 15 de mayo. Su porte de planta facilita la siembra intensiva con 70 000 plantas ha⁻¹ para producción de grano y tiene potencial para la producción de forraje en áreas de riego y buen temporal. El principal impacto económico del H-70 es la diferencia de 3 a 7 t ha⁻¹ sobre el rendimiento de la semilla criolla, que representan de 7 a 14 mil pesos por ha⁻¹. Este incremento hace rentable la producción de maíz (Arellano *et al.*, 2011).

HS-2: El híbrido de maíz HS-2 tiene potencial productivo para grano y forraje, es resistente al acame. Su rendimiento promedio bajo condiciones de manejo adecuadas, es de 12 ton/ha de grano; aunque cabe señalar que su potencial es de 15 ton/ha bajo condiciones óptimas de manejo. El grano posee muy buena calidad de nixtamalización y de tortilla. La producción de forraje verde es de 90 ton/ha (30 ton/ha de materia seca, conteniendo 1.9 ton/ha de proteína). Las zonas de adaptación son los Valles Altos Centrales de la República Mexicana como el Valle de México, y los Valles de Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y D. F. Es un híbrido trilineal HS-2 [(CL11 x CL12) x CL7], proporcionado por el Programa de Semillas del Colegio de Postgraduados. El HS-2 es de grano blanco semidentado (Mancera *et al.*, 2007).

1.3.4. Variedades mejoradas para temporal en Valles Altos

Zacatecas 58: La variedad de maíz Zacatecas 58, corresponde a la colección número 58 del Estado de Zacatecas; es una población muy precoz que pertenece a la raza Cónico Norteño, cuya área de distribución es la zona norte-centro de México (Wellhausen *et al.*, 1952). Es una variedad precoz en Chapingo; en siembras de verano la floración media es de 59 días y la madurez fisiológica de aproximadamente 98 días. Tiene un rango amplio de adaptación.

Cafime: Pertenece a la raza Bolita (Wellhausen *et al.*, 1951) y como tal procede de las regiones secas de Oaxaca. Esta variedad fue liberada en 1958, y es el resultado de seleccionar visualmente y mezclar siete cruces resistentes a sequía derivadas de la raza Bolita, de una prueba hecha en 1957 en el Campo Experimental Francisco I. Madero, ubicado en Durango. Esta variedad es reconocida como la más tolerante y adaptada a las condiciones de sequía en siembras temporaleras de Durango. Tiene un ciclo vegetativo de 112 días, con 66 días a antesis (Medina y Gutiérrez, 2008).

1.4. LITERATURA CITADA

- Andrade F. H., A. G. Cirilo, S Uhary y M. E. Otegui. 1996.** Ecofisiología del cultivo de Maíz. Editorial La Barrosa y Dekalb Press. Buenos Aires, Argentina. 292 p.
- Arellano Vázquez, J. L., Virgen Vargas, J., Rojas Martínez, I., & Ávila Perches, M. A. 2011.** H-70: Híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del Altiplano Central de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(4), 619-626.
- Arellano Vázquez, J. L., Virgen Vargas, J., Rojas Martínez, I., & Ávila Perches, M. A. 2010.** H-66 híbrido de maíz para los Valles Altos de los Estados de México y Tlaxcala. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(2), 252-257.
- Ávila, P. M. A.; Arellano, V. J. L.; Virgen, V. J. y Gámez, V. A. J. 2008.** H-52, híbrido de maíz para Valles Altos. Memoria de resúmenes. XXII Congreso Nacional y II Internacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Chapingo, Estado de México. 284 p
- Borrás L., M. E. Otegui. 2001.** Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Sci.* 49: 1816-1822.
- Carrera V. J. A. 2002.** Comportamiento *per se* y en cruzas de maíz tropical adaptada al Valle de México. Tesis de Doctor en ciencias. Colegio de Postgraduados, IREGEP. Montecillo, Edo. De México. 87 p.
- Chávez A., J. L. 1995.** Mejoramiento de planta 2. Ed. Trillas. México. 143 p.
- CIMMYT. 1987.** Hechos y tendencias mundiales relacionados con el maíz: Aspectos económicos de la producción de semilla de variedades comerciales de maíz en los países en desarrollo. México, D. F. 50 p.

- Edmeades, G. O., J. Bolaños, M. Bänziger, J. M. Ribaut, J. W. White, M. P. Reynolds, and H. R. Lafitte. 1998.** Improving crop yields under water deficits in the tropics. *In: Chopra V. L., R. B. Singh and A. Varma (eds.), Crop Productivity and Sustainability - Shaping the Future. Proc. 2nd Int. Nueva Delhi: Oxford e IBH. Crop Science Congress. Pp: 437-451.*
- Flores H., A. 2001.** Introducción a la Genotecnia Vegetal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 131 p.
- Grant, R. F., B. S. Jackson, J. R. Kiniry, and G. F. Arkin. 1989.** Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agronomy Journal* 81:61-65.
- Hernández S. J. H., A. Muñoz O. 1988.** Selección familiar bajo sequía en tres fuentes genéticas de maíz en la región de Chiautla, Puebla. *Agrociencia*, 74: 283-295.
- Jugenheimer, R. W. 1990.** Maíz, Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla. Versión en español: Rodolfo Piña García. Ed. LIMUSA. México. 834 p.
- López T., M. 1995.** Mejoramiento. Editorial Trillas. México, D.F. 172 p.
- López-Castañeda C. 1996.** Uso eficiente del agua en un agrosistema sustentable. *In: Memorias del II Simposio Internacional y Reunión Nacional sobre Agricultura Sostenible. Comisión de Estudios Ambientales y Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados. San Luis Potosí, S.L.P., México. pp: 329-338.*
- Mancera R. A., García de los Santos, G., Carballo C. A., Villaseñor P. C. A., Martínez G. Á., & Estrada T. V. 2007.** Calidad fisiológica y daño físico en semilla de maíz sometida a impacto. *Agricultura técnica en México*, 33(2)125-133. Recuperado en 28 de julio de 2016, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000200002&lng=es&tlng=es.

Márquez S. F. 1988. Genotecnia Vegetal. Métodos, teoría y resultados. Tomo II. AGT Editor, S. A. México. 655 p.

Mata, G. B. 1992. La formación del agrónomo necesario. UACH. Chapingo, México. 136 p.

Medina M. E. y Gutiérrez S. Ricardo. 2008. Maíz Cafime, variedad de maíz que llevo para quedarse. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2223/Maiz%20cafime,%20variedad%20de%20maiz%20que%20llevo%20para%20quedarse.pdf?sequence=1>. (Consultado Junio 2016).

Méndez M, G., J. Solorza F., V. M. Velásquez D., N. Gómez M., O. Paredes L. y L. A. Bello P. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. Agrocienca 39: 267-274.

Mendoza R. M. 2004. Actualización de propuestas de trabajo del programa de maíz para adaptación y usos especiales en la mesa central. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 70 p.

Molina G. J. D. 1980. Selección Masal Visual Estratificada en Maíz. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. Pub. Especial. 35 p.

NeSmith, D. S. and J. T. Ritchie. 1992. Effects of soil water deficits during tassel emergence on development and yield component of maize (*Zea mays* L.). Field Crops Research 28:251-256.

Nissanka, S. P., M. A. Dixon, and M. Tollenaar. 1997. Canopy gas exchange response to moisture stress in old and new maize hybrid. Crop Science 37: 172- 181.

- Poehlman, J. M.; Allen S. D. 2003.** Mejoramiento Genético de las Cosechas. Ed. Limusa S. A. de C. V. Grupo Noriega Editores. 2da edición. México, D. F. 511 p.
- Raya P. J. C., C. B. Peña-Valdivia, G. O. Edmeades. 1996.** Procesos bioquímicos-fisiológicos del maíz involucrados en la tolerancia a sequía. In: Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize. Edmeades G. O., M. Banziger, H. R. Mickelson, and C. B. Peña-Valdivia. CIMMYT, México, March 25-29. Technical Editors pp: 169-176.
- Reyes, C. P. 1990.** El maíz y su cultivo. Ed. AGT Editor, S.A. México. D.F. 460 p.
- Reyes-Ramones R. E., J. Rodríguez-Ontiveros L. y C. López-Castañeda. 2000.** Resistencia a sequía de líneas S₁ derivadas de la variedad de maíz criollo de Ibarra. Agricultura Técnica en México 26:159-172.
- Rodríguez, V. J. 1981.** La oferta y la demanda del maíz en México. Sus proyecciones futuras. In: Memorias del simposio Nacional. El maíz en México, su presente, pasado y futuro. SARH, México. 330 p.
- Ron P., J; J. L. Ramírez D; R. Valdivia B. y B. J Maya L. 1999.** Comparación de tipos de variedades de maíz desarrolladas por el INIFAP en la región Centro-Occidente de México. Agrociencia. 35: 267-275 p.
- SAGARPA, 2014.** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. (En línea). Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Velázquez C. G. A. 2005.** H-40 híbrido de maíz de grano blanco para los Valles Altos de México. Folleto técnico. INIFAP. pp: 4-17.

Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X., with P. C. Mangelsdorf.

1952. Races of Maize of México. Bussey Institute Harvard University. Cambridge, Massachusetts. 223 p.

Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X., with P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. OEE-SAG. Folleto No. 5. México, D. F. 236 p.

CAPÍTULO II

RENDIMIENTO DE HÍBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAÍZ DE TEMPORAL PARA VALLES ALTOS EN DOS CONDICIONES DE HUMEDAD

2.1. RESUMEN

En los Valles Altos de México se requieren híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para temporal rendidores, precoces, y baratos. En este trabajo se evaluó el rendimiento de híbridos experimentales de maíz de cruza simple y trilineal de temporal para Valles Altos para identificar cruza sobresalientes con respecto a híbridos comerciales. Se evaluaron 13 cruza simples, 42 cruza trilineales, un mestizo y cuatro híbridos testigo. En 2015 se establecieron dos ensayos con los 60 genotipos en Montecillo, Texcoco, Edo. de México; uno se condujo bajo riego y el otro bajo temporal, ambos en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se midieron las variables: rendimiento, índice de prolificidad, días a floración masculina y femenina, y altura de planta y mazorca. Hubo significancia entre ambientes, siendo mejor el de riego que el de temporal. En temporal la humedad no fue del todo limitativa, por lo que el híbrido testigo HS-2, recomendado para siembras de riego, rindió 10.72 t ha⁻¹ y las cruza sobresalientes fueron T₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H40-3-3-2) y T₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H40-27-3-1) con rendimientos de 9.39 y 9.16 t ha⁻¹ respectivamente. En riego, HS-2 rindió 10.92 t ha⁻¹ y destacaron las cruza (T₄xT₆) x T₇ y (T₄xT₁) x T₃ con 10.79 y 10.75 t ha⁻¹, respectivamente. En promedio de ambientes sobresalieron el HS-2 y las cruza T₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H40-3-3-2) y (T₄xT₁) x T₃, con valores de 10.82, 9.86 y 9.83 t ha⁻¹ respectivamente. HS-2 rindió más, pero las cruza trilineales sobresalientes fueron más precoces y de mejor porte de planta. Además, algunas cruza simples resultaron todavía más precoces y de porte intermedio, con rendimientos de hasta

8.8 t·ha⁻¹, superando a varias cruzas trilineales y a otros testigos, por lo que estas podrían ser utilizadas como hembras en la formación de híbridos trilineales.

Palabras clave: *Zea mays*, cruzas simples y trilineales, rendimiento, riego, sequía, seco, variedades.

2.2. INTRODUCCIÓN

Uno de los retos del mejoramiento genético del maíz (*Zea mays* L.) son el diseño y desarrollo de variedades con adaptación específica y para usos especiales que respondan favorablemente a los efectos del cambio climático, principalmente a la de la falta de lluvias durante periodos críticos de su desarrollo. Pero también en el diseño de nuevos materiales genéticos mejorados es necesario considerar la reducción de los costos de producción y de la semilla mejorada, por lo que se deben generar líneas, variedades sintéticas e híbridos más baratos con buenas cualidades, que superen además en rendimiento a los materiales actuales (Mendoza, 2004).

El principal factor ambiental que limita la productividad del maíz en condiciones de temporal es la sequía, y la magnitud del daño que ésta le puede ocasionar depende de las etapas de desarrollo de la planta en que la falta de agua ocurra, siendo las más críticas las más cercanas a la floración y durante el periodo de llenado de grano (Edmeades *et al.*, 1998).

El bajo rendimiento de grano en maíz se debe principalmente a las deficiencias hídricas que ocurren durante la canícula en el periodo de lluvias, las cuales con mucha frecuencia coinciden con las etapas reproductivas de la planta, lo que disminuye el número, peso y calidad del grano, dependiendo de su duración y severidad (López-Castañeda, 1996; Reyes-Ramones *et al.*, 2000). Por lo tanto, una forma de reducir el impacto de esa sequía es mediante la generación y uso de variedades o híbridos que la soporten lo más posible, con el mínimo detrimento del rendimiento. Al respecto, la respuesta a las deficiencias hídricas puede variar entre genotipos bajo condiciones de campo, donde además las plantas pueden adaptarse

a los cambios de los factores ambientales, si es que estos se presentan en forma gradual (Nissanka *et al.*, 1997).

Ante los retos que impone el cambio climático global de mayores e intensos periodos de estiaje y heladas tempranas, en los Valles Altos de México, y en otras regiones agrícolas, se requieren con resistencia a la sequía, de buen rendimiento y ciclo corto o intermedio que sean accesibles y del agrado del productor, esto con el fin de asegurar e incrementar la producción de grano en la región dada su creciente demanda.

Entre las instituciones públicas que efectúan mejoramiento genético en maíz en los Valles Altos Centrales de México con el objetivo de generar materiales mejorados de maíz para temporal se encuentran el Colegio de Postgraduados (CP), la Universidad Autónoma Chapingo, el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

En particular, en el CP se hizo selección en Montecillo, Texcoco, para resistencia a sequía en las poblaciones de maíz Zacatecas 58, Cafime, Criollo del Mezquital y Cónico Compuesto, las cuales tienen tolerancia intrínseca a la sequía por provenir de ambientes de clima seco y semiseco. De los compuestos de ciclos de selección avanzados de estas poblaciones se derivaron líneas endogámicas que se cruzaron entre ellas y con líneas precoces derivadas de los híbridos Hit-7 del ICAMEX y H-40 del INIFAP, formándose cruza simples y trilineales experimentales que se compararon en rendimiento y otras características con los híbridos comerciales HS-2 del CP y H-40, H-66, y H-70 del INIFAP. El HS-2 está recomendado para siembras de riego, mientras que H-40, H-66, y H-70 son para siembras de punta de riego y buen temporal.

Con la finalidad de identificar híbridos de maíz sobresalientes en rendimiento recomendados para siembra de secano en Valles Altos, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento y otras características agronómicas de 13 cruza simples, 42 cruza trilineales y de un mestizo línea x variedad, todos experimentales, y compararlos con el comportamiento de un híbrido recomendado para siembra de riego y el de tres híbridos para siembra de punta de riego o buen temporal.

2.3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales genéticos de este trabajo consistieron de los experimentales: 13 cruzas simples, 42 cruzas trilineales y un mestizo línea x variedad, y de los comerciales: híbrido HS-2, recomendado para siembras de riego, y de los híbridos H-40, H-66, y H-70 recomendados para siembras de punta de riego, buen temporal, y temporal retrasado. Las líneas endogámicas progenitoras de las cruzas simples y trilineales experimentales se derivaron de los compuestos de ciclos de selección avanzados para resistencia a sequía (líneas denominadas T) de las variedades de maíz Zacatecas 58, Cafime, Criollo del Mezquital y Cónico Compuesto, las cuales tienen tolerancia *per se* a la sequía, y también de plantas precoces F₂ autofecundadas de los híbridos Hit-7 y H-40. Los híbridos comerciales usados como testigos son todos de cruce trilineal (Cuadro 1).

Cuadro 1. Genealogía de 60 híbridos de maíz evaluados en el ciclo primavera-verano 2015, en dos condiciones de humedad en Montecillo, México.

Núm. de Parcela	Híbrido	Núm. de Parcela	Híbrido
1	T ₁ X _{T3}	31	H-40-63-1-1 x H-40-3-3-2
2	T ₅ X _{T6}	32	H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2
3	T ₁₀ X _{T11}	33	H-40-3-3-2 x Hit7-14-1-2
4	T ₁₁ X _{T12}	34	H-40-63-1-1 x Hit7-28-1-2
5	(T ₁ X _{T2})X _{T3}	35	H-40-3-3-2 x Hit7-28-1-3
6	(T ₁ X _{T3})X _{T4}	36	T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-3-3-2)
7	(T ₁ X _{T5})X _{T6}	37	T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-27-3-1)
8	(T ₁ X _{T7})X _{T8}	38	T ₁₈ x (Hit7-14-1-2 x H-40-27-3-1)
9	(T ₁ X _{T9})X _{T10}	39	T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2)
10	(T ₃ X _{T5})X _{T6}	40	T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-27-3-1)

11	(T ₃ X T ₈)X T ₉	41	T ₁₈ X (Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻³ X H-40 ⁻³⁻³⁻²)
12	(T ₃ X T ₁₁)X T ₁₂	42	T ₁₈ X (Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻³ X H-40 ⁻²³⁻³⁻²)
13	(T ₄ X T ₇)X T ₈	43	T ₁₈ X (Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻³ X H-40 ⁻²⁷⁻³⁻¹)
14	(T ₄ X T ₁)X T ₃	44	T ₁₈ X (Hit7 ⁻¹³⁻²⁻¹ X Hit7 ⁻¹⁰⁻²⁻¹)
15	(T ₄ X T ₂)X T ₃	45	T ₁₈ X (Hit7 ⁻¹⁴⁻¹⁻² X Hit7 ⁻²⁸⁻³⁻¹)
16	(T ₄ X T ₅)X T ₆	46	T ₁₈ X (H-40 ⁻²³⁻³⁻³ X H-40 ⁻¹⁰⁻¹⁻²)
17	(T ₄ X T ₆)X T ₇	47	T ₁₈ X (H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹ X H-40 ⁻⁶⁸⁻¹⁻¹)
18	T ₄ X (T ₇ X T ₈)	48	T ₁₈ X (H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹ X H-40 ⁻²³⁻³⁻¹)
19	(T ₄ X T ₈)X T ₉	49	T ₁₈ X (H-40 ⁻⁶⁸⁻¹⁻¹ X H-40 ⁻⁴⁹⁻¹⁻¹)
20	(T ₄ X T ₉)X T ₁₀	50	(T ₂ X T ₃) X Hit7 ⁻¹³⁻²⁻¹
21	(T ₄ X T ₁₁)X T ₁₂	51	(T ₂ X T ₃) X Hit7 ⁻¹⁴⁻¹⁻²
22	(T ₄ X T ₁₄)X T ₅	52	(T ₂ X T ₃) X H-40 ⁻¹⁰⁻¹⁻²
23	Zac.58-41X Zac.58-294	53	(T ₂ X T ₃) X H-40 ⁻²³⁻³⁻¹
24	Cafime x T ₁₈	54	(T ₂ X T ₃) X H-40 ⁻²⁴⁻¹⁻¹
25	T ₅ X T ₁₄	55	(T ₂ X T ₃) X H-40 ⁻³⁸⁻²⁻¹
26	Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻¹ X H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹	56	(T ₂ X T ₃) X H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹
27	H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹ X (T ₁ X T ₃)	57	H-40
28	H-40 ⁻⁶⁸⁻¹⁻¹ X (T ₁ X T ₃)	58	H-66
29	H-40 ⁻²³⁻³⁻¹ X (T ₁₄ X T ₅)	59	H-70
30	H-40 ⁻²⁷⁻³⁻¹ X Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻²	60	HS-2

2.3.1. Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Edo. de México (19° 29' LN y 98° 54' LO, a una altitud de 2250 m). El clima prevaleciente en esta localidad es templado [Cb (wo)(w)(i')g] con

verano largo y fresco, temperatura media anual de 15.2 °C; la temperatura en el mes más frío varía entre 6.5 y 22 °C, con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5 %; con temperaturas del mes más caliente mayor de 10 °C; precipitación media anual de 637 mm (García, 2004); el suelo es de textura arcillosa, con pH de 7.8.

Cuadro 2. Precipitación y temperatura en Montecillo, Texcoco, Edo. de México, durante 2015.

Mes	Precipitación (mm)	T. Máxima °C	T. Media °C	T. Mínima °C
Enero	0	7	1.8	-2.7
Febrero	1.3	5.3	0.6	-3.9
Marzo	90.7	9	5.7	1.6
Abril	55.4	11.3	5.8	1.3
Mayo	127.3	13.7	9.3	4.4
Junio	152.1	15.1	11.4	7.3
Julio	99.1	14.4	10.2	5.5
Agosto	100.4	14.5	10.5	6.3
Septiembre	113.7	14.9	11.7	7.9
Octubre	10.2	12.5	8.4	4.5
Noviembre	17.7	12.8	8.6	4.3
Diciembre	16.6	10.4	6	1.9
	Suma 784.5 mm	Prom. 11.74	Prom. 7.5	Prom. 3.2

T, temperatura °C.

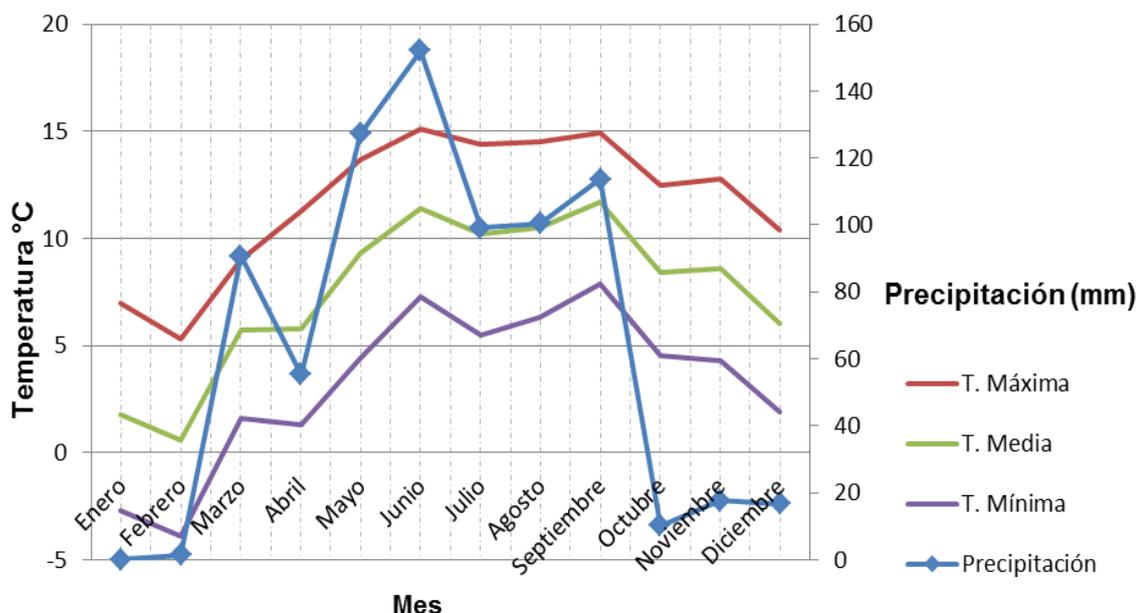


Figura 1. Precipitación y temperatura en Motecillo, Texcoco, Edo. de México. 2015.

2.3.2. Diseño del experimento

En cada ambiente se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la parcela experimental consistió de dos surcos de 6 m de largo y 0.80 m de ancho con 13 matas por surco; se sembró 2 semillas por golpe cada 50 cm, dando un total de 52 plantas por parcela dando una densidad de siembra ($50250 \text{ plantas/ha}^{-1}$).

2.3.3. Manejo agronómico

La preparación del terreno consistió de un barbecho, rastreo y posteriormente se realizó el surcado; la fertilización en cada parcela se hizo con 120 kg N y $80 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, aplicando todo el P_2O_5 y la mitad del N en la siembra y el resto del N al realizar la segunda escarda (30 días después de la siembra, dds). Para el control de maleza se aplicó Gesaprim Calibre 90 GDA[®] (3 L ha^{-1}) a los siete dds, y a los 60 dds se hizo otro control con una mezcla de Gesaprim Calibre 90 GDA[®] y Gramoxone[®] más detergente Roma[®] como surfactante. Se establecieron dos

ensayos de rendimiento con los 60 genotipos, uno se condujo bajo riego sin restricciones de humedad durante todo el ciclo de cultivo y el otro se condujo bajo temporal, donde se dio un riego de siembra al inicio y después la humedad en el terreno fue de las lluvias del temporal y de un riego de auxilio durante la canícula. La siembra en riego se hizo el 2 de junio, mientras que la de temporal se realizó el día 10 del mismo mes. En ambos ambientes la siembra fue manual con pala. La cosecha fue manual, todas las mazorcas de maíz de cada parcela fueron colocadas en costales marcados para no revolver el maíz de los distintos materiales.

2.3.4. Variables evaluadas

Número de plantas por parcela (NPP): Se registró el número de plantas útiles por parcela cuando estas comenzaban la floración masculina.

Número de mazorcas cosechadas (NMC): Se contó el número de mazorcas cosechadas por parcela.

Peso de campo (PEC): Se pesaron las mazorcas cosechadas de cada parcela con una báscula manual en campo.

Rendimiento por planta (RENPP): El rendimiento por planta (RENPP) se calculó dividiendo el peso de campo (PEC) entre el número de plantas por parcela (NPP).

Rendimiento de grano en t ha⁻¹(REND): Se midió el rendimiento de mazorca en t ha⁻¹ (REND) como el peso en kg a humedad constante de grano de las mazorcas cosechadas de cada parcela dividido entre el número de plantas por parcela; este resultado es el peso de mazorca por planta, que se multiplicó por la densidad de siembra (50, 250 plantas ha⁻¹).

Índice de prolificidad por planta (ÍPP): Resultado de dividir el número de mazorcas cosechadas entre el número de plantas por parcela.

Días a floración masculina (DFM): Los DFM fueron registrados como el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que 50 % de plantas útiles de cada parcela alcanzó la antesis.

Días a floración femenina (DFF): Los DFF fueron registrados como el número de días transcurrido desde la fecha de siembra hasta que 50 % de plantas útiles de cada parcela tuvo emergencia de estigmas.

Altura de planta (AP): Esta variable se tomó como la altura promedio en cm desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera (última hoja superior), en una muestra de 10 plantas tomadas al azar por parcela con competencia completa.

Altura de mazorca (AM): Esta variable se evaluó con las mismas plantas para altura de planta. La altura se registró en cm desde la base de la planta a la altura del nudo de la mazorca principal.

2.3.5. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza combinando para ambientes, una prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) para cada una de las variables por ambiente y en promedio de ambientes, y una correlación fenotípica entre el rendimiento y las variables agronómicas medidas. Todos los procedimientos se hicieron mediante SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado detectó significancia ($P \leq 0.05$) entre ambientes para todas las variables, excepto para IPP, y de igual manera entre genotipos hubo significancia para todas las variables, por lo que se puede decir que los promedios de ambientes fueron diferentes y que al menos la expresión genética y fenotípica de un genotipo resultó diferente a la de otro. La interacción genotipo x ambiente fue significativa para rendimiento, IPP, DFM y DFF, mientras que el porte de planta y mazorca (AP y AM) en general fue consistente a través de ambientes. Los coeficientes de variación resultaron relativamente bajos para todas las variables, ya que estuvieron por debajo del 10 %, lo que significa que se tuvo un control adecuado de la variación experimental y que los datos obtenidos para las variables de esta investigación son confiables (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrados medios y coeficientes de variación del análisis de varianza combinado de seis variables de 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano 2015, Montecillo, México.

F.V.	G.L.	Variables					
		REND	IPP	DFM	DFF	AP	AM
Amb	1	44.98*	0.069NS	119.03*	111.11*	33601.34*	17430.63*
Rep(Amb)	4	1.01NS	0.022NS	2.27NS	1.73NS	1406.36 *	1282.20 *
Gen	59	5.17*	0.076*	29.44*	33.56*	1181.13*	828.62*
Amb*Gen	59	1.84*	0.025*	3.03*	5.24*	116.19NS	103.52NS
Error	236	0.26	0.01	0.63	1.08	116.93	73.4
C.V. (%)	6	9	1	1	5	8	

F.V., fuente de variación; G.L., grados de libertad; REND, rendimiento de mazorca $t\ ha^{-1}$; IPP, índice de prolificidad por planta; DFM, días a floración masculina; DFF, días a floración femenina; AP, altura de planta; AM, altura de mazorca; C.V., coeficiente de variación; *, Diferencias significativas al 0.05; NS, no significativo.

La significancia entre ambientes se atribuye a que las condiciones hídricas fueron diferentes bajo riego y bajo temporal, aun cuando la lluvia y su distribución para 2015 en Montecillo durante el ciclo de cultivo fueron buenas, excepto en la canícula, donde se dio un riego de auxilio en el ambiente de temporal. En la región también se presentaron dos granizadas fuertes que causaron daños variables entre las plantas antes de la etapa de floración. Tales condiciones ambientales afectaron la expresión de los genotipos para las variables evaluadas de un ambiente a otro.

Las diferencias entre genotipos evidencian que los materiales experimentales tuvieron diferente expresión genotípica y fenotípica. Esto se atribuye a que cruas simples y trilineales formadas con líneas de diferentes orígenes y potenciales genéticos se analizaron en conjunto. Por otro lado, la significancia de la interacción genotipo x ambiente indica que los materiales interaccionaron con los ambientes debido a su respuesta diferencial a los efectos ambientales, esto como resultado de su diferente constitución y expresión genética. Los efectos adversos del clima por daños de granizadas poco antes de la floración y las diferencias en humedad entre ambientes fueron los que principalmente causaron la interacción genético-ambiental.

Con respecto a la comparación de medias para el ambiente de riego (Cuadro 4), en rendimiento destacó el híbrido testigo HS-2 con $10.92\ t\ ha^{-1}$, siendo este un material recomendado para siembras de riego. Entre otras cruas que rindieron más de $10\ t\ ha^{-1}$, las cruas experimentales $(T_4 \times T_6) \times T_7$ y $(T_4 \times T_1) \times T_3$ rindieron 10.79 y $10.75\ t\ ha^{-1}$, respectivamente, siendo estos rendimientos muy cercanos al del HS-2;

ambas cruzas están formadas con líneas T de temporal y son más precoces que HS-2. Estas cruzas también rindieron numéricamente más que los testigos H-70, H-66, y H-40, siendo esto importante en la producción de maíz de Valles Altos, ya que podrían ser híbridos prospectos para siembras de riego. El mestizo Línea x Variedad (Cafime x T₁₈) tuvo un rendimiento de 8.5 t ha⁻¹, superior a la media nacional. En índice de prolificidad (IPP) las cruzas (T₂xT₃) x H-40-38-2-1 y H-40-63-1-1 x H-40-3-3-2 tuvieron los valores más altos, de 1.6 y 1.5, respectivamente. Los híbridos más precoces fueron Zac. 58-41 x Zac. 58-294 y Cafime x T₁₈ con 72 y 73 días a la floración, respectivamente; el híbrido más tardío fue el HS-2 con 89 días a floración. En general las cruzas experimentales más rendidoras y precoces de este trabajo se consideran de buen porte de planta y mazorca para su cosecha y producción de semilla, pues los valores máximos en este ambiente para estas variables fueron de 242.7 y 139 cm, respectivamente.

Cuadro 4. Promedio de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.

Híbridos	REND	IPP	DFM	DFF	AP	AM
HS-2	10.92a	1.2b-g	89a	88a	225.3a-f	112.7a-i
(T ₄ xT ₆)xT ₇	10.79a-b	1.3a-e	81b	81b-c	237.0a-c	133.3a-c
(T ₄ xT ₁)xT ₃	10.75a-b	1.4a-d	79b-g	79b-g	222.7a-f	119.7a-i
(T ₂ xT ₃) x H-40-38-2-1	10.70a-b	1.6a	81b-c	80b-e	218.7a-f	126.7a-g
(T ₄ xT ₅)xT ₆	10.63a-c	1.2a-g	81b-c	79b-g	231.7a-d	127.0a-f
T ₄ x(T ₇ xT ₈)	10.35a-d	1.4a-c	80b-e	81b-c	228.7a-d	122.7a-h
T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2)	10.33a-d	1.4a-c	76j-k	75i-n	191.7d-g	102.7c-i
H-70	10.10a-e	1.4a-c	79b-h	79b-i	214.0a-g	118.7a-i

T ₁₈ x (H-40-63-1-1 x H-40-68-1-1)	10.08a-e	1.1c-g	77h-k	74l-o	200.0b-g	106.7b-i
(T ₂ xT ₃) x H-40-63-1-1	10.06a-e	1.2a-g	77f-k	76f-m	216.0a-g	123.7a-h
(T ₃ xT ₈)xT ₉	9.91a-e	1.2b-g	80b-e	80b-f	228.3a-d	133.3a-c
(T ₂ xT ₃) x H-40-24-1-1	9.90a-e	1.2b-g	79b-i	79b-i	231.7a-d	139.0a
(T ₄ xT ₈)xT ₉	9.80a-f	1.2b-g	79b-g	81b-c	242.7a	131.7a-d
(T ₄ xT ₇)xT ₈	9.79a-f	1.3a-e	80b-f	80b-d	223.0a-f	119.3a-i
T ₁₈ x (Hit7-14-1-2 x H-40-27-3-1)	9.78a-f	1.3a-g	79b-i	77c-m	200.0b-g	111.0a-i
H-40	9.73a-f	1.1b-g	80b-e	80b-d	216.0a-g	118.0a-i
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-27-3-1)	9.65a-g	1.3a-e	76i-k	76g-m	200.0b-g	106.7b-i
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-3-3-2)	9.65a-g	1.2b-g	76k	74m-o	195.3d-g	103.3b-i
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-3-3-2)	9.51a-h	1.2a-g	77h-k	76e-m	201.3b-g	112.3a-i
T ₅ xT ₆	9.50a-i	1.2b-g	79b-g	79b-i	201.0b-g	115.0a-i
T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-27-3-1)	9.49a-i	1.2b-g	76j-k	74k-o	202.0a-g	112.7a-i
H-66	9.45a-i	1.2b-g	79b-h	79b-i	204.7a-g	115.0a-i
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x Hit7-10-2-1)	9.39a-j	1.1b-g	76j-k	76g-m	202.7a-g	106.7b-i
T ₁₈ x (Hit7-14-1-2 x Hit7-28-3-1)	9.39a-j	1.1c-g	76j-k	75h-n	201.0b-g	106.7b-i
H-40-23-3-1 x (T ₁₄ xT ₅)	9.37a-k	1.2b-g	80b-d	79b-g	224.7a-f	122.3a-h
T ₁₈ x (H-40-63-1-1 x H-40-23-3-1)	9.36a-k	1.1b-g	77g-k	75h-n	195.7d-g	102.7c-i
(T ₂ xT ₃) x Hit7-14-1-2	9.35a-k	1.1b-g	78d-k	78b-j	216.7a-g	124.7a-h
(T ₁ xT ₃)xT ₄	9.30a-k	1.2a-g	77h-k	75j-o	214.7a-g	113.7a-i
H-40-3-3-2 x Hit7-14-1-2	9.27a-k	1.3a-e	80b-e	80b-f	194.3d-g	100.0d-i
(T ₄ xT ₁₄)xT ₅	9.26a-k	1.1b-g	79b-g	81b-c	221.7a-f	120.0a-i
(T ₃ xT ₅)xT ₆	9.19a-k	1.2b-g	80b-f	79b-g	206.0a-g	113.7a-i
H-40-3-3-2 x Hit7-28-1-3	9.13a-k	1.2a-g	78d-k	77c-m	201.7a-g	96.3f-i
H-40-63-1-1 x (T ₁ xT ₃)	9.09a-k	1.0d-g	81b-c	78b-j	217.7a-g	114.7a-i

T ₁₈ x (H-40-23-3-3 x H-40-10-1-2)	9.09a-k	1.2a-g	77f-k	78b-j	202.3a-g	113.7a-i
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-27-3-1)	9.02a-l	1.1b-g	76j-k	74l-o	193.0d-g	104.0b-i
H-40-63-1-1 x H-40-3-3-2	8.91b-m	1.5a-b	81b	82b	177.0g	89.3i
(T ₃ xT ₁₁)xT ₁₂	8.79c-n	1.1b-g	78c-j	77c-m	213.7a-g	125.3a-g
T ₁₈ x (H-40-68-1-1 x H-40-49-1-1)	8.78c-n	1.0c-g	77f-k	76g-m	212.0a-g	116.3a-i
(T ₂ xT ₃) x Hit7-13-2-1	8.75c-n	1.2b-g	78c-j	78b-k	221.7a-f	124.0a-h
(T ₄ xT ₁₁)xT ₁₂	8.74c-n	1.2b-g	79b-g	80b-d	226.7a-e	132.7a-c
(T ₄ xT ₉)xT ₁₀	8.6d-n	1.2b-g	80b-f	80b-f	238.7a-b	134.7a-b
T ₁₁ xT ₁₂	8.55d-o	0.9g	77g-k	76g-m	214.3a-g	126.7a-g
Cafime x T ₁₈	8.51d-o	1.0c-g	73l	72n-o	196.7c-g	106.3b-i
T ₁ xT ₃	8.5d-o	1.2b-g	77g-k	77c-m	214.0a-g	123.0a-h
(T ₂ xT ₃) x H-40-23-3-1	8.5d-o	1.1b-g	78c-j	78c-l	227.7a-e	133.3a-c
(T ₄ xT ₂)xT ₃	8.46d-o	1.2a-g	80b-d	80b-d	208.7a-g	108.7a-i
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-23-3-2)	8.29e-o	1.1b-g	76i-k	75i-n	191.0d-g	100.7d-i
H-40-68-1-1 x (T ₁ xT ₃)	7.99f-p	1.1c-g	79b-g	79b-h	226.7a-e	125.0a-g
Hit7-28-1-1 x H-40-63-1-1	7.93f-p	1.0d-g	80b-e	80b-f	202.7a-g	95.0g-i
(T ₁ xT ₂)xT ₃	7.75g-p	1.1b-g	77h-k	76g-m	202.0a-g	105.0b-i
(T ₁ xT ₅)xT ₆	7.67h-p	1.3a-e	79b-h	79b-h	196.0c-g	98.0e-i
(T ₁ xT ₇)xT ₈	7.6i-p	1.1b-g	80b-e	79b-g	196.7c-g	95.3f-i
H-40-27-3-1 x Hit7-28-1-2	7.53j-p	1.1c-g	79b-h	79b-g	220.7a-f	118.3a-i
H-40-63-1-1 x Hit7-28-1-2	7.48k-p	1.0e-g	76j-k	75h-n	191.7d-g	93.0h-i
T ₁₀ xT ₁₁	7.15l-q	1.3a-f	78e-k	78b-k	186.7e-g	95.7f-i
(T ₁ xT ₉)xT ₁₀	7.03m-q	1.0d-g	76k	74k-o	213.7a-g	114.3a-i
H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2	6.93n-q	1.1c-g	81b	81b-c	185.0f-g	93.0h-i
(T ₂ xT ₃) x H-40-10-1-2	6.66o-q	1.1b-g	79b-g	79b-h	224.7a-f	128.3a-e

T ₅ xT ₁₄	6.22p-q	1.0e-g	77f-k	77d-m	212.0a-g	116.0a-i
Zac.58-41 x Zac. 58-294	5.27q	0.9f-g	72m	71o	204.0a-g	111.7a-i
DMS	1.91	0.4	3	4	41.1	32

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes. REND, rendimiento de mazorca t ha⁻¹; IPP, índice de prolificidad por planta; DFM, días a floración masculina; DFF, días a floración femenina; AP, altura de planta; AM, altura de mazorca.

En el ambiente de temporal nuevamente el híbrido HS-2 tuvo el mayor rendimiento, con 10.72 t ha⁻¹ (Cuadro 5), el cual fue ligeramente menor al expresado en riego. Esto resultó así porque en temporal la humedad no fue del todo limitativa, ya que hubo buena precipitación en el año de evaluación, de 784.5 mm, valor superior al promedio de 637 mm (García, 2004), excepto durante la canícula, la que causó estrés por falta de humedad y entonces se dio un riego de auxilio. Además, el híbrido HS-2 expresó el mayor IPP en este ambiente, con 1.6. En este ambiente las cruza experimentales sobresalientes fueron T₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2) y T₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-27-3-1), con rendimientos de 9.39 y 9.16 t ha⁻¹ respectivamente, siendo materiales diferentes a los que sobresalieron en riego. Tan es así que en este ambiente sobresalieron las cruza simples T₁xT₃ y T₁₁x T₁₂ que rindieron 8.94 y 8.92 t ha⁻¹, numéricamente sobrepasando el rendimiento del H-40. El mestizo Cafime x T₁₈ también tuvo un rendimiento aceptable (8.2 t ha⁻¹) y buena precocidad. Este resultado es importante porque indica que las cruza experimentales se expresaron de manera diferente a través de las condiciones contrastantes de humedad, esto por efecto de su origen genético tolerante a la sequía. También es de destacar que estas cruza sobresalientes resultaron más precoces y de menor porte de planta y mazorca que el HS-2, lo cual podría constituir una ventaja para mover su fecha de siembra en siembras de temporal y en la producción de semilla híbrida. En general, los materiales resultaron ser otra

vez de buen porte de planta y mazorca, ya que los valores máximos de estas variables fueron 228.7 y 131.3 cm, respectivamente. Además pueden considerarse de ciclo corto a intermedio, ya que su floración ocurrió de los 73 a los 82 días.

Cuadro 5. Promedio de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.

Híbridos	REND	IPP	DFM	DFF	AP	AM
HS-2	10.72a	1.6a	85a	84a	209.3a-g	109.0a-j
T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2)	9.39a-b	1.3b-f	76i-o	75h-n	189.0c-l	98.7b-m
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-27-3-1)	9.16b-c	1.5a-b	74m-p	74l-o	183.0e-l	101.7b-m
(T ₂ xT ₃) x H-40-23-3-1	9.14b-c	1.2b-f	79c-h	78b-h	202.0a-j	110.3a-i
H-70	9.13b-c	1.3b-f	77e-m	76g-n	185.0d-l	89.7h-n
H-40-63-1-1 x (T ₁ xT ₃)	9.13b-c	1.1d-f	80b-d	80b-d	183.0e-l	97.3c-m
H-66	9.12b-c	1.4a-e	79c-h	78c-i	186.3c-l	101.0b-m
(T ₄ xT ₈)xT ₉	9.06b-c	1.3b-f	79c-h	78c-i	225.3a-b	131.3a
T ₁ xT ₃	8.94b-d	1.2c-f	76h-n	74k-o	197.7a-k	103.7b-m
T ₁₁ xT ₁₂	8.92b-d	1.2b-f	74m-p	74l-o	180.0e-l	96.3c-m
T ₁₈ x (H-40-68-1-1 x H-40-49-1-1)	8.91b-d	1.1d-f	78d-k	76g-m	182.7e-l	96.3c-m
(T ₄ xT ₁)xT ₃	8.90b-d	1.3b-f	76g-m	76g-m	207.7a-g	118.7a-e
H-40-27-3-1 x Hit7-28-1-2	8.90b-d	1.2c-f	76i-o	75h-n	199.0a-k	102.3b-m
T ₅ xT ₁₄	8.90b-d	1.1d-f	75l-p	75i-n	207.7a-g	110.0a-j
T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-27-3-1)	8.88b-d	1.2b-f	75k-p	74k-o	179.0f-l	95.3c-m
H-40-23-3-1 x (T ₁₄ xT ₅)	8.82b-e	1.2c-f	78d-i	78d-j	203.0a-i	103.7b-m
T ₁₈ x (Hit7-14-1-2 x H-40-27-3-1)	8.79b-e	1.2c-f	75l-p	74k-o	187.7c-l	104.0b-m
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-3-3-2)	8.76b-e	1.2b-f	74m-p	75j-n	177.3g-l	91.7f-m

T ₁₈ x (Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻³ x H-40 ⁻²³⁻³⁻²)	8.76b-e	1.2b-f	75k-p	75j-n	170.0j-l	87.3h-n
T ₁₈ x (Hit7 ⁻¹⁴⁻¹⁻² x Hit7 ⁻²⁸⁻³⁻¹)	8.76b-e	1.2b-f	73o-p	73m-o	174.0h-l	85.3i-n
T ₁₈ x (H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹ x H-40 ⁻⁶⁸⁻¹⁻¹)	8.75b-e	1.1e-f	77f-m	75i-n	177.7g-l	89.7h-n
H-40	8.72b-e	1.1e-f	79c-h	78b-h	185.7d-l	92.3e-m
T ₁₈ x (H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹ x H-40 ⁻²³⁻³⁻¹)	8.69b-e	1.2b-f	78d-k	76f-m	179.0f-l	94.3c-m
(T ₄ xT ₁₄)xT ₅	8.67b-e	1.3b-f	78d-j	78c-i	212.3a-e	118.0a-f
(T ₂ xT ₃) x H-40 ⁻³⁸⁻²⁻¹	8.58b-e	1.4a-e	80b-d	80b-e	183.0e-l	106.7a-k
H-40 ⁻³⁻³⁻² x Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻³	8.56b-e	1.3b-f	76i-o	76g-m	184.7e-l	78.7m-n
T ₁₈ x (Hit7 ⁻¹³⁻²⁻¹ x Hit7 ⁻¹⁰⁻²⁻¹)	8.54b-e	1.2c-f	76i-o	75i-n	185.7d-l	94.0d-m
T ₄ x(T ₇ xT ₈)	8.53b-e	1.3b-f	78d-k	77d-k	217.3a-d	116.7a-g
(T ₂ xT ₃) x H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹	8.53b-e	1.2b-f	78d-i	78c-i	187.0c-l	98.3c-m
(T ₄ xT ₇)xT ₈	8.52b-e	1.3b-f	79c-h	78c-i	206.3a-h	107.3a-k
T ₁₈ x (Hit7 ⁻¹³⁻²⁻¹ x H-40 ⁻³⁻³⁻²)	8.49b-e	1.5a-b	76g-m	77e-l	183.7e-l	95.7c-m
T ₁₈ x (Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻³ x H-40 ⁻²⁷⁻³⁻¹)	8.48b-e	1.2c-f	75j-p	75i-n	177.3g-l	92.7d-m
(T ₃ xT ₈)xT ₉	8.47b-e	1.1d-f	78d-j	76f-m	201.7a-j	112.0a-h
(T ₃ xT ₅)xT ₆	8.45b-e	1.1d-f	77f-m	76f-m	194.3b-k	108.7a-j
(T ₄ xT ₉)xT ₁₀	8.42b-e	1.2b-f	79c-h	78c-i	228.7a	125.0a-b
(T ₄ xT ₁₁)xT ₁₂	8.41b-e	1.4a-d	76g-m	76f-m	211.0a-f	120.7a-c
Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻¹ x H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹	8.40b-e	1.1e-f	80b-e	80b-e	180.0e-l	79.0m-n
H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹ x Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻²	8.39b-e	1.0f	77f-m	77e-l	177.3g-l	83.7j-n
(T ₃ xT ₁₁)xT ₁₂	8.39b-e	1.2b-f	78d-j	77e-l	206.0a-h	116.7a-g
(T ₂ xT ₃) x H-40 ⁻²⁴⁻¹⁻¹	8.33b-f	1.2b-f	78d-j	76g-m	199.0a-k	109.3a-j
(T ₂ xT ₃) x Hit7 ⁻¹³⁻²⁻¹	8.24b-g	1.2b-f	78d-j	77e-l	190.3c-k	98.7b-m
Cafime x T ₁₈	8.24b-g	1.0f	75l-p	75j-n	181.7e-l	90.3g-n
(T ₂ xT ₃) x Hit7 ⁻¹⁴⁻¹⁻²	8.19b-g	1.2c-f	77e-m	77e-l	194.0b-k	109.3a-j

H-40-3-3-2 x Hit7-14-1-2	8.15b-g	1.2b-f	78d-i	78d-j	180.0e-l	88.3h-n
(T ₄ xT ₅)xT ₆	7.97b-h	1.2b-f	79b-f	79b-f	205.7a-h	112.7a-h
(T ₁ xT ₇)xT ₈	7.89b-h	1.2b-f	76h-n	75h-n	192.0c-k	99.7b-m
(T ₂ xT ₃) x H-40-10-1-2	7.83c-h	1.1d-f	79c-g	79b-f	201.7a-j	112.3a-h
T ₁₈ x (H-40-23-3-3 x H-40-10-1-2)	7.83c-h	1.1d-f	77f-m	78d-j	171.7i-l	88.0h-n
(T ₁ xT ₃)xT ₄	7.75c-h	1.2b-f	76g-m	75j-n	191.0c-k	101.7b-m
(T ₁ xT ₉)xT ₁₀	7.52d-i	1.3b-f	76i-o	75h-n	195.0b-k	96.7c-m
H-40-68-1-1 x (T ₁ xT ₃)	7.32e-j	1.3b-f	79c-h	78c-i	194.3b-k	101.3b-m
(T ₁ xT ₂)xT ₃	7.32e-j	1.0f	73n-p	71o	187.7c-l	96.0c-m
(T ₄ xT ₆)xT ₇	6.85f-k	1.2c-f	78d-i	78d-j	218.3a-c	119.0a-d
(T ₁ xT ₅)xT ₆	6.73g-k	1.1d-f	76h-n	75i-n	198.7a-k	105.7a-l
(T ₄ xT ₂)xT ₃	6.47h-k	1.0f	77e-l	77e-l	191.0c-k	101.0b-m
T ₅ xT ₆	6.11i-k	1.1d-f	80b-e	80b-e	202.0a-j	112.3a-h
H-40-63-1-1 x H-40-3-3-2	6.10i-k	1.5a-c	82b	81a-b	157.7l	64.3n
H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2	5.92j-k	1.0f	81b-c	81a-c	168.0k-l	79.7l-n
T ₁₀ xT ₁₁	5.75k	1.2c-f	79c-g	79b-g	171.0i-l	81.3k-n
Zac.58-41 x Zac. 58-294	5.72k	1.1e-f	73p	73n-o	170.7i-l	93.3d-m
DMS	1.53	0.3	3	3	34.4	26.4

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes. REND, rendimiento de mazorca t ha⁻¹; IPP, índice de prolificidad por planta; DFM, días a floración masculina; DFF, días a floración femenina; AP, altura de planta; AM, altura de mazorca.

La comparación de medias del promedio de ambientes (Cuadro 6) indica que el híbrido testigo HS-2 sobresalió en rendimiento con 10.82 t ha⁻¹ y fue más tardío hasta en 11 días con respecto a algunas de las cruzas sobresalientes. Tales cruzas fueron T₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2), (T₄xT₁) x T₃, (T₂xT₃) x H-40-38-2-1, con rendimientos de 9.86, 9.83, y 9.64 t ha⁻¹, respectivamente, valores que

numéricamente pasaron el rendimiento del H-70, con 9.62 t ha⁻¹. Al igual que el HS-2, la crucea T18 x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2) también se mantuvo entre los primeros lugares de rendimiento en promedio de ambientes. El mestizo Cafime x T18 también tuvo un rendimiento promedio alto, de 8.4 t ha⁻¹, por lo que podría ser un buen prospecto para ofertarlo a los productores de maíz de la región.

El índice de prolificidad más alto lo tuvieron los híbridos (T₂xT₃) x H-40-38-2-1 y H-40-63-1-1 x H-40-3-3-2, con valores de 1.5, seguidos por los híbridos T₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-27-3-1) y HS-2 con 1.4. Cabe resaltar que estos híbridos experimentales se encuentran entre los de índices más altos en ambos ambientes, ya que el híbrido HS-2 solo expresó su potencial para esta variable en sequía.

Con respecto al ciclo de cultivo, determinado por las floraciones masculina y femenina, se observó que a través de ambientes el híbrido HS-2 mantuvo la tendencia de florecer tardíamente, con 87 días después de la siembra. En tanto que los híbridos más precoces fueron Zac. 58-41 x Zac. 58-294, Cafime x T₁₈ y T₁₈ x (Hit7-14-1-2 x Hit7-28-3-1) al florecer a los 72, 74 y 75 días después de la siembra, respectivamente. Cabe resaltar que estos híbridos expresaron su precocidad en los dos ambientes.

Con respecto al porte de planta y mazorca, las plantas más altas resultaron ser las de las cruces (T₄xT₈) x T₉, (T₄xT₉) x T₁₀ y (T₄xT₆) x T₇ con valores de 234, 233.7 y 227.7 cm, respectivamente, los cuales se consideran aceptables para la producción de grano y de semilla e inclusive de forraje (Arellano *et al.*, 2011). La altura de planta, al igual que la de la mazorca, es una característica importante que se toma en cuenta en el mejoramiento de híbridos de maíz para facilitar la cosecha, producir la semilla, y reducir el daño por los vientos y riesgos por acame. Los

híbridos experimentales de este trabajo mantienen estas características aceptables, pues para altura de mazorca variaron de 76.8 a 131.5 cm.

Es importante resaltar que además de las cruzas trilineales sobresalientes de este estudio, se identificaron cruzas simples prometedoras. Las cruzas simples tienen grandes ventajas sobre las cruzas dobles y trilineales, ya que son más uniformes y requieren un esquema más corto y simplificado de mejoramiento, así como de producción de semilla. Por eso es bueno resaltar a los híbridos de cruce simple, como H-40-3-3-2 x Hit7-28-1-3, T₁₁xT₁₂, T₁xT₃ y H-40-3-3-2 x Hit7-14-1-2 que tuvieron rendimientos de 8.85, 8.73, 8.72, 8.71 t ha⁻¹, los cuales son aceptables, pues estas cruzas fueron de las más precoces y de alturas intermedias, y superaron a varios híbridos de cruzas trilineales y testigos.

Los 10 híbridos más rendidores tuvieron también el índice de prolificidad más alto, siendo estos de ciclo intermedio y todos de cruce trilineal. Los cinco híbridos de menor rendimiento por lo regular fueron los más precoces con altura de planta y mazorca más baja, pero como estos materiales son para siembras de temporal puede decirse que sus rendimientos son aceptables. Se puede observar que no todos los testigos fueron numéricamente mejores que las cruzas experimentales (Cuadro 6).

Cuadro 6. Promedio de ambientes de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.

Híbridos	REND	IPP	DFM	DFF	AP	AM
HS-2	10.82a	1.4a-c	87a	86a	217.3a-e	110.8b-k
T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2)	9.86a-b	1.4a-e	76p-t	75l-s	190.3g-p	100.7h-n
(T ₄ xT ₁)xT ₃	9.83a-b	1.3a-e	78h-o	78d-k	215.2a-g	119.2a-i

(T ₂ X ₃) x H-40-38-2-1	9.64a-c	1.5a	81b-d	80b-d	200.8c-o	116.7a-j
H-70	9.62a-c	1.4a-e	78f-n	77f-n	199.5c-o	104.2e-n
T ₄ X(T ₇ X ₈)	9.44b-d	1.4a-e	79d-j	79c-g	223.0a-c	119.7a-i
(T ₄ X ₈)X ₉	9.43b-d	1.2b-j	79d-i	79b-f	234.0a	131.5a
T ₁₈ x (H-40-63-1-1 x H-40-68-1-1)	9.42b-e	1.1g-k	77l-s	75p-s	188.8i-p	98.2j-n
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-27-3-1)	9.41b-e	1.4a-c	75r-u	75n-s	191.5f-p	104.2e-n
(T ₄ X ₅)X ₆	9.30b-f	1.2c-k	80b-e	79b-f	218.7a-d	119.8a-i
(T ₂ X ₃) x H-40-63-1-1	9.29b-f	1.2b-j	78h-o	77f-o	201.5c-o	111.0b-k
H-66	9.29b-f	1.3a-h	79d-j	78d-i	195.5d-o	108.0c-l
T ₁₈ x (Hit7-14-1-2 x H-40-27-3-1)	9.29b-f	1.2c-k	77l-s	76j-r	193.8d-o	107.5c-m
H-40	9.23b-f	1.1f-k	79c-h	79b-f	200.8c-o	105.2e-n
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-3-3-2)	9.21b-f	1.2c-k	75s-u	74q-s	186.3k-p	97.5j-n
(T ₃ X ₈)X ₉	9.19b-f	1.2d-k	79d-i	78d-j	215.0a-g	122.7a-f
T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-27-3-1)	9.19b-f	1.2c-k	76q-u	74p-s	190.5g-p	104.0e-n
(T ₄ X ₇)X ₈	9.16b-f	1.3a-f	79d-i	79b-f	214.7a-h	113.3a-k
(T ₂ X ₃) x H-40-24-1-1	9.12b-g	1.2c-k	78e-m	77e-m	215.3a-g	124.2a-e
H-40-63-1-1 x (T ₁ X ₃)	9.11b-g	1.1g-k	81b-d	79b-f	200.3c-o	106.0d-n
H-40-23-3-1 x (T ₁₄ X ₅)	9.10b-g	1.2c-k	79c-h	79c-i	213.8a-i	113.0a-k
T ₁₈ x (Hit7-14-1-2 x Hit7-28-3-1)	9.07b-g	1.1d-k	75t-u	74p-s	187.5j-p	96.0k-o
T ₁₈ x (H-40-63-1-1 x H-40-23-3-1)	9.03b-g	1.2d-k	77i-q	76j-r	187.3k-p	98.5j-n
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-3-3-2)	9.00b-h	1.4a-d	77m-s	77h-q	192.5e-p	104.0e-n
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x Hit7-10-2-1)	8.97b-h	1.2d-k	76p-t	75k-s	194.2d-o	100.3i-n
(T ₄ X ₁₄)X ₅	8.96b-h	1.2c-k	79d-k	79b-f	217a-f	119.0a-i
H-40-3-3-2 x Hit7-28-1-3	8.85b-i	1.3a-i	77k-r	77g-p	193.2d-o	87.5m-o
T ₁₈ x (H-40-68-1-1 x H-40-49-1-1)	8.84b-i	1.1g-k	78h-p	76j-r	197.3c-o	106.3c-n

(T ₃ xT ₅)xT ₆	8.82b-i	1.1d-k	78e-n	78d-j	200.2c-o	111.2a-k
(T ₂ xT ₃) x H-40-23-3-1	8.82b-i	1.2d-k	79e-l	78d-j	214.8a-h	121.8a-g
(T ₄ xT ₆)xT ₇	8.82b-i	1.3a-i	80b-g	79b-f	227.7a-b	126.2a-d
(T ₂ xT ₃) x Hit7-14-1-2	8.77b-i	1.2d-k	78h-p	78d-l	205.3b-m	117.0a-j
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-27-3-1)	8.75b-j	1.2d-k	76p-u	75p-s	185.2k-p	98.3j-n
T ₁₁ xT ₁₂	8.73b-k	1.1h-k	76p-u	75m-s	197.2d-o	111.5a-k
T ₁ xT ₃	8.72b-k	1.2d-k	77m-s	76j-r	205.8b-m	113.3a-k
H-40-3-3-2 x Hit7-14-1-2	8.71b-k	1.2b-j	79d-i	79c-h	187.2k-p	94.2k-o
(T ₃ xT ₁₁)xT ₁₂	8.59c-l	1.2c-k	78e-n	77f-n	209.8a-l	121.0a-h
(T ₄ xT ₁₁)xT ₁₂	8.58c-l	1.3a-g	78g-o	78d-i	218.8a-d	126.7a-c
(T ₁ xT ₃)xT ₄	8.53c-l	1.2c-k	77m-s	75o-s	202.8b-n	107.7c-m
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-23-3-2)	8.52c-l	1.2d-k	76p-u	75n-s	180.5m-p	94.0k-o
(T ₄ xT ₉)xT ₁₀	8.51c-l	1.2c-k	79d-i	79c-h	233.7a	129.8a-b
(T ₂ xT ₃) x Hit7-13-2-1	8.50c-l	1.2c-k	78e-n	77e-m	206b-m	111.3a-k
T ₁₈ x (H-40-23-3-3 x H-40-10-1-2)	8.46c-m	1.2d-k	77j-r	78d-j	187.0k-p	100.8h-n
Cafime x T ₁₈	8.37d-n	1.0i-k	74u-v	73s-t	189.2h-p	98.3j-n
H-40-27-3-1 x Hit7-28-1-2	8.22e-n	1.1e-k	77i-q	77e-m	209.8a-l	110.3b-k
Hit7-28-1-1 x H-40-63-1-1	8.17f-n	1.0i-k	80b-f	80b-e	191.3f-p	87.0n-o
H-40-63-1-1 x Hit7-28-1-2	7.94g-n	1.0k	76n-t	76i-q	184.5l-p	88.3l-o
T ₅ xT ₆	7.81h-n	1.2d-k	80c-g	79b-f	201.5c-o	113.7a-k
(T ₁ xT ₇)xT ₈	7.74i-n	1.2d-k	78f-n	77e-m	194.3d-o	97.5j-n
H-40-68-1-1 x (T ₁ xT ₃)	7.66i-n	1.2d-k	79d-i	79c-i	210.5a-k	113.2a-k
T ₅ xT ₁₄	7.56j-o	1.0i-k	76o-t	76j-r	209.8a-l	113.0a-k
(T ₁ xT ₂)xT ₃	7.54k-o	1.1g-k	75s-u	74r-t	194.8d-o	100.5i-n
H-40-63-1-1 x H-40-3-3-2	7.5l-o	1.5a-b	82b	82b	167.3p	76.8o

(T ₄ xT ₂)xT ₃	7.46l-o	1.1d-k	79d-j	79c-h	199.8c-o	104.8e-n
(T ₁ xT ₉)xT ₁₀	7.27m-o	1.1d-k	76p-u	75n-s	204.3b-n	105.5e-n
(T ₂ xT ₃) x H-40-10-1-2	7.25n-o	1.1d-k	79d-i	79b-f	213.2a-j	120.3a-i
(T ₁ xT ₅)xT ₆	7.20n-o	1.2b-j	78h-p	77f-o	197.3c-o	101.8g-n
T ₁₀ xT ₁₁	6.45o-p	1.2b-j	78e-m	78d-i	178.8n-p	88.5l-o
H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2	6.43o-p	1.1h-k	81b-c	81b-c	176.5o-p	86.3n-o
Zac.58-41 x Zac. 58-294	5.50p	1.0j-k	72v	72t	187.3k-p	102.5f-n
DMS	1.21	0.2	2	2	25.8	20.5

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes. REND, rendimiento de mazorca t ha⁻¹; IPP, índice de prolificidad por planta; DFM, días a floración masculina; DFF, días a floración femenina; AP, altura de planta; AM, altura de mazorca.

En la comparación general del promedio de ambientes (Cuadro 7), puede observarse que los ambientes resultaron diferentes, siendo mejor el de riego en cuanto a rendimiento que el de temporal, ya que tuvo mejores condiciones hídricas en comparación con el ambiente de temporal. Aunque las diferencias entre ambientes fueron pequeñas para las otras variables, el de riego fue superior en días a floración masculina, floración femenina, altura de planta y mazorca. El índice de prolificidad fue más alto en temporal debido a que las plantas responden al estrés hídrico incrementando su reproducción.

Cuadro 7. Promedio de seis variables medidas en 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.

Ambiente	Variables					
	REND	IPP	DFM	DFF	AP	AM
Riego	8.96a	1.18a	78.4a	77.8a	210.5a	114.3a

Temporal	8.25b	1.21b	77.2b	76.7b	191.1b	100.4b
DMS	0.1	0.02	0.16	0.22	2.25	1.78

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes. REND, rendimiento de grano t·ha⁻¹; IPP, índice de prolificidad; DFM, días a floración masculina; DFF, días a floración femenina; AP, altura de planta; AM, altura de mazorca; DMS (0.05), diferencia mínima significativa.

Los resultados anteriores son prometedores para varias de las cruzas experimentales probadas, ya que la constitución genética de estos híbridos les podría permitir prosperar favorablemente en niveles distintos de precipitación pluvial y, por su relativa precocidad, tener su siembra en áreas con retraso del temporal. Además, su porte de planta facilitaría su siembra a una densidad de plantas ha⁻¹ más intensiva (mayor a 50 250 plantas ha⁻¹) para producción de grano en áreas de buen temporal y riego (Arellano *et al.*, 2011).

Finalmente, en el (Cuadro 8) se muestran las correlaciones fenotípicas, donde el rendimiento (REND) tuvo una asociación positiva ($r = 0.41$, $\alpha \leq 0.01$) con el índice de prolificidad (IPP), por lo que cuando hay más de una mazorca por planta se tiene un mayor rendimiento. También se encontró una asociación positiva ($r = 0.23$, $\alpha \leq 0.01$) con días a floración masculina (DFM), indicando que la etapa de floración es un período particularmente vulnerable para el rendimiento final de la planta de maíz. Una buena polinización en esta etapa garantizará un buen rendimiento.

El REND también tuvo una asociación positiva ($r = 0.33$, $\alpha \leq 0.01$) con altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM) ($r = 0.32$, $\alpha \leq 0.01$), lo que significa que aquellos genotipos con alto vigor y plantas robustas en general tienden a producir mayor rendimiento (Cuadro 8).

El índice de prolificidad por planta (IPP) tuvo una asociación positiva ($r = 0.22$, $\alpha \leq 0.01$) con días a floración masculina (DFM) y ($r = 0.22$, $\alpha \leq 0.01$) a floración

femenina (DFF); con esto se puede decir que la maduración de estigmas femeninos debe ocurrir a unos días de la emergencia de la espiga masculina (antes) y viceversa, para garantizar la polinización de todos los jilotes (Cuadro 8).

La variable días a floración masculina (DFM) correlacionó positivamente ($r = 0.91$, $\alpha \leq 0.01$) con días a floración femenina (DFF), por lo que para una buena polinización ambas tienen que coincidir en el rango de días a floración. Por último, las variables altura de planta (AP) y de mazorca (AM) presentaron una fuerte asociación positiva ($r = 0.91$, $\alpha \leq 0.01$), lo cual indica que entre más alto sea el tallo, la altura de la mazorca va a ser mayor (Cuadro 8). Estos resultados son de utilidad al mejorador, ya que indican algunos de los criterios de mejoramiento de las plantas involucradas en la formación de las líneas progenitoras de híbridos de maíz.

Cuadro 8. Correlaciones fenotípicas de seis variables agronómicas de 60 híbridos de maíz evaluados en riego y temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.

	REND	IPP	DFM	DFF	AP	AM
REND	1	0.41*	0.23*	0.20	0.33*	0.32*
IPP		1	0.22*	0.22*	0.01	0.01
DFM			1	0.91*	0.31*	0.20
DFF				1	0.32*	0.21*
AP					1	0.91*
AM						1

REND, rendimiento de grano $t\ ha^{-1}$; IPP, índice de prolificidad; DFM, días a floración masculina; DFF, días a floración femenina; AP, altura de planta; AM, altura de mazorca; *, significativo.

2.5. CONCLUSIONES

Por su alto rendimiento y buen comportamiento agronómico los mejores híbridos fueron: HS-2, T₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2) y (T₄xT₁) x T₃ con valores de 10.82, 9.86 y 9.83 t ha⁻¹, respectivamente, siendo algunas de las cruza trilineales experimentales más precoces y de mejor porte de planta que los testigos HS-2, H-70, H-66, y H-40. Estas mejores cruza tuvieron el índice de prolificidad más alto y fueron de ciclo precoz a intermedio. Las cruza de menor rendimiento por lo regular fueron las más precoces con altura de planta y mazorca más baja, pero estos materiales serán recomendados para siembras de temporal, por lo que sus rendimientos son aceptables.

Además de las cruza trilineales sobresalientes de este estudio, se identificaron cruza simples prometedoras que tuvieron rendimientos de 8.85, 8.73, 8.72, 8.71 t ha⁻¹, los cuales son aceptables, pues estas cruza fueron de las más precoces y de alturas intermedias, y superaron a varios híbridos de cruza trilineal y a varios de los testigos.

Hubo diferencias entre ambientes, siendo el de riego el que tuvo el mejor promedio en rendimiento por tener mejores condiciones hídricas que el ambiente de temporal. Las diferencias entre ambientes fueron pequeñas para las otras variables, pero el de riego fue superior en días a floración masculina, floración femenina, y altura de planta y mazorca. El índice de prolificidad fue más alto en temporal debido a que las plantas respondieron al estrés hídrico incrementando su reproducción.

La estrecha relación observada entre el rendimiento de grano y las otras características agronómicas determinadas en las plantas, podrían ser útiles para establecer criterios de selección más eficaces para el mejoramiento del rendimiento de grano en maíz, en condiciones deficitarias de agua.

2.6. LITERATURA CITADA

- Arellano V. J. L., J. Virgen V., I. Rojas M., M. A. Ávila P. 2011.** H-70: Híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del altiplano central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(4):619-626.
- Edmeades G. O., J. Bolaños, M. Bänziger, J. M. Ribaut, J. W. White, M. P. Reynolds and H. R. Lafitte. 1998.** Improving crop yields under water deficits in the tropics. *In: Chopra V. L., R. B. Singh and A. Varma (eds.), Crop Productivity and Sustainability - Shaping the Future. Proc. 2nd Int. Nueva Delhi: Oxford e IBH. Crop Science Congress. pp 437-451.*
- García E. 2004.** Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 5^a. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. pp 50-63.
- López-Castañeda C. 1996.** Uso eficiente del agua en un agrosistema sustentable. *In: Memorias del II Simposio Internacional y Reunión Nacional sobre Agricultura Sostenible. Comisión de Estudios Ambientales y Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados. San Luis Potosí, S.L.P., México. pp. 329-338.*
- Mendoza R. M. 2004.** Actualización de propuestas de trabajo del programa de maíz para adaptación y usos especiales en la mesa central. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 70 p.
- Nissanka S. P., M. A. Dixon and M. Tollenaar. 1997.** Canopy gas exchange response to moisture stress in old and new maize hybrid. *Crop Science* 37: 172-181.
- Reyes-Ramones R. E., J. Rodríguez-Ontiveros L., y C. López-Castañeda. 2000.** Resistencia a sequía de líneas S₁ derivadas de la variedad de maíz criollo de Ibarra. *Agricultura Técnica en México* 26:159-172.

CAPÍTULO III

COMPONENTES DEL RENDIMIENTO EN HÍBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAÍZ DE TEMPORAL PARA VALLES ALTOS EN DOS CONDICIONES DE HUMEDAD

3.1. RESUMEN

En los Valles Altos de México se requieren híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para temporal rendidores y precoces con mazorcas grandes de muchos granos y que sean baratos para el productor. En este trabajo se evaluó el rendimiento y sus componentes en híbridos experimentales de maíz de cruza simple y trilineal de temporal para Valles Altos con el objetivo de identificar cruzas sobresalientes con respecto a híbridos comerciales. Se evaluaron 13 cruza simples, 42 cruza trilineales, un mestizo y cuatro híbridos testigo. En 2015 se establecieron dos ensayos con los 60 genotipos en Montecillo, Texcoco, Edo. de México; uno se condujo bajo riego y el otro bajo temporal, ambos en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se midieron las variables: rendimiento, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras, número de granos por hilera, y peso volumétrico de 250 ml de grano. En cuanto a rendimiento, en temporal la humedad no fue del todo limitativa, por lo que el híbrido testigo HS-2, recomendado para siembras de riego, rindió 10.72 t ha⁻¹, y las cruza sobresalientes fueron T₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H40-3-3-2) y T₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H40-27-3-1) con rendimientos de 9.39 y 9.16 t ha⁻¹ respectivamente. En riego, HS-2 rindió 10.92 t ha⁻¹ y destacaron las cruza (T₄xT₆) x T₇ y (T₄xT₁) x T₃ con 10.79 y 10.75 t ha⁻¹, respectivamente. En promedio de ambientes, por su alto rendimiento, buena expresión genotípica y fenotípica, los mejores híbridos fueron HS-2 y las cruza T₁₈

x (Hit7-28-1-2 x H40-3-3-2) y (T₄xT₁) x T₃, con valores de 10.82, 9.86 y 9.83 t ha⁻¹ respectivamente; para número de hileras destacan los híbridos H-66, H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2 y (T₂ x T₃) x H-40-38-2-1 con valores de 18. En el número de granos por hilera destacan los híbridos experimentales H-40-63-1-1 x (T₁ x T₃) y (T₂ x T₃) x Hit7-14-1-2 con valores de 36 y 35 respectivamente; en el peso volumétrico destacan los híbridos experimentales T₁₈ x (Hit7-14-1-2 x H-40-27-3-1), T₁₈ x (Hit7-13-2-1 x Hit7-10-2-1) y T₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-27-3-1) con valores de 183.6, 183.2 y 183.1 g, respectivamente.

Palabras clave: *Zea mays*, cruzas simples y trilineales, rendimiento, riego, sequía, secano, variedades.

3.2. INTRODUCCIÓN

El bajo rendimiento de grano en maíz (*Zea mays* L.) de temporal se debe principalmente a las deficiencias hídricas que ocurren durante la canícula en el periodo de lluvias, las cuales con mucha frecuencia coinciden con las etapas reproductivas de la planta, lo que disminuye el número, peso y calidad del grano, dependiendo de su duración y severidad (López-Castañeda, 1996; Reyes-Ramones *et al.*, 2000). Por lo tanto, una forma de reducir el impacto de esa sequía sobre el rendimiento y sus componentes es mediante la generación y uso de variedades o híbridos que la soporten lo más posible. Al respecto, la respuesta a las deficiencias hídricas puede variar entre genotipos bajo condiciones de campo, donde además las plantas pueden adaptarse a los cambios de los factores ambientales, si es que estos se presentan en forma gradual (Nissanka *et al.*, 1997).

En maíz, varias características de la planta se consideran determinantes del rendimiento final de grano. Entre estas se pueden mencionar como las más importantes el tamaño de la mazorca, número de granos por mazorca, peso del grano y el número de mazorcas por planta (Poey, 1978). El rendimiento de grano es un producto de factores llamados componentes de rendimiento; por lo tanto, el rendimiento puede expresarse en función de sus componentes (Gutiérrez, 1984).

El rendimiento de grano en maíz está determinado por el número de granos por mazorca y el peso individual de los mismos; este último está en función de la tasa y de los periodos total y efectivo de llenado de grano, características que son conocidos como componentes del crecimiento de grano. El número de granos por mazorca está determinado por el número potencial de granos de la planta y la cantidad de estos que lleguen a la madurez fisiológica; se considera que el número

de granos por mazorca se determina durante el periodo comprendido entre los 15 días anteriores y posteriores a la polinización (Cirilo y Andrade, 1994).

En un trabajo con genotipos contrastantes de maíz, Martínez y Vega (1987) encontraron que los componentes de rendimiento longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, peso de mazorca, peso de grano de la mazorca y el peso de cien granos tuvieron alta significancia entre fuentes de variación importantes, lo cual denota que dichos componentes muestran distintos comportamientos bajo diferentes tratamientos. Encontraron que el componente número de hileras se expresa de manera diferente en cada genotipo; así mismo concluyeron que la diferencia en el número de hileras afecta en forma directa los componentes número de granos por mazorca y el peso de cien granos. Cuando aumenta el número de hileras, aumenta el número de granos por mazorca y se reduce el peso de cien granos. En términos generales, el peso de mazorca es el componente que mejor se relaciona con el peso de grano.

En otro estudio de interacción localidad por híbridos, Mendoza *et al.* (2006) encontraron significancia para el número de granos por hilera entre genotipos, y el comportamiento relativo de los híbridos fue similar en ambas localidades para la mayoría de las variables. Los híbridos que presentaron mayores promedios de rendimiento de grano tuvieron mazorcas de mayor peso, longitud, número de hileras, granos por hilera y granos por mazorca. Las diferencias encontradas para el peso de la mazorca, el número de granos y el rendimiento de grano por mazorca fueron del 7 %. Sin embargo, en estudios donde el período de deficiencia de humedad fue más prolongado durante el inicio de crecimiento de mazorca (dos semanas antes de emergencia de estigmas), el rendimiento de grano disminuyó de 29 a 40 % debido a la reducción del número de granos por mazorca. El peso

individual de grano contribuyó mayormente a las diferencias que existieron en el rendimiento de grano entre las líneas del experimento en comparación con el número de granos por mazorca, y las de mayor biomasa de planta presentaron mayor peso individual de grano y por lo tanto un mayor rendimiento.

Ante los retos que impone el cambio climático global de mayores e intensos periodos de estiaje y heladas tempranas, en los Valles Altos de México, y en otras regiones agrícolas, se requieren materiales mejorados de maíz para temporal precoces con resistencia a la sequía, de buen rendimiento, accesibles y del agrado del productor, esto con el fin de asegurar e incrementar la producción de grano en la región dada su creciente demanda y la disminución de la superficie de cultivo.

En el Colegio de Postgraduados se hizo selección en Montecillo, Texcoco, para resistencia a sequía en las poblaciones de maíz Zacatecas 58, Cafime, Criollo del Mezquital y Cónico Compuesto, las cuales tienen tolerancia intrínseca a la sequía por provenir de ambientes de clima seco y semiseco. De los compuestos de ciclos de selección avanzados de estas poblaciones se derivaron líneas endogámicas que se cruzaron entre ellas y con líneas precoces derivadas de los híbridos Hit-7 del ICAMEX y H-40 del INIFAP, formándose cruza simples y trilineales experimentales que se compararon en rendimiento y sus componentes con los híbridos comerciales HS-2 del CP y H-40, H-66, y H-70 del INIFAP. El HS-2 está recomendado para siembras de riego, mientras que H-40, H-66, y H-70 son para siembras de punta de riego y buen temporal.

Con la finalidad de identificar híbridos de maíz sobresalientes en rendimiento recomendados para siembra de secano en Valles Altos, el objetivo del presente trabajo fue evaluar los componentes de rendimiento de 13 cruza simples, 42 cruza trilineales y de un mestizo línea x variedad, todos experimentales, y

compararlos con el comportamiento de un híbrido recomendado para siembra de riego y el de tres híbridos para siembra de punta de riego o buen temporal.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales genéticos de este trabajo consistieron de los experimentales: 13 cruzas simples, 42 cruzas trilineales y un mestizo línea x variedad, y de los comerciales: híbrido HS-2, recomendado para siembras de riego, y de los híbridos H-40, H-66, y H-70 recomendados para siembras de punta de riego, buen temporal, y temporal retrasado. Las líneas endogámicas progenitoras de las cruzas simples y trilineales experimentales se derivaron de los compuestos de ciclos de selección avanzados para resistencia a sequía (líneas denominadas T) de las variedades de maíz Zacatecas 58, Cafime, Criollo del Mezquital y Cónico Compuesto, las cuales tienen tolerancia *per se* a la sequía, y también de plantas precoces F₂ autofecundadas de los híbridos Hit-7 y H-40. Los híbridos comerciales usados como testigos son todos de cruce trilineal (Cuadro 9).

Cuadro 9. Genealogía de 60 híbridos de maíz evaluados en el ciclo primavera-verano 2015, en dos condiciones de humedad en Montecillo, México.

Núm. de Parcela	Híbridos	Núm. de Parcela	Híbridos
1	T ₁ X _{T3}	31	H-40-63-1-1 x H-40-3-3-2
2	T ₅ X _{T6}	32	H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2
3	T ₁₀ X _{T11}	33	H-40-3-3-2 x Hit7-14-1-2
4	T ₁₁ X _{T12}	34	H-40-63-1-1 x Hit7-28-1-2
5	(T ₁ X _{T2})X _{T3}	35	H-40-3-3-2 x Hit7-28-1-3
6	(T ₁ X _{T3})X _{T4}	36	T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-3-3-2)
7	(T ₁ X _{T5})X _{T6}	37	T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-27-3-1)
8	(T ₁ X _{T7})X _{T8}	38	T ₁₈ x (Hit7-14-1-2 x H-40-27-3-1)
9	(T ₁ X _{T9})X _{T10}	39	T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2)
10	(T ₃ X _{T5})X _{T6}	40	T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-27-3-1)

11	(T ₃ xT ₈)xT ₉	41	T ₁₈ x (Hit7 ₋₂₈₋₁₋₃ x H-40 ₋₃₋₃₋₂)
12	(T ₃ xT ₁₁)xT ₁₂	42	T ₁₈ x (Hit7 ₋₂₈₋₁₋₃ x H-40 ₋₂₃₋₃₋₂)
13	(T ₄ xT ₇)xT ₈	43	T ₁₈ x (Hit7 ₋₂₈₋₁₋₃ x H-40 ₋₂₇₋₃₋₁)
14	(T ₄ xT ₁)xT ₃	44	T ₁₈ x (Hit7 ₋₁₃₋₂₋₁ x Hit7 ₋₁₀₋₂₋₁)
15	(T ₄ xT ₂)xT ₃	45	T ₁₈ x (Hit7 ₋₁₄₋₁₋₂ x Hit7 ₋₂₈₋₃₋₁)
16	(T ₄ xT ₅)xT ₆	46	T ₁₈ x (H-40 ₋₂₃₋₃₋₃ x H-40 ₋₁₀₋₁₋₂)
17	(T ₄ xT ₆)xT ₇	47	T ₁₈ x (H-40 ₋₆₃₋₁₋₁ x H-40 ₋₆₈₋₁₋₁)
18	T ₄ x(T ₇ xT ₈)	48	T ₁₈ x (H-40 ₋₆₃₋₁₋₁ x H-40 ₋₂₃₋₃₋₁)
19	(T ₄ xT ₈)xT ₉	49	T ₁₈ x (H-40 ₋₆₈₋₁₋₁ x H-40 ₋₄₉₋₁₋₁)
20	(T ₄ xT ₉)xT ₁₀	50	(T ₂ xT ₃) x Hit7 ₋₁₃₋₂₋₁
21	(T ₄ xT ₁₁)xT ₁₂	51	(T ₂ xT ₃) x Hit7 ₋₁₄₋₁₋₂
22	(T ₄ xT ₁₄)xT ₅	52	(T ₂ xT ₃) x H-40 ₋₁₀₋₁₋₂
23	Zac.58 ₋₄₁ x Zac.58 ₋₂₉₄	53	(T ₂ xT ₃) x H-40 ₋₂₃₋₃₋₁
24	Cafime x T ₁₈	54	(T ₂ xT ₃) x H-40 ₋₂₄₋₁₋₁
25	T ₅ xT ₁₄	55	(T ₂ xT ₃) x H-40 ₋₃₈₋₂₋₁
26	Hit7 ₋₂₈₋₁₋₁ x H-40 ₋₆₃₋₁₋₁	56	(T ₂ xT ₃) x H-40 ₋₆₃₋₁₋₁
27	H-40 ₋₆₃₋₁₋₁ x (T ₁ xT ₃)	57	H-40
28	H-40 ₋₆₈₋₁₋₁ x (T ₁ xT ₃)	58	H-66
29	H-40 ₋₂₃₋₃₋₁ x (T ₁₄ xT ₅)	59	H-70
30	H-40 ₋₂₇₋₃₋₁ x Hit7 ₋₂₈₋₁₋₂	60	HS-2

3.3.1. Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Edo. de México (19° 29' LN y 98° 54' LO, a una altitud de 2250 m). El clima prevaleciente en esta localidad es templado [Cb (wo)(w)(i')g] con

verano largo y fresco, temperatura media anual de 15.2 °C; la temperatura en el mes más frío varía entre 6.5 y 22 °C, con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5%; con temperaturas del mes más caliente mayor de 10 °C; precipitación media anual de 637 mm (García, 2004); el suelo es de textura arcillosa, con pH de 7.8.

Cuadro 10. Precipitación y temperatura mensuales en Montecillo, Texcoco, Edo. de México, durante 2015.

Mes	Precipitación (mm)	T. Máxima °C	T. Media °C	T. Mínima °C
Enero	0	7	1.8	-2.7
Febrero	1.3	5.3	0.6	-3.9
Marzo	90.7	9	5.7	1.6
Abril	55.4	11.3	5.8	1.3
Mayo	127.3	13.7	9.3	4.4
Junio	152.1	15.1	11.4	7.3
Julio	99.1	14.4	10.2	5.5
Agosto	100.4	14.5	10.5	6.3
Septiembre	113.7	14.9	11.7	7.9
Octubre	10.2	12.5	8.4	4.5
Noviembre	17.7	12.8	8.6	4.3
Diciembre	16.6	10.4	6	1.9
	Suma 784.5 mm	Prom. 11.74	Prom. 7.5	Prom. 3.2

T, temperatura °C. Precipitación anual 784.5 mm.

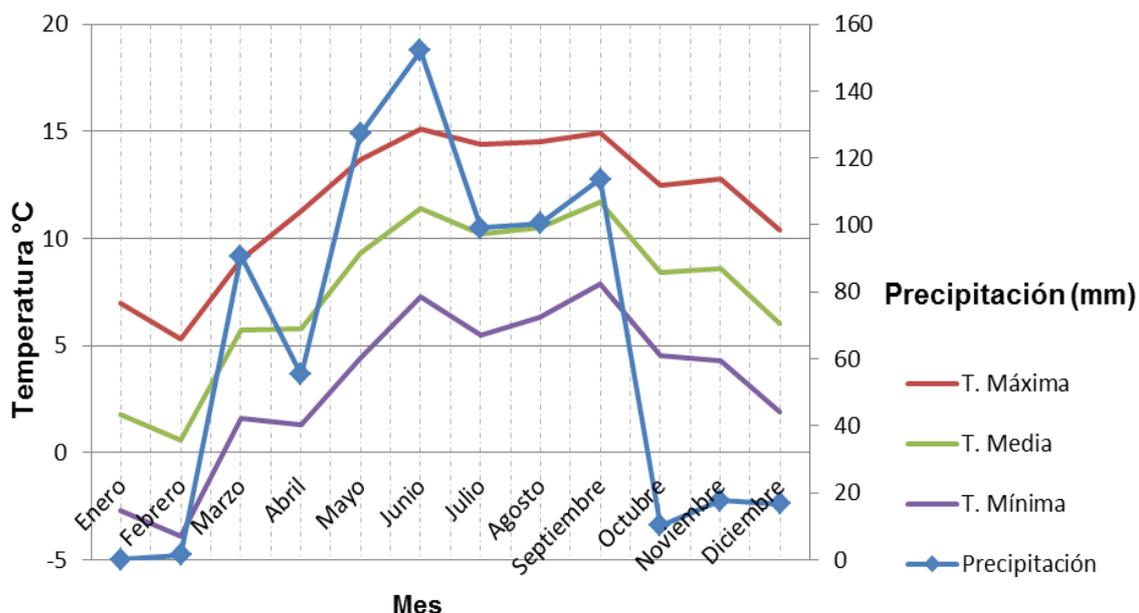


Figura 2. Precipitación y temperatura en Motecillo, Texcoco, Edo. de México. 2015.

3.3.2. Diseño del experimento

En cada ambiente se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la parcela experimental consistió de dos surcos de 6 m de largo y 0.80 m de ancho con 13 matas por surco; se sembró 2 semillas por golpe cada 50 cm, dando un total de 52 plantas por parcela equivalente a una densidad de siembra ($50250 \text{ plantas/ha}^{-1}$).

3.3.3. Manejo agronómico

La preparación del terreno consistió de un barbecho, rastreo y posteriormente se realizó el surcado; la fertilización en cada parcela se hizo con 120 kg N y $80 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, aplicando todo el P_2O_5 y la mitad del N en la siembra y el resto del N al realizar la segunda escarda (30 días después de la siembra, dds). Para el control de maleza se aplicó Gesaprim Calibre 90 GDA[®] (3 L ha^{-1}) a los siete dds, y a los 60 dds se hizo otro control con una mezcla de Gesaprim Calibre 90 GDA[®] y Gramoxone[®] más detergente Roma[®] como surfactante. Se establecieron dos

ensayos de rendimiento con los 60 genotipos, uno se condujo bajo riego sin restricciones de humedad durante todo el ciclo de cultivo y el otro se condujo bajo temporal, donde se dio un riego de siembra al inicio y después la humedad en el terreno fue de las lluvias del temporal y de un riego de auxilio durante la canícula. La siembra en riego se hizo el 2 de junio, mientras que la de temporal se realizó el día 10 del mismo mes. En ambos ambientes la siembra fue manual con pala. La cosecha fue manual, todas las mazorcas de maíz de cada parcela fueron colocadas en costales etiquetados para evitar mezclar el maíz de los distintos materiales.

3.3.4. Variables evaluadas

Número de plantas por parcela (NPP): Se registró el número de plantas útiles por parcela cuando estas comenzaban la floración masculina.

Peso de campo (PEC): Se pesaron las mazorcas cosechadas de cada parcela con una báscula manual en campo.

Rendimiento por planta (RENPP): El rendimiento por planta (RENPP) se calculó dividiendo el peso de campo (PEC) entre el número de plantas por parcela (NPP).

Rendimiento de grano en t·ha⁻¹(REND): Se midió el rendimiento de mazorca en t ha⁻¹ (REND) como el peso en kg a humedad constante de grano de las mazorcas cosechadas de cada parcela dividido entre el número de plantas por parcela; este resultado es el peso de mazorca por planta, que se multiplicó por la densidad de siembra (50, 250 plantas ha⁻¹).

Longitud de mazorca (LM): Esta variable se registró en centímetros desde la base hasta la punta de la mazorca de una muestra de 10 mazorcas y se tomó el promedio de estas.

Diámetro de mazorca (DM): Con las mazorcas que se tomaron en la variable anterior, se registró en centímetros en la parte media de la mazorca y se registró el promedio.

Número de hileras por mazorca (NH): Se registró el número de hileras por mazorca en una muestra de 10 mazorcas y se registró el promedio, por cada unidad experimental.

Número de granos por hilera (NGH): Se tomaron 10 mazorcas y se contó el número de granos por hilera y se tomó el promedio, por cada unidad experimental.

Peso volumétrico (PEVO): En cada parcela se midió 250 ml de grano de maíz, después se le tomó el peso en gramos (g).

3.3.5. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza combinando para ambientes, una prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) para cada una de las variables por ambiente y en promedio de ambientes, y una correlación fenotípica entre el rendimiento y las variables medidas. Todos los procedimientos se hicieron mediante SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado para rendimiento y sus componentes detectó que no hubo significancia ($P \leq 0.05$) entre ambientes para todas las variables, excepto para REND, indicando que los valores promedio globales de los componentes evaluados fueron consistentes, pero que el de rendimiento sí fue diferente. Entre genotipos hubo significancia para todas las variables, por lo que se puede decir que al menos la expresión genética y fenotípica de un genotipo resultó diferente a la de otro. La interacción genotipo x ambiente fue significativa para rendimiento, mientras que longitud de mazorca, DM, NH, NGH y PEVO en general fueron consistentes a través de ambientes. Los coeficientes de variación resultaron relativamente bajos para todas las variables, ya que estuvieron por debajo del 10 %, lo que significa que se tuvo un control adecuado de la variación experimental y que los datos obtenidos para las variables de esta investigación son confiables (Cuadro 11).

Cuadro 11. Cuadrados medios y coeficientes de variación del análisis de varianza combinado de seis variables de 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano 2015, Montecillo, México.

F.V.	G.L.	Variables					
		REND	LM	DM	NH	NGH	PEVO
Amb	1	44.98*	1.91NS	0.10NS	2.58NS	6.25NS	187.92NS
Rep(Amb)	4	1.01NS	6.82*	6.82*	3.04NS	48.5*	982.12*
Gen	59	5.17*	3.69 *	0.35 *	7.44 *	20.13 *	85.34 *
Amb*Gen	59	1.84*	0.83NS	0.04NS	0.42NS	3.30NS	19.54NS
Error	236	0.26	0.57	0.05	0.52	3.22	14.34

C.V. (%)	6	5	5	5	6	2
----------	---	---	---	---	---	---

F.V., fuente de variación; G.L., grados de libertad; REND, rendimiento de mazorca t ha⁻¹; LM, Longitud de mazorca; DM, diámetro de mazorca; NH, numero de hileras; NGH, numero de granos por hilera; PEVO, peso volumétrico de 250 ml; C.V, coeficiente de variación; *, Diferencias significativas al 0.05; NS, no significativo.

No hubo significancia entre ambientes debido a que los componentes del rendimiento fueron consistentes en su valor debido a que no fueron afectados por la diferencia en humedad entre ambientes, la cual fue mínima. Las diferencias entre genotipos evidencian que los materiales experimentales tuvieron diferente expresión genotípica y fenotípica. Esto se atribuye a que cruza simples y trilineales formadas con líneas de diferentes orígenes y potenciales genéticos se analizaron en conjunto. Por otro lado, la no significancia de la interacción genotipo x ambiente para los componentes del rendimiento indica que estas características son menos poligénicas que el rendimiento y que la poca diferencia de humedad entre los ambientes hizo que cada uno de los genotipos tuviera casi el mismo valor para los componentes del rendimiento.

Con respecto a la comparación de medias para el ambiente de riego (Cuadro 12), en rendimiento destacó el híbrido testigo HS-2 con 10.92 t ha⁻¹, siendo este un material recomendado para siembras de riego. Entre otras cruza que rindieron más de 10 t ha⁻¹, las cruza experimentales (T₄xT₆) x T₇ y (T₄xT₁) x T₃ rindieron 10.79 y 10.75 t ha⁻¹, respectivamente, siendo estos rendimientos muy cercanos al del HS-2; ambas cruza están formadas con líneas T de temporal. Estas cruza también rindieron numéricamente más que los testigos H-70, H-66, y H-40, siendo esto importante en la producción de maíz de Valles Altos, ya que podrían ser híbridos prospectos para siembras de riego. Para los componentes de rendimiento se observó que la longitud de la mazorca fluctuó entre 13.2 a 17.2 cm, y el diámetro de

la mazorca varió entre 4.2 y 5.6 cm. Para longitud de mazorca destaca el híbrido H-40-63-1-1 x (T₁xT₃) con 17.2 cm; seguido de (T₂xT₃) x Hit7-14-1-2, T18 x (Hit7-28-1-3 x H-40-27-3-1) y H-40-23-3-1 x (T₁₄xT₅) con valores de 17, 16.8 y 16.6 cm, respectivamente. Para diámetro de mazorca destaca el híbrido (T₂xT₃) x H-40-23-3-1 con 5.6 cm, seguido de (T₂xT₃) x H-40-24-1-1, H-66 y (T₂xT₃) x H-40-38-2-1 con valores de 5.5, 5.3 y 5.2 cm, respectivamente. Cabe señalar que 19 híbridos experimentales tuvieron mayor longitud de mazorca en relación con los testigos y 2 híbridos tuvieron mayor diámetro de mazorca por arriba de los testigos. El número de hileras varió entre 13 y 19, y el número de granos por hilera fluctuó entre 27 a 36. Para número de hileras destaca el híbrido H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2 con 19, seguido por H-66, (T₂xT₃) x H-40-38-2-1, H-40-27-3-1 x Hit7-28-1-2 y (T₃xT₅) x T₆ con valores de 18; y en el número de granos por hilera destacan los híbridos H-40-63-1-1 x (T₁xT₃) y (T₂ x T₃) x Hit7-14-1-2 con 36, siendo estos híbridos experimentales superiores a los testigos.

En relación con estos resultados, Pandey *et al.* (2000) indican que el número de granos por unidad de superficie queda determinado durante el período cercano a floración (15 días antes y hasta 15-20 días posteriores a la floración), por lo tanto, en ese momento, el cultivo debería tener condiciones ambientales óptimas, agua y nutrientes para disminuir el porcentaje de abortos y, como consecuencia, aumentar el número de espiguillas fértiles. Por lo cual, es importante evaluar los materiales y conocer su expresión genotípica y fenotípica en diferentes ambientes contrastantes en humedad para identificar aquellos con altos rendimientos, como los anteriores híbridos experimentales de este trabajo. En el peso volumétrico destaca el híbrido de cruza simple T₅xT₆ con 185.6 g, siendo éste el peso más alto, y con un rendimiento de 9.5 t ha⁻¹.

Cuadro 12. Promedio de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.

Híbridos	REND	LM	DM	NH	NGH	PEVO
HS-2	10.92a	15.8a-f	5.1a-e	17a-h	35a-c	170.5c-g
(T ₄ X _{T₆})X _{T₇}	10.79a-b	15.0a-f	4.9a-e	17a-h	34a-e	168.4f-g
(T ₄ X _{T₁})X _{T₃}	10.75a-b	14.8a-f	4.8a-e	15a-l	31a-g	173.1b-g
(T ₂ X _{T₃}) x H-40-38-2-1	10.70a-b	14.1c-f	5.2a-d	18a-c	31a-g	166.6g
(T ₄ X _{T₅})X _{T₆}	10.63a-c	14.9a-f	5.0a-e	16a-j	30a-g	173.9a-g
T ₄ X(T ₇ X _{T₈})	10.35a-d	15.2a-f	4.7b-e	15g-l	33a-g	174.8a-g
T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2)	10.33a-d	15.5a-f	4.8a-e	15h-l	30a-g	182.2a-d
H-70	10.10a-e	15.3a-f	4.9a-e	16a-k	34a-e	173.9a-g
T ₁₈ x (H-40-63-1-1 x H-40-68-1-1)	10.08a-e	16.1a-e	4.7b-e	15e-l	33a-g	179.6a-f
(T ₂ X _{T₃}) x H-40-63-1-1	10.06a-e	16.2a-e	5.1a-d	16c-k	35a-c	172.7b-g
(T ₃ X _{T₈})X _{T₉}	9.91a-e	15.2a-f	5.0a-e	17a-g	32a-g	177.2a-g
(T ₂ X _{T₃}) x H-40-24-1-1	9.90a-e	15.1a-f	5.5a-b	17a-e	30b-g	180.0a-f
(T ₄ X _{T₈})X _{T₉}	9.80a-f	15.2a-f	4.9a-e	16d-l	32a-g	173.1b-g
(T ₄ X _{T₇})X _{T₈}	9.79a-f	15.3a-f	4.7a-e	16e-l	34a-e	175.2a-g
T ₁₈ x (Hit7-14-1-2 x H-40-27-3-1)	9.78a-f	16.6a-d	4.9a-e	15h-l	34a-e	183.2a-b
H-40	9.73a-f	15.5a-f	5.0a-e	17a-h	31a-g	175.8a-g
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-27-3-1)	9.65a-g	15.9a-e	4.7a-e	15h-l	32a-g	181.1a-e
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-3-3-2)	9.65a-g	15.5a-f	4.9a-e	15h-l	32a-g	181.9a-d
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-3-3-2)	9.51a-h	15.1a-f	4.9a-e	16e-l	30b-g	182.0a-d
T ₅ X _{T₆}	9.50a-i	13.9d-f	4.7b-e	17a-g	29d-g	185.8a
T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-27-3-1)	9.49a-i	15.8a-f	4.8a-e	15e-l	32a-g	182.3a-c

H-66	9.45a-i	14.6a-f	5.3a-c	18a-b	33a-f	168.5f-g
T ₁₈ x (Hit7 ⁻¹³⁻²⁻¹ x Hit7 ⁻¹⁰⁻²⁻¹)	9.39a-j	15.8a-f	4.8a-e	14i-l	32a-g	180.1a-f
T ₁₈ x (Hit7 ⁻¹⁴⁻¹⁻² x Hit7 ⁻²⁸⁻³⁻¹)	9.39a-j	15.8a-f	5.0a-e	15g-l	33a-g	179.1a-f
H-40 ⁻²³⁻³⁻¹ x (T ₁₄ xT ₅)	9.37a-k	16.6a-c	4.9a-e	15e-l	34a-f	175.1a-g
T ₁₈ x (H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹ x H-40 ⁻²³⁻³⁻¹)	9.36a-k	15.8a-f	4.7b-e	16c-k	31a-g	173.1b-g
(T ₂ xT ₃) x Hit7 ⁻¹⁴⁻¹⁻²	9.35a-k	17.0a-b	4.6c-e	16d-k	36a-b	177.1a-g
(T ₁ xT ₃)xT ₄	9.30a-k	15.4a-f	4.5c-e	15h-l	32a-g	172.7b-g
H-40 ⁻³⁻³⁻² x Hit7 ⁻¹⁴⁻¹⁻²	9.27a-k	14.3c-f	4.7a-e	14i-l	31a-g	176.8a-g
(T ₄ xT ₁₄)xT ₅	9.26a-k	15.1a-f	4.7b-e	16a-j	33a-g	175.9a-g
(T ₃ xT ₅)xT ₆	9.19a-k	14.8a-f	5.0a-e	18a-d	31a-g	175.0a-g
H-40 ⁻³⁻³⁻² x Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻³	9.13a-k	15.5a-f	4.9a-e	15e-l	29c-g	174.9a-g
H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹ x (T ₁ xT ₃)	9.09a-k	17.2a	5.1a-e	16c-k	36a	177.9a-g
T ₁₈ x (H-40 ⁻²³⁻³⁻³ x H-40 ⁻¹⁰⁻¹⁻²)	9.09a-k	15.3a-f	4.9a-e	16b-k	31a-g	178.6a-g
T ₁₈ x (Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻³ x H-40 ⁻²⁷⁻³⁻¹)	9.02a-l	16.8a-c	4.9a-e	14j-l	33a-g	179.4a-f
H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹ x H-40 ⁻³⁻³⁻²	8.91b-m	15.2a-f	4.6b-e	14k-l	30b-g	181.3a-d
(T ₃ xT ₁₁)xT ₁₂	8.79c-n	15.7a-f	4.9a-e	17a-e	34a-e	178.6a-g
T ₁₈ x (H-40 ⁻⁶⁸⁻¹⁻¹ x H-40 ⁻⁴⁹⁻¹⁻¹)	8.78c-n	15.6a-f	4.9a-e	16b-k	33a-g	175.3a-g
(T ₂ xT ₃) x Hit7 ⁻¹³⁻²⁻¹	8.75c-n	16.6a-d	5.0a-e	16a-k	33a-g	178.7a-f
(T ₄ xT ₁₁)xT ₁₂	8.74c-n	14.6a-f	4.7a-e	16d-l	32a-g	176.3a-g
(T ₄ xT ₉)xT ₁₀	8.6d-n	14.6a-f	4.7a-e	15g-l	31a-g	177.5a-g
T ₁₁ xT ₁₂	8.55d-o	15.4a-f	4.8a-e	15e-l	32a-g	182.9a-b
Cafime x T ₁₈	8.51d-o	16.2a-e	4.9a-e	15g-l	32a-g	175.6a-g
T ₁ xT ₃	8.5d-o	15.9a-f	4.6c-e	16e-l	33a-g	173.4b-g
(T ₂ xT ₃) x H-40 ⁻²³⁻³⁻¹	8.5d-o	16.0a-e	5.6a	16a-i	33a-g	169.1e-g
(T ₄ xT ₂)xT ₃	8.46d-o	14.2c-f	4.8a-e	15.0e-i	29c-g	172.8b-g

T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-23-3-2)	8.29e-o	16.1a-e	4.7a-e	15.0h-l	31a-g	180.1a-f
H-40-68-1-1 x (T ₁ xT ₃)	7.99f-p	15.9a-f	4.8a-e	16.0d-k	27f-g	175.9a-g
Hit7-28-1-1 x H-40-63-1-1	7.93f-p	16.1a-e	4.9a-e	16c-k	33a-g	170.2d-g
(T ₁ xT ₂)xT ₃	7.75g-p	15.7a-f	4.6b-e	16c-k	32a-g	170.3c-g
(T ₁ xT ₅)xT ₆	7.67h-p	13.9d-f	4.2e	15f-l	32a-g	172.0b-g
(T ₁ xT ₇)xT ₈	7.6i-p	15.9a-f	4.4d-e	15h-i	35a-d	171.7b-g
H-40-27-3-1 x Hit7-28-1-2	7.53j-p	14.6a-f	5.0a-e	18a-c	30b-g	169.2e-g
H-40-63-1-1 x Hit7-28-1-2	7.48k-p	16.3a-e	5.1a-e	16b-k	31a-g	173.0b-g
T ₁₀ xT ₁₁	7.15l-q	13.9d-f	4.4c-e	13l	27g	182.1a-d
(T ₁ xT ₉)xT ₁₀	7.03m-q	15.4a-f	4.5c-e	15h-l	32a-g	172.9b-g
H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2	6.93n-q	13.8e-f	4.9a-e	19a	28e-g	175.4a-g
(T ₂ xT ₃) x H-40-10-1-2	6.66o-q	14.7a-f	4.9a-e	17a-f	32a-g	175.9a-g
T ₅ xT ₁₄	6.22p-q	14.4b-f	4.6b-e	16a-i	31a-g	178.9a-f
Zac.58-41 x Zac. 58-294	5.27q	13.2f	4.4d-e	15h-i	30b-g	175.3a-g
DMS	1.91	2.7	0.9	2	6	12.1

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes. REND, rendimiento de mazorca t ha⁻¹; LM, Longitud de mazorca; DM, diámetro de mazorca; NH, numero de hileras; NGH, numero de granos por hilera; PEVO, peso volumétrico de 250 ml; DMS (0.05), diferencia mínima significativa.

En el ambiente de temporal nuevamente el híbrido HS-2 tuvo el mayor rendimiento, con 10.72 t ha⁻¹ (Cuadro 13), el cual fue ligeramente menor al expresado en riego. Esto resultó así porque en temporal la humedad no fue del todo limitativa, ya que hubo buena precipitación en el año de evaluación, de 784.5 mm, valor superior al promedio de 637 mm (García, 2004), excepto durante la canícula, la que causó estrés por falta de humedad y entonces se dio un riego de auxilio. En este ambiente las cruza experimentales sobresalientes fueron T₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-

40-3-3-2) y T₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-27-3-1), con rendimientos de 9.39 y 9.16 t·ha⁻¹ respectivamente, siendo materiales diferentes a los que sobresalieron en riego. Tan es así que en este ambiente sobresalieron las cruza simples T₁xT₃ y T₁₁x T₁₂ que rindieron 8.94 y 8.92 t ha⁻¹, numéricamente sobrepasando el rendimiento del H-40. Este resultado es importante porque indica que las cruza experimentales se expresaron de manera diferente a través de las condiciones contrastantes de humedad, esto por efecto de su origen genético tolerante a la sequía.

Para los componentes del rendimiento, se observó en esta ambiente que la longitud de la mazorca fluctuó entre 11.5 a 16.9 cm, siendo valores ligeramente menores a los mostrados en riego, y el diámetro de la mazorca varió entre 4.1 y 5.4 cm. Para longitud de mazorca destaca el híbrido H-40-63-1-1 x (T₁xT₃) con 16.9 cm; seguido por (T₂xT₃) x Hit7-14-1-2, H-40 y (T₂xT₃) x H-40-63-1-1 con valores de 16.5, 16.4 y 16.3 cm, respectivamente. Para diámetro de mazorca destaca el híbrido (T₂xT₃) x H-40-24-1-1 con 5.4 cm, seguidos por H-40, H-66 y (T₂xT₃) x H-40-23-3-1 con valores de 5.3, 5.2 y 5.2 cm, respectivamente. Cabe señalar que 2 híbridos experimentales tuvieron la mayor longitud de mazorca, estando por arriba de los testigos HS-2, H-70, H-66 y H-40, y sólo el híbrido experimental (T₂xT₃) x H-40-24-1-1 tuvo mayor diámetro de mazorca por arriba de los testigos. Estos materiales podrían ser buenos prospectos para condiciones de temporal, ya que tienen la mayor longitud y diámetro de mazorca, siendo estos de los más rendidores.

El número de hileras varió entre 13 y 18, y el número de granos por hilera fluctuó entre 23 a 36, estos valores fueron casi similares a los de riego. Para número de hileras destacan los híbridos H-66, H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2, (T₂ x T₃) x H-40-38-2-1 y (T₂ x T₃) x H-40-10-1-2 que tuvieron el mayor número de hileras, con un valor de 18; cabe mencionar que la cruza simple T₅xT₆ superó a varias cruza

trilineales y a los testigos HS-2, H-70 y H-40. En el número de granos por hilera destaca el híbrido H-40-63-1-1 x (T₁ x T₃) con 36, seguido por (T₁ x T₂) x T₃ con un valor de 35; no está por demás mencionar que otros 8 híbridos experimentales fueron superiores a los testigos.

En el peso volumétrico destaca el híbrido T₁₈ x (Hit7-13-2-1 x Hit7-10-2-1) con 186.4 g; seguida por T₁₈ x (Hit7-14-1-2 x H-40-27-3-1) con un valor de 184.1 g. Los híbridos con los pesos más bajos fueron el HS-2 y H-66 con valores de 168.5 y 169 g, siendo estos dos de los testigos, lo cual era de esperarse ya que HS-2 está recomendado para siembras de riego y punta de riego (Cuadro 15). Los resultados anteriores concuerdan con los obtenidos por Pandey *et al.* (2000), quienes encontraron una disminución en el peso del grano cuando provocaban déficit de agua en el cultivo durante el crecimiento reproductivo y en algunas fases del crecimiento vegetativo. En otro trabajo relacionado, Andrade *et al.* (1996) obtuvieron resultados muy similares.

Cuadro 13. Promedio de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.

Híbridos	REND	LM	DM	NH	NGH	PEVO
HS-2	10.72a	14.7a-g	4.7d-l	17a-f	33a-d	168.5d
T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2)	9.39a-b	16.2a-c	4.8b-j	15d-i	31a-d	178.9a-d
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-27-3-1)	9.16b-c	16.1a-c	4.9b-j	15e-i	31a-d	180.2a-d
(T ₂ xT ₃) x H-40-23-3-1	9.14b-c	15.5a-g	5.2a-d	17a-e	32a-d	176.0a-d
H-70	9.13b-c	15.3a-g	5.0a-h	17a-e	32a-d	180.2a-d
H-40-63-1-1 x (T ₁ xT ₃)	9.13b-c	16.9a	5.0a-i	15c-i	36a	181.4a-d
H-66	9.12b-c	14.9a-g	5.2a-c	18a	34a-d	169.0c-d

(T ₄ X ₈)X ₉	9.06b-c	15.1a-g	4.7b-k	16a-i	33a-d	176.1a-d
T ₁ X ₃	8.94b-d	15.9a-f	4.6f-m	15e-i	32a-d	173.8a-d
T ₁₁ X ₁₂	8.92b-d	14.6a-g	4.7d-l	15b-i	31a-d	179.0a-d
T ₁₈ x (H-40-68-1-1 x H-40-49-1-1)	8.91b-d	15.5a-g	5.2a-e	16a-h	31a-d	183.9a-b
(T ₄ X ₁)X ₃	8.90b-d	15.1a-g	4.8b-k	15b-i	32a-d	171.7b-d
H-40-27-3-1 x Hit7-28-1-2	8.90b-d	15.2a-g	5.1a-e	17a-g	30b-d	182.3a-c
T ₅ X ₁₄	8.90b-d	15.6a-g	4.7c-l	17a-f	33a-d	180.2a-d
T ₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-27-3-1)	8.88b-d	15.3a-g	4.9a-i	15e-i	30b-d	183.9a-b
H-40-23-3-1 x (T ₁₄ X ₅)	8.82b-e	15.3a-g	4.8b-k	15d-i	31a-d	175-0a-d
T ₁₈ x (Hit7-14-1-2 x H-40-27-3-1)	8.79b-e	15.1a-g	4.8b-j	15b-i	33a-d	184.1a-b
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-3-3-2)	8.76b-e	16.0a-e	4.7b-k	14g-i	31a-d	179.1a-d
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-23-3-2)	8.76b-e	16.1a-d	4.6f-m	15c-i	30b-d	182.2a-d
T ₁₈ x (Hit7-14-1-2 x Hit7-28-3-1)	8.76b-e	15.3a-g	5.0a-i	15d-i	33a-d	175.2a-d
T ₁₈ x (H-40-63-1-1 x H-40-68-1-1)	8.75b-e	15.5a-g	5.1a-g	15b-i	32a-d	174.6a-d
H-40	8.72b-e	16.4a-b	5.3a-b	17a-f	30a-d	177.5a-d
T ₁₈ x (H-40-63-1-1 x H-40-23-3-1)	8.69b-e	16.2a-c	5.1a-f	15b-i	32a-d	177.4a-d
(T ₄ X ₁₄)X ₅	8.67b-e	11.5a-g	4.6f-m	15d-i	32a-d	177.0a-d
(T ₂ X ₃) x H-40-38-2-1	8.58b-e	13.8c-h	5.0a-h	18a-c	30b-d	169.2c-d
H-40-3-3-2 x Hit7-28-1-3	8.56b-e	15.8a-g	5.0a-h	15b-i	29b-e	182.0a-d
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x Hit7-10-2-1)	8.54b-e	15.8a-g	4.8b-k	15d-i	32a-d	186.4a
T ₄ X(T ₇ X ₈)	8.53b-e	15.1a-g	4.6e-m	16b-i	34a-d	175.3a-d
(T ₂ X ₃) x H-40-63-1-1	8.53b-e	16.3a-c	5.2a-e	16b-i	34a-c	176.4a-d
(T ₄ X ₇)X ₈	8.52b-e	14.9a-g	4.7b-l	15b-i	33a-d	178.8a-d
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-3-3-2)	8.49b-e	15.3a-g	4.8b-k	15b-i	31a-d	183.6a-b
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-27-3-1)	8.48b-e	14.9a-g	4.8b-k	15d-i	30b-d	180.1a-d

(T ₃ X _{T8})X _{T9}	8.47b-e	15.1a-g	5.0a-i	17a-e	32a-d	179.4a-d
(T ₃ X _{T5})X _{T6}	8.45b-e	15.4a-g	5.0a-h	17a-e	31a-d	177.9a-d
(T ₄ X _{T9})X _{T10}	8.42b-e	14.7a-g	4.7b-k	15e-i	31a-d	176.7a-d
(T ₄ X _{T11})X _{T12}	8.41b-e	14.3b-g	4.7e-l	16b-i	31a-d	176.8a-d
Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻¹ x H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹	8.40b-e	16.2a-c	5.0a-h	16b-i	31a-d	173.3a-d
H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹ x Hit7 ⁻²⁸⁻¹⁻²	8.39b-e	15.7a-g	5.0a-h	17a-e	32a-d	180.5a-d
(T ₃ X _{T11})X _{T12}	8.39b-e	15.0a-g	4.8b-k	17a-d	33a-d	180.1a-d
(T ₂ X _{T3}) x H-40 ⁻²⁴⁻¹⁻¹	8.33b-f	15.4a-g	5.4a	17a-e	30a-d	181.9a-d
(T ₂ X _{T3}) x Hit7 ⁻¹³⁻²⁻¹	8.24b-g	15.5a-g	4.5g-m	16a-h	31a-d	181.2a-d
Cafime x T ₁₈	8.24b-g	15.8a-f	4.8b-k	15e-i	32a-d	176.5a-d
(T ₂ X _{T3}) x Hit7 ⁻¹⁴⁻¹⁻²	8.19b-g	16.5a-b	4.7d-l	15b-i	34a-c	180.0a-d
H-40 ⁻³⁻³⁻² x Hit7 ⁻¹⁴⁻¹⁻²	8.15b-g	14.9a-g	4.7b-k	15d-i	31a-d	179.6a-d
(T ₄ X _{T5})X _{T6}	7.97b-h	14.7a-g	4.8b-k	16a-g	32a-d	175.6a-d
(T ₁ X _{T7})X _{T8}	7.89b-h	15.3a-g	4.2l-m	14g-i	34a-c	176.4a-d
(T ₂ X _{T3}) x H-40 ⁻¹⁰⁻¹⁻²	7.83c-h	14.9a-g	4.9a-i	18a-c	33a-d	176.6a-d
T ₁₈ x (H-40 ⁻²³⁻³⁻³ x H-40 ⁻¹⁰⁻¹⁻²)	7.83c-h	15.7a-g	5.0a-i	15b-i	32a-d	180.9a-d
(T ₁ X _{T3})X _{T4}	7.75c-h	16.0a-d	4.6e-m	15d-i	32a-d	174.4a-d
(T ₁ X _{T9})X _{T10}	7.52d-i	13.5e-h	4.3k-m	14h-i	28c-e	173.2a-d
H-40 ⁻⁶⁸⁻¹⁻¹ x (T ₁ X _{T3})	7.32e-j	15.4a-g	4.5g-m	15b-i	31a-d	175.8a-d
(T ₁ X _{T2})X _{T3}	7.32e-j	15.9a-f	4.4i-m	15d-i	35a-b	173.6a-d
(T ₄ X _{T6})X _{T7}	6.85f-k	14.6a-g	4.8b-k	16a-g	34a-d	170.6b-d
(T ₁ X _{T5})X _{T6}	6.73g-k	15.9a-f	4.5h-m	15c-i	34a-c	170.9b-d
(T ₄ X _{T2})X _{T3}	6.47h-k	13.5f-h	4.5g-m	16a-i	28c-e	171.3b-d
T ₅ X _{T6}	6.11i-k	14.8a-g	4.6e-m	17a-d	31a-d	179.5a-d
H-40 ⁻⁶³⁻¹⁻¹ x H-40 ⁻³⁻³⁻²	6.10i-k	14.7a-g	4.8b-k	14g-i	28b-e	181.5a-d

H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2	5.92j-k	13.7d-h	4.8b-k	18a-b	28d-e	177.6a-d
T ₁₀ xT ₁₁	5.75k	15.0h	4.1m	13i	23e	172.5b-d
Zac.58-41 x Zac. 58-294	5.72k	13.4g-h	4.3j-m	14f-i	28c-e	175.4a-d
DMS	1.53	2.4	0.6	3	6	13.8

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes. REND, rendimiento de mazorca t ha⁻¹; LM, Longitud de mazorca; DM, diámetro de mazorca; NH, numero de hileras; NGH, numero de granos por hilera; PEVO, peso volumétrico de 250 ml; DMS (0.05), diferencia mínima significativa.

La comparación de medias del promedio de ambientes (Cuadro 14) indica que el híbrido testigo HS-2 sobresalió en rendimiento con 10.82 t ha⁻¹ y fue más tardío hasta en 11 días con respecto a algunas de las cruzas sobresalientes. Tales cruzas fueron T18 x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2), (T4xT1) x T3, (T2xT3) x H-40-38-2-1, con rendimientos de 9.86, 9.83, y 9.64 t ha⁻¹, respectivamente, valores que numéricamente pasaron el rendimiento del H-70, con 9.62 t ha⁻¹. Al igual que el HS-2, la crusa T18 x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2) también se mantuvo entre los primeros lugares de rendimiento en promedio de ambientes.

Es importante resaltar que además de las cruzas trilineales sobresalientes de este estudio, se identificaron cruzas simples prometedoras. Las cruzas simples tienen grandes ventajas sobre las cruzas dobles y trilineales, ya que son más uniformes y requieren un esquema más corto y simplificado de mejoramiento, así como de producción de semilla. Por eso es bueno resaltar a los híbridos de crusa simple como H-40-3-3-2 x Hit7-28-1-3, T₁₁xT₁₂, T₁xT₃ y H-40-3-3-2 x Hit7-14-1-2 que tuvieron rendimientos de 8.85, 8.73, 8.72, 8.71 t ha⁻¹, los cuales superaron a varios híbridos de cruzas trilineales y testigos.

Para los componentes del rendimiento, se observó que la longitud de mazorca fluctuó entre 12.7 a 17 cm, típicos de los materiales temporaleros; los

valores de diámetro de mazorca obtenidos en el presente trabajo resultaron mayores a los que obtuvieron Wong *et al.* (2007), quienes reportaron de 4.3 a 4.8 cm para un grupo de 15 cruzas simples sobresalientes; en tanto que en este trabajo el rango varió de 4.3 a 5.5 cm. Para longitud de mazorca los genotipos que resultaron estadísticamente superiores fueron H-40-63-1-1 x (T₁xT₃), (T₂xT₃) x Hit7-14-1-2, (T₂xT₃) x H-40-63-1-1 con valores de 17, 16.8 y 16.2 cm respectivamente; este grupo selecto mostró un buen potencial en longitud de mazorca en ambos ambientes. Para diámetro de mazorca destacan los genotipos (T₂xT₃) x H-40-24-1-1, (T₂xT₃) x H-40-23-3-1, H-66 y H-40 con valores de 5.5, 5.4, 5.3 y 5.2 cm, respectivamente; este grupo selecto mostró un buen potencial en ambos ambientes, permaneciendo en los primeros lugares. Cabe señalar que otros 11 genotipos experimentales entre cruzas simples, trilineales y el mestizo tuvieron la mayor longitud de mazorca, estando por arriba de los testigos HS-2, H-70, H-66 y H-40, y sólo 2 híbridos experimentales tuvieron el mayor diámetro de mazorca por arriba de los testigos. Estos materiales podrían ser buenos prospectos para las dos condiciones ambientales, ya que tuvieron la mayor longitud y diámetro de mazorca, siendo estos también de los más rendidores.

El número de hileras varió entre 13 y 18, y el número de granos por hilera fluctuó de 25 a 36; para número de hileras destacan los híbridos H-66, H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2 y (T₂ x T₃) x H-40-38-2-1 con valores de 18. Este grupo selecto mostró un buen potencial con el mayor número de hileras en los dos ambientes, ya que se mantuvieron entre los primeros lugares. En el número de granos por hilera destacan los híbridos experimentales H-40-63-1-1 x (T₁ x T₃) y (T₂ x T₃) x Hit7-14-1-2 con valores de 36 y 35 respectivamente; de este grupo selecto, solo 4 híbridos experimentales fueron superiores a los testigos, pero el híbrido H-40-63-1-1 x (T₁xT₃) logró estar en

primer lugar en ambos ambientes, mostrando un buen potencial. En el peso volumétrico destacan los híbridos experimentales T₁₈ x (Hit7₋₁₄₋₁₋₂ x H-40₋₂₇₋₃₋₁), T₁₈ x (Hit7₋₁₃₋₂₋₁ x Hit7₋₁₀₋₂₋₁) y T₁₈ x (Hit7₋₂₈₋₁₋₂ x H-40₋₂₇₋₃₋₁) con valores de 183.6, 183.2 y 183.1 g, respectivamente.

Cuadro 14. Promedio de ambientes de seis variables medidas en los 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.

Híbridos	REND	LM	DM	NH	NGH	PEVO
HS-2	10.82a	15.2a-g	4.9c-k	17a-h	34a-e	169.5i-k
T ₁₈ x (Hit7 ₋₂₈₋₁₋₂ x H-40 ₋₃₋₃₋₂)	9.86a-b	15.8a-c	4.8c-k	15l-q	31b-i	180.6a-g
(T ₄ xT ₁)xT ₃	9.83a-b	15.0b-h	4.8c-k	15h-p	31b-i	172.4e-k
(T ₂ xT ₃) x H-40 ₋₃₈₋₂₋₁	9.64a-c	14.0e-i	5.1a-e	18a-c	30e-i	167.9k
H-70	9.62a-c	15.3a-g	5a-h	17b-j	33a-h	177.0a-j
T ₄ x(T ₇ xT ₈)	9.44b-d	15.2b-g	4.6d-l	15h-p	33a-e	175.0a-k
(T ₄ xT ₈)xT ₉	9.43b-d	15.2b-g	4.8c-k	16d-o	32a-h	174.6b-k
T ₁₈ x (H-40 ₋₆₃₋₁₋₁ x H-40 ₋₆₈₋₁₋₁)	9.42b-e	15.8a-c	4.9c-k	15h-p	32a-i	177.1a-j
T ₁₈ x (Hit7 ₋₁₃₋₂₋₁ x H-40 ₋₂₇₋₃₋₁)	9.41b-e	16.0a-c	4.8c-k	15m-q	32b-i	180.6a-g
(T ₄ xT ₅)xT ₆	9.30b-f	14.8c-h	4.9c-j	16c-l	31b-i	174.8a-k
(T ₂ xT ₃) x H-40 ₋₆₃₋₁₋₁	9.29b-f	16.2a-c	5.2a-d	16d-o	34a-c	174.5b-k
H-66	9.29b-f	14.7c-h	5.3a-c	18a	33a-e	168.8j-k
T ₁₈ x (Hit7 ₋₁₄₋₁₋₂ x H-40 ₋₂₇₋₃₋₁)	9.29b-f	15.9a-c	4.9c-j	15h-p	33a-e	183.6a
H-40	9.23b-f	15.9a-c	5.2a-d	17a-i	31b-i	176.7a-k
T ₁₈ x (Hit7 ₋₂₈₋₁₋₃ x H-40 ₋₃₋₃₋₂)	9.21b-f	15.8a-e	4.8c-k	14o-q	31b-i	180.5a-h
(T ₃ xT ₈)xT ₉	9.19b-f	15.1b-g	5.0a-h	17a-g	32b-i	178.3a-i
T ₁₈ x (Hit7 ₋₂₈₋₁₋₂ x H-40 ₋₂₇₋₃₋₁)	9.19b-f	15.5a-f	4.9c-k	15j-q	31b-i	183.1a-b

(T ₄ X ₇)X ₈	9.16b-f	15.1b-g	4.7d-l	15h-p	33a-f	177.0a-j
(T ₂ X ₃) x H-40-24-1-1	9.12b-g	15.3a-g	5.5a	17a-f	30e-i	181.0a-f
H-40-63-1-1 x (T ₁ X ₃)	9.11b-g	17.0a	5.0a-h	16f-p	36a	179.7a-h
H-40-23-3-1 x (T ₁₄ X ₅)	9.10b-g	16.0a-c	4.9c-j	15h-p	32a-i	175.1a-k
T ₁₈ x (Hit7-14-1-2 x Hit7-28-3-1)	9.07b-g	15.5a-f	5.0a-h	15k-q	33a-g	177.2a-j
T ₁₈ x (H-40-63-1-1 x H-40-23-3-1)	9.03b-g	16.0a-c	4.9b-i	16d-o	32b-i	175.2a-k
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x H-40-3-3-2)	9.00b-h	15.2b-g	4.8c-k	15g-p	30d-i	182.8a-c
T ₁₈ x (Hit7-13-2-1 x Hit7-10-2-1)	8.97b-h	15.8a-d	4.8c-l	14n-q	32b-i	183.2a-b
(T ₄ X ₁₄)X ₅	8.96b-h	15.1b-g	4.6f-l	16e-p	32b-i	176.5a-k
H-40-3-3-2 x Hit7-28-1-3	8.85b-i	15.7a-f	4.9a-h	15h-p	29f-j	178.4a-i
T ₁₈ x (H-40-68-1-1 x H-40-49-1-1)	8.84b-i	15.6a-f	5.0a-g	16c-n	32b-i	179.6a-h
(T ₃ X ₅)X ₆	8.82b-i	15.1b-g	5.0a-h	17a-d	31b-i	176.5a-k
(T ₂ X ₃) x H-40-23-3-1	8.82b-i	15.8a-e	5.4a-b	17a-h	32a-h	172.6e-k
(T ₄ X ₆)X ₇	8.82b-i	14.8c-h	4.9c-k	17b-k	34a-e	169.5i-k
(T ₂ X ₃) x Hit7-14-1-2	8.77b-i	16.8a-b	4.6e-l	16f-p	35a-b	178.5a-i
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-27-3-1)	8.75b-j	15.9a-c	4.8c-k	14n-q	31b-i	179.8a-h
T ₁₁ X ₁₂	8.73b-k	15.0b-h	4.7d-l	15h-p	31b-i	180.9a-f
T ₁ X ₃	8.72b-k	15.9a-c	4.6f-l	15i-p	33a-h	173.6d-k
H-40-3-3-2 x Hit7-14-1-2	8.71b-k	14.6c-h	4.7d-l	14n-q	31b-i	178.2a-i
(T ₃ X ₁₁)X ₁₂	8.59c-l	15.3a-g	4.8c-k	17a-e	33a-g	179.4a-h
(T ₄ X ₁₁)X ₁₂	8.58c-l	14.4d-i	4.7d-l	16e-p	31b-i	176.5a-k
(T ₁ X ₃)X ₄	8.53c-l	15.7a-e	4.6g-l	15m-q	32b-i	173.6e-k
T ₁₈ x (Hit7-28-1-3 x H-40-23-3-2)	8.52c-l	16.1a-c	4.7d-l	15j-q	30c-i	181.1a-e
(T ₄ X ₉)X ₁₀	8.51c-l	14.6c-h	4.7d-l	15l-q	31b-i	177.1a-j
(T ₂ X ₃) x Hit7-13-2-1	8.50c-l	16.1a-c	4.8c-l	16c-m	32b-i	180.0a-h

T ₁₈ x (H-40-23-3-3 x H-40-10-1-2)	8.46c-m	15.5a-g	4.9b-h	16e-p	31b-i	179.7a-h
Cafime x T ₁₈	8.37d-n	16.0a-c	4.8c-k	15l-q	32b-i	176.1a-k
H-40-27-3-1 x Hit7-28-1-2	8.22e-n	14.9c-h	5.1a-f	17a-e	30e-i	175.8a-k
Hit7-28-1-1 x H-40-63-1-1	8.17f-n	16.1a-c	5.0a-h	16d-o	32b-i	171.7g-k
H-40-63-1-1 x Hit7-28-1-2	7.94g-n	16.0a-c	5.1a-g	17b-j	31b-i	176.8a-k
T ₅ xT ₆	7.81h-n	14.3d-i	4.6d-l	17a-f	30e-i	182.6a-d
(T ₁ xT ₇)xT ₈	7.74i-n	15.6a-f	4.3l	14o-q	34a-d	174.1c-k
H-40-68-1-1 x (T ₁ xT ₃)	7.66i-n	15.6a-f	4.6d-l	15h-p	29f-j	175.8a-k
T ₅ xT ₁₄	7.56j-o	15.0b-h	4.7d-l	17b-j	32b-i	179.6a-h
(T ₁ xT ₂)xT ₃	7.54k-o	15.8a-e	4.5h-l	15h-p	33a-f	172.0f-k
H-40-63-1-1 x H-40-3-3-2	7.5l-o	14.9c-h	4.7d-l	14p-q	29f-j	181.4a-e
(T ₄ xT ₂)xT ₃	7.46l-o	13.9f-i	4.7d-l	16e-p	29h-j	172.1f-k
(T ₁ xT ₉)xT ₁₀	7.27m-o	14.5c-i	4.4i-l	14o-q	30e-i	173.1e-k
(T ₂ xT ₃) x H-40-10-1-2	7.25n-o	14.8c-h	4.9b-h	17a-d	32a-h	176.3a-k
(T ₁ xT ₅)xT ₆	7.20n-o	14.9c-h	4.3k-l	15i-p	33a-g	171.5h-k
T ₁₀ xT ₁₁	6.45o-p	12.7i	4.3l	13q	25j	177.3a-j
H-40-68-1-1 x H-40-23-3-2	6.43o-p	13.7g-i	4.8c-k	18a-b	28i-j	176.5a-k
Zac.58-41 x Zac. 58-294	5.50p	13.3h-i	4.4j-l	14o-q	29g-j	175.4a-k
DMS	1.21	1.8	0.5	2	4	9

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes. REND, rendimiento de mazorca t ha⁻¹; LM, Longitud de mazorca; DM, diámetro de mazorca; NH, numero de hileras; NGH, numero de granos por hilera; PEVO, peso volumétrico de 250 ml; DMS (0.05), diferencia mínima significativa.

En la comparación general del promedio de ambientes (Cuadro 15), puede observarse que los ambientes resultaron diferentes en algunas variables, siendo mejor el de riego en cuanto a rendimiento y número de hileras, ya que tuvo mejores

condiciones hídricas en comparación con el ambiente de temporal. En longitud de mazorca, diámetro de mazorca, y número de granos por hilera los dos ambientes resultaron estadísticamente similares. En temporal se tuvieron algunos de los pesos volumétricos más altos.

Cuadro 15. Promedio de seis variables medidas en 60 híbridos de maíz evaluados en condiciones de riego y temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.

Ambiente	VARIABLES					
	REND	LM	DM	NH	NGH	PEVO
Riego	8.96a	15.4a	4.8a	15.8a	31.7a	176.0b
Temporal	8.25b	15.2a	4.8a	15.6b	31.5a	177.5a
DMS	0.1	0.2	0.0	0.1	0.4	0.8

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes. REND, rendimiento de mazorca t ha⁻¹; LM, Longitud de mazorca; DM, diámetro de mazorca; NH, numero de hileras; NGH, numero de granos por hilera; PEVO, peso volumétrico de 250 ml; DMS (0.05), diferencia mínima significativa.

Los resultados anteriores son prometedores para varias de las cruzas experimentales probadas, ya que la constitución genética de estos híbridos les podría permitir prosperar favorablemente en niveles distintos de precipitación pluvial o inclusive bajo riego, pues su rendimiento y sus componentes de rendimiento mostraron muy buenos resultados.

Finalmente, en el (Cuadro 16) se muestran las correlaciones fenotípicas, observándose que el rendimiento tuvo una asociación positiva ($r = 0.29$, $\alpha \leq 0.05$) con longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM) ($r = 0.31$, $\alpha \leq 0.05$) y número de granos por hilera (NGH) ($r = 0.26$, $\alpha \leq 0.01$); ya que en mazorcas largas y gruesas se obtiene más grano, y con esto buen rendimiento. La longitud de mazorca (LM)

tuvo asociación positiva ($r = 0.65$, $\alpha \leq 0.05$) con la variable número de granos por hilera (NGH) y diámetro de mazorca ($r = 0.36$, $\alpha \leq 0.05$), lo que indica que a mayor longitud y diámetro de mazorca hay mayor número de granos por hilera. El peso volumétrico (PEVO) tuvo asociación negativa no significativa con el número de hileras (NH), por lo que se puede decir que a mayor número de hileras disminuye la densidad del grano.

Las correlaciones observadas entre algunos caracteres corroboran que al tener mayor longitud de la mazorca, se espera tener mayor número de granos en las hileras de la misma, al igual que con mayor diámetro, mayor número de hileras; de la misma manera, un mayor número de granos por hilera supone una mayor cantidad de granos y por tanto mayor rendimiento.

Cuadro 16. Correlaciones fenotípicas de seis variables agronómicas de 60 híbridos de maíz evaluados en riego y temporal. Ciclo primavera-verano, 2015, Montecillo, México.

	REND	LM	DM	NH	NGH	PEVO
REND	1	0.29*	0.31*	0.1	0.26*	0.02
LM		1	0.36*	-0.06	0.65*	0.27*
DM			1	0.45*	0.21*	0.13
NH				1	0.1	-0.22
NGH					1	0.08
PEVO						1

REND, rendimiento de grano $t\ ha^{-1}$; LM, Longitud de mazorca; DM, diámetro de mazorca; NH, número de hileras; NGH, número de granos por hilera; PEVO, peso volumétrico de 250 ml; *, significativo.

3.5. CONCLUSIONES

Por su alto rendimiento, buena expresión genotípica y fenotípica los mejores híbridos fueron: HS-2, T₁₈ x (Hit7-28-1-2 x H-40-3-3-2) y (T₄xT₁) x T₃ con valores de 10.82, 9.86 y 9.83 t ha⁻¹, respectivamente, siendo algunas de las cruzas trilineales experimentales las que tuvieron la mayor longitud y diámetro de mazorca, en comparación con los testigos HS-2, H-70, H-66, y H-40. Estas mejores cruzas tuvieron el mayor número de hileras y mayor número de granos.

Hubo diferencias entre ambientes para algunas variables, siendo mejor el de riego en cuanto a rendimiento y número de hileras, pues tuvo mejores condiciones hídricas en comparación con el ambiente de temporal. La longitud de mazorca, diámetro de mazorca, y número de granos por hilera en los dos ambientes resultaron estadísticamente similares.

En los materiales de este trabajo, una mayor longitud de la mazorca se reflejó en un mayor número de granos en las hileras de la misma; mientras que un mayor diámetro implicó un mayor número de hileras; de la misma manera, un mayor número de granos por hilera supone una mayor cantidad de granos y por tanto mayor rendimiento, aunque a mayor número de hileras aparentemente ocurrió una menor densidad del grano.

Es importante evaluar los materiales experimentales de un programa de mejoramiento genético para conocer su expresión genotípica y fenotípica en diferentes ambientes contrastantes en humedad, con ello se podrán identificar aquellos con altos rendimientos y buena expresión agronómica, como los híbridos experimentales sobresalientes de este trabajo.

3.6. LITERATURA CITADA

- Andrade, F.; Cirilo, A.; Uhart, S. y Otegui, M. 1996.** Ecofisiología del cultivo de maíz. Ed. La Barrosa. Balcarce. Buenos Aires. 292 p.
- Arellano V. J. L., J. Virgen V., I. Rojas M., M. A. Ávila P. 2011.** H-70: Híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del altiplano central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(4):619-626.
- Cirilo A. G., and Andrade, F. H. 1994.** Sowing date and maize productivity: Kernel number determination. *Crop Science*. 34: 104-106.
- García E. 2004.** Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. pp 50-63.
- Gutiérrez H. G. F. 1984.** Relaciones fuente-demanda mediante defoliación en los híbridos de maíz H-30, H-31 y H-137E. Tesis profesional. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 105 p
- López-Castañeda C. 1996.** Uso eficiente del agua en un agrosistema sustentable. *In: Memorias del II Simposio Internacional y Reunión Nacional sobre Agricultura Sostenible*. Comisión de Estudios Ambientales y Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados. San Luis Potosí, S.L.P., México. pp. 329-338.
- Martínez S. J. y Vega G. S. 1987.** Análisis de crecimiento y componentes de rendimiento de siete variedades de maíz bajo el efecto de fertilización N, P, K y densidad de plantas en Calimaya Edo. de México. Tesis profesional. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. Universidad Nacional Autónoma de México. México 132 p.

- Mendoza O., García de los Santos E. L., Mendoza C. M. C., Martínez G. Á y Martínez L. C. 2006.** Rendimiento de grano de híbridos isogénicos de maíz formados mediante androesterilidad vs. desespigamiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*, octubre-diciembre. pp: 365-368.
- Nissanka S. P., M. A. Dixon and M. Tollenaar. 1997.** Canopy gas exchange response to moisture stresses in old and new maize hybrid. *Crop Science* 37: 172- 181.
- Poey, D. 1978.** El mejoramiento integral del maíz, valor nutritivo y rendimiento: hipótesis y métodos. Rama de Genética. Chapingo, Méx. SARH. Colegio de Postgraduados. 206 p.
- Reyes-Ramones R. E., J. Rodríguez-Ontiveros L., y C. López-Castañeda. 2000.** Resistencia a sequía de líneas S₁ derivadas de la variedad de maíz criollo de Ibarra. *Agricultura Técnica en México* 26:159-172.
- Pandey, R. K.; Maranville, J. W. and Chetima, M. M. 2000.** Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agricultural Water Management*. 46:15-27.
- Wong R. R., E. Gutiérrez R., A. Palomo G., S. Rodríguez H., H. Córdova O., A. Espinoza B. y J. J. Lozano G. 2007.** Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(2):181-189.