

ADAPTACIÓN Y ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO DE GRANO DE GENOTIPOS DE MIJO PERLA (*Pennisetum americanum* L. Leeke) EN SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

ADAPTATION AND GRAIN YIELD STABILITY OF PEARL MILLET (*Pennisetum americanum* L. Leeke) GENOTYPES IN SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

José A. Hernández Alatorre^{1*} y Francisco Zavala García²

¹Campo Experimental San Luis, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carr. San Luis Potosí-Matehuala km. 14.5, Soledad de Graciano Sanchez, San Luis Potosí, S.L.P. Teléfono: 01 (444) 852 43 16. Fax 01 (444) 813 91 51. ²Facultad de Agronomía de la UANL, Carretera Zuazua-Marín, Km 17, Marín, N.L. México.

*Autor para correspondencia (hernandez.jose@inifap.gob.mx.)

RESUMEN

En el Estado de San Luis Potosí el principal problema para la producción de granos es la poca disponibilidad de agua de riego y las lluvias escasas e irregulares, por lo que se requieren cultivos alternativos que se ajusten a la escasa humedad disponible. El objetivo de esta investigación fue determinar la adaptación y estabilidad del rendimiento de tres híbridos enanos y cuatro variedades de porte normal de mijo perla (*Pennisetum americanum* L. Leeke). La evaluación se desarrolló en seis ambientes de riego y cinco de temporal o seco en el Altiplano, la Zona Media y la Planicie Huasteca del Estado de San Luis Potosí, ubicados a 1880, 1000 y 40 msnm, respectivamente, durante 2006 y 2007. Los genotipos se establecieron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en cada ambiente. Se registró el rendimiento de grano, días a madurez, altura de planta, exersión, índice de cosecha, número de semillas por panícula y peso de semilla. Mediante el método de Eberhart y Russell se estimaron los parámetros de estabilidad b_i y S^2_{di} . En condiciones de riego, la Zona Media fue el mejor ambiente de producción, seguida de la Planicie Huasteca y el Altiplano; mientras que en temporal el mejor ambiente fue la Planicie Huasteca, seguida de la Zona Media y Altiplano. Los híbridos mostraron mayor estabilidad de rendimiento que las variedades en ambientes de riego; en contraste en temporal las variedades fueron más estables que los híbridos. La variedad 'ICMV-93191' y el híbrido precoz '68AI x 086R' mostraron buena estabilidad de rendimiento en ambientes desfavorables, por lo que representan alternativas viables para reducir las pérdidas de cosechas en las regiones semiáridas del estado.

Palabras clave: *Pennisetum americanum*, cultivos alternativos, ambientes contrastantes, rendimiento de grano, estabilidad.

SUMMARY

In the state of San Luis Potosí, México, the main limitation for grain crops production is the scarce water availability in the irrigated areas, and the poor and erratic rainfall distribution in the rainfed agriculture. For this reason, alternative crops that could fit limited water resources are required. The objective of this study was to determine the adaptation and grain yield stability of three dwarf hybrids and four normal plant height pearl millet (*Pennisetum*

americanum L. Leeke) open pollinated varieties. Research was carried out at six irrigation and five rainfed environments in the highlands, midlands and lowlands of the state of San Luis Potosí, located at 1880, 1000 and 40 m of altitude, respectively in 2006 and 2007. The genotypes were planted in a randomized complete block design with three replications in each environment. Grain yield, days to maturity, plant height, exertion, harvest index, seed number and seed weight were registered. Estimates of stability parameters for b_i and S^2_{di} grain yield were estimated with the Eberhart and Russell methodology. Under irrigated conditions, midlands were the best environments for pearl millet production, followed by lowlands and highlands; while for rainfed environments lowlands were better than midlands and highlands. At the irrigated environments the pearl millet hybrids had higher grain yield stability than open pollinated varieties; in contrast, at the rainfed environments the open pollinated varieties were more stable than hybrids. The variety 'ICMV-93191' and the early hybrid '68AI x 086R', which were yield stable throughout the unfavorable environments, could be good alternatives to reduce risks of crop losses in rainfed highlands of the state.

Index words: *Pennisetum americanum*, alternative crops, contrasting environments, grain yield, stability.

INTRODUCCIÓN

El mijo perla (*Pennisetum americanum* L. Leeke) es originario de los trópicos semiáridos de África y se encuentra en India, Pakistán, Bangladesh, Burma y Sri Lanka donde es alimento básico de los pobladores de áreas semiáridas y áridas (Maiti y López, 1995). En Argentina y Estados Unidos se cultiva principalmente para forraje (Pale *et al.*, 2003). Este cultivo prospera en temporadas de lluvia errática y en áreas con disponibilidad limitada de agua de riego, en donde otros cultivos como maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) no prosperan o producen rendimientos bajos (Muchow, 1989). Según Maiti y López (1995), en la zona de Sahel de África Occidental los genotipos precoces de mijo pueden

cultivarse para grano con una precipitación media anual de 250 a 300 mm, mientras que en la misma área el sorgo requiere al menos de 350 mm de lluvia.

En México casi no se conoce el cultivo de mijo perla, ni su tecnología de producción y potencial productivo. Los estudios experimentales de adaptación son esporádicos. Maiti y Gómez (1990) evaluaron variedades de mijo perla en varias fechas de siembra en el Estado de Nuevo León y observaron que la siembra de julio fue mejor que la de agosto o septiembre, y que los rendimientos de grano fueron mayores que los que se obtienen en la India con las mismas variedades. Torres *et al.* (1994) evaluaron 10 variedades de mijo perla en la región norte de Tamaulipas y aplicaron las labores de preparación del suelo y durante el desarrollo del cultivo similares a las del cultivo del sorgo en siembras de temporal o secano. Los autores encontraron que el rendimiento de grano promedio fue de 2385 kg ha⁻¹, en un intervalo de 1991 a 2919 kg ha⁻¹; la variedad 'EX-Born' fue la de mayor rendimiento, seguida por la variedad 'WC-C75' con 2647 kg ha⁻¹.

El Estado de San Luis Potosí cuenta con 6.3 millones de hectáreas, 63 % de las cuales tienen problemas de sequía (lluvia escasa y de distribución irregular) y se ubican en su mayoría en las regiones conocidas como Altiplano y Zona Media del Estado (Hernández *et al.*, 2007). En esas condiciones, los cultivos tradicionales (maíz y sorgo) que sustentan gran parte de la actividad agropecuaria, sólo cubren 43 % y 67 % de sus usos consuntivos estimados entre los 450 y 550 mm para maíz, y 457 y 510 mm para sorgo (Villanueva *et al.*, 2001). Lo anterior ocasiona un alto índice de siniestralidad y rendimientos más bajos que la media nacional.

En la búsqueda de cultivos alternativos de mayor precocidad que se ajusten a la limitada disponibilidad de agua, se ha evaluado la producción de forraje del mijo perla con expectativas favorables por su buen rendimiento y calidad (Hernández *et al.*, 2007); sin embargo, se desconoce su potencial como cultivo para grano. El objetivo del presente trabajo fue determinar la adaptación y estabilidad del rendimiento de grano de híbridos y variedades de mijo perla en condiciones de riego y temporal, en las principales regiones agroecológicas del Estado de San Luis Potosí. Esta información permitiría evaluar la factibilidad de promover el establecimiento del mijo perla como un cultivo de alternativa exitoso en el estado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en seis ambientes en riego y cinco en temporal en el estado. En riego, los

ambientes (localidad x año) fueron los siguientes: Ébano (Planicie Huasteca) ciclos otoño-invierno (O-I) del 2005-2006 y 2006-2007; Río Verde (Zona Media) y Soledad de Graciano Sánchez (Altiplano) ciclos primavera-verano (P-V) del 2006 y 2007. En temporal los ambientes fueron: Ébano, P-V 2007 y Cerritos (Zona Media) y Villa Hidalgo (Altiplano) P-V 2006 y 2007. Las características geográficas, climáticas y edáficas de los ambientes de prueba se presentan en el Cuadro 1.

Se evaluaron las variedades de polinización libre de porte normal 'ICMV-88903', 'ICTP- 8203', 'ICMV-221' e 'ICMV-93191' introducidas del ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics) y los híbridos enanos '68AI x 086R', '59052M x 9Rm x 4Rm' y '8401M x 68A4Rw' introducidos de la Universidad de Nebraska-Lincoln, EE. UU.

Las variedades 'ICMV-88903' e 'ICTP-8203' son de generación antigua liberadas en 1988 en la India (Rai *et al.*, 1990); la variedad 'ICMV-221' fue liberada también en la India en 1993 (Witcombe *et al.*, 1997), como una alternativa de alto rendimiento para sustituir a la variedad 'ICTP-8203' en todas las regiones productoras de la India, excepto en las de precipitación menor a 400 mm anuales; 'ICMV-93191' es una variedad experimental que se caracteriza por tener grano de color crema, más apropiada que las otras variedades para elaborar rotis (tortilla hindú) o tortillas mexicanas. Los híbridos que se evaluaron fueron producidos mediante el sistema A₁ de esterilidad nuclear-citoplásmica masculina en la Universidad de Nebraska, como alternativas para regiones secas de ese estado en donde la producción de sorgo es inestable por problemas de sequía.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en cada ambiente. La parcela experimental fue de dos surcos de 0.6 m de ancho y 5.0 m de longitud, y la parcela útil los dos surcos centrales de 4.0 m de longitud. En el Cuadro 2 se describe el manejo agronómico en cada ambiente de prueba. El agua de riego se cuantificó con un medidor volumétrico Mc Propeller® en Soledad, y con vertedores en Ébano y Río Verde. En los ambientes de temporal la precipitación fue registrada en mililitros en un "bote rustico o chilero" y multiplicada por el factor 0.0527 para obtener la lluvia en mm de cada evento pluvial (Jasso, 2005; Com. pers.)¹.

¹ Cesario Jasso Chaverría. Investigador del Programa 'Productividad de Agrosistemas', Campo Experimental San Luis-Centro de Investigación Regional del Noreste-INIFAP-SAGARPA.

Cuadro 1. Características geográficas, climáticas y edáficas de los ambientes de riego y de temporal o secano en los que se evaluaron genotipos de mijo perla. San Luis Potosí. 2006-2007.

Ambiente	Localidad	Año	Ubicación geográfica	Altitud (m)	Temperatura mínima-maxima promedio‡ (°C)	Precipitación media ‡ anual (mm)	Características de suelo
Riego	Soledad de G. S. (Altiplano).	2006	22° 11' 00'' N	1882	† 13.0 - 24.7	332	Migajón arenoso, pH = 8.3
Riego	Río Verde (Zona Media).	2006	100° 56' 00'' O 21° 56' 00'' N	987	17.1 - 30.0	488	Migajón arcilloso arenoso, pH = 8.4
Riego	Ébano (Planicie Huasteca. Otoño-Invierno).	2007 2005-2006 y 2006-2007	99° 59' 00'' O 22° 12' 46'' N	40	16.4 - 27.7	863	Arcillo limoso, pH = 8.2
Temporal	Ébano (Primavera-Verano).	2007	98° 21' 41'' O	40	22.8 - 32.7	863	Arcillo limoso, pH = 8.2
Temporal	Villa Hidalgo (Altiplano).	2006	22° 51' 00'' N	1600	11.3 - 28.1	352	Arcilloso, pH = 8.0
Temporal	Cerritos (Zona Media).	2006	100° 41' 00'' O 22° 25' 47'' N	1178	15.2 - 29.2	656	Migajón arcilloso, pH = 8.2
		2007	100° 17' 13'' O				

Fuente: Medina *et al.* (2005). † Durante el periodo de cultivo. ‡ Promedios del periodo 1961-2001.

Cuadro 2. Manejo agronómico aplicado en los ambientes de riego y de temporal. San Luis Potosí. 2006-2007.

Actividades	Ambientes de riego	Ambientes de temporal
Preparación del terreno	Maquinaria	Maquinaria
Periodo de siembra (día-mes-año)	Ébano (27-01-06 y 23-01-07), Río Verde (21-04-06 y 31-05-07) y Soledad de G. S. (31-05-06 y 14-06-07).	Cerritos (07-06-06 y 27-06-07), Villa Hidalgo (02-08-06 y 11-07-07) y Ébano (15-09-07).
Fertilización (N-P-K)	120-60-00	40-20-00
Densidad (plantas/ha)	550 000	250 000
Control de plagas	Una aplicación de Lorsban 480E® 1.0 L ha ⁻¹ . Control de gusano cogollero. Cipermetrina® 0.25 L ha ⁻¹ . Control de chinche verde (<i>Nezara viridula</i>).	Una aplicación de Cipermetrina® 0.25 L ha ⁻¹ . Control de chinche verde (<i>Nezara viridula</i>).
Escaradas	Dos escaradas a los 20 y 40 d después de la siembra.	Una escarda 30 d después de la siembra.
Cosecha	A los 108, 87 y 130 d después de la siembra en promedio en Ébano, Río Verde y Soledad.	A los 93, 130 y 125 d después de la siembra en promedio en Ébano, Cerritos, y Villa Hidalgo.

El rendimiento de grano se obtuvo a la madurez; todas las panículas de la parcela útil se cosecharon a mano, y se les registró su peso en campo; en una submuestra de 10 panículas se determinó el porcentaje de grano, y la humedad del grano se determinó con un aparato Steinlite Electronic Tester®, Model G; el rendimiento se ajustó a 12 % de humedad. Los días a madurez fisiológica se contaron desde la siembra al día en que 50 % de las plantas presentaron la capa negra en la base del grano. La altura de planta se midió del suelo a la punta de la panícula, y la longitud de excursión como lo distancia de la base de la panícula a la inserción de la hoja bandera del tallo principal; el índice de cosecha se calculó como el cociente del peso seco del grano entre el peso seco total de la planta. Cinco panículas al azar se desgranaron y sus

semillas se contaron con una máquina Count-A-Pak® seed totalizer mod. 77-10/B, y posteriormente se pesaron. Se obtuvo el promedio del número de semillas por panícula y al dividir el peso de semilla entre el número de semillas se obtuvo el peso de semilla individual, en miligramos.

Se aplicó un análisis de varianza conjunto convencional para cada variable de los regímenes ambientales de riego y de temporal, por separado. Para la separación de medias se usó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). A los datos de rendimiento se les aplicó el modelo de parámetros de estabilidad propuesto por Eberhart y Russell (1966) con el paquete estadístico elaborado por Olivares (1994). El modelo estadístico fue:

$$y_{ij} = \mu_i + b_i I_j + S_{ij}$$

Donde: y_{ij} = Media del rendimiento de la variedad i en el ambiente j ; μ_i = Media del rendimiento de la variedad i sobre todos los ambientes; b_i = Coeficiente de regresión que mide la respuesta de la variedad i en varios ambientes; I_j = Índice ambiental obtenido como la media del rendimiento de todas las variedades en el ambiente j , menos la media general; S_{ij} = Desviación de la regresión de la variedad i en el ambiente j .

El parámetro b_i es el coeficiente de regresión que mide la respuesta de un genotipo al cambiar las condiciones ambientales. El parámetro S^2_{di} ofrece una medida de variabilidad interpretada como falta de estabilidad y mide la consistencia o inconsistencia de esa respuesta. Un genotipo es considerado estable si su coeficiente de regresión es igual a 1.0 y las desviaciones de regresión (S^2_{di}) son iguales a cero. El análisis proporciona pruebas de hipótesis para determinar las dos condiciones de estabilidad, así como la presencia de diferencias de medias entre los genotipos (Rodríguez *et al.*, 2002). La clasificación de los genotipos se hizo de acuerdo con la descripción utilizada por Carballo y Márquez (1970) en función de los valores obtenidos de los parámetros (b_i y S^2_{di}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medias ambientales. Hubo diferencias ($P \leq 0.01$) entre ambientes y genotipos para todas las variables en estudio (Cuadro 3). La interacción genotipo ambiente no fue significativa para rendimiento, pero sí para días a madurez e índice de cosecha. La heterogeneidad entre ambientes estuvo relacionada principalmente con

diferencias en temperatura, tipo de suelo y régimen de humedad durante el ciclo del cultivo. En los ambientes de riego, el agua aplicada más la precipitación durante el ciclo del cultivo, varió de 300 mm en Ébano (2006-2007) a 581 mm en Soledad (2007) (Cuadro 4). Río Verde fue el mejor ambiente con un rendimiento medio de los dos años de prueba, superior en 65 y 38 % al rendimiento medio de Soledad y Ébano, respectivamente. Se observó que a mayor temperatura del ambiente correspondió una más rápida madurez de los genotipos; en Río Verde ésta se presentó en promedio 35 d más temprano que en Soledad.

En temporal, el rango de precipitación fue de 150 mm en Cerritos (2006) hasta 382 mm en la misma localidad (2007), lo que evidencia gran variación de precipitación entre años para un mismo sitio (Cuadro 4). En Ébano, con una mejor distribución de la precipitación (datos no presentados), se obtuvo un rendimiento de grano superior en dos y cuatro veces al obtenido en Cerritos y Villa Hidalgo, respectivamente, lo que indica la buena adaptación del cultivo a este ambiente. Cerritos fue excepcionalmente seco en 2006 con un periodo sin lluvia de 40 d después de la emergencia de las plantas, por lo que la panícula del tallo principal sufrió daños severos. La cosecha no se perdió totalmente, ya que al reanudarse las lluvias los hijuelos o tallos secundarios lograron producir panícula y rendimientos aceptables, lo cual representó una característica favorable del cultivo en respuesta al periodo de sequía. Las altas temperaturas aceleraron el desarrollo del cultivo; en cambio, la sequía lo retrasó; particularmente en Cerritos 2006.

Cuadro 3. Medias para las variables sometidas al análisis combinado de siete genotipos de mijo perla en seis ambientes de riego y cinco de temporal o seco, y significancias de las fuentes de variación. San Luis Potosí. 2006-2007.

Genotipo	Rendimiento (kg ha ⁻¹)		Días a madurez		Altura de planta (cm)		Excursión (cm)		Índice de cosecha	
	Riego	Temporal	Riego	Temporal	Riego	Temporal	Riego	Temporal	Riego	Temporal
'59052M x 9R x 4Rm'	3278 d	1788 b	93 d	101 b	106 c	105 b	19.7 a	15.7 a	0.34 bc	0.34 bc
'68AI x 086R'	3999 cd	1995 ab	91 d	100 b	106 c	102 b	17.3 a	15.7 a	0.38 ab	0.38 ab
'8401M x 68A4R4w'	5099 ab	2525 ab	104 a	107 a	106 c	99 b	13.7 ab	12.7 b	0.41 a	0.38 a
'ICMV-221'	6089 a	2120 ab	102 abc	108 a	180 a	153 a	7.9 bc	6.2 c	0.31 cde	0.27 d
'ICMV-88903'	6074 a	2437 ab	101 bc	108 a	186 a	155 a	7.4 c	6.7 c	0.30 de	0.30 dc
'ICMV-93191'	5358 ab	2682 a	103 ab	107 a	184 a	157 a	8.1 bc	6.9 c	0.27 e	0.28 d
'ICTP-8203'	4518 bc	2133 ab	100 c	106 a	163 b	149 a	8.3 bc	6.7 c	0.34 bcd	0.31 dc
Medias	4936	2240	99	105	147	132	11.8	10.1	0.33	0.32
Ambiente	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Genotipo	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Genotipo x Ambiente	0.07	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.24	<0.01	<0.01	<0.01

Promedios con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 4. Lámina de riego y precipitación recibidas durante el ciclo del cultivo por ambiente de prueba, y medias para rendimiento, días a madurez, altura de planta, longitud de exersión e índice de cosecha, del análisis conjunto de siete genotipos de mijo perla. San Luis Potosí. 2006-2007.

Ambiente	Riegos + precipitación (mm)	Rendimiento grano (kg ha ⁻¹)	Días a madurez	Altura de planta (cm)	Excursión (cm)	Índice de cosecha
Riego						
Ébano 2005-2006 (Planicie Huasteca)	450	4706	84	120	nr*	nr
Ébano 2006-2007 (Planicie Huasteca)	300	4508	94	144	13.7	0.29
Río Verde 2006 (Zona Media)	450	5712	86	166	nr	nr
Río Verde 2007 (Zona Media)	550	7045	83	184	8.7	0.34
Soledad de G. S. 2006 (Altiplano)	530	4288	116	124	nr	nr
Soledad de G. S. 2007 (Altiplano)	581	3437	132	146	12.9	0.38
Temporal						
Ébano 2007 (Planicie Huasteca)	304	4426	82	144	12.7	0.32
Cerritos 2006 (Zona Media)	150	2326	133	115	9.3	0.41
Cerritos 2007 (Zona Media)	382	2230	83	144	7.8	0.33
Villa Hidalgo 2006 (Altiplano)	188	1167	109	129	10.4	0.35
Villa Hidalgo 2007 (Altiplano)	163	1052	120	126	10.1	0.21

nr* Dato no registrado.

Las medias de todas las características agronómicas fueron mayores en los ambientes favorables que en los desfavorables, pero las diferencias ambientales fueron menos evidentes que en el rendimiento de grano. En Ébano, las medias de altura de planta, excursión e índice de cosecha fueron 18 cm, 2.6 cm y 0.11 superiores a las medias en Villa Hidalgo, en donde la sequía ocurrió en la etapa de floración del cultivo en los dos años de evaluación.

Estabilidad del rendimiento. En el análisis de parámetros de estabilidad se encontraron diferencias entre genotipos ($P \leq 0.01$), lo que indica amplia variabilidad genética (Cuadro 5). No hubo diferencias significativas en la interacción genotipo x ambiente para los datos de riego y de temporal por separado, como ya había sido observado en el análisis de varianza convencional (Cuadro 3). Esta tendencia general representa la ventaja de poder seleccionar genotipos de buena estabilidad para ambientes específicos (riego y temporal), como lo sugieren los datos de De León *et al.* (2005). En contraste, en el análisis conjunto de riego más temporal se observó que tanto la interacción genotipo x ambiente como la diferencia de los genotipos por su coeficiente de regresión con los índices ambientales, fueron significativos ($P \leq 0.05$) (Cuadro 5).

La estabilidad de los genotipos dependió de los regímenes ambientales involucrados. Con base en la

interpretación de los estimadores del coeficiente de regresión (b_i) y desviaciones de regresión (S^2_{di}) y sus combinaciones para los ambientes en riego, se identificaron como genotipos estables ($b_i = 1.0$; $S^2_{di} = 0$) a los híbridos '59052M x 9R x 4Rm', '68AI x 086R' y '8401M x 68A4R4w' y a la variedad 'ICTP-8203' (Cuadro 6). Las variedades 'ICMV-221' e 'ICMV-88903' fueron superiores ($P \leq 0.05$) con rendimientos medios de poco más de 6000 kg ha⁻¹, pero debido a sus altas y significativas desviaciones de regresión fueron clasificadas como variedades inconsistentes ($b_i = 1.0$; $S^2_{di} > 0$). La variedad 'ICMV-93191' sobresaliente también en rendimiento, presentó un mejor comportamiento en ambientes desfavorables y consistente ($b_i < 1.0$; $S^2_{di} = 0$).

Los rendimientos obtenidos en este trabajo son superiores a los reportados por Mahalakshmi *et al.* (1987) quienes en condiciones de riego obtuvieron rendimientos de 2500 a 2900 kg ha⁻¹ en los trópicos semiáridos de la India; y a los consignados por Maiti y Gómez (1990) de 3015 kg ha⁻¹ con su mejor genotipo ('ICMS-7707') en la mejor fecha de siembra (29 de julio) en Marín, Nuevo León. Los altos rendimientos comparativos obtenidos en este trabajo sugieren que el potencial productivo de los genotipos de reciente formación se ha mejorado sustancialmente y que su adaptación en la región de estudio es aceptable.

Cuadro 5. Cuadrados medios y significancia de las fuentes de variación del análisis combinado de estabilidad de siete genotipos de mijo perla en seis ambientes de riego y cinco de temporal San Luis Potosí. 2006-2007.

Fuente de variación	Riego		Temporal		Riego + Temporal	
	GL	CM	GL	CM	GL	CM
Genotipos	6	6405675**	6	507688**	6	4913579**
Genotipos x Ambiente (lineal)	6	565091	6	212135	6	1434936*
Desviación conjunta	28	654024*	21	220727	63	63491976**
Error conjunto	81	342909	70	158668	151	151257499

GL= Grados de libertad; CM = Cuadrados medios. ** Significancia estadística a 0.05 y 0.01 de probabilidad de error, respectivamente.

Cuadro 6. Rendimiento medio (kg ha⁻¹), coeficientes de regresión (b_i) y desviaciones de regresión (S^2_{di}) de siete genotipos de mijo perla en seis ambientes de riego y cinco de temporal. San Luis Potosí. 2006-2007.

Genotipo	Riego			Temporal			Riego-Temporal		
	kg ha ⁻¹	b_i	S^2_{di}	kg ha ⁻¹	b_i	S^2_{di}	kg ha ⁻¹	b_i	S^2_{di}
'59052Mx 9R x 4Rm'	3321 d	0.824	75 675	1788 b	0.982	129 656	2579 d	0.713*	141 601
'68AI x 086R'	3999 cd	0.831	523 333	1995 ab	0.794	336 455*	3088 cd	0.774	298 078*
'8401M x 68A4R4w'	5100 ab	1.216	297 713	2525 ab	1.281*	-124 591	3929 ab	1.082	124 216
'ICMV-221'	6089 a	0.824	661 998*	2119 ab	0.847	-23 530	4285 a	1.193	624 018**
'ICMV-88903'	6074 a	1.312	731 395*	2443 ab	0.935	-52 694	4421 a	1.252	365 881*
'ICMV-93191'	5358 ab	0.694*	-250 219	2682 a	1.151	262 341	4142 a	0.957	20 545
'ICTP-8203'	4636 bc	1.300	137 916	2134 ab	1.011	-93 223	3364 bc	1.029	67 001
Media	4939	1.000		2241	1.000		3695	1.000	

Promedios con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). *,** Significancia estadística a 0.05 y 0.01 de probabilidad de error, respectivamente; b_i *,** Diferentes a 1.0; S^2_{di} *,** Mayores de cero.

La diferencia en rendimiento medio de grano entre híbridos y variedades en los ambientes de riego fue significativa ($P \leq 0.01$). Contrario a lo esperado, el rendimiento medio de las variedades de polinización libre fue superior al rendimiento medio de los híbridos en 48, 41 y 39 % en Ébano, Río Verde y Soledad, respectivamente. Estas diferencias en rendimiento se debieron a que el número de semillas por panícula de las variedades fue superior ($P \leq 0.05$) al de los híbridos en 57, 47 y 64 %, en Ébano, Río Verde y Soledad, respectivamente. En el peso de semilla no se observaron diferencias significativas entre híbridos y variedades.

La diferencia entre localidades para el número de semillas por panícula fue significativa ($P \leq 0.05$); en variedades, la media entre localidades fue de 1924, 3452 y 2330 semillas por panícula en Ébano, Río Verde y Soledad, respectivamente. Estas diferencias en el número de semillas por panícula explican los rendimientos de grano superiores obtenidos en Río Verde, comparados con Ébano y Soledad (Cuadro 4). Los resultados sugieren que Río Verde posee el clima y suelo adecuados para un buen desarrollo del mijo perla en riego, mientras las altas temperaturas de Ébano durante el desarrollo del cultivo parecen acortar el periodo de llenado de grano aunque se

reduce el número de semillas por panícula; en Soledad (ubicada a 1882 msnm, Cuadro 1), las temperaturas bajas al final del ciclo reducen la magnitud de los componentes de rendimiento. Estos datos coinciden con lo señalado por Maiti y López (1995), en el sentido que los límites de adaptación del cultivo están entre los 0 a los 1600 msnm y que altitudes superiores pudieran restringir la productividad del cultivo debido a temperaturas bajas.

Los híbridos presentaron en promedio 65 cm menos altura de planta, 9 cm más excursión y 0.07 más índice de cosecha que las variedades de polinización libre (Cuadro 3). Las características de altura de planta baja y uniforme combinada con una amplia excursión y un bajo porcentaje de acame, han sido introducidas en los híbridos modernos para facilitar la cosecha mecánica del grano (Pale *et al.*, 2003). La disponibilidad de estos nuevos materiales que facilitan su cosecha mecánica, puede generar una mayor aceptación del mijo perla como cultivo comercial alternativo (Presterl y Weltzien, 2003).

Con los rendimientos medios por genotipo y los estimadores del coeficiente de regresión e índices ambientales se estimaron las líneas de regresión de dos híbridos y dos variedades (Figura 1). Tales líneas muestran

que el potencial de rendimiento de los híbridos '68AI x 086R' y '8401M x 68A4R4w', clasificados como estables, es de casi 5000 y 7000 kg ha⁻¹ en ambientes favorables. En dos localidades de Nebraska, Estados Unidos, en condiciones de riego el híbrido '68AI x 086R' produjo 4310 y 5240 kg ha⁻¹ (Maman *et al.*, 2004).

La respuesta de los genotipos en condiciones de temporal fue diferente a la de riego. Los materiales estables resultaron ser en su mayoría variedades de polinización libre, mientras que en riego fueron los híbridos. Las variedades 'ICMV-221', 'ICMV-88903', 'ICMV-93191' e 'ICTP-8203', además del híbrido '59052M x 9R x 4Rm', fueron clasificados como estables, mientras que '68AI x 086R' mostró un buen comportamiento en todos los ambientes pero fue inconsistente, y '8401M x 68A4R4w' tuvo la mejor respuesta en ambientes favorables y consistente ($b_i > 1.0$; $S^2_{di} = 0$) (Cuadro 6). La variedad 'ICMV-93191', además de mostrar estabilidad a través de los ambientes de temporal, tuvo un rendimiento medio sobresaliente.

La diferencia en el rendimiento medio de grano entre híbridos y variedades en los ambientes de temporal fue significativa ($P \leq 0.01$) (Cuadro 3). El rendimiento medio de las variedades fue superior al de los híbridos en 11 y 40 % en Ébano y Cerritos, respectivamente; en Villa Hidalgo la diferencia no fue significativa. Al igual que en riego, estas diferencias de comportamiento de los genotipos se debieron a que el número de semillas por panícula de las

variedades de polinización libre fue superior ($P \leq 0.05$) al de los híbridos en 51 y 37 %, en Ébano y Cerritos, respectivamente. En peso de semilla no se observaron diferencias significativas entre híbridos y variedades para estas localidades. En Villa Hidalgo, el ambiente más desfavorable, el número de semilla por panícula de las variedades superó al de los híbridos en 59 %; en cambio, el peso de semilla de los híbridos superó a las variedades en 15 %, lo que sugiere un efecto fisiológico compensatorio ya que a menor número de semillas hay mayor peso de las mismas (como en los híbridos), y a mayor número de semillas hay menor peso de semilla (como en las variedades de polinización libre).

La diferencia entre localidades en el número de semillas fue significativa para las variedades; la media entre localidades fue de 2310, 2245 y 1363 semillas por panícula en Ébano, Cerritos y Villa Hidalgo, respectivamente. Estas diferencias en semillas por panícula explican los mayores rendimientos de grano en Ébano, comparados con Cerritos y Villa Hidalgo (Cuadro 4). Los resultados sugieren que en temporal, la localidad de Ébano posee el clima (precipitación) y suelo adecuados para un buen desarrollo del mijo perla, mientras que en Cerritos y Villa Hidalgo las escasas e irregulares precipitaciones afectan significativamente el rendimiento de grano cuyo principal componente, número de semillas, es limitado por la sequía predominante.

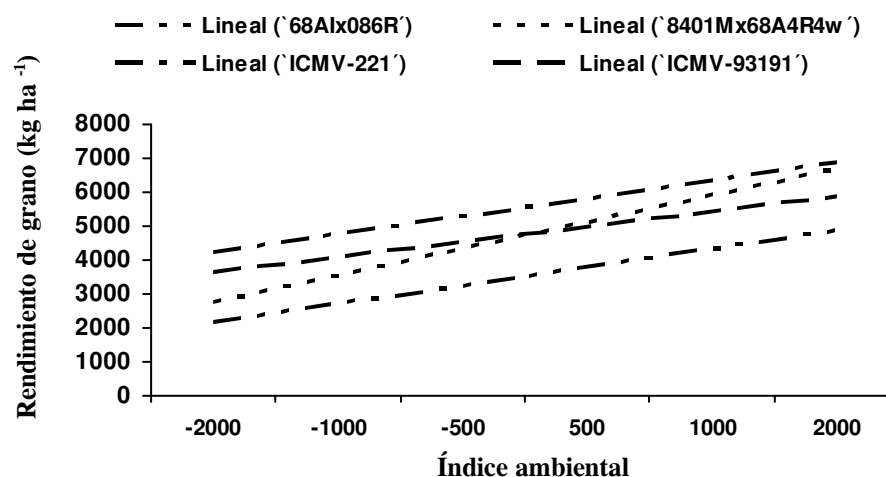


Figura 1. Rendimiento medio esperado para dos híbridos ('68AI x 086R' y '8401M x 68A4R4w') y dos variedades ('ICMV-221' e 'ICMV-93191') de mijo perla en ambientes de riego. San Luis Potosí. 2006 y 2007.

En la Figura 2 se muestra el rendimiento esperado de dos variedades estables en temporal ('ICMV-93191' e 'ICMV-221') comparadas con dos híbridos. Se aprecia que estas variedades tienen un rendimiento potencial de 1000 kg ha⁻¹ en ambientes desfavorables y que responden positivamente en los ambientes favorables donde producen hasta 4500 y 3500 kg ha⁻¹, respectivamente. Los rendimientos obtenidos en los ambientes favorables en este trabajo son similares a los reportados por Pale *et al.* (2003) quienes en condiciones de buen temporal reportaron rendimientos de 3100 a 5320 kg ha⁻¹ con el híbrido '68AI x 086R', en fechas de siembra sub-óptimas y óptimas, respectivamente, en el Estado de Nebraska.

La clasificación de genotipos por su estabilidad, con los datos conjuntos de riego más temporal, fue más semejante a la condición de riego que a temporal (Cuadro 6). Los genotipos fueron clasificados en dos categorías principales: genotipos estables ('8401M x 68A4R4w', 'ICMV-93191' e 'ICTP-8203'), y genotipos de buena respuesta en todos los ambientes pero inconsistentes ('68AI x 086R', 'ICMV-221' e 'ICMV-88903'). El híbrido '59052M x 9R x 4Rm' resultó de mejor respuesta en ambientes desfavorables y fue consistente; sin embargo, sus bajos rendimientos lo ubican como uno de los genotipos menos deseables del grupo. Por el contrario, la variedad 'ICTP-8203', una de las variedades más antiguas del grupo y que fue liberada en 1988 en la India (Rai *et al.*, 1990), fue el único material que mostró estabilidad a través de los ambientes de riego, temporal y conjunto (Cuadro 6), con un comportamiento estable en ambientes desfavorables y buena sensibilidad al mejoramiento ambiental. Esta variedad se caracteriza por ser de semilla grande (datos no presentados) y podría ser germoplasma valioso para seleccionar individuos segregantes, si se supone que a través de selección es posible mejorar el rendimiento y mantener estabilidad, como sugieren Mejía y Molina (2003).

Entre los genotipos precoces sobresalieron el híbrido '68AI x 086R' y la variedad 'ICMV-93191', que presentaron la madurez a los 100 y 107 d en promedio (Cuadro 3), y de buen comportamiento en fechas tardías en los ambientes desfavorables (Villa Hidalgo 2006 y 2007, Altiplano), ya que con sólo 180 mm de lluvia registraron un rendimiento medio de 1460 y 1220 kg ha⁻¹, respectivamente (datos no presentados). El comportamiento de los genotipos destacados ('68 AI x 086R' e 'ICMV-93191') en condiciones de menor precipitación, fue debido a su mayor peso de semilla (12.20 y 9.81 mg/semilla, respectivamente) y a un valor de mediano a alto del número de semillas por panícula (963 y 1186 semillas/panícula, respectivamente), comparados con el testigo ('ICMV-221') que presentó 7.74 mg/semilla y 1268 semillas/panícula, respectivamente.

Varios investigadores han destacado la importancia del componente peso de semilla en el rendimiento de los cultivos en condiciones de temporal (Fisher y Wilson, 1975; Fisher y Palmer, 1980). Eastin y Zavala (2002), en pruebas de campo con sorgo, indican que no sólo el número de semillas es importante, sino que el peso de semilla determina la estabilidad de genotipos al pasar de un ambiente rico a uno pobre. Estos resultados confirman además lo reportado por Maiti y López (1995), en el sentido que genotipos precoces de mijo perla pueden producir grano con sólo 250 mm de lluvia y con los de Pale *et al.* (2003) en cuanto a que por su buena tolerancia al calor y a la sequía, este cultivo podría ser una buena alternativa para segundas siembras o siembras tardías. Vittar *et al.* (1990) reportaron que el mijo perla superó al sorgo en estaciones de crecimiento de poca lluvia en Hyderabad, India, y que el mijo perla fue de rendimiento más estable en suelos con problemas de erosión y precipitación errática.

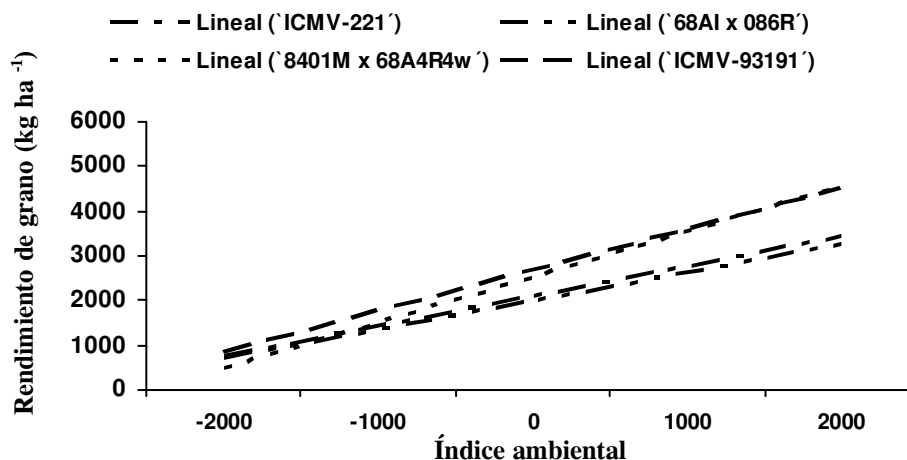


Figura 2. Rendimiento medio esperado para dos híbridos ('68AI x 086R' y '8401M x 68A4R4w') y dos variedades ('ICMV-221' e 'ICMV-93191') de mijo perla en ambientes de temporal. San Luis Potosí. 2006 y 2007.

En el presente trabajo, aún en los ambientes desfavorables se cosechó grano. La siembra de otros cultivos de mayores requerimientos hídricos, usualmente conduce a pérdidas en las condiciones de manejo y escasa precipitación de los ambientes desfavorables en las cuales se llevó a cabo el presente estudio. Por lo anterior, se estima que el mijo perla pudiera producir cosecha en una superficie de impacto cercana a 100 mil hectáreas de bajo a mediano potencial productivo para los cultivos de maíz y sorgo en el estado de San Luis Potosí.

CONCLUSIONES

En condiciones de riego el potencial de rendimiento del mijo perla fue mayor en ambientes de la Zona Media, seguido de la Planicie Huasteca y el Altiplano, en San Luis Potosí. En temporal o secano, en respuesta a una mejor distribución de la precipitación y temperaturas calidas, el cultivo se adaptó mejor en la Planicie Huasteca, seguido de la Zona Media y del Altiplano al final.

En ambientes de riego los híbridos mostraron mayor estabilidad de rendimiento que las variedades, mientras que en temporal las variedades fueron más estables que los híbridos. Debido a su mayor adaptación general y su capacidad para producir más semillas por panícula en ambientes contrastantes, las variedades de polinización libre presentaron un rendimiento de grano superior a los híbridos.

En los ambientes desfavorables del Altiplano y Zona Media, la variedad 'ICMV-93191' y el híbrido '68AI x 086R', representan alternativas viables para reducir el riesgo de siniestralidad en una superficie estimada de 100 mil hectáreas de esta región semiárida del Estado de San Luis Potosí.

AGRADECIMIENTOS

A los Fondos Mixtos Gobierno del Estado de San Luis Potosí-CONACYT por el apoyo financiero al proyecto S. L. P-2003-C02-11206, y a la Fundación Produce San Luis Potosí, A. C. por el financiamiento a los proyectos 4095703A y 2096298^a.

BIBLIOGRAFÍA

- Carballo C A, F Márquez S (1970) Comparación de variedades de maíz de El Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5:129-146.
- De León C H, F Rincón S, M H Reyes V, D S Garduño, G Martínez Z, R Cavazos C, J D Figueroa C (2005) Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 135-143.
- Eastin J D, F Zavala G (2002) Tan plant lines and populations with enhanced stress resistance. Nebraska Grain Sorghum Board Report for July 1, 2001 to June 30, 2002. University of Nebraska-Lincoln. 19 p.
- Eberhart S A, W A Russell (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Fisher K S, G L Wilson (1975) Studies of grain production in *Sorghum bicolor* (L. Moench). III. The relative importance of assimilates supply, grain growth capacity and transport system. *Austr. J. Agric. Res.* 26:11-23.
- Fisher K S, A F E Palmer (1980) Yield efficiency in tropical maize. In: Symposium on "Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments" IRRI, Philippines. pp:26-40.
- Hernández A J A, F Zavala G, M A Martínez G, C Jasso Ch, E J Ventura R, K Durán L (2007) Tecnología para Producir Forraje de Mijo Perla en San Luis Potosí. Folleto para Productores No. 45. SAGARPA-INIFAP, México. 23 p.
- Mahalakshmi V, F R Bidinger, D S Raju (1987) Effect of timing of water deficit on pearl millet (*Pennisetum americanum*). *Field Crops Res.* 14:327-339.
- Maiti R K, G Gomez S (1990) Effect of four sowing date environments on growth, development and yield potential of 15 pearl millet cultivars (*Pennisetum americanum* L. Leeke) during autumn-winter seasons in Marín, N. L., México. *J. Exp. Bot.* 41:1609-1618.
- Maiti R, U López D (1995) El Mijo Perla. Su Adaptación y Productividad. Ed. Trillas. México, D. F. 139 p.
- Maman N, S C Mason, D J Lyon, P Dhuangana (2004) Yield components of pearl millet and grain sorghum across environments in the Central Great Plains. *Crop Sci.* 44:2138-2145.
- Medina G G, G Díaz P, C Loredó O, V Serrano A, M A Cano G (2005) Estadísticas climatológicas básicas del estado de San Luis Potosí (periodo 1961-2001). Campo Experimental San Luis-CIRNE-INIFAP. Libro Técnico No. 2. México. 321 p.
- Mejía C J A, J D Molina G (2003) Cambios de estabilidad en el rendimiento de variedades tropicales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:89-94.
- Muchow R C (1989) Comparativity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment II. Effect of water deficits. *Field Crops Res.* 20:207-219.
- Olivares S F (1994) Parámetros de estabilidad (S. A. Eberhart and W. A. Russell). Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Marín, N. L. México. Versión 1.0 en disco compacto.
- Pale S, S C Mason, T D Galusha (2003) Planting time for early-season pearl millet and grain sorghum in Nebraska. *Agron. J.* 95:1047-1053.
- Prestler T, E Weltzien (2003) Exploiting heterosis in pearl millet for population breeding in arid environments. *Crop Sci.* 43:767-776.
- Rai K N, A Kumar, D J Andrews, A S Rao, A G B Raj, J R Witcombe (1990) Registration of 'ICTP 8203' pearl millet. *Crop Sci.* 30:959.
- Rodríguez P J E, J Saghún C, H E Villaseñor M, J D Molina G, A Martínez G (2002) Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:143-151.
- Torres H, H Williams A, A S Ortegón M. (1994) El mijo perla como cultivo de alternativa para el norte de Tamaulipas. In: Memorias de la Reunión Científica y Tecnológica del Estado de Tamaulipas-Campo Experimental Río Bravo. Cd. Río Bravo, Tam. SARH-INIFAP. México 33 p.
- Villanueva D J, C Loredó O, A Hernández R (2001) Requerimientos hídricos de especies anuales y perennes en las zonas Media y Altiplano de San Luis Potosí. Folleto Técnico No. 12. Campo Experimental Palma de la Cruz. SAGARPA-INIFAP, México. 24 p.

Vittar K P R, K Vijayalakshmi, U M V Rao (1990) The effect of cumulative erosion and rainfall on sorghum, pearl millet and castor bean yields under dryfarming conditions in Andhra Pradesh, India. Exp. Agric. 26:426-439.

Witcombe J R, M N V R Rao, A G B Raj y C T Hash (1997) Registration of 'ICMV 88904' pearl millet. Crop Sci. 37:1022-1023.