

Rendimiento de maíz, interdependencia e interacción genotipo-ambiente en el sureste de México

Mirna Hernández-Pérez¹
Miguel Ángel Ávila-Perches²
Raymundo Javier Nava-Padrilla²
Jesús Manuel Soto-Rocha²
Damián Martínez-Gómez³
Alfredo Josué Gámez-Vázquez^{2,§}

1 Campo Experimental Edzná-INIFAP. Carretera Chiná-Pocyxum km 4.5, Campeche, México.

2 Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya a San Miguel de Allende km 6.5, Celaya Guanajuato, México. CP. 38110.

3 CBTa 169. Carretera Bolonchén de Rejón a Hecelchakán km 4, Ex Hacienda Tanchi, Hecelchakán, Campeche, México. CP. 24800.

Autor para correspondencia: gamez.josue@inifap.gob.mx.

Resumen

La Península de Yucatán presenta elevadas temperaturas, suelos donde el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), tiene un rendimiento en condiciones de temporal de 2.4 a 3.2 t ha⁻¹. Una estrategia para subsanar la reducida productividad de maíz en la PY es generar, evaluar y difundir el uso de híbridos y variedades que se adapten a diversos ambientes de producción, se identifican los que presenten un mejor rendimiento de grano y que este sea predecible, así como su posible interdependencia con variables agronómicas. Los experimentos se establecieron en temporal, en cinco localidades de la PY, para evaluar nueve genotipos comerciales de maíz, seis híbridos y tres variedades; en bloques completos al azar con tres repeticiones. Se cuantificó el rendimiento de grano, altura de planta y mazorca, diámetro, longitud y número de granos por mazorca. Con la finalidad de identificar los genotipos más sobresalientes y su interacción con el ambiente (estabilidad y adaptabilidad), se realizaron análisis de varianza combinados través de localidades, prueba de medias, análisis de componentes principales, de interacción genotipo-ambiente y de sendero. El híbrido H-520 presentó el mayor rendimiento tanto en el ambiente favorable (Quetzalcóatl), como desfavorable (Micaela) ambas en Campeche y fue el de mayor estabilidad; H-391 fue la mejor opción para rendimiento de grano en San Felipe II, Yucatán y YZ-1 en El Cafetalito y Chetumal, Quintana Roo. La altura de planta tuvo un efecto directo y la longitud de mazorca indirecto, ambas fueron las variables que mayor impacto presentaron sobre el rendimiento. Así a menor altura de planta, mayor rendimiento y longitud de mazorca.

Palabras clave:

análisis de sendero, estabilidad, localidades, rendimiento.

Introducción

La Península de Yucatán (PY) es de clima tropical, cálido subhúmedo con lluvias en verano y otoño, con un gradiente precipitaciones de 600 a 1 400 mm, clasificado como Aw (García, 2004). Ubicada en el sureste de México, integrada por los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán. En esta zona, se siembran 331 759 ha con maíz en temporal y se obtienen 679 703 t lo que representa el 6.8% y 5.2% de la superficie y producción nacional respectivamente, en el cultivo de maíz en temporal en la PY, destaca el estado de Campeche, que aportó 74% de la producción total de la región y ocupa el noveno lugar dentro del contexto nacional (SIAP, 2024).

En la zona, el rendimiento promedio es 2.88 t ha^{-1} , el más alto se da en Campeche con 3.28 t ha^{-1} , en Quintana Roo y Yucatán es de 3.16 y 2.46 t ha^{-1} respectivamente (SIAP, 2024). En esta región, el 66.1% de la superficie se siembra con semilla de híbridos y el resto con semilla criolla. Los sistemas de producción de maíz de la PY en temporal enfrentan temperaturas mayores a 30°C y suelos someros, por lo que no se consideran competitivos según Uzcanga *et al.* (2017).

El déficit de maíz en México, estimado en 18 millones de toneladas anuales, ocasiona la importación de grano amarillo principalmente, con valor de 5.4 mil millones de dólares (FIRA, 2024). Una estrategia para subsanar esta problemática es el fortalecimiento del cultivo a través de la agricultura tradicional y de subsistencia con el objetivo de incrementar la productividad a través del mejoramiento genético para la generación de variedades e híbridos para las áreas donde se siembra este tipo de genotipos (Tadeo *et al.*, 2023).

Las variedades mejoradas se deben evaluar en un gran número de ambientes, de tal forma que representen las condiciones ambientales en las cuales serán cultivadas (Yan y Kang, 2003). El comportamiento diferencial de los materiales genéticos en diversas condiciones ecológicas se debe a la interacción genotipo por ambiente (IGA) y ésta tiene gran importancia, principalmente para el carácter rendimiento de grano, debido a que los mejores genotipos en un determinado ambiente no lo son en otro, esto dificulta la recomendación de cultivares para toda una zona agroecológica (Sánchez-Hernández *et al.*, 2019).

Una forma de sacar provecho de la IGA, para la recomendación de nuevos cultivares, es detectar genotipos que muestren adaptabilidad y estabilidad fenotípica, la selección de los mejores genotipos es un aspecto importante para aumentar la productividad del cultivo. No obstante, el rendimiento es influenciado por el ambiente (Lozano-Ramírez *et al.*, 2015).

El análisis de correlación ha sido utilizado para determinar el nivel de asociación lineal entre caracteres. Esta herramienta es importante para una selección efectiva, debido a que la respuesta en selección depende de varios factores, que incluyeron la interdependencia de características (Taiwo *et al.*, 2020). Al respecto, los coeficientes de sendero estiman la influencia de una variable sobre otra, además de cuantificar su magnitud y sentido, de tal forma que clasifica las variables por su efecto directo o indirecto, es una valiosa herramienta para realizar selección efectiva en el mejoramiento de la producción (Pranay *et al.*, 2022).

En este trabajo, los objetivos fueron cuantificar la interacción genotipo-ambiente, rendimiento y la interdependencia entre características agronómicas en diferentes localidades de la PY.

Materiales y métodos

Establecimiento y conducción

La localización, altitud y fecha de siembra en los ambientes evaluados en 2022, se presentan en el Cuadro 1. La fertilización en todos los casos se realizó con la fórmula: 110-46-00 (N-P-K), se aplicó la mitad del nitrógeno y todo el fósforo en la siembra y el resto del nitrógeno en la segunda escarda. Para el control de maleza se utilizó 1.5 kg ha^{-1} de los ingredientes activos Picloram más Nicosulfurón a los 20 días después de la siembra (DDS), además a los 50 DDS se realizó un deshierbe manual.

Cuadro 1. Localización, altitud y fecha de siembra de las localidades del estudio.

Localidad, municipio, estado	Localización geográfica	Altitud (m)	Fecha de siembra
Ejido Quetzalcóatl, Champotón, Campeche	19° 13' 09.16" N 90° 12'41.85" O	10	10 julio
Villa Micaela, Hecelchakán, Campeche	20° 10' 52.34" N 90° 05' 49.42" O	14	12 julio
Ejido San Felipe II, Tekax, Yucatán	19° 48' 38 " N 89° 28' 05" O	21	31 julio
Cafetalito, José María Morelos, Quintana Roo	19° 43' 42.30" N 88° 47' 57.90" O	21	24 junio
Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo	18° 31' 45" N 88° 27' 56.89" O	2	06 julio

Para combatir el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se aplicó el ingrediente activo clorantraniliprol (50 ml ha⁻¹) y para el pulgón (*Rhopalosiphum maidis*) se utilizó dimextoxifosfoninotiolitio (1 L ha⁻¹) con imidacloprid (25 ml ha⁻¹).

Genotipos evaluados

Se evaluaron los híbridos trilineales H-520, H-391, H-392, H-565, H-567 y YZ-1 y las variedades de polinización libre Sac Béh, V-569A (Ocotito) y Chichén Itzá (Nucuch Nah), estas dos últimas como testigos y de grano amarillo. Todos los genotipos fueron generados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con excepción del híbrido YZ-1, formado por una sociedad cooperativa de Campeche.

Variables evaluadas

Altura de planta (AP) y mazorca (AM), evaluadas en cm, del ras de suelo y hasta el nudo de inserción de la espiga y mazorca, respectivamente; diámetro de mazorca (DM), evaluado en cm, en la parte central de la mazorca; longitud de mazorca (LM), evaluada en cm, de la base al ápice; número de hileras por mazorca (NHM), contadas en la parte central de la mazorca y rendimiento de grano (RG) evaluado en t ha⁻¹, con el peso de grano ajustado al 14% de humedad (Sánchez-Hernández *et al.*, 2019).

Diseño experimental

Por localidad, fue un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada parcela experimental consistió en cuatro surcos de 10 m de largo y 0.8 m de separación, la parcela útil fueron los dos surcos centrales con una densidad de siembra fue de 70 000 plantas ha⁻¹ (Medina-Méndez *et al.*, 2019).

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza combinados de un diseño experimental de bloques completos al azar a través de ambientes, se empleó la prueba de medias de diferencia mínima significativa (DMS). Se realizó un análisis de Sendero por covarianza, para identificar la relación entre variables evaluadas y detectar sus efectos directos e indirectos sobre el rendimiento; estos con el programa statistical analysis system (SAS, 2011). Para identificar la interacción de los genotipos y su estabilidad en RG (Yan y Kang 2003; Pacheco-Gil *et al.*, 2015), para lo cual se empleó el modelo de regresión por sitio (SREG).

Resultados y discusión

Análisis de varianza combinado

En el análisis de varianza se observaron diferencias estadísticas entre las localidades de evaluación en la expresión de todas las variables evaluadas, con excepción del NHM (Cuadro 2), entre los genotipos evaluados para todas las variables y para la interacción genotipo x ambiente en RG, AP, AM y LM. Entre los factores de estudio, la de mayor importancia, por la variación generada fueron las localidades, lo cual dio lugar a diferencias en RG, con base en la LM (Medina-Méndez *et al.*, 2019).

Cuadro 2. Análisis de varianza para los caracteres evaluados en maíz, en cinco localidades de la Península de Yucatán.

Fuentes de variación	GL	Cuadrados Medios				
		Rendimiento	Altura planta	Altura mazorca	Diámetro mazorca	Longitud mazorca
Localidades	4	74.27**	8 543.5**	3 739.7**	2.12	20.4**
Bloques/Loc	10	0.24	368.5**	398.1**	0.64	2.5
Genotipos	8	4.67**	6 287.9**	5 662.5**	0.3**	5.6**
Gen*Loc	32	0.94**	295.6**	278.6**	0.07	1.8**
Error residual	79	0.13	124.9	129.3**	0.06	0.6
CVLoc (%)		8.9	8.9	17.7**	16.7	10
CVGen (%)		6.7	5.2	10.1**	5.1	5.1

GL= grados de libertad; Loc= localidades; Gen= genotipos; **= $p \leq 0.01$; CV= coeficiente de variación.

La genética de los cultivares manifestó variación en todas las variables, donde la generada por la LM fue superior a la del DM, ambas con las mismas unidades de medida (cm), de igual forma, entre la AM y AP, esta última fue de mayor importancia. La interacción genotipo x localidad, ocupó el tercer lugar en variación generada, donde fueron estadísticamente significativas las del RG, AP, AM y en LM. Los coeficientes de variación son aceptables como indicador del error experimental (Lozano-Ramírez *et al.*, 2015).

En la localidad de Quetzalcóatl se observó la mayor AP y AM así como en LM (Cuadro 3), seguida por la localidad de Cafetalito; sin embargo, en esta última se presentó el mayor RG, superior en 2.2 t ha^{-1} al obtenido en Quetzalcóatl, probablemente asociado con la temperatura, en Chetumal durante cuatro meses la temperatura promedio fluctuó de 33 a 35 °C; es decir, del desarrollo foliar y hasta floración y en Cafetalito no se superó los 29 °C (Figura 1), además de que en Cafetalito fue la única localidad donde la precipitación se mantuvo de floración al llenado de grano en 116 mm (agosto a noviembre).

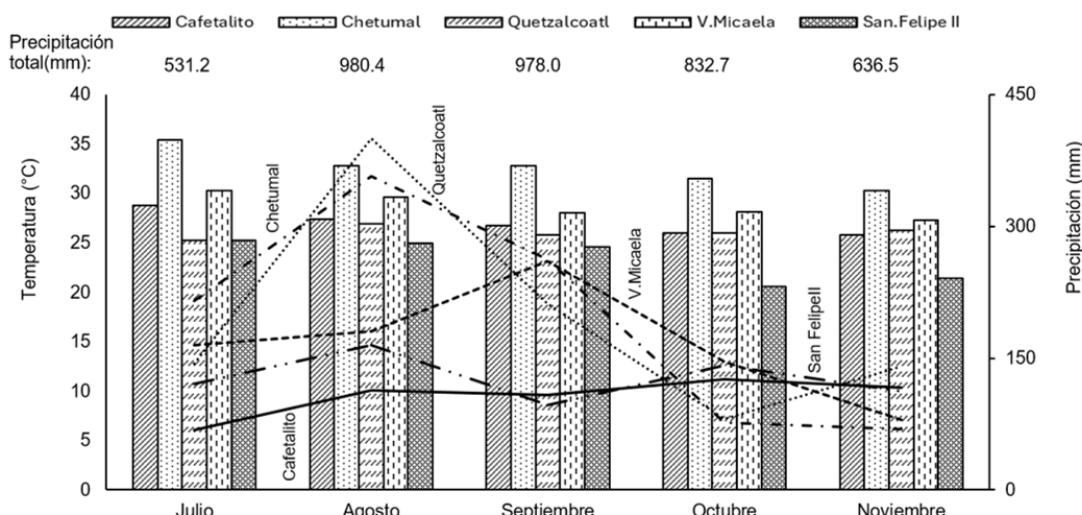


Cuadro 3. Comparación de medias entre localidades, para las características estudiadas en maíz, en la Península de Yucatán.

Localidad	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Diámetro mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Núm. hileras
El Cafetalito, Q. Roo	7.4a	231ab	117b	4.8	16.1ab	13.9
Chetumal, Q. Roo	6.6b	214bc	105bc	4.8	16.2ab	13.7
Quetzalcóatl, Campeche	5.2c	232a	130a	4.8	16.6a	14.2
V. Micaela, Campeche	4.6d	197cd	106bc	4.7	15.5b	14.2
San Felipe II, Yucatán	3.2e	195d	101c	4.3	14.3c	13.9
DMS ($p \leq 0.05$)	0.3	11.6	12.1		0.9	

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas (DMS, $p \leq 0.05$).

Figura 1. Temperatura y precipitación en las localidades de evaluación de nueve genotipos de maíz en la Península de Yucatán (CNA, 2024).



Es decir, que las condiciones ambientales fueron las mejores en temperatura y precipitación. En Quetzalcóatl, aunque las temperaturas se mantuvieron en el rango óptimo de desarrollo, se registró la menor precipitación durante floración y llenado de grano. En Villa Micaela, se presentó la mayor reducción en el mismo período, mientras que en San Felipe II se presentaron las menores temperaturas, 25 y 20.6 °C (Vatca *et al.*, 2021).

Los ensayos establecidos en Quintana Roo en el mes de junio, presentaron los mayores RG, mientras que los menores se obtuvieron en el ensayo del estado de Yucatán, al respecto Uzcanga *et al.* (2015) señala que en la PY el período óptimo para la siembra de maíz es cuando inicia el período de lluvias (15 de junio-15 de julio), Medina-Méndez *et al.* (2019) observaron que los mayores rendimientos de maíz en Campeche, se presentaron en siembras realizadas en julio y que hubo una disminución al establecer el cultivo en agosto (Cuadro 3).

Durante el ciclo de cultivo en la localidad de San Felipe II, se presentaron bajas temperaturas en los 90 últimos días del ciclo del cultivo (20.6 a 24.6 °C). La localidad de Chetumal superó en rendimiento a Quetzalcóatl con 1.4 t ha⁻¹; no obstante, que en esta última se presentó mayor LM, probablemente asociado a una temperatura más alta, dentro del rango óptimo de desarrollo para el cultivo.

Entre las cinco localidades, en San Felipe II, las condiciones ambientales fueron las más desfavorables, lo que dio lugar al menor RG entre los genotipos evaluados, probablemente debido a los registros más bajos de LM, AP y AM (DMS, $p \leq 0.05$). La localidad V. Micaela superó a la de San Felipe II, con 1.4 t ha⁻¹ de grano y con 1.2 cm en LM.

El híbrido H-520, fue el de mayor rendimiento promedio de grano ($p \leq 0.05$), por lo que superó con 400 y 600 kg ha⁻¹ a los híbridos H-391 y H-392, respectivamente (Cuadro 4); Sierra-Macias *et al.* (2016) reportaron rendimientos, en el trópico, superiores (8 a 9%) de H-520 con respecto al testigo, mientras que Medina-Méndez *et al.* (2019) reportaron rendimientos de 4.7 y 4.8 t ha⁻¹ para H-520 y H-565 respectivamente, en diferentes ambientes de Campeche y se ubicaron como materiales de productividad intermedia.

Cuadro 4. Comparación de medias de genotipos de maíz para las variables evaluadas en la Península de Yucatán.

Genotipo	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Diámetro mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Núm. hileras
H-520	6.3 a	199 d	97 e	5.4 ab	15.5 cd	13.5 de
H-391	5.9 b	198 de	107 cd	5.4 ab	15.1 de	14.1 c
H-392	5.7 bc	205 cd	99 de	5.5 a	16.8 a	13.9 cd
YZ-1	5.6 cd	209 bc	106 cd	5.6 a	15 e	16.3 a
H-565	5.5 de	201 cde	100 de	5.5 a	15.8 c	15 b
Ocotito	5.3 e	197 e	97 e	5.5 ab	15.2 de	14.9 b
H-567	5.3 e	217 b	111 c	5.5 ab	15.7 cd	13.2 e
Sac Béh	4.7 f	245 a	137 b	5.3 bc	16.5 ab	12.3 f
Chichén-Itzá	4.6	251 a	152 a	5.2 c	16 bc	12.6 f
DMS ($p \leq 0.05$)	0.2	8.1	8.2	0.19	0.6	0.5

Promedio con la misma letra en una misma columna no son estadísticamente diferentes.

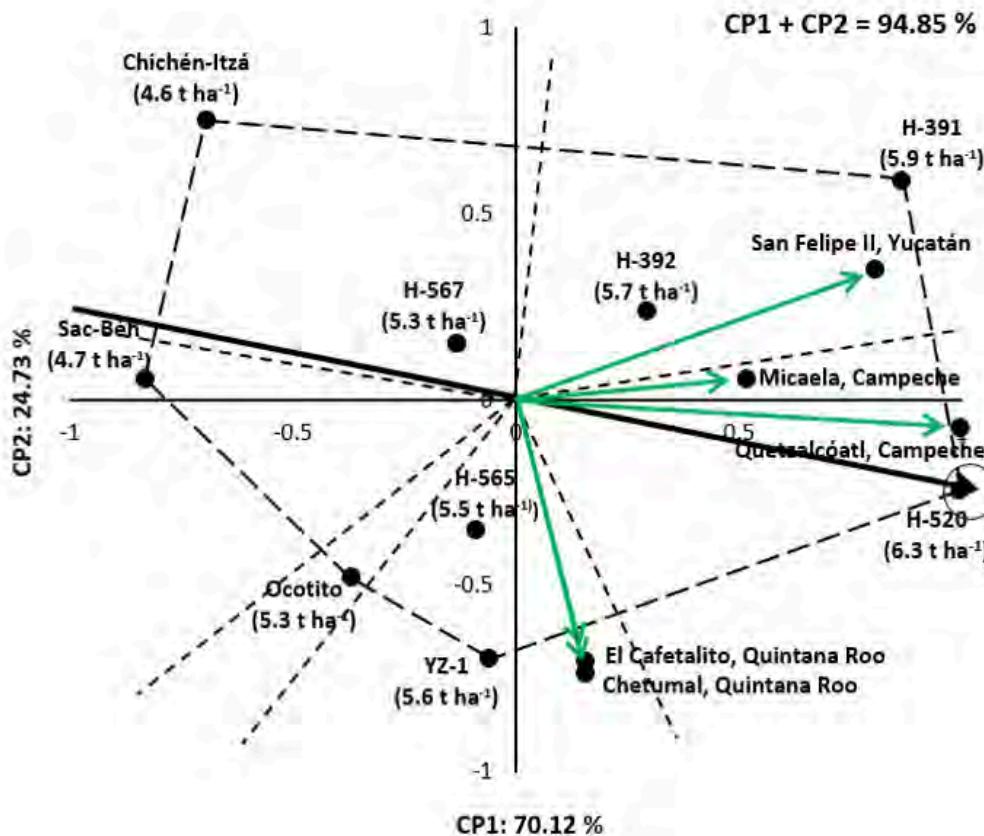
La mejor respuesta de H-391 se ha obtenido en regiones con altitudes de 900 a 1 859 m; sin embargo, en regiones del trópico de Nayarit y Guerrero presentó rendimientos cercanos a 6 t ha⁻¹ (Ramírez-Díaz *et al.*, 2023). Se han reportado los mejores rendimientos de H-392 entre 1 500 y 2 000 m de altitud, aunque en trópico, ha presentado 5.9 t ha⁻¹ de rendimiento (Ramírez-Díaz *et al.*, 2022).

Los híbridos YZ-1 y H-565 presentaron rendimientos estadísticamente iguales entre sí, superados con 700 y 800 kg ha⁻¹ cada uno, por H-520. Ocotito, H-565 y H-567, presentaron rendimientos similares, que superaron a las variedades Sac-Béh y Chichén-Itzá con 720 kg ha⁻¹; el mejor RG para Ocotito (V-569) se reportó en altitudes menores a 1 500 m (Gómez-Montiel *et al.*, 2023). Los híbridos H-520 y H-391, superaron en promedio a las variedades Ocotito, Sac-Béh y Chichen-Itzá con un rango de 0.8 a 1.5 t ha⁻¹. H-565 y H-567, presentaron rendimientos similares a Ocotito, pero superaron a las variedades Sac-Béh y Chichén-Itzá en un rango de 0.6 a 0.9 t ha⁻¹. Estas últimas variedades fueron las de mayor AP y con la más alta LM, pero con el menor NH.

Interacción genotipo ambiente y estabilidad

En RG el híbrido H-520 superó a los demás genotipos, en las localidades de Campeche (Micaela y Quetzalcóatl), seguido por H-391 y H-392 (Figura 2), por debajo de la media de ambas localidades quedaron H-565, H-567 y el híbrido testigo YZ-1, para finalmente con los menores rendimientos ubicarse las variedades Ocotito, Chichén-Itzá y Sac-Béh. Es decir, H-520 rindió bien en el ambiente favorable (Quetzalcóatl) y desfavorable (Micaela), la respuesta favorable en RG de este híbrido a través de diferentes ambientes del trópico húmedo de México también es reportada por Sánchez-Hernández *et al.* (2019).

Figura 2. Dispersión de nueve genotipos a través de cinco ambientes y estabilidad del rendimiento, con el modelo SREG en la Península de Yucatán.



El híbrido YZ-1 sobresalió por su rendimiento en las localidades de Quintana Roo (El Cafetalito y Chetumal) cuyas condiciones para la expresión del rendimiento fueron similares, seguidos en importancia por H-520, Ocotito, H-565, H-392, H-391, H-567 y finalmente con los rendimientos más bajos estuvieron las variedades testigo Sac-Béh y Chichén-Itzá. El H-391, presentó adaptación a la localidad de San Felipe, Yucatán, al superar al resto de los genotipos, seguido de H-520 y H-392.

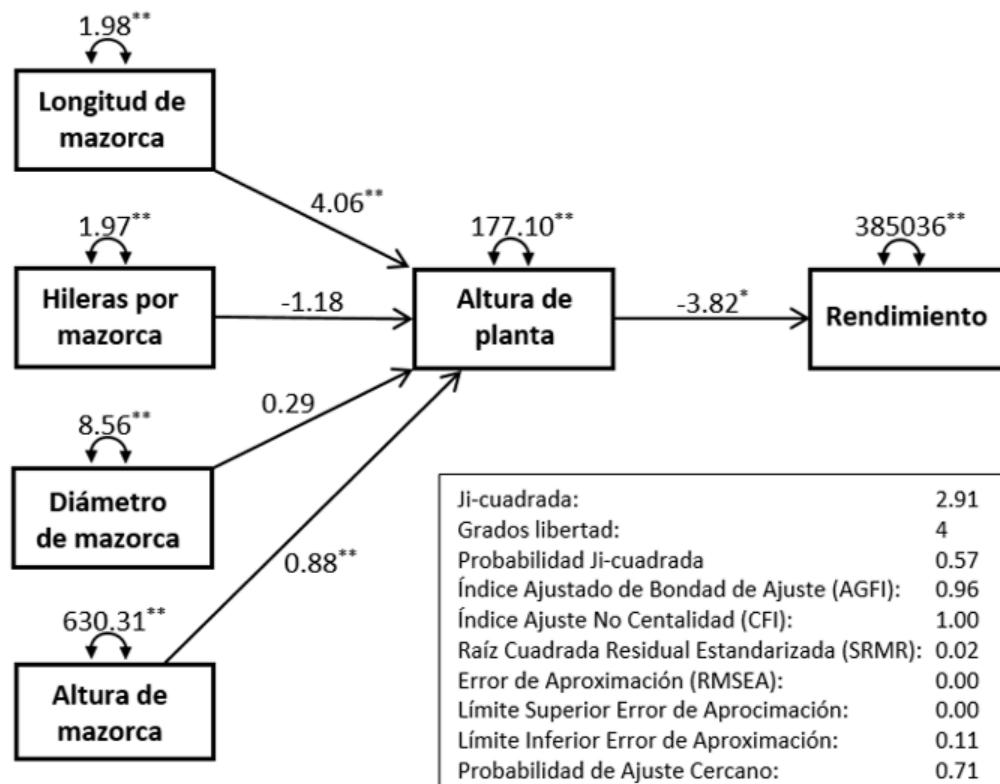
La varianza explicada por este análisis fue 94.8%. La localidad de Quetzalcóatl fue el ambiente más favorable para el rendimiento de los genotipos y el menos favorable fue Micaela; esto es, sin efectos de error contenidos en los promedios (Yan y Kang, 2004). El híbrido H-520 se ubicó como el más deseable, por presentar el rendimiento más alto y ser predecible o estable; es decir, que sus desviaciones de regresión fueron las menores, con respecto a la recta de regresión. Entre H-391 y H-392, el primero presentó un mayor rendimiento, pero fue el de mayor inestabilidad. En contraste, estos dos últimos híbridos se clasificaron como estables en RG en ambientes del subtrópico de México (Ramírez-Díaz *et al.*, 2022; Ramírez-Díaz *et al.*, 2023). Las variedades Ocotito, Sac-Béh y Chichén-Itzá, fueron las de menor rendimiento. Entre Ocotito y Chichén-Itzá, ambas presentaron rendimientos por debajo del promedio y se clasificaron como inestables, es decir fueron las menos deseables.

Análisis de sendero

Este análisis explicó el 96.2% de la varianza total (Figura 3). El coeficiente de sendero (CS) de mayor importancia por su efecto indirecto y positivo fue entre altura de planta y longitud de mazorca

($CS= 4.06$), de tal forma que, a mayor altura de planta se logró una mayor longitud de mazorca, seguido por el efecto directo y negativo, entre altura de planta y el rendimiento de grano ($CS=-3.82$). Es decir, que a medida que la altura de planta fue menor, el rendimiento se elevó, ambos probablemente a la selección por parte de los mejoradores de plantas, que buscaron reducir el porte de planta para disminuir el acáme, e incrementar el tamaño de mazorca y a la vez elevar el rendimiento de grano en genotipos mejorados. El efecto directo y negativo exhibido por AP y RG también fueron reportados por Pranay *et al.* (2022).

Figura 3. Análisis de Sendero en nueve genotipos de maíz, evaluados en cinco ambientes de la Península de Yucatán.



Conclusiones

El híbrido H-520 presentó el mayor rendimiento, estabilidad y adaptabilidad en la península de Yucatán, además de superar al resto de genotipos en las localidades de Campeche. YZ-1 fue la mejor opción en las localidades de Quintana Roo y H-391, solamente para la localidad de San Felipe II, Yucatán.

Los mejores rendimientos se observaron en las localidades que presentaron las mayores precipitaciones durante el desarrollo vegetativo (agosto) y temperaturas dentro del rango óptimo de desarrollo, durante el llenado de grano (octubre a noviembre). Los criterios de selección de los mejoradores permitieron un mayor rendimiento de grano, asociado con plantas de menor altura y mazorcas de mayor longitud, variables que presentaron la mayor interdependencia.

Bibliografía

- 1 CNA. 2024. Comisión Nacional del Agua. Observaciones diarias de temperatura, lluvia y evaporación. Organismo de cuenca Península de Yucatán <https://www.gob.mx/conagua/es/#960>.
- 2 FIRA. 2024. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Panorama agroalimentario maíz. México. 28 p.
- 3 García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 97 p.
- 4 Gómez-Montiel, N. O.; Hernández-Galeno, C. Á.; Anzures-Olvera, F.; Toledo-Aguilar, R.; Ramírez-Díaz, J. L.; Espinosa-Calderón, A.; Tadeo-Robledo, M.; Santos-Echeverría, R. y Antúnez-Ocampo, O. M. 2023. Variedad mejorada de maíz de grano amarillo para pequeños ganaderos del trópico seco. Agro-Divulgación. 3(3):45-47. <https://doi.org/10.54767/ad.v3i3.186>.
- 5 Lozano-Ramírez, Á.; Santacruz-Varela, A.; Vicente-García, F.; Crossa, J.; Burgueño, J. y Molina-Galán, J. D. 2015. Modelación de la interacción genotipo x ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. Revista Fitotecnia Mexicana. 38(4):337-347.
- 6 Medina-Méndez, J.; Soto-Rocha, J. M.; Villalobos-González, A.; Volke-Haller, V. H. and Gómez-Tejero J. 2019. Productivity of white and yellow grain corns in Campeche, México. Agricultural Sciences. 10(9):1255-1269. <https://doi.org/10.4236/as.2019.109093>.
- 7 Pacheco-Gil, R. A.; Vargas, M.; Alvarado, G.; Rodríguez, F.; López, M.; Crossa, J. and Burgueño, J. 2015. GEA-R (genotype x environment analysis with R for Windows) version 4.1. <https://data.cimmyt.org/dataset.xhtml?persistentId=hdl:11529/10203> . CIMMYT Research Data & Software Repository Network.
- 8 Pranay, G.; Shashibhushan, D.; Rani, K. J.; Bhadru, D. and Kumar, C. V. S. 2022. Correlation and path analysis in elite maize (*Zea mays* L.) lines. International Journal of Plant & Soil Science. 34(24):414-422. Doi: 10.9734/IJPSS/2022/v34i242657.
- 9 Ramírez-Díaz, J. L.; Alemán-Torre, I.; Ledesma-Miramontes, A.; Vidal-Martínez, V. A.; Salinas-Moreno, Y.; Briones-Reyes, D.; Gómez-Montiel, N. O.; Peña Ramos, A. y Reyes-Méndez, C. A. 2023. H-391: Híbrido trilineal de maíz de grano blanco para regiones del subtrópico de México. Revista Fitotecnia Mexicana. 46(3):327-329.
- 10 Ramírez-Díaz, J. L.; Peña-Ramos, A.; Ledesma-Miramontes, A.; Alemán-Torre, I.; Vidal-Martínez, V. A.; Briones-Reyes, D.; Salinas-Moreno, Y.; Gómez-Montiel, N. O.; Reyes-Méndez, C. A. y Bautista-Ramírez, E. 2022. H-392: Híbrido de maíz de grano blanco para regiones agrícolas del subtrópico y transición de México. Revista Fitotecnia Mexicana. 45(4):523-525.
- 11 Sánchez-Hernández, M. A.; Jiménez-Maya, J. B.; Morales-Terán, G.; Acevedo-Gómez, R.; Antonio-Estrada, C. y Villanueva-Verduzco, C. 2019. Rendimiento de grano en maíces adaptados a condiciones de la baja cuenca del Papaloapan. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 22(2):519-529.
- 12 SAS. 2011. Institute, Statistical Analysis System. User's guide. Software Release V 9.3. SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA.
- 13 SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Ciudad de México, México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- 14 Sierra-Macías, M.; Rodríguez-Montalvo, F. A.; Palafox-Caballero, A.; Espinosa-Calderón, A.; Andrés-Meza, P.; Gómez-Montiel, N. O. y Valdivia-Bernal, R. 2016. Productividad

- de semilla y adopción del híbrido de maíz H-520, en el trópico de México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. 13(1):19-32.
- 15 Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Canales, I. E. I.; Monter, S. A.; Turrent, F. A.; Arteaga, E. I.; López, L. C.; Virgen, V. J.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Zaragoza, E. J.; Macedo, G. J. J.; Valdivia, B. R.; Zamudio, G. B.; Andrés, M. P. y Aguilar, V. K. E. 2023. Mistli UNAM: Híbrido varietal de maíz precoz de grano amarillo para Valles Altos de México. Revista Fitotecnia Mexicana. 46(3):331-333.
- 16 Taiwo O. P.; Nwonuala, A. I.; Isaiah, B. F.; Olawamide, D. O. and Agbugba, I. K. 2020. Correlation and path coefficient analysis studies on grain yield and its contributing characters in maize (*Zea mays* L.). International Journal of Plant & Soil Science. 32(7):7-13. Doi: 10.9734/IJPSS/2020/v32i730300.
- 17 Uzcanga, P. N. G.; Cano, A. J. G.; Ramírez, J. H. S. y Tun, C. D. 2015. Características socioeconómicas y rentabilidad de los sistemas de producción de maíz bajo condiciones de temporal de la Península de Yucatán, México. Revista Mexicana de Agronegocios. 37:173-183.
- 18 Uzcanga, P. N. G.; Larqué, S. A. L.; Ángel, P. M. A.; Rangel, F. A. y Cano, J. G. 2017. Preferencias de los agricultores por semillas mejoradas y nativas de maíz en la Península de Yucatán, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8(5):1021-1033.
- 19 Vatca, S. D.; Stoian, V. A.; Man, T. C.; Horvath, C.; Vidican, R.; Gadea, S.; Vatca, A.; Rotaru, A.; Varban, R.; Cristina, M. and Stoian, V. 2021. Agrometeorological requirements of maize crop phenology for sustainable cropping A historical review for Romania. Sustainability. 13(14):7719. <https://doi.org/10.3390/su13147719>. 14 p.
- 20 Yan, W. and Kang, M. S. 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC press: Boca Raton, Fl. 271 p.





Rendimiento de maíz, interdependencia e interacción genotipo-ambiente en el sureste de México

Journal Information	Article/Issue Information
Journal ID (publisher-id): remexca	Date received: 1 August 2025
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas	Date accepted: 1 November 2025
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc.	Publication date: 4 December 2025
ISSN (print): 2007-0934	Publication date: Oct-Nov 2025
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	Volume: 16
	Issue: 8
	Electronic Location Identifier: e3778
	DOI: 10.29312/remexca.v16i8.3778

Categories

Subject: Artículos

Palabras clave:

Palabras clave:

análisis de sendero
estabilidad
localidades
rendimiento

Counts

Figures: 3

Tables: 4

Equations: 0

References: 20