



VARIEDADES DE MAÍZ AMARILLO PROCEDENTES DE SELECCIÓN RECURRENTE, OTRA OPCIÓN PARA CULTIVAR EN CHIAPAS, MÉXICO

YELLOW CORN VARIETIES FROM RECURRENT SELECTION, ANOTHER OPTION FOR CULTIVATION IN CHIAPAS, MEXICO

Saúl Velasco-Macías¹, Bulmaro Coutiño-Estrada^{2*}, Margarita Tadeo-Robledo³, Joob Zaragoza-Esparza³ y Francisco Javier Cruz Chávez²

¹Universidad Autónoma de Chiapas, Villaflores, Chiapas, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocoautla, Chiapas, México. ³Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (coutino.bulmaro@inifap.gob.mx)

RESUMEN

En México se importan hasta 17.3 millones de toneladas de maíz amarillo para abastecer las necesidades de consumo humano y de la industria de alimentos. En Chiapas, durante el año 2022, se sembraron 85 mil hectáreas con maíz amarillo de donde se obtuvo una producción de 144 mil toneladas de grano, con un rendimiento promedio de 1.7 t ha⁻¹. Para contribuir a disminuir ese déficit de producción, en el presente estudio efectuado en 2022, se evaluó la productividad y calidad del grano en 23 variedades experimentales provenientes de cuatro ciclos de selección recurrente realizados en una población de maíz amarillo junto con una variedad criolla como testigo, empleando un diseño experimental látice triple rectangular 4 × 6 en el ciclo otoño-invierno 2021 en el Campo Experimental Centro de Chiapas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Ocozocoautla, Chiapas, México. Las variables medidas fueron días a floración femenina, días a floración masculina, altura de planta, número de hileras, número de granos por hilera, diámetro de mazorca, diámetro de olote, longitud de mazorca, porcentaje de grano, humedad de grano, peso volumétrico del grano, peso de 200 granos y rendimiento de grano. Se realizó análisis de varianza por medio del SAS, versión 9.3, y en su caso, la prueba múltiple de medias de Tukey para detectar las mejores variedades. Se encontraron diferencias significativas en las características medidas de planta, mazorca y grano de las variedades. Sobresalió la variedad experimental de grano amarillo V1A, con rendimiento de grano de 5.2 t ha⁻¹. Se encontraron diferencias significativas en las características de calidad del grano entre variedades, lo que reveló que algunas de ellas tuvieron granos de alta calidad.

Palabras clave: *Zea mays*, calidad, grano amarillo, rendimiento, selección mazorca por surco.

SUMMARY

Mexico imports up to 17.3 million tons of yellow corn to meet the needs of human consumption and food industry. In Chiapas, during the year 2022, 85 thousand hectares were planted to yellow corn, from which a production of 144 thousand tons was obtained, with an average yield of 1.7 t ha⁻¹. To help reduce this production deficit, in the present study conducted in 2022, the productivity and grain quality were evaluated in 23 experimental varieties from four cycles of recurrent selection carried out on a yellow maize population, along with a landrace as a control, using a 4 × 6 rectangular triple lattice experimental design in the Autumn-Winter 2021 season at the Center of Chiapas Experimental Station of the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP), in Ocozocoautla, Chiapas, Mexico. The

measured traits included days to female flowering, days to male flowering, plant height, number of grain rows, number of grains per row, ear diameter, cob diameter, ear length, grain percentage, grain moisture, test weight, 200 grains weight and grain yield. Analysis of variance was performed using SAS, version 9.3 and, where applicable, the Tukey multiple mean test to detect the best varieties. Significant differences were found in the measured characteristics of plant, ear and grain of the varieties. The yellow-grain experimental variety V1A stood out with a grain yield of 5.2 t ha⁻¹. Significant differences were found in grain quality characteristics among varieties, revealing some of them with high-quality grain.

Index words: *Zea mays*, ear-to-row selection, quality, yellow grain, yield.

INTRODUCCIÓN

La producción de maíz amarillo en México en el año 2022 fue de 3.3 millones de toneladas, obtenidas en 536 mil hectáreas, con un rendimiento promedio de 6.27 t ha⁻¹ (SIAP, 2022); esta producción alcanza a cubrir 24 % del consumo interno (SAGARPA, 2017), y cada año se importan 17 millones de toneladas de maíz de grano amarillo (SIAP, 2022), por lo que se requiere incrementar la producción de este grano para cubrir el déficit.

De la superficie nacional cultivada de maíz amarillo, el estado de Chiapas aporta el 15 %, siendo el tercer lugar a nivel nacional con 85 mil hectáreas y el cuarto lugar en producción. De esta extensión, 84 mil hectáreas se cultivan en temporal estricto, lo que limita la fecha de siembra, y la productividad del cultivo es reducida, con un promedio de 1.7 t ha⁻¹ (SIAP, 2022).

En más del 74 % de la superficie agrícola del estado se utilizan semillas de variedades locales o criollas. El término 'maíz criollo' se utiliza por los agricultores para diferenciar un maíz nativo o adaptado a las condiciones agroecológicas de su región, de un tipo de maíz obtenido a través de sus métodos tradicionales de selección.

Estos maíces nativos son producto de la selección de manera práctica, realizado por el hombre desde tiempos inmemorables con la intervención del ambiente y en función de la presión ecológica, culinaria y conceptos metafísicos (Ibarra *et al.*, 2020).

De la industrialización del maíz de grano amarillo se derivan almidón, glucosa, alta fructosa, gluten, fibra, sorbitol (jarabe), aceites, maltodextrinas, color caramelo, dextrosa, proteínas y sus derivados, lo que propicia que se importen grandes volúmenes de grano, los cuales podrían incrementarse en un futuro, por la fuerte demanda para el uso de maíz en la elaboración de etanol en los EEUU (Espinosa *et al.*, 2010; 2011).

Por lo mencionado anteriormente, el uso de semilla mejorada es un elemento clave para alcanzar niveles competitivos en la producción (Tadeo-Robledo *et al.*, 2015). En el Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP se desarrolló una población de maíz de amplia base genética de grano amarillo, denominada 'Población Amarilla', se obtuvo cruzando germoplasma de cuatro híbridos comerciales con 10 variedades criollas sobresalientes de Ocozocoautla, Chiapas, México con el objetivo de formar una variedad mejorada de polinización libre, con genes de buen potencial de rendimiento y de adaptación, que aproveche las condiciones agroclimáticas disponibles.

Ante la necesidad de incrementar la producción de maíz amarillo en el estado de Chiapas, México, es necesario formar y conocer el potencial de nuevas variedades para determinar su rendimiento y adaptabilidad a las condiciones ambientales que existen en las zonas tropicales de ese estado. Por lo anterior, en el presente estudio el objetivo fue conocer la productividad y calidad de grano de variedades experimentales provenientes de cuatro ciclos de selección recurrente realizados en una población de maíz amarillo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se realizó en el Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP ubicado en Ocozocoautla, Chiapas, México en las coordenadas 16° 47' 00.88" latitud Norte y 93° 24' 10.38" longitud Oeste, a una altitud de 791 msnm, ubicado fisiográficamente dentro de la Depresión Central de Chiapas, con suelo de textura franco-arenosa, de tipo Luvisol. El clima que predomina en esa zona es Aw₀, cálido subhúmedo con lluvias en verano, 24.8 °C de temperatura media anual y 987 mm anuales de precipitación promedio (García, 2004; INEGI, 2017; SMN, 2024).

Material genético y diseño experimental

A la Población Amarilla, proveniente de la recombinación genética de cuatro híbridos comerciales y 10 variedades criollas sobresalientes, se le realizaron cuatro ciclos de selección recurrente de familias de medios hermanos; cada ciclo de selección se realizó en dos ciclos agrícolas, en temporal se evaluaron 155 familias en tres localidades y se aplicó una presión de selección entre familias de 20 %, mientras que en riego, con semilla remanente, se recombinaron genéticamente en un lote aislado las mejores 31 familias y se aplicó una presión de selección dentro de familias de 23 %, para seleccionar las mejores cinco mazorcas y se generaron 155 nuevas familias; después, se recombinaron manualmente varios grupos de cinco familias sobresalientes para formar variedades experimentales; en total, se formaron 23 de estas variedades experimentales del cuarto ciclo de selección para su posterior evaluación y selección de las mejores (Coutiño *et al.*, 2019).

El grupo de 23 variedades experimentales de polinización libre más una variedad criolla local como testigo, cultivada en el ejido El Gavilán, municipio de Ocozocoautla, Chiapas, México, fueron evaluados en el año 2021, bajo un diseño experimental látice triple rectangular 4 × 6, la parcela experimental fue de dos surcos de 5 m de largo con una distancia entre surcos de 75 cm; se depositaron dos semillas por punto de siembra y se eliminó la plántula más débil o pequeña a los 15 días de edad para conservar una planta a una distancia de 20 cm entre puntos, lo cual resulta en una densidad de población aproximada de 66,000 plantas ha⁻¹. El experimento se sembró el 29 de septiembre bajo condiciones de humedad residual, y se aplicaron dos riegos de auxilio, uno durante la floración y otro en el llenado de grano.

Variables medidas y análisis estadístico

Se midieron las variables días a floración femenina, días a floración masculina, altura de planta, y para determinar el rendimiento y calidad de grano el número de hileras, número de granos por hilera, diámetro de mazorca, diámetro de olote, longitud de mazorca, porcentaje de grano, humedad de grano, peso volumétrico del grano (PVG), peso de 200 granos y rendimiento de grano con ajuste al 14% de humedad.

La cosecha del experimento se realizó el 3 de febrero de 2022. Los análisis de calidad de grano se realizaron en el laboratorio del Campo Experimental Centro de Chiapas y se registró el peso volumétrico del grano, peso de 200 granos y humedad de grano en los laboratorios de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán,

de la Universidad Nacional Autónoma de México. El rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$ se calculó considerando el tamaño de la parcela útil de dos surcos a 0.75 cm de distancia y 5 m de longitud, con la siguiente fórmula:

$$Rend = \frac{(PC \times MS \times G \left(\frac{10\ 000}{2 \times 0.75 \times 5} \right))}{0.86}$$

Donde PC: peso de campo de la totalidad de las mazorcas cosechadas de cada parcela en kg, MS: porcentaje de materia seca, G: porcentaje de grano y 0.86: constante utilizada para estimar rendimiento con una humedad comercial de 14 %.

Para evaluar el comportamiento de las variedades se realizó análisis de varianza utilizando el software Statistical Analysis System versión 9.3 (SAS Institute, 2011), mediante el procedimiento GLM para detectar diferencias significativas entre genotipos, y se empleó la prueba múltiple de medias de la diferencia honesta significativa (Tukey, $P \leq 0.05$) para detectar estadísticamente las mejores variedades. Con el programa Excel de la paquetería Office se realizó análisis de correlaciones de Pearson para averiguar la existencia de alguna correlación entre los caracteres floración femenina, floración masculina, peso volumétrico de grano, altura de planta, rendimiento y humedad de grano, así como un análisis de regresión lineal simple entre el rendimiento de grano y floración masculina, floración femenina, peso volumétrico y humedad de grano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza indicó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre repeticiones (Cuadro 1) únicamente en las variables días a floración femenina y masculina, y porcentaje de grano, posiblemente debido al gradiente de humedad residual del terreno entre las repeticiones. También hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre variedades en todas las variables evaluadas, indicando la diversidad existente entre las diferentes variedades experimentales estudiadas. Los coeficientes de variación en general fueron relativamente bajos, lo que indica un buen nivel de confianza de los resultados obtenidos, excepto para rendimiento de grano, el cual fue alto, pues en siembras de buen temporal en años anteriores y en esta misma localidad no ha sido de magnitud similar.

En la comparación de medias para los 24 genotipos evaluados (Cuadro 2) se observó que ocho variedades expresaron los rendimientos estadísticamente más sobresalientes (Cuadro 2), ubicando a la variedad V1A con el mayor rendimiento de grano ($5.23\ t\ ha^{-1}$), seguida de las otras siete con rendimientos de 4.2 a $3.4\ t\ ha^{-1}$.

El rendimiento de grano de la Población AC2, formada por la mezcla balanceada de semilla de las mejores familias recombinadas del segundo ciclo de selección, fue menor al obtenido en el ciclo primavera-verano de los años 2018 y 2019 (5.0 y $4.4\ t\ ha^{-1}$, respectivamente), pero el rendimiento de $4.2\ t\ ha^{-1}$ es un resultado aceptable debido a las condiciones de humedad residual en las que se estableció el experimento. Las tres poblaciones bajo mejoramiento: Población AC2, Población AC3 y Población AC1 tuvieron rendimientos de grano estadísticamente iguales, y fueron superiores estadísticamente a la variedad criolla testigo de esta localidad.

Coutiño y Vázquez (2018) informaron que en las parcelas de evaluación de la variedad de grano amarillo V-238AC en el municipio de Comitán, Chiapas, México se obtuvieron rendimientos de $5.29\ t\ ha^{-1}$, mientras que en Ocozocoautla en el mismo estado de Chiapas se han obtenido hasta $6.9\ t\ ha^{-1}$ con una variedad criolla progenitora de la Población Amarilla. La variedad V1A mostró rendimientos aceptables durante la siembra de humedad residual, lo que sugiere la posibilidad de incrementar su rendimiento en condiciones de temporal. Por este motivo, en el ciclo agrícola P. V. 2022, al repetir el experimento, se encontró que la variedad V1A produjo un rendimiento de grano de $5.59\ t\ ha^{-1}$ en condiciones de temporal, representando un aumento del 5.8 % con respecto al rendimiento obtenido en humedad residual.

Díaz-Juárez *et al.* (2023) establecieron en Texcoco, Estado de México ocho variedades de maíz amarillo para evaluar la aptitud combinatoria, y obtuvieron rendimientos de 4.9 a $5.4\ t\ ha^{-1}$, pero con variedades más tardías y de porte más alto, en comparación con los materiales evaluados en este estudio, lo que se traduce en menor tiempo de desarrollo y facilidad para realizar las labores culturales a lo largo del ciclo de producción en maíces de menor altura.

Con respecto a la variedad criolla testigo, 14 variedades experimentales mostraron rendimientos superiores de 14 a 109 %, indicando la buena respuesta obtenida al método de mejoramiento de selección recurrente implementado durante cuatro ciclos de selección en la Población Amarilla, la cual posee germoplasma de híbridos y de variedades criollas.

Para la variable altura de planta se presentaron siete grupos de significancia, siendo el testigo y la Población AC2 los genotipos con mayor altura, 27.8 y 15.6 % superiores con respecto a la variedad V85A. Se observa que en los ciclos de selección más avanzados la altura de planta fue menor. La disminución de la altura de planta se puede deber a que durante los ciclos de selección, se seleccionan

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancias estadísticas obtenidos de 24 variedades de maíz amarillo evaluadas en Ocozocoautla, Chiapas, México. O-I 2021.

Fuente de variación	GL	FF	FM	AP	% G	PVG	Peso de 200 granos	Rendimiento de grano
Repeticiones	2	25.04 *	20.26 *	12.85	400.5*	2.26	64.01	12.50
Variedad	23	13.10 *	13.23 *	809.36*	35.03*	1.76*	32.98*	2.02*
Error	46	1.92	1.88	283.90	42.06	1.69	37.42	1.72
C.V.		2.03	1.99	8.32	8.36	1.47	7.97	43.26
Media		69	68	202.4	77.5	88.05	76.75	3.03

*: significativo al 0.05 de probabilidad de error, **: significativo al 0.01 de probabilidad de error, GL: grados de libertad, FF: floración femenina, FM: floración masculina, AP: altura de planta, % G: porcentaje de grano, PVG: peso volumétrico del grano, C.V.: coeficiente de variación.

de forma indirecta plantas de porte más bajo.

En promedio, las variables días a floración femenina y masculina, fueron de 70 y 72 días, respectivamente, que son 10 días más tarde que en las siembras de temporal de primavera-verano, pues en siembras de humedad residual las plantas florecen en diciembre, cuando las temperaturas son más frescas, y por ello, se alarga su ciclo (Shim *et al.*, 2017); 16 variedades fueron estadísticamente las más tardías en emisión de estigmas y 15 días en derramar polen, sobresaliendo V6A y la Población AC4, e igualando las floraciones de la variedad criolla testigo; en comparación con los resultados obtenidos en el ciclo primavera-verano de 2019, las poblaciones AC2, AC1 y AC0 florecieron a los 60, 60 y 64 días, respectivamente, posiblemente a consecuencia de las temperaturas más altas presentadas en el ciclo primavera-verano, lo que puede propiciar una aceleración en los procesos fenológicos y metabólicos de la planta, también es afectada la tasa de producción y extensión foliar (García-Pacheco y López-Castañeda, 2002), así como la duración de las distintas etapas fenológicas (Soto *et al.*, 2009).

El experimento se estableció nuevamente en el ciclo agrícola de temporal del año 2022, obteniendo resultados similares en la floración femenina, floración masculina y altura de planta, siendo la variedad criolla testigo (de la raza Olotillo), Población AC2 y V119A las que presentaron estadísticamente las plantas más altas (245, 235 y 221 cm, respectivamente), lo que era de esperarse, ya que la mitad del germoplasma que se utilizó para formar la población de amplia base genética fueron variedades criollas muy tardías y de porte muy alto, mientras que las más precoces, de 68 días, fueron las variedades experimentales V1A y V3A, con alturas menores a los 2 m.

En rendimiento de grano, sobresalieron estadísticamente ocho variedades, entre ellas Población AC2, Población AC3

y Población AC1, quedando en primer lugar V1A con 5.2 t ha⁻¹, la cual superó en 109 % el rendimiento de la variedad criolla testigo (2.5 t ha⁻¹) y las otras la superaron de 68 a 25 %. Generalmente, las variedades de porte bajo se relacionan con variedades precoces de rendimiento bajo. En este caso, hubo variedades de porte bajo de 170 a 176 cm de altura, con rendimientos promedio de 3.0 y 2.8 t ha⁻¹. Tadeo *et al.* (2012) reportaron rendimientos de 4.6 a 6.1 t ha⁻¹ en variedades de maíz amarillo para Valles Altos, pero con una media en la floración femenina de 75 días y masculina de 72 días. El menor número de días a floración representa una ventaja importante para los productores que siembran en fechas retrasadas o en periodos de humedad estrictos o acortados (Espinosa-Calderón *et al.*, 2013).

En la comparación de medias para las variables de calidad de grano, nueve variedades tuvieron estadísticamente mayor humedad a la cosecha, con valores de 12 a 14 %, lo que indica un diferente tiempo de secado natural y la presencia de variabilidad genética entre las variedades, lo que a su vez se puede traducir en diferentes etapas de madurez fisiológica al momento de la cosecha (127 días de siembra a cosecha) (Cuadro 3). Las variedades presentaron porcentajes de grano, PVG y peso de 200 granos muy similares e iguales estadísticamente a la variedad testigo, con medias de 77.5 %, 87.96 kg hL⁻¹ y 76.79 g, respectivamente.

Vázquez-Carrillo *et al.* (2018) evaluaron calidad de grano y tortilla de maíces del trópico con valor agregado, presentando una media en peso volumétrico de 78.8 kg hL⁻¹, inferior a lo expresado en las variedades experimentales evaluadas en Ocozocoautla, Chiapas; en el mismo estudio, indicaron un peso promedio de 33.3 g de 100 granos, si se convierte a 200 granos, se obtiene una media de 66.6 g, menor al obtenido con estas variedades experimentales. Martínez-Gutiérrez *et al.* (2022) reportaron un peso promedio de 65.8 g de 200 granos para híbridos

Cuadro 2. Comparación de medias de variables de variedades sobresalientes de maíz amarillo. Ocozocoautla, Chiapas, México. O-I 2021.

No.	Variedad	Días a floración femenina	Días a floración masculina	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Rend. grano (t ha ⁻¹)
1	V1A	68 cd	70 e	198 cdef	60 def	5.23 a
2	Pob.AC2	70 abcd	71 cde	235 ab	85 abc	4.20 ab
3	Pob.AC3	70 abcd	72 abcd	210 bcde	68 de	4.13 abc
4	V135A	70 abcd	71 cde	210 bcde	71 cde	4.06 abc
5	V2A	69 bcd	71 de	206 cde	65 def	4.00 abc
6	Pob.AC1	70 abcd	72 bcde	216 bcd	88 ab	3.73 abcd
7	V100A	70 abcd	71 cde	190 defg	61 def	3.36 abcd
8	V59A	70 abcd	72 abcde	201 cdef	75 bcd	3.13 abcd
9	V24A	69 bcd	72 bcde	170 g	50 f	3.03 bcd
10	V3A	68 d	70 e	195 cdefg	60 def	2.96 bcd
11	V23A	69 bcd	70 e	176 fg	60 def	2.86 bcd
12	V85A	70 abcd	72 abcde	191 defg	61 def	2.83 bcd
13	V145A	69 bcd	72 abcde	201 cdef	65 def	2.80 bcd
14	Pob.AC4	72 ab	73 abc	203 cdef	65 def	2.76 bcd
15	V4A	69 bcd	72 abcde	193 defg	65 def	2.76 bcd
16	V119A	71 abc	73 abc	221 abc	68 de	2.56 bcd
17	V102A	70 abcd	72 abcde	195 cdefg	68 de	2.56 bcd
18	V6A	72 a	74 a	210 bcde	73 bcde	2.53 bcd
19	Testigo	71 ab	74 ab	245 a	100 a	2.50 bcd
20	V54A	71 abc	73 abcd	186 efg	68 de	2.40 bcd
21	V155A	69 bcd	72 abcde	193 defg	58 ef	2.26 bcd
22	V46A	70 abcd	73 abc	203 cdef	58 ef	2.20 bcd
23	V106A	71 abc	72 abcde	205 cde	70 cde	2.03 cd
24	V147A	70 abcd	73 abc	198 cdef	58 ef	1.83 d
	DHS _(0.05)	2.68	2.62	27.41	15.61	2.15

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro 3. Comparación de medias de productividad y calidad de grano de variedades sobresalientes de maíz amarillo. Ocozocoautla, Chiapas, México. O-I 2021.

No.	Variedad	Humedad del grano (%)	% Grano	PVG (kg hL ⁻¹)	Peso de 200 granos (g)
1	V4A	14.1 a	77.91 abc	85.86 c	76.20 abc
2	V2A	14.06 ab	75.68 abc	85.93 bc	79.83 abc
3	V1A	12.33 abc	77.97 abc	87.66 abc	81.03 a
4	V54A	12.30 abc	77.55 abc	87.70 abc	77.33 abc
5	Pob.AC4	12.23 abc	76.87 abc	87.76 abc	76.30 abc
6	V119A	12.20 abc	76.00 abc	87.80 abc	69.96 c
7	V135A	12.06 abc	77.53 abc	87.93 abc	77.33 abc
8	Pob.AC3	12.06 abc	83.02 a	87.93 abc	79.30 abc
9	Pob.AC2	12.03 abc	74.36 abc	87.96 abc	80.26 ab
10	Pob.AC1	11.96 bc	78.45 abc	88.03 ab	78.60 abc
11	V59A	11.96 bc	79.91 ab	88.03 ab	80.43 ab
12	V102A	11.93 bc	75.12 abc	88.06 ab	77.96 abc
13	V145A	11.8 c	83.02 a	88.20 a	75.06 abc
14	V3A	11.76 c	78.94 ab	88.23 a	79.80 abc
15	V46A	11.70 c	68.17 c	88.30 a	71.13 abc
16	V24A	11.70 c	78.96 ab	88.30 a	77.63 abc
17	V155A	11.63 c	81.73 ab	88.36 a	76.33 abc
18	V100A	11.60 c	78.97 ab	88.40 a	70.60 bc
19	V85A	11.36 c	72.79 abc	88.63 a	78.73 abc
20	V147A	11.33 c	71.94 bc	86.66 a	77.56 abc
21	V6A	11.23 c	77.48 abc	88.76 a	74.96 abc
22	Testigo	11.20 c	79.80 ab	88.80 a	75.06 abc
23	V106A	11.13 c	80.00 ab	88.86 a	79.80 abc
24	V23A	11.00 c	77.90 abc	89.00 a	70.80 bc
	DHS _(0.05)	2.14	10.66	2.14	10.05

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05). PVG: peso volumétrico del grano.

con diferentes dosis de fertilización foliar. Ambos estudios obtuvieron pesos de 200 granos inferiores a 76.75 g que se alcanzó como media en la evaluación de las variedades amarillas del presente estudio.

Los resultados obtenidos en PVG son superiores a los reportados por Coutiño y Vázquez (2018), con peso hectolítrico de 76.9 kg hL⁻¹ para la variedad V238AC, y similares a los reportados por Coutiño *et al.* (2022) para la variedad amarilla V56AC, con un peso hectolítrico de 76.9 kg hL⁻¹, y para la variedad de grano blanco V560 con peso hectolítrico de 77.7 kg hL⁻¹ (Coutiño-Estrada *et al.*, 2014); el peso hectolítrico requerido por la industria de la masa y la tortilla y por la de harinas nixtamalizadas es > 74.0 kg hL⁻¹ para la elaboración de tortillas (Coutiño y Vázquez, 2018). En estas variedades amarillas era de esperarse un peso volumétrico superior y similar a lo reportado por diversos autores (Hernández-Galeno *et al.*, 2024), al tratarse de variedades de grano con textura semicristalina, lo que da certeza de la buena calidad del grano. Un bajo peso volumétrico puede indicar daño en el grano o excesiva pérdida de materia seca.

La variedad V1A constituye una buena opción para los productores de grano amarillo, puesto que posee buenas características de planta, mazorca y grano, de un color amarillo fuerte, actualmente está en proceso de caracterización para tramitar su posterior liberación como nueva variedad mejorada.

En las 700 colectas de variedades criollas realizadas en el estado de Chiapas en el año 2010, Coutiño *et al.* (2021) obtuvieron semilla de 239 variedades de grano amarillo, entre las que destacaron las razas Comiteco, Tuxpeño y Olotón; por ello, si los productores tuvieran acceso a variedades mejoradas de maíz amarillo de porte más bajo, provenientes de variedades criollas, con buena adaptación, rendimientos superiores a los alcanzados por sus variedades criollas, las variedades mejoradas amarillas tendrían alta probabilidad de ser adoptadas.

Análisis de correlación

En el Cuadro 4 se presenta el conjunto de variables analizadas; sin embargo, no se observaron correlaciones estadísticamente significativas ($P > 0.05$) entre las variables evaluadas.

No se detectó una relación significativa entre el rendimiento de grano y los días a floración; sin embargo, Bolaños y Edmeades (1996) y Arellano *et al.* (2003) reportaron una relación negativa entre estas variables, indicando que el menor potencial de rendimiento estuvo asociado con ciclos más tardíos del germoplasma

Tampoco se observó correlación (0.069) entre la humedad del grano y el peso volumétrico del mismo; a pesar de que la gráfica muestra una pendiente positiva, esta relación fue débil y no explicó gran parte de la variabilidad; la humedad del grano y el peso específico están inversamente relacionados con granos de mayor humedad que muestran un peso específico más bajo. Conforme el grano de maíz se seca, el peso volumétrico aumenta si la integridad del grano permanece intacta. El peso específico aumenta porque los granos secos se encogen y son más resbaladizos, por lo que tienden a compactarse más. Los granos también son más densos, por lo que la densidad aparente aumenta a medida que el agua sale del grano (Bern y Brumm, 2009).

Análisis de regresión lineal

La regresión lineal simple de los días a floración masculina con el rendimiento de grano (Figura 1) no resultó estadísticamente significativa ($P > 0.05$) con una $R^2 = 0.0053$, esto indica que los días a floración masculina no están asociados con el comportamiento del rendimiento de grano y se tiene una tasa de disminución (pendiente de la ecuación) de $-0.0453 \text{ t ha}^{-1}$ por cada día de aumento en la floración.

Estos resultados son diferentes a los obtenidos por Ibarra *et al.* (2020), quienes indicaron que el retraso en el intervalo entre la floración masculina y femenina afectan el rendimiento del maíz, reduciendo el número y calidad de granos y mazorcas, debido a una pérdida de la viabilidad del polen y desecación de los estigmas.

La humedad del grano no influye en el peso volumétrico del mismo (Figura 2), pues no presentó un coeficiente de regresión significativo ($P > 0.05$), con $R^2 = 0.069$, esto significa que la humedad del grano explica apenas el 6.9 % de la variación del peso volumétrico del grano. Ambas variables son de interés para estimar la calidad del grano, y en el caso de la humedad de grano, es de suma importancia en el almacenamiento y beneficio de éste. Diversos estudios de manejo postcosecha mencionan que el peso específico aumentará debido al secado natural o artificial, el aumento de peso específico significa que el maíz ocupará menos volumen total debido al aumento de la densidad aparente (Bern y Brumm, 2009).

CONCLUSIONES

Existe variabilidad significativa en las características de planta y grano entre las variedades de grano amarillo evaluadas. Las variedades experimentales provenientes de cuatro ciclos de selección recurrente fueron menos tardías y de plantas menos altas que las poblaciones de

Cuadro 4. Coeficientes de correlación para diversas variables de 24 variedades de maíz amarillo para el Centro de Chiapas, México. O-I 2021.

Variable	Rendimiento de grano		Peso volumétrico del grano	
	Coeficiente	Probabilidad	Coeficiente	Probabilidad
Floración masculina	0.00	0.073	0.14	0.52
Floración femenina	0.23	0.27	0.23	0.28
Humedad del grano	0.17	0.42	0.06	0.57
Altura de planta	0.24	0.26	0.01	0.94

*Correlación significativa ($P \leq 0.05$).

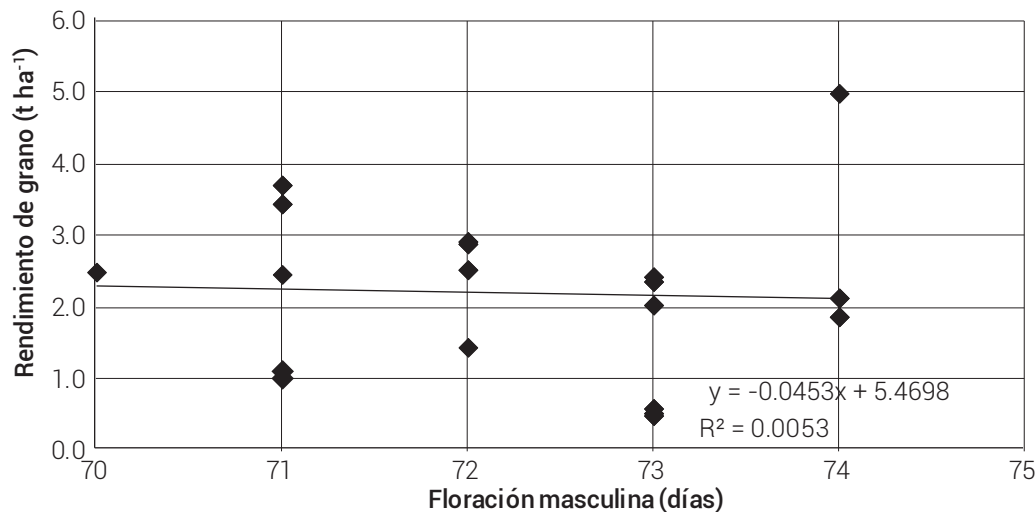


Figura 1. Regresión lineal simple para las variables rendimiento de grano y días a floración masculina.

los ciclos de selección menos avanzados. Sobresalieron estadísticamente ocho variedades experimentales en rendimiento de grano, superando en 109 % a la variedad criolla testigo por la variedad experimental V1A. En las características de calidad de grano se encontraron diferencias significativas, dando lugar a algunas variedades sobresalientes, de acuerdo con el peso volumétrico del grano, peso de 200 granos y humedad de grano.

BIBLIOGRAFÍA

Arellano V. J. L. C. Tut C., A. María R., Y. Salinas M. y O. R. Taboada G. (2003) Maíz azul de los Valles Altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26:101-107, <https://doi.org/10.35196/rfm.2003.2.101>

Bern C. and T. J. Brumm (2009) Grain test weight deception. Extension and Outreach, Iowa State University. Ames, Iowa, USA. 3 p.

Bolaños J. and G. O. Edmeades (1996) The importance of the anthesis silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research* 48:65-80, [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00036-6](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00036-6)

Coutiño E. B. y G. Vázquez C. (2018) V238AC: nueva variedad de maíz de grano amarillo QPM. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.

9:1089-1092, <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1513>

Coutiño E. B., N. Gómez M., D. Rincón E. y L. D. Morales H. (2019) Recursos genéticos y mejoramiento. Selección recurrente para formar una variedad mejorada de maíz amarillo. *In: Memoria Reunión Nacional de Investigación Agrícola*. Volumen 1. J. Urestigue G. (comp.). Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 23-26 Octubre 2019. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ciudad de México, México. pp:401-404.

Coutiño E. B., C. Cruz V., N. O. Gómez M., J. M. Hernández C., F. C. Cruz C., V. A. Vidal M. y C. E. Aguilar J. (2021) Diversidad Fenotípica de Razas de Maíz Cultivadas en Chiapas, México. Libro Técnico No. 14. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. 302 p.

Coutiño E. B., G. Vázquez C. y V. A. Vidal M. (2022) V56AC, Primera variedad de maíz olotón QPM de grano amarillo para los Valles Altos de Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45:149-151, <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.149>

Coutiño-Estrada B., N. O. Gómez-Montiel, G. Vázquez-Carrillo y V. A. Vidal-Martínez (2014) 'V-560', nueva variedad precoz de maíz para regiones tropicales. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 37:187-188, <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.2.187>

Díaz-Juárez R. C., F. Castillo-González, A. Santacruz-Varela, N. Gómez-Montiel, J. J. García-Zavala y A. Muñoz-Orozco (2023) Aptitud combinatoria de variedades y heterosis de cruas intervarietales divergentes de maíz de grano amarillo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10:e3790, <https://doi.org/10.19136/era.>

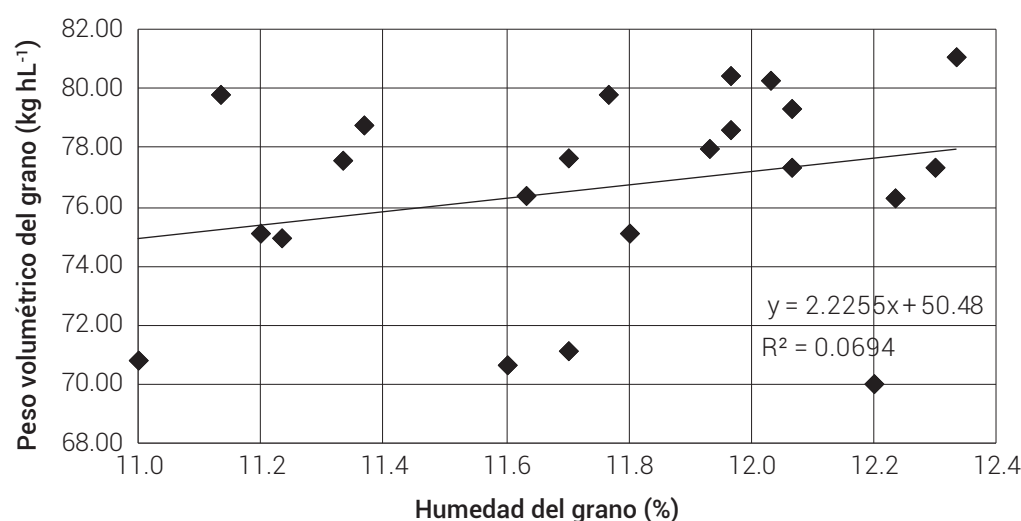


Figura 2. Regresión lineal simple para las variables humedad de grano y peso volumétrico del grano.

- a10n3.3790
- Espinosa C. A., M. Tadeo R., N. Gómez M., M. Sierra M., J. Virgen V., A. Palafox C., ... y R. Valdivia B. (2010) V-54 A, nueva variedad de maíz de grano amarillo para siembras de temporal retrasado en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1:677-680.
- Espinosa C. A., M. Tadeo R., N. Gómez M., M. Sierra M., J. Virgen V., A. Palafox C., ... e I. González R. (2011) 'V 55 A', Variedad de maíz de grano amarillo para los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnica Mexicana* 34:149-150, <https://doi.org/10.35196/rfm.2011.2.149>
- Espinosa-Calderón A., M. Tadeo-Robledo, A. Turrent-Fernández, M. Sierra-Macías, N. Gómez-Montiel y B. Zamudio-González (2013) Rendimiento de variedades precoces de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana* 24:93-99.
- García E. (2004) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. Quinta edición. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. 98 p.
- García-Pacheco A. D. y C. López-Castañeda (2002) Temperatura base y tasa de extensión foliar en maíz. *Revista Fitotecnica Mexicana* 25:381-386, <https://doi.org/10.35196/rfm.2002.4.281>
- Hernández-Galeno C. A., J. L. Ramírez-Díaz, R. E. Preciado-Ortiz, N. O. Gómez-Montiel, F. Aragón-Cuevas, B. J. Coutiño-Estrada, ... y E. Cruz-Cruz (2024) Variedades e Híbridos de Maíz (*Zea mays* L.) del INIFAP. Libro Técnico No. 6. Oficinas Centrales, Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ciudad de México, México. 181 p.
- Ibarra S. E., A. Castillo G., M. E. Núñez V., M. Andrade R. y F. Perdomo R. (2020) Caracterización de la respuesta a la sequía de líneas segregantes de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11:1511-1524, <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2196>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017) Anuario estadístico y geográfico de Chiapas 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. 739 p.
- Martínez-Gutiérrez A., B. Zamudio-González, M. Tadeo-Robledo, A. Espinosa-Calderón, J. C. Cardoso-Galvão y M. G. Vázquez-Carrillo (2022) Rendimiento de híbridos de maíz en respuesta a la fertilización foliar con bioestimulantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13:289-301, <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2782>
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017) Maíz Grano Blanco y Amarillo Mexicano. Planeación Agrícola Nacional. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Ciudad de México. 22 p.
- SAS Institute (2011) SAS/STAT® 9.3 User's Guide. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 8621 p.
- Shim D., K. J. Lee and B. W. Lee (2017) Response of phenology- and yield-related traits of maize to elevated temperature in a temperate region. *The Crop Journal* 5:305-316, <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.01.004>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/ (Noviembre 2024).
- SMN, Servicio Meteorológico Nacional (2024) Normales climatológicas por estado. Chiapas. Servicio Meteorológico Nacional. Ciudad de México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado?estado=chis> (Enero, 2023).
- Soto F., R. Plana y N. Hernández (2009) Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*) y triticale (*x Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento. *Cultivos Tropicales* 30:32-36.
- Tadeo R. M., A. Espinosa C., I. Arteaga E., V. Trejo P., M. Sierra M., R. Valdivia B. y B. Zamudio G. (2012) Productividad de variedades precoces de maíz de grano amarillo para Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:1417-1423, <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1347>
- Tadeo-Robledo M., A. Espinosa-Calderón, R. Guzmán-Máximo, A. Turrent Fernández, J. Zaragoza-Esparza y J. Virgen-Vargas (2015) Productividad de híbridos varietales de maíz de grano amarillo para valles altos de México. *Agronomía Mesoamericana* 26:65-72 <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16921>
- Vázquez-Carrillo M. G., R. E. Preciado-Ortiz, R. Santiago-Ramos, N. Palacios-Rojas, A. Terrón I. y A. Hernández-Calette (2018) Estabilidad del rendimiento y calidad de grano y tortilla de nuevos híbridos de maíz con valor agregado para el subtrópico de México. *Revista Fitotecnica Mexicana* 41:509-518, <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4-A.509-518>