

## Riego por gravedad tecnificado en híbridos de maíz para Valles Altos

Homero Alonso-Sánchez<sup>1</sup>  
Margarita Tadeo-Robledo<sup>1,5</sup>  
Alejandro Espinosa-Calderón<sup>2</sup>  
Consuelo López-López<sup>1</sup>  
Israel Arteaga-Escamilla<sup>1</sup>  
Jessica Guadalupe Martínez-Martínez<sup>1</sup>

1 Ingeniería Agrícola-Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, Col. San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México. CP. 54700.

2 Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56250.

Autora para correspondencia: [tadeorobledo@yahoo.com](mailto:tadeorobledo@yahoo.com).

### Resumen

El diseño técnico del riego por gravedad representa la oportunidad para el ahorro de agua y es una opción en condiciones de escasez para mejorar la producción del cultivo de maíz. El objetivo de este trabajo consistió en evaluar el efecto de tres condiciones de manejo de humedad en las variables agronómicas de híbridos de maíz blanco para los Valles Altos del Centro de México. El diseño experimental consistió en un arreglo factorial de 10 híbridos (G1-G10) bajo tres condiciones de humedad (H), riego tradicional (H1), riego tecnificado (H2) y secano (H3) en un diseño de tres bloques completos al azar, establecidos en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México en Cuautitlán Izcalli, Estado de México. La media general del rendimiento de grano fue de 8.28 t ha<sup>-1</sup> con utilidad del agua de 1.5 kg m<sup>-3</sup>; bajo el riego tradicional presentó 7.9 t ha<sup>-1</sup> y 1.2 kg m<sup>-3</sup>, el riego tecnificado con 8.6 t ha<sup>-1</sup> y 1.4 kg m<sup>-3</sup>, en secano 8.26 t ha<sup>-1</sup> y 1.8 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente. El híbrido CUXI PUMA resultó con la mayor productividad (9.95 t ha<sup>-1</sup> y 1.7 kg m<sup>-3</sup>). Bajo el riego tecnificado se presentó el rendimiento mayor, no obstante, bajo secano, los híbridos mostraron utilidad del agua mayor. En condiciones de restricción de agua conviene producir maíz bajo secano debido a que el riego no incrementó significativamente el rendimiento, esto se esperaría en condiciones edáficas y climáticas similares a las de este experimento.

### Keywords:

*Zea mays*, productividad marginal del agua, secano.



## Introducción

En el país, el método de riego por gravedad predomina en la agricultura bajo riego (Flores-Gallardo *et al.*, 2014; Mendoza-Pérez *et al.*, 2016) y se vislumbra que su uso siga predominando en los próximos años (Shmulik, 2023), pues se aplica en más del 80% de la superficie irrigada. Este método de riego se aplica en el cultivo de maíz (Mendoza-Pérez *et al.*, 2016) y actualmente comprende más del 85% de la superficie sembrada de este cultivo bajo irrigación.

La naturaleza del riego por gravedad implica baja eficiencia por los tiempos de oportunidad diferidos a lo largo de los surcos, idealmente, el tiempo de traslado debe ser del 25% del tiempo total de riego, lo que se controla con el caudal aplicado por surco (Rosano-Méndez *et al.*, 2001; Mendoza-Pérez *et al.*, 2016; Prado-Hernández *et al.*, 2017).

La producción de maíz bajo riego en México, por la superficie sembrada, consume cerca del 40% del agua destinada a la agricultura, por lo tanto, las acciones de tecnificación del riego en este cultivo representan un impacto en la seguridad hídrica y alimentaria, pues se trata del cultivo principal en el país y su riego presenta eficiencias bajas en el uso del agua a nivel parcelario. En ese sentido, el manejo eficiente del riego en el maíz propicia un aporte a la agricultura sostenible (Flores-Gallardo *et al.*, 2014; Inzunza-Ibarra *et al.*, 2018; Guzmán-Luna *et al.*, 2023).

La tecnificación del riego se aplica en el cultivo de granos como el maíz por su amplia distribución en México y porque es el principal insumo de la alimentación en el país (Inzunza-Ibarra *et al.*, 2018; Tadeo-Robledo *et al.*, 2022a; Guzmán-Luna *et al.*, 2023).

El rendimiento del maíz es sensible al déficit de agua en el suelo en la etapa de la floración femenina, y es susceptible cuando se establece bajo secano, ya que la disponibilidad de agua es de forma aleatoria. El riego tradicional emplea observaciones cualitativas para determinar el momento del riego, así también es susceptible a un déficit durante la etapa crítica (Rosano-Méndez *et al.*, 2001; Flores-Gallardo *et al.*, 2014), en cambio, bajo el riego tecnificado se identifica la evolución de la humedad en el suelo para regar de forma oportuna (Prado-Hernández *et al.*, 2017).

En el contexto actual de escasez de agua en los sistemas de irrigación y falta de autosuficiencia en producción de maíz que limitan la seguridad hídrica y alimentaria (Guzmán-Luna *et al.*, 2023), es necesario realizar estudios de las condiciones hídricas relacionadas con la producción de grano de maíz. En este contexto, el objetivo del estudio fue definir el desempeño de 10 híbridos de maíz bajo tres condiciones de manejo de la humedad. La hipótesis consistió en que, si se tecnifica el riego, entonces, al menos en un híbrido se reduce la cantidad de agua aplicada sin afectar negativamente el rendimiento de grano e incrementando el uso del agua.

## Materiales y métodos

### Sitio experimental

El experimento se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano del año 2022 en el campo experimental (Rancho Almaraz) de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en Cuautitlán Izcalli, Estado de México, ubicado a 2 253 msnm en las coordenadas 19° 41' 48" latitud norte y 99° 11' 36" longitud oeste.

### Condiciones climáticas y edáficas

En la FES-C, UNAM las normales de precipitación y temperatura media son 647 mm y 15.4 °C. Durante el experimento se presentaron 462 mm y 16.6 °C, respectivamente. La evapotranspiración del cultivo, estimada en 342 mm a partir del enfoque del coeficiente del cultivo, no superó la precipitación observada, en cambio la evapotranspiración real a partir del lisímetro de pesada fue de 514 mm. La estimación de los requerimientos se realizó a partir del balance hídrico diario donde se consideró la precipitación.

El suelo en Cuautitlán es predominantemente franco arcilloso, presenta conductividad hidráulica alta ( $K_s = 3.4 \text{ cm h}^{-1}$ ), humedad aprovechable (HA) de 10.4%, punto de saturación de 46%, densidad aparente de  $1.11 \text{ g cm}^{-3}$ , baja pedregosidad (<1%) y buena fertilidad como un efecto residual de las aplicaciones anuales.

## Riego

El agua para el riego proveniente de la presa Guadalupe, se aplicó en los surcos empleando sifones en los tratamientos tradicional y tecnificado, donde la pendiente topográfica en sentido longitudinal fue de 0.2% y separación de 0.8 m. En el tratamiento de riego tradicional se aplicaron en total 207.5 mm en dos riegos, cuando las plantas mostraron síntomas de marchitamiento foliar. Para el riego tecnificado, las láminas de riego se definieron a partir del balance hídrico diario y se aplicaron en total 165 mm en dos riegos. El gasto y tiempo de riego se identificaron con el algoritmo de Rigrav 3.0 desarrollado por Rendón *et al.* (2017).

El software se alimentó con datos de las características del suelo en la profundidad 0-0.3 m, la humedad inicial se determinó con el medidor de humedad de suelo TDR-350 spectrum, el contenido de humedad a saturación identificado en laboratorio, la conductividad hidráulica medida con infiltrómetro de disco y la succión del frente de mojado a partir de los valores tabulados reportados por Rendón *et al.* (2017); Prado-Hernández *et al.* (2017).

La conductividad hidráulica, el punto de saturación y la succión del frente de mojado se calibraron como lo indican Rendón *et al.* (2017). Además, el software se alimentó con los parámetros calibrados del modelo de infiltración a partir de evaluaciones de las fases del riego que se realizaron en la misma parcela. El procedimiento de evaluación y diseño se realizó con base en Rosano-Méndez *et al.* (2001); Flores-Gallardo *et al.* (2014).

Las características del suelo para el riego tecnificado resultaron con un contenido de humedad inicial de  $0.07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , contenido a saturación  $0.51 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , capacidad de campo  $0.26 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , conductividad hidráulica  $3.3 \text{ cm h}^{-1}$  y succión del frente de mojado de 83 cm. La lámina de riego de diseño de 10.3 cm a los surcos de 65 m con 0.2% de pendiente longitudinal. El caudal unitario resultó de  $4.1 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$  y con el ancho de surco de 0.8 m el caudal aplicado fue  $3.2 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$  con el tiempo de riego de diseño de 46.9 min.

El caudal aplicado a los surcos se controló por medio de sifones de polietileno de dos pulgadas, previamente calibrados en laboratorio, en los que se estableció la carga necesaria para aportar el caudal requerido durante el tiempo de riego que resultó del diseño.

## Genotipos y diseño experimental

El diseño experimental se conformó a partir del factor genotipo (G) con 10 genotipos de maíz (G1-G10), cinco híbridos trilineales obtenidos en la UNAM: TSIRI PUMA (Tadeo *et al.*, 2016), TLAOLI PUMA (Tadeo-Robledo *et al.*, 2022 a), ATZIRI PUMA (Tadeo-Robledo *et al.*, 2022 b), IXIM PUMA y CUXI PUMA, tres generados en el CEVAMEX-INIFAP, dos híbridos trilineales: H-49 AE (Espinosa-Calderón *et al.*, 2022) y H-53 AE; un híbrido de cruce doble: H-50 (Espinosa-Calderón *et al.*, 2003), un híbrido trilineal experimental 246 x 242 x MIA46 y la variedad Cedillo. Todos son materiales para la región agroecológica de los Valles Altos de México.

En varios de estos materiales, en su conformación, cuentan con fuente de germoplasma del material latente, generado por el ingeniero Gilberto Palacios de la Rosa (Espinosa-Calderón *et al.*, 2003; Villalobos-González *et al.*, 2023). El otro factor fue el manejo de humedad (H) con riego tradicional (H1), riego tecnificado (H2) y secano (H3). El experimento factorial en bloques completos al azar se estableció con tres repeticiones, la combinación de los niveles de los factores 10G x 3H resultó con 30 tratamientos y 90 parcelas elementales. Los tratamientos completos se aleatorizaron en cada bloque en unidades experimentales (UE) de 5 m de longitud y 0.8 m de ancho.

## Labores de manejo

El maíz se sembró el 13 de junio de 2022 de forma manual ajustando a una densidad de 70 000 plantas ha<sup>-1</sup>. El contenido de humedad volumétrico presentó 9.2%, al día siguiente de la siembra se presentó lluvia, por lo que no se aplicó riego, y presentó humedad del 12%, cuatro días después de la siembra (dds) la humedad se incrementó a 24.8% (promedio de una muestra sistemática de 16 observaciones con el TDR 350 spectrum).

La fertilización edáfica fue con la fórmula 80-40-00 en una sola aplicación utilizando urea y fosfato diamónico granulados. Las arvenses se controlaron con dos aplicaciones a los cinco y 40 dds con la mezcla atrazina (2 kg ha<sup>-1</sup>), S-metolaclor (1 L ha<sup>-1</sup>) y mesotrione (1.5 L ha<sup>-1</sup>).

## Variables respuesta

Se determinaron con la medición de variables en campo, la altura de planta (AP) y de mazorca (AM). En la cosecha, 190 dds se colectaron todas las mazorcas de cada parcela experimental, para obtener su peso de campo (PC). Se tomó una muestra de cinco mazorcas al azar de cada UE para caracterizarlas y realizar las determinaciones de laboratorio.

En el laboratorio se caracterizaron las mazorcas a partir de su longitud (LM) medida con flexómetro, su diámetro (DM) obtenido con un vernier, número de hileras (HM), número de granos por hileras (GH), contando manualmente, granos por mazorca (GM) con el producto HM x GH. El rendimiento (REN) se determinó por medio de la fórmula:  $REN = (P \cdot MS \cdot \%G \cdot FC) / 8600$ . Donde; P= peso de las mazorcas cosechadas en la UE, en kg; MS= porcentaje de materia seca, se determinó restando el contenido de humedad al peso del grano húmedo; %G= porcentaje de grano, se obtuvo pesando el grano de las cinco mazorcas desgranadas y relacionándolo con el peso de las mazorcas con olote; FC= factor de conversión, se determina con el cociente de la superficie de una hectárea entre el tamaño de la UE en m<sup>2</sup>; 8 600= constante para estimar el rendimiento con humedad del 14%.

El uso del agua (UA) se determinó con la fórmula:  $UA = REN / L$ . Donde: REN= rendimiento de grano en kg y L= lámina de agua que ingresó en cada tratamiento, calculada con la suma de la precipitación más la lámina de riego aplicada. El análisis de varianza y la revisión de sus preceptos se realizó en el Software SAS 9.0 (SAS Inc., 2002) para conocer el efecto e interacciones de los factores ( $p < 0.05$ ), con el mismo nivel de significancia se condujeron las pruebas de medias por efectos simples o interacciones empleando el método de Tukey.

## Resultados y discusión

El factor genotipo presentó efecto altamente significativo ( $p < 0.01$ ) en AP y AM, DM, HM, GM, REN y UA y efecto significativo en GH. El factor humedad solamente presentó efecto estadístico altamente significativo en uso del agua (Cuadro 1). Los resultados en este sentido son similares al trabajo de Mendoza-Pérez *et al.* (2016) en un estudio sobre el manejo de la humedad en experimentos con maíz. La interacción de los factores se presentó con efecto estadístico altamente significativo para AM e HM; además, el efecto fue estadísticamente significativo para DM y GM.

**Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia de la respuesta de 10 genotipos de maíz bajo tres tratamientos de manejo de humedad en Valles Altos de México. Ciclo primavera-verano, 2022.**

FV	REN	AP	AM	LM	DM	HM	GH	GM	UA
Bloque	3.2	532.8	311.5	0.3	0.1	2.3	2.1	5083	0.08
G	15.2**	1 346.9**	1620.5**	2.2	0.2**	6.5**	16.6*	13196.2**	0.5**
H	2.9	133.3	16.2	1.1	0.1	2.4	10.1	8308.9	2.8**
GxH	3.3	311.6	504.7**	1.5	0.1*	4.4**	9.3	8323.9*	0.1
Media	8.3	198.8	91.3	15.1	4.6	15.7	31.3	491.7	1.5
CV	18.4	5.5	14.9	8.1	5.1	8.7	8.6	13.6	18.2

\* =  $p \leq 0.05$ ; \*\* =  $p \leq 0.01$ ; REN= rendimiento de grano; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca; HM= hileras por mazorca; GH= granos por hilera; GM= granos por mazorca; UA= uso del agua; G= genotipo; H= humedad; GxH= interacción genotipo por humedad; CV= coeficiente de variación.

El rendimiento promedio de grano fue de  $8.28 \text{ t ha}^{-1}$  y el uso del agua fue de  $1.5 \text{ kg m}^{-3}$ , se destaca que el rendimiento fue sobresaliente, no así el uso del agua, ya que fue menor al que reportaron Robaina *et al.* (2015) de  $1.7 \text{ kg m}^{-3}$  y López-Hernández *et al.* (2019) de  $1.8 \text{ kg m}^{-3}$ . No obstante, el uso del agua fue próximo a  $1.6 \text{ kg m}^{-3}$  reportado como valor óptimo por Inzunza-Ibarra *et al.* (2018).

Las medias generales de las variables evaluadas fueron menores a las que reportaron Alonso-Sánchez *et al.* (2023), para híbridos evaluados en los Valles Altos bajo punta de riego, donde la precipitación superó los 669.5 mm que presentó el tratamiento con mayor disponibilidad de agua de este estudio.

En los resultados con valores medios menores, también está implicado el efecto de la humedad de secano, debido a que el déficit de agua limita la expresión de los híbridos como lo reportaron Castellanos *et al.* (2019); Alonso-Sánchez *et al.* (2022). Los coeficientes de variación fueron homogéneos y se relacionan con el control experimental (Cuadro 1).

### Comparación de medias entre el manejo de humedad

El uso del agua fue mayor en secano con  $1.8 \text{ kg m}^{-3}$  como una respuesta a la disponibilidad menor de agua y rendimiento aceptable, en cambio, el riego tradicional presentó el uso de agua menor con  $1.2 \text{ kg m}^{-3}$ , lo que propició una menor producción de grano con relación al volumen de agua, lo que se relaciona con el manejo empírico del riego donde se presentan pérdidas de agua como lo refieren Rosano-Méndez *et al.* (2001) y Mendoza-Pérez *et al.* (2016).

El mejor uso del agua en los híbridos evaluados se presentó bajo secano, debido a que esta variable presenta una respuesta diferencial no lineal para los gradientes de disponibilidad de humedad, por lo que existe un uso máximo para una cantidad óptima de agua, lo que matemáticamente corresponde con el valor de la pendiente máxima de una función que relaciona el rendimiento y la cantidad de agua total empleada.

El rendimiento de grano en los tres tratamientos no presentó diferencia estadística y fue similar en los tres casos a la media nacional de maíz bajo riego que se reporta con un valor de  $8.7 \text{ t ha}^{-1}$  (SIAP, 2024). El menor rendimiento fue bajo el riego tradicional con  $7.96 \text{ t ha}^{-1}$  y representó una diferencia de  $0.63 \text{ t ha}^{-1}$  con respecto al rendimiento mayor  $8.6 \text{ t ha}^{-1}$  expresado bajo el riego tecnificado, la diferencia sólo fue de  $0.34 \text{ t ha}^{-1}$  entre el tecnificado y secano ( $8.26 \text{ t ha}^{-1}$ ); estos resultados son similares a los que reportaron Fernández-Ortiz *et al.* (2022) donde destacaron los resultados de riego respecto al manejo bajo secano.

El rendimiento de grano bajo secano no fue diferente estadísticamente a los otros tratamientos, en cambio, el volumen de agua total fue inferior, lo que coincide con lo reportado por Montesillo-Cedillo (2016), donde la producción de maíz bajo secano presentó un menor costo social y ambiental en términos de agua.

Los resultados de riego coinciden con lo que reportaron Rosano-Méndez *et al.* (2001) donde el riego tecnificado no presentó diferencia estadística, pero fue superior en hasta  $0.3 \text{ t ha}^{-1}$  con respecto al riego convencional, además de representar un ahorro de agua del 37%. En este trabajo, la diferencia en lámina fue de 42.5 mm lo que representó un ahorro del 6.4% de agua al aplicar tecnificación. Flores-Gallardo *et al.* (2014) encontraron diferencia cuando aplicaron riego por gravedad tecnificado en maíz con respecto al riego por gravedad tradicional, en este caso, se aplicaron variantes de manejo como el riego mediante surcos alternos, lo que mejoró los indicadores de eficiencia parcelaria. La relevancia de estos resultados para los Valles Altos permite tomar decisiones informadas sobre la tecnificación del riego de uno de los principales cultivos de la región.



## Comparación de medias entre genotipos

Las medias entre genotipos presentaron diferencias estadísticas como efecto simple en algunas variables. La AP fue mayor en la variedad Cedillo con 2.2 m, en cambio, el híbrido ATZIRI PUMA presentó la altura menor con 1.85 m. El número mayor de granos por hilera lo presentó el híbrido H-50 (34 granos) (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Comparación de medias de las variables por efecto simple del factor genotipo en el ciclo primavera-verano 2022a.**

Genotipo	AP (cm)	GH	REN (t ha <sup>-1</sup> )	UA (kg m <sup>-3</sup> )
Variedad Cedillo	224a	30ab	5.81c	1c
H-49 AE	198bc	32ab	8.83ab	1.5ab
H-53 AE	204ac	32ab	8.99ab	1.5ab
H 50	212ab	33a	9.93a	1.7a
(246 x 242) x MIA46	201bc	32ab	8.12ac	1.4ab
TSIRI PUMA	189c	30ab	7.43bc	1.3bc
TLAOLI PUMA	188cd	31ab	8.95ab	1.5ab
ATZIRI PUMA	185c	29b	7.33bc	1.3bc
IXIM PUMA	192bc	32ab	7.44bc	1.3bc
CUXI PUMA	194bc	32ab	9.95a	1.7a
DSH	22	4.19	2.36	0.41

Las medias con la misma letra, por variable, son iguales estadísticamente (Tukey,  $p < 0.05$ ); AP= altura de planta; GH= granos por hilera; REN= rendimiento de grano; UA= uso del agua; DSH= diferencia honesta significativa.

El rendimiento de grano y uso del agua se comportaron de forma similar al ser variables con relación directa. Las medias mayores las presentaron los híbridos IXIM PUMA y H-50, ambos con 9.9 t ha<sup>-1</sup> y 1.7 kg m<sup>-3</sup>, en cambio, la variedad Cedillo, presentó 5.8 t ha<sup>-1</sup> y 1 kg m<sup>-3</sup>. La mayor productividad que se presentó en el estudio fue superior al valor óptimo que reportaron Inzunza-Ibarra *et al.* (2018) y se relaciona con el potencial productivo de los híbridos IXIM PUMA y H-50 en los Valles Altos como lo reportaron Espinosa-Calderón *et al.* (2022).

Algunas variables como el número de granos por hilera se correlacionan de forma positiva con el rendimiento y por lo tanto con el uso del agua. Las diferencias que se presentaron entre los híbridos se deben a su conformación genética y a las condiciones que prevalecieron en el experimento como una expresión genotipo-ambiente (Fernández-Ortiz *et al.*, 2022).

## Medias de las interacciones

La interacción significativa híbrido por manejo de humedad la presentó la mayor altura de mazorca (1.4 m) con la variedad Cedillo bajo seco, característica sobresaliente de esta variedad para condiciones de baja disponibilidad de agua, en cambio, el híbrido ATZIRI PUMA presentó la menor altura de mazorca (72 cm) bajo condiciones de riego tecnificado, lo que representa una ventaja, pues en condiciones de riego, si las plantas son altas, presentan mayor susceptibilidad al acame cuando el suelo se humedece como también lo reportaron Alonso-Sánchez *et al.* (2022).

El número de hileras por mazorca fue superior (18 hileras) para el híbrido trilineal experimental (246 x 242) x MIA46 bajo riego tradicional, en cambio, fue menor para el mismo híbrido en riego tecnificado (12 hileras). Esta respuesta indica un comportamiento diferencial para este híbrido según la disponibilidad de humedad. El diámetro de mazorca fue superior (4.9 cm) para el H-50 bajo seco y el menor fue (4 cm) para el híbrido trilineal experimental con riego tecnificado, esta respuesta contraviene los diámetros mayores en condiciones de riego que reportaron Castellanos *et al.* (2019) para híbridos de maíz del Bajío.

Las interacciones de las variables del Cuadro 3 se relacionan con la cantidad total de agua que ingresó en cada tratamiento y su determinación al interactuar con los genotipos (Alonso-Sánchez *et al.*, 2023). Las interacciones no presentaron significancia en el rendimiento y uso del agua de los híbridos, lo que indicó su estabilidad en la producción cuando se someten a gradientes de disponibilidad de humedad en el mismo ambiente como también lo reportaron Mendoza-Pérez *et al.* (2016); sin embargo, los diferenciales de manejo del agua representan una oportunidad para reducir la cantidad de agua en el caso de los híbridos bajo riego, lo cual se debe verificar con más investigaciones relacionadas al riego deficitario empleando los mismos genotipos, de ser posible.

La producción de híbridos en condiciones de secano representa una oportunidad para la producción sustentable de alimentos (Alonso-Sánchez *et al.*, 2022) debido a que el uso de presas o pozos es nulo.

**Cuadro 3. Comparación de medias de tres variables con interacción de los factores: híbridos de maíz y los manejos de disponibilidad de humedad en el ciclo primavera-verano 2022.**

Híbrido	AM (cm)			HM (no.)			DM (cm)		
	RC	RT	SEC	RC	RT	SEC	RC	RT	SEC
Cedillo	127ab	92bd	141a	14ac	15ac	13bc	4.3ac	4.5ac	4.1bc
H-49 AE	85bd	102ad	82cd	16ac	17ab	16ac	4.5ac	4.8ab	4.7ac
H-53 AE	99ad	95bd	90bd	16ac	17ab	16ac	4.4ac	4.8ac	4.7ac
H 50	111ad	94bd	106ad	17ac	16ac	17ab	4.8ab	4.8ab	4.9a
(246x242)xMIA4683cd		125ac	86bd	18a	12c	15ac	4.7ac	4c	4.6ac
TSIRI	79d	80d	82cd	17ac	14ac	16ac	4.8ac	4.5ac	4.5ac
PUMA									
TLAOLI	71d	87bd	80d	15ac	16ac	14ac	4.7ac	5a	4.4ac
PUMA									
ATZIRI	81d	72d	73d	16ac	16ac	17ac	4.6ac	4.6ac	4.4ac
PUMA									
IXIM	80d	85bd	87bd	14ac	14ac	16ac	4.4ac	4.8ab	4.6ac
PUMA									
CUXI	87bd	81cd	90bd	16ac	15ac	16ac	4.8ab	4.7ac	4.6ac
PUMA									
DSH		43.7			4.4			0.7	

AM= altura de mazorca; HM= hileras por mazorca; DM= diámetro de mazorca; HM= hileras por mazorca; DSH= diferencia significativa honesta; RC= riego convencional; RT= riego tecnificado y SEC= secano. Las medias con la misma letra dentro de las columnas de cada variable respuesta son iguales estadísticamente (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Los resultados de esta investigación podrían ser referencia para otros trabajos encaminados a contribuir a la seguridad hídrica y alimentaria de la producción de maíz, con la finalidad de identificar genotipos tolerantes a condiciones de déficit hídrico en un escenario de resiliencia a la variabilidad climática.

## Conclusiones

Los híbridos evaluados mostraron estabilidad en el rendimiento ya que algunos comparten progenitores en su estructura genética, a excepción de la variedad Cedillo que presentó el rendimiento más bajo. El cultivo de maíz bajo secano sigue siendo la opción con la cual se obtiene buena productividad, siempre que se tengan genotipos tolerantes a condiciones hídricas adversas.

En condiciones similares a las de este trabajo, resulta ser una alternativa para reducir los consumos de agua por riego y emplearla para otros usos, como el agua para consumo humano. Los híbridos no presentaron reducción en rendimiento respecto al riego convencional, en este experimento, teniendo en cuenta las condiciones edáficas, climáticas y de los genotipos.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el programa de apoyo a proyectos de investigación e innovación tecnológica (PAPIIT) clave: IA105122 y PAPIIT IT200122, de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGPA)-UNAM.

## Bibliografía

- 1 Alonso-Sánchez, H.; Tadeo-Robledo, M.; Espinosa-Calderón, A.; Zamudio-González, B.; Zaragoza-Esparza, J. y López-López, C. 2022. Water and agronomic evaluation of maize hybrids in response to different environments and nitrogen doses. *Agrociencia*. 56(1):1-12. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i1.2698>.
- 2 Alonso-Sánchez, H.; Tadeo-Robledo, M.; Espinosa-Calderón, A.; Zaragoza-Esparza, J.; López-López, C.; Zamudio-González, B.; Monter-Santillán, A.; Turrent-Fernández, A.; Arteaga-Escamilla, I. and Mora-García, K. 2023. El efecto de la densidad de población y la fertilización sobre la productividad del agua y rendimientos de híbridos de maíz en el Valle de México. *Terra Latinoamericana*. 41:1-15. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1577>.
- 3 Castellanos, J. Z.; Etchevers, B. J.; Peña, D. M.; García, H. S.; Ortiz-Monasterio, I.; Arango, G. A.; Macías, C. J. y Venegas, V. C. 2019. Cómo crece y se nutre una planta de maíz. *Fertilab*. Guanajuato, México. 124 p.
- 4 Espinosa-Calderón, A.; Tadeo-Robledo, M.; Lothrop, J.; Azpíroz-Rivero, S.; Tut-Couoh, C. y Salinas-Moreno, Y. 2003. H-50, híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos de México (2200 a 2600 msnm). *Agricultura Técnica en México*. 29(1):89-92.
- 5 Espinosa-Calderón, A.; Tadeo-Robledo, M.; Zamudio-González, B.; Turrent-Fernández, A.; Gómez-Montiel, N. y Sierra-Macias, M. 2022. H 49 AE: híbrido de maíz para Valles Altos de México con androesterilidad para producción de semillas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(7):1333-1338.
- 6 Fernández-Ortiz, C.; González-Prieto, S.; Silva-Oviedo, M. O. and Morel-López, E. 2022. Efecto del riego sobre las características agronómicas de diferentes híbridos de maíz. *Revista Científica de la UCSA*. 9(2):86-93. 10.18004/ucsa/2409-8752/2022.009.02.086.
- 7 Flores-Gallardo, H.; Sifuentes-Ibarra, E.; Flores-Magdaleno, H.; Ojeda-Bustamante, W.; and Ramos-García C. R. 2014. Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(2):241-252. 10.29312/remexca.v5i2.963.
- 8 Guzmán-Luna, L.; Quevedo-Nolasco, A.; Pascual-Ramírez, F.; Bolaños-González, M. A.; and Guzmán-Luna, J. R. 2023. Variación temporal de los requerimientos de riego en maíz método Rodionov en DR001, Pabellón, Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 14(5):52-65. 10.29312/remexca.v14i5.3084.
- 9 Inzunza-Ibarra, M. A.; Villa-Castorena, M. M.; Catalán-Valencia, E. A.; López-López, R.; and Sifuentes-Ibarra, E. 2018. Rendimiento de grano de maíz en déficit hídrico en el suelo en dos etapas de crecimiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 41(3):283-290. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.283-290>.
- 10 López-Hernández, M.; Arteaga-Ramírez, R.; Ruíz-García, A.; Vázquez-Peña, M. A. y López-Rosano, J. I. 2019. Productividad del agua normalizada para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en Chapingo, México. *Agrociencia*. 53(6):811-820.
- 11 Mendoza-Pérez, C.; Sifuentes-Ibarra, E.; Ojeda-Bustamante, W. and Macías-Cervantes, J. 2016. Response of surface-irrigated corn to regulated deficit irrigation. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. 8(1):29-40. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2016.03.001>.
- 12 Montesillo-Cedillo, J. 2016. Rendimiento por hectárea de maíz grano en México: distritos de riego vs temporal. *Economía Informa*. 398:60-74. 10.1016/j.ecin.2016.04.005.

- 13 Prado-Hernández, J. V.; Pascual-Ramírez, F.; Cristóbal-Acevedo, D.; Carrillo-García, M.; Hernández-Saucedo, F. R. and Martínez-Ruíz, A. 2017. Evaluation of green-ampt infiltration equation in some agricultural soils in México, using USDA information and a modified method from Brooks and Corey. *Interciencia*. 42(9):563-569.
- 14 Rendón, L.; Saucedo, H. y Fuentes, C. 2017. Diseño del riego por gravedad. *In: Fuentes, C. y Rendón, L. (eds). Riego por gravedad*. Ed. Universidad Autónoma de Querétaro, México. 325-362 pp.
- 15 Robaina, F. G.; Puebla, J. H.; Seijas, T. L.; Lazo, G. C.; Dios-Palomares, R.; Rueda, M. H.; Antón, W. S. y Soza, A. R. 2015. Uso de las funciones agua-rendimiento y la productividad agronómica del agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. 1(1):96-114.
- 16 Rosano-Méndez, L.; Rendón-Pimentel, L.; Pacheco-Hernández, P.; Etchevers-Barra, J. D.; Chávez-Morales, J. y Vaquera-Huerta, H. 2001. Calibración de un modelo hidrológico aplicado en el riego tecnificado por gravedad. *Agrociencia*. 35(6):577-588.
- 17 SAS Institute Inc. 2002. *Statistical Analysis System User's Guide*. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 956 p.
- 18 SIAP. 2024. Servicio de Información Alimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <http://www.siap.gob.mx/abril>.
- 19 Shmulik, P. F. 2023. Irrigation methods. Michael, J.; Goss and Oliver, M. Editor. *Encyclopedia of soils in the environment* Ed, Academic Press. 608-623 p. 10.1016/B978-0-12-822974-3.00138-5.
- 20 Tadeo-Robledo, M.; Espinosa-Calderón, A.; García-Zavala, J. J.; Lobato-Ortiz, R.; Gómez-Montiel, N. O.; Sierra-Macías, M.; Valdivia-Bernal, R.; Zamudio-González, B.; Martínez-Yañez, B.; López-López, C.; Mora-García, K. Y.; Canales-Islas, E. I.; Cárdenas-Marcelo, A. L.; Zaragoza-Esparza, J.; Alcántar-Lugo, H. J. 2016. Tsiri Puma, híbrido de maíz para Valles Altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 39(3):331-333.
- 21 Tadeo-Robledo, M.; Espinosa-Calderón, A.; Zaragoza-Esparza, J.; López-López, C.; Canales-Islas, E. I.; Zamudio-González, B.; Turrent-Fernández, A.; Virgen-Vargas, J.; Sierra-Macías, M.; Gómez-Montiel, N. O.; Mora-García, K. Y.; Meza, P. A. y Cárdenas-Marcelo, A. L. 2022a. Tlaoli Puma, híbrido de maíz para grano y forraje con androesterilidad y restauración de la fertilidad masculina. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 44(2):265-267.
- 22 Tadeo-Robledo, M.; Espinosa-Calderón, A.; Canales-Islas, E.; López-López, C.; Andrés-Meza, P.; Zamudio-González, B. 2022b. Atziri Puma: híbrido de maíz de grano blanco para Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(7):1339-1343. 10.29312/remexca.v13i7.2397.
- 23 Villalobos-González, A.; Benítez-Riquelme, I.; Castillo-González, F.; Mendoza-Castillo, M. D. C. and Espinosa-Calderón, A. 2023. Assessment of elongation of the mesocotyl-coleoptile and biomass in parents and crosses of corn seedlings of the high valleys of Mexico. *Seeds*. 2(4):449-473. 10.3390/seeds2040034.



## Riego por gravedad tecnificado en híbridos de maíz para Valles Altos

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 March 2025
Date accepted: 01 April 2025
Publication date: 17 May 2025
Publication date: Apr-May 2025
Volume: 16
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e3686
DOI: 10.29312/remexca.v16i3.3686
Funded by: UNAM
Award ID: IA105122 y PAPIIT IT200122

### Categories

Subject: Artículo

### Palabras clave:

#### Palabras clave:

Zea mays

productividad marginal del agua

secano

### Counts

Figures: 0

Tables: 3

Equations: 0

References: 23

Pages: 0