

## PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN MAÍZ MEDIANTE TÉCNICAS DE RIEGO POR GRAVEDAD DE ALTA EFICIENCIA

**Arnulfo Lugo-García<sup>1\*</sup>; Ernesto Sifuentes-Ibarra<sup>2</sup>; Waldo Ojeda-Bustamante<sup>3</sup>; Vladimir Ruiz-Pérez<sup>1</sup>; Jesús Del Rosario Ruelas-Islas<sup>1</sup>; Quintín Armando Ayala-Armenta<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. C.P. 81110. Avenida Japaraqui calle 16, Juan José Ríos, Sinaloa, México.

[arnulfo.lugo@uas.edu.mx](mailto:arnulfo.lugo@uas.edu.mx) – 6871390755 (\*Autor para correspondencia)

<sup>2</sup> INIFAP-Campo Experimental Valle del Fuerte. Carretera México-Nogales km 1609, Juan José Ríos, Sinaloa, México. Co.81110.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, 56230 Texcoco, México.

---

### Resumen

La producción de maíz en México durante el 2021 fue de 27 503 477.82 toneladas, conseguidas en una superficie de 7 309 546.20 de hectáreas, de las cuales el 74.9% utiliza riego por gravedad. Con este sistema de riego en el norte de Sinaloa se consigue una eficiencia del 45% del agua aplicada al suelo y el resto se desaprovecha al desplazarse fuera de la zona radical lo que genera una alta demanda para la producción. La disponibilidad hídrica para uso agrícola es afectada por la variabilidad de las precipitaciones ocasionada por el cambio climático, lo que obliga a recurrir a métodos que mejoren la eficiencia del riego sin afectar el rendimiento ante escenarios de baja disponibilidad hídrica. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar las técnicas de conservación de agua: riego por surcos alternos (RSA), riego por reducción de gasto (RDG), riego en camas (RCA), riego deficitario (RD) y un testigo (TES) con el riego tradicional en todos los surcos. Para la programación de riego se usó la plataforma IRRIMODEL que considera el concepto de días grados. La humedad del suelo se midió antes y después de los riegos de auxilio de 0-30 cm y 30-60 cm con un TDR-300. El RCA fue el que presentó mayor eficiencia en la productividad del agua.

**Palabras claves:** Disponibilidad hídrica, Tecnificación, Ahorro de agua.

### Introducción

El maíz es el cereal que más se produce en el mundo, considerándose la principal fuente de alimentación de millones de personas; se utiliza como alimento en animales y en la industria, se aprovecha para elaborar aceites, jarabe, harina o como biocombustible (Ortiz *et al.*, 2017). En México es un cultivo de importancia alimentaria, social, económico y cultural, la producción del grano se divide en blanco y amarillo, el primero se destina principalmente al consumo humano, mientras que el segundo a la industria o en la elaboración de alimentos balanceados para la producción pecuaria (Cuevas, 2014).

La producción de maíz en 2021 fue de 27 503 477.82 toneladas, mientras que la superficie sembrada en el mismo año fue de 7 309 546.20 de hectáreas. De la producción obtenida en México, Sinaloa aporta el 20.1%, Jalisco 14.3%, Estado de México 7%, Guanajuato 7%, Michoacán 6.9%, Chihuahua 5.4%, Guerrero 5.3%, Veracruz 4.6%, Chiapas 4.6%, Puebla 4.1% y el resto de los estados representan el 20.7% restante (SIAP, 2021). Uno de los factores más importantes que contribuyen a la productividad del cultivo es el riego. En este sentido, la encuesta nacional agropecuaria 2019 reportó que el 74.9% de la superficie sembrada en el país utiliza riego por gravedad; con esta técnica en el norte de Sinaloa se consigue una eficiencia de aplicación del 45 al 55%, y el resto del volumen se pierde fuera de la zona radical lo cual genera una alta demanda hídrica (Sifuentes *et al.*, 2015).

La disponibilidad del agua para uso agrícola es afectada por la variabilidad de las precipitaciones ocasionada por el efecto del cambio climático, de tal manera que los eventos de sequía son más frecuentes y prolongados (Flores *et al.*, 2013). Lo anterior requiere evaluar nuevas tecnologías que mejoren la eficiencia del riego, sin afectar el rendimiento ante estos nuevos escenarios.

La aplicación del riego por gravedad puede mejorar y aumentar su eficiencia al implementar técnicas de conservación de agua que logren reducir el estrés hídrico en el cultivo del maíz, tales como surcos alternos y camas (Bahrani & Pourreza, 2016), con los que se alcanza una eficiencia de aplicación del 83.65% comparado con el manejo convencional (Flores *et al.*, 2014). A pesar que existen estudios que demuestran los beneficios de estas tecnologías, no se ha logrado su adopción por los productores. En este trabajo se evaluaron las técnicas de conservación de agua: riego por surcos alternos, riego por reducción de gasto, riego deficitario y riego en camas en un híbrido de maíz de reciente incorporación al mercado, para contar con alternativas de mejora de la eficiencia del riego a nivel parcelario en el norte de Sinaloa.

## Materiales y Métodos

El estudio se estableció durante el ciclo agrícola otoño-invierno (OI) 2023-2024, en el Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) localizado en el norte de Sinaloa, México, con coordenadas geográficas de 25° 48' 39.6" latitud norte, 109° 01' 30" longitud oeste y a

15 msnm de altitud. Los suelos que predominan son de textura arcillosa (arena = 20, limo = 2 arcilla = 60), pobres en materia orgánica y sin problemas de sales solubles.

La siembra se realizó en seco el 12/12/23 usando el híbrido MX8639 con una densidad de 112,500 semillas ha<sup>-1</sup>, se marcó surcos con separación de 80 cm y 50 m de longitud. Los tratamientos evaluados fueron cuatro técnicas de riego: Reducción de gasto (REG), Surcos alternos (RSA), Riego en camas (RCA), Riego deficitario (RD) y el Testigo (TES).

**Cuadro 1.** Descripción de tratamientos

Tratamientos	Nombre	Clave	Descripción
1	Reducción de gasto	REG	Gastos altos con dos sifones hasta el 75% de avance del riego y se reduce el gasto a la mitad quitando un sifón.
2	Surcos alternos	RSA	Surcos normales separados a 80 cm donde se riega un surco, el cual se alterna en el siguiente riego. En floración se riega todos los surcos.
3	Camas	RCA	Unión de dos surcos para formar camas de 1.60 m de ancho y 20 cm de altura.
4	Testigo	TES	surcos normales de 80 cm de separación donde todos se riegan.
5	Riego deficitario	RD	Se reduce el aporte de agua en los riegos que no coinciden con la etapa fenológicas menos críticas sin llegar a estrés hídrico en la planta.

La humedad del suelo se midió con sensor portátil TDR -300 (spectrun ®) calibrado localmente, en dos profundidades de 0-30 y 0-60 cm. Las mediciones se realizaron antes y después de cada riego de auxilio. La determinación de lámina neta (Ln), lámina aplicada (Lb) y la eficiencia del riego se estimó con la Plataforma IriModel 3.0 (Sifuentes & Macías, 2015). El gasto (Q) y tiempo de riego (Tr) se ajustó con los datos de suelo, clima, híbrido, registrados en el campo al momento de la aplicación riego.

El muestreo para estimar el rendimiento fue de dos surcos con longitud de 5 m (8m<sup>2</sup>). La cosecha fue de manera manual, se contabilizó el número de mazorcas sanas y enfermas. El peso del grano se midió con una balanza Noval PTN de 3 kg y la humedad con medidor de granos MT-Pro. El rendimiento se ajustó al 14% de humedad.

Los análisis de los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza, y se usó el software estadístico Infostat para comparar las medias con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## Resultados y Discusión

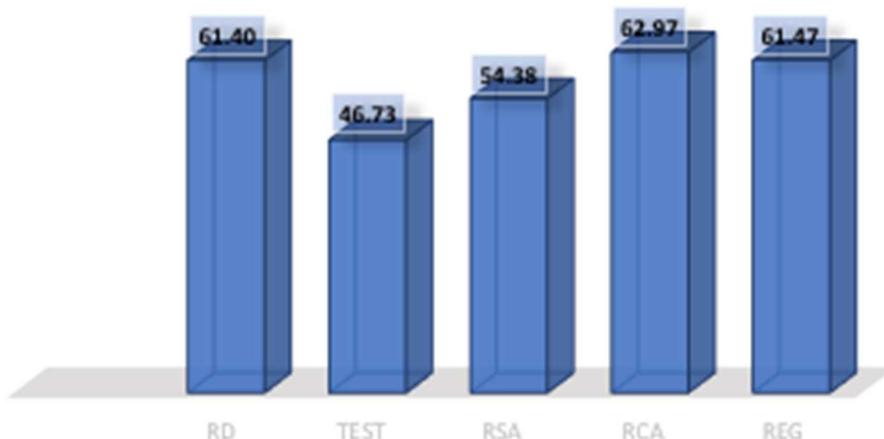
En los riegos de auxilio se obtuvo como mejor tratamiento el RCA que presentó un ahorro de lámina aplicada acumulada de 14.27 cm comparada con el TES al que se le aplicó 72.22 cm, el RD, REG Y RSA también muestran una reducción del volumen de agua aplicado es similar como el que reportó Flores *et al.* (2014).

**Cuadro 2.** Láminas de riego y eficiencias de aplicación

RIEGOS DE AUXILIO			
TRATAMIENTO	Ln (cm)	Lb (cm)	Ea (%)
RD	36.23	59.01	61.40
TES	33.75	72.22	46.73
RSA	33.75	62.06	54.38
RCA	36.49	57.95	62.97
REG	36.49	59.36	61.47

Se calculó la eficiencia de aplicación de las láminas de brutas para cada técnica de riego encontrándose que la mayor eficiencia fue con el RCA con un 62.97%, seguido de REG, RD y RSA, la menor eficiencia fue con el TES como lo obtenido por Sifuentes *et al.* (2015).

### EFICIENCIA DE APLICACIÓN (%)



**Figura 1.** Eficiencia de aplicación del riego

La mayor productividad del agua se logró con RGE con un valor de 2.6 kg por cada metro cubico, sin embargo, con el RCA se produce 2.4 kg pero con un ahorro de 4.11 cm de lámina de agua aplicada comparada con la técnica de RGE, lo que indica que esta se técnica puede utilizar en momentos de baja disponibilidad de agua sin afectar el rendimiento comparado con el riego tradicional.

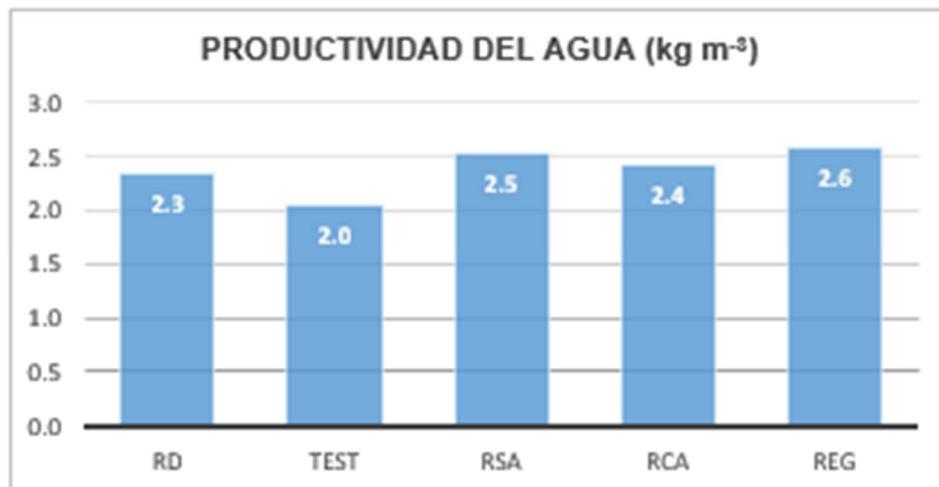


Figura 2. Productividad del agua en diferente técnica de riego.

## Conclusiones

En un escenario de baja disponibilidad de agua para el riego por gravedad en el cultivo del maíz en suelos de textura arcillosa es recomendable usar la técnica de riego por camas que mejora la eficiencia de aplicación, con ello se garantiza un ahorro aproximado del 22.95% de lámina bruta acumulada sin afectar el rendimiento comparado con el riego tradicional donde se riega todos los surcos.

## Referencias Bibliográficas

- Bahrani, A., & Pourreza, J. (2016). Efecto del riego deficitario y la fertilización potásica sobre la eficiencia en el uso del agua, rendimiento y contenido de ácidos grasos en semillas de colza. *Idesia (Arica)*, 34(2), 35-41.
- Cuevas-Mejía, J. D. J. (2014). Maíz: Alimento fundamental en las tradiciones y costumbres mexicanas.

Flores-Gallardo, H., Ojeda-Bustamante, W., Flores-Magdaleno, H., Sifuentes-Ibarra, E., y Mejía-Saénz, E. (2013) Simulación del rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en el norte de Sinaloa usando el modelo AquaCrop. *Agrociencia* (1996), 47(4), 347-359.

Flores-Gallardo, H., Sifuentes-Ibarra, E., Flores-Magdaleno, H., Ojeda-Bustamante, W., y 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.

Sifuentes-Ibarra, E., Macías-Cervantes, J., Ruelas-Islas, J. del R., Preciado-Rangel, P., Ojeda-Bustamante, W., Inzunza-Ibarra, M. A., y Samaniego-Gaxiola, J. A. (2015) Mejoramiento del grado de uso del nitrógeno en maíz mediante técnicas parcelarias de riego por superficie. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(8), 1903–1914.

Sifuentes-Ibarra, E., Ojeda-Bustamante, W., Macías-Cervantes, J., Mendoza-Pérez, C., y Preciado-Rangel, P. (2021) Déficit hídrico en maíz al considerar fenología, efecto en rendimiento y eficiencia en el uso del agua. *Agrociencia* (1996), 55(3), 209–226.

Sifuentes-Ibarra, E., y Macías-Cervantes, J. (2015) “IRRIMODEL” Programación Integral y gestión del riego a través de internet, manual de usuario versión 3.0. INIFAP-CTRNO-CEVAF. Publicación especial No. 45 Juan José Ríos, Sinaloa, México.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021) Información Estadística de la Producción Agrícola Mexicana. México. [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/) (Consulta: enero del 2023).

Ortiz-Rosales, Miguel Á., & Ramírez-Abarca, Orsohe. (2017). Proveedores e industrias de destino de maíz en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14(1), 61-82. Recuperado en 01 de octubre de 2024, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722017000100061&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722017000100061&lng=es&tlng=es).