



## MANEJO AGRONÓMICO DE SEQUÍAS EN DISTRITOS DE RIEGO (Aplicación al DR-075, Río Fuerte, Sinaloa)

Jaime Macías Cervantes<sup>1</sup>; Vladimir Ruiz Pérez<sup>2</sup>; Ernesto Sifuentes Ibarra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental Valle del Fuerte, Km 1609, México 15, 81110 Juan José Ríos, Sin.

vdyx@hotmail.com – 6681623643 (\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Agricultura del valle del Fuerte. Calle 16 s/n esq., Japaraqui, Juan José Ríos, 81110 El Estero, Sin.

### Resumen

A nivel mundial existe un escenario de baja disponibilidad de agua y un aumento en la demanda de producción que colocan a la agricultura de riego ante el reto de producir más con menor cantidad de agua. La sequía es considerada como un factor que limita la producción agrícola en zonas de riego, debido a esto, la adaptación de un cultivo a la restricción de humedad es un proceso que involucra la anatomía y morfología de la planta. En escenarios de baja disponibilidad de agua, se requiere de estrategias de manejo agronómico que permitan según las condiciones de cada distrito de riego manejar el riego deficitario. Información generada en la zona norte de Sinaloa fue validada en el ciclo agrícola otoño-invierno (OI) 2020-2021 en el área comprendida de la Asociación de Usuarios Productores Agrícolas (A.U.P.A.) Módulo de Riego Batequis II-3, Distrito de Riego 075. Se implementó un calendario de riego de tres riegos de auxilio adaptado a las restricciones de agua y características de suelo dando seguimiento y acompañamiento al productor de cada una de los 60 predios muestreados. Los resultados de acuerdo al muestreo indican una variación en rendimiento no significativa (5-6%) al relacionarse con las variables de fecha de siembra, días al primer riego de auxilio, lámina de riego total aplicada y trazo de riego, por lo que el esquema de tres riegos de auxilio es viable y de bajo impacto negativo en el rendimiento, siempre y cuando se atienda la metodología desarrollada de manejo agronómico para su implementación.

**Palabras claves:** Déficit hídrico, manejo agronómico, ahorro, rendimiento.



## **Introducción**

A nivel mundial existe un escenario de baja disponibilidad de agua y un aumento en la demanda de producción que obligan a la agricultura de riego producir más con menor cantidad de agua. En la actualidad el desarrollo de la agricultura bajo riego se ha visto afectado por la generalización e intensificación de la variabilidad climática (Gheysari et al., 2017), causando fenómenos como sequías que limitan la producción de cultivos.

La sequía es considerada como uno de los factores más importantes que limita la producción agrícola, debido a esto, la adaptación de un cultivo a la restricción de humedad es un proceso que involucra la anatomía y morfología de la planta (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995; Geerts y Raes, 2009; Steduto et al., 2012). Fisiológicamente las plantas presentan una respuesta al déficit hídrico que se manifiestan en la productividad por lo que la aplicación de cualquier estrategia para el manejo deficitario del riego implica un conocimiento previo de las respuestas fisiológicas y productivas del cultivo (Steduto et al., 2012).

El déficit hídrico es el principal factor ambiental que limita la fotosíntesis en las plantas y el rendimiento de los cultivos (Steduto et al., 2012). Existe un desafío en el cual la agricultura de riego debe a corto plazo implementar estrategias para mejorar de manera significativa el uso del agua (Cánovas, 2012; Martínez, 2013; Lagos et al., 2017).

En regiones áridas y semiáridas con disponibilidad limitada de agua resultan claramente insostenible los criterios de programación del riego enfocados a satisfacer únicamente las necesidades hídricas del cultivo dejando de lado la productividad del agua (Cánovas, 2012).

En escenarios de baja disponibilidad de agua, se requiere de estrategias de manejo agronómico que permitan según las condiciones de cada distrito de riego utilizar información relevante y confiable como el monitoreo de humedad del suelo, seguimiento fenológico del cultivo, fechas óptimas de siembra y textura del suelo, esto con la finalidad de analizar diferentes escenarios y prever conflictos bajo condiciones de escasez de agua, posteriormente se debe implementar y monitorear su operación.

Ensayos realizados por Sifuentes et al. (2021) en la zona norte del estado de Sinaloa, han implementado estrategias de uso racional del agua bajo escenarios de baja disponibilidad, resultados obtenidos muestran que para el caso del maíz (cultivo con mayor superficie establecida) la eliminación del quinto riego de auxilio no afecta de manera significativa (6%) el rendimiento para las condiciones y suelos predominantes de la zona. De acuerdo con Macías et al. (2015) y Sifuentes et al. (2021), un manejo del riego aplicado en función de la fenología utilizando la acumulación de calor o grados día desarrollo (GDD), resulta útil en escenarios de baja disponibilidad hídrica pudiendo realizar ajustes en los calendarios aumentando el porcentaje de abatimiento solo en etapas resistentes a estrés hídrico.

Según Mendoza et al. (2016) existen estrategias que permiten reducir la frecuencia del riego y la cantidad de agua aplicada a los cultivos con mínimos efectos en los



rendimientos convencionales si son validadas localmente, como la aplicación del riego deficitario en función del desarrollo fenológico. Sin embargo, se requiere complementar con otras variables como textura de suelo, fecha de siembra y pendiente del terreno.

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar y validar una metodología para el manejo agronómico de sequías en el cultivo de maíz mediante la aplicación de un calendario de riego deficitario a tres riegos de auxilio.

## **Materiales y Métodos**

### **Generación de la metodología**

La metodología se desarrolló en el Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la validación de la metodología se desarrolló en la A.U.P.A. Módulo de Riego Batequis II-3, ambos ubicados en la zona árida del norte del estado de Sinaloa, México, en las coordenadas 25° 45' 53" N y -108° 48' 46" O a 12 msnm en la ciudad de Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa.

Esta zona presenta una precipitación media anual de 352 mm, una temperatura media anual de 25 °C y suelos planos, profundos, sin problemas de sales y principalmente con texturas arcillosa y franco-arcillosa con humedad disponible en el rango de 0.143 a 0.155 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>. La fecha de siembra óptima para el cultivo en la zona es el 15 de noviembre con un rendimiento medio de 13.2 t/ha. El manejo del riego fue el mismo para todos los predios aplicando un riego pre-siembra y tres riegos de auxilio.

Utilizando como referencia los trabajos previos desarrollados en la zona de estudio, se realizó una revisión y análisis de los temas sobre el uso y manejo del agua específicamente sobre calendarios de riego, fechas de siembra, fenología de cultivos, monitoreo de humedad, estrés hídrico y GDD.

Con la información recabada se generó una metodología de manejo agronómico utilizando las variables de textura, fecha de siembra, calendario de riego con base en la fenología, abatimiento de la humedad aprovechable con base en la fenología, salinidad, eficiencia promedio de la aplicación del riego, trazo de riego, días al primer riego de auxilio y lámina de riego aplicada total, para aplicarse bajo condiciones de restricción de humedad (3 riegos de auxilio) para las características de suelo y clima de la zona de estudio.



## Estudios previos

A continuación, el **cuadro 1** presenta la información sobre los estudios desarrollados en la zona sobre el manejo del agua en el cultivo de maíz (Macías et al., 2015 y Sifuentes et al., 2021).

**Cuadro 1.** Antecedentes históricos de estudios realizados sobre calendarización y pronóstico del riego.

CICLO	Estudio	Descripción
2002-2003	Calendario de riego bajo pronóstico en tiempo real	Definición de calendario de riego en tiempo real mediante seguimiento fenológico y cálculo de GDD.
2002-2003	Calendario de riego y rendimiento de maíz	Se desarrolló un ensayo sobre la relación entre el número de riegos aplicados (2,3,4 y 5) y la disminución en porcentaje de rendimiento del cultivo.
2006-2007	Caracterización fenológica y tiempo térmico.	Se calcularon los GDD requeridos para cada una de las etapas fenológicas del cultivo de maíz.
2010-2011	Rendimiento de grano en maíz en función de la fecha de siembra	Se midió el rendimiento del grano en el cultivo de maíz según la fecha de siembra establecida.
2012-2013	Monitoreo de humedad con sensor TDR y gravimetría	Se calculó el porcentaje de abatimiento de humedad en tratamientos de 2, 3, 4 y 5 riegos de auxilio mediante el monitoreo con sensor TDR y gravimetría.
2012-2013	Requerimiento de riego en maíz grano según fecha de siembra.	Se estimó el requerimiento de riego para el cultivo de maíz bajo riego por gravedad según la fecha de siembra.
2012-2013	Rendimiento de grano en porcentaje según fecha de siembra	Se midió la reducción del rendimiento de grano en porcentaje del cultivo de maíz para fechas de siembra establecidas antes y después de la fecha óptima.
2020-2021	Relación entre rendimiento de grano en maíz y lámina de riego aplicada.	Se midió el rendimiento de grano en el cultivo de maíz en tratamientos con diferente lámina de riego aplicada.
2020-2021	Relación entre el trazo de riego y rendimiento de grano en el cultivo de maíz.	Se midió la longitud de surcos utilizada en parcelas monitoreadas en el módulo de riego Batequis y se midió la eficiencia de aplicación del riego y el rendimiento obtenido.
2021-2022	Rendimiento de grano de maíz en función del número de riegos	Se calculó el porcentaje de pérdida de rendimiento de grano en el cultivo de maíz para tratamientos de 0, 1, 2, 3 y 4 riegos de auxilio.



## Variables consideradas

**Fenología.** La fenología del cultivo es una herramienta de importancia al momento de calendarizar el riego ya que existe una relación entre la fenología del cultivo y el consumo de agua. Cada etapa fenológica, que considera el desarrollo y crecimiento del cultivo, presenta un requerimiento específico de agua, las etapas fenológicas pueden presentar mayor o menor susceptibilidad al estrés por lo que una correcta identificación y monitoreo son básicos al momento de calendarizar y pronosticar escenarios de restricción de agua ya que permite determinar criterios de riego que disminuyan las pérdidas de rendimiento.

**Textura de suelo.** La textura del suelo define la capacidad de absorción y retención de agua, los suelos de textura fina como las arcillas permiten prolongar los intervalos entre riego lo que facilita el manejo del riego deficitario.

**Monitoreo de humedad.** Mediante el monitoreo de humedad del suelo es posible conocer los niveles de humedad conforme avanza el ciclo del cultivo, esto permite determinar la humedad aprovechable asociada a la etapa fenológica y GDD evitando así superar el porcentaje de abatimiento permitido.

**Fecha de siembra.** Sembrar en fechas posteriores a las recomendadas reducen el rendimiento e incrementan las necesidades de agua requiriendo de riegos adicionales que en condiciones de sequía no representan una opción viable, por lo que las afectaciones aumentarán debido al estrés por déficit de agua.

**Salinidad.** La disponibilidad de agua no solo se ve afectada por calendarios deficitarios, existen factores que pueden limitar dicha disponibilidad de agua en el suelo, estos factores ocasionan estrés hídrico que disminuyen la productividad. La presencia de sales es un factor a tomar en cuenta al momento de manejar el riego ya que los criterios deben contemplar la baja disponibilidad de humedad a causa de este problema.

**Calendario normal y de sequía.** El monitoreo de humedad es importante ya que con ello es posible conocer el nivel de humedad conforme avanza el ciclo y determinar el contenido de humedad aprovechable asociado a la etapa fenológica y GDD, así es posible, evitar excederse al porcentaje de abatimiento de la humedad aprovechable para proporcionar el riego correspondiente, el cual es del 70, 50 y 60 % para la etapa vegetativa, reproductiva y llenado de grano, respectivamente (Sifuentes et al., 2021). Se utilizaron los calendarios recomendados por Sifuentes et al. (2021) desarrollados durante los últimos cinco años.

## Validación de la metodología

La validación de la metodología se implementó durante el ciclo OI 2020-2021 en una zona de riego de 8000 ha de maíz establecidas en 430 predios, donde de manera aleatoria se seleccionaron y muestrearon 60 predios (545 ha), se aplicó un esquema de tres riegos de auxilio, para aplicarse en las etapas fenológicas de 10 hojas verdaderas

(V10), Jiloteo (R1) y grano lechoso (R3), de acuerdo a resultados experimentales y que ya forma parte de las recomendaciones de riego para condiciones de baja disponibilidad hídrica (Macías et al. 2015, Sifuentes et al, 2021).

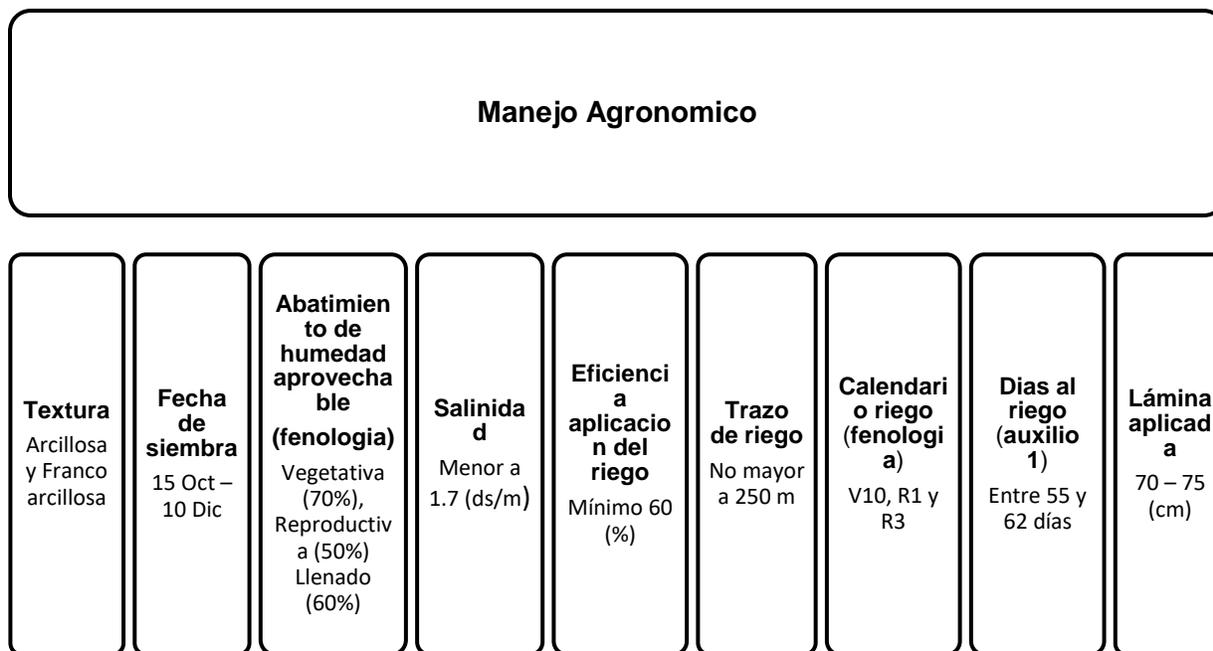
Se proporcionó acompañamiento y seguimiento con visitas periódicas a los predios seleccionados, así como capacitación técnica en la identificación en campo de etapas fenológicas, monitoreo de humedad con sensor TDR calibrado para los diferentes tipos de suelo de la zona de estudio mediante el método gravimétrico para determinar de forma oportuna el momento de riego dando recomendaciones para evitar afectaciones en el rendimiento mayor a lo esperado.

Para conocer el impacto de las variables sugeridas en la metodología desarrollada, se hizo un análisis donde se relacionó el rendimiento de grano con las variables de fechas de siembra, días a la aplicación del primer riego de auxilio, trazo de riego y lámina de riego total aplicada.

## Resultados y Discusión

### Metodología de manejo agronómico desarrollada

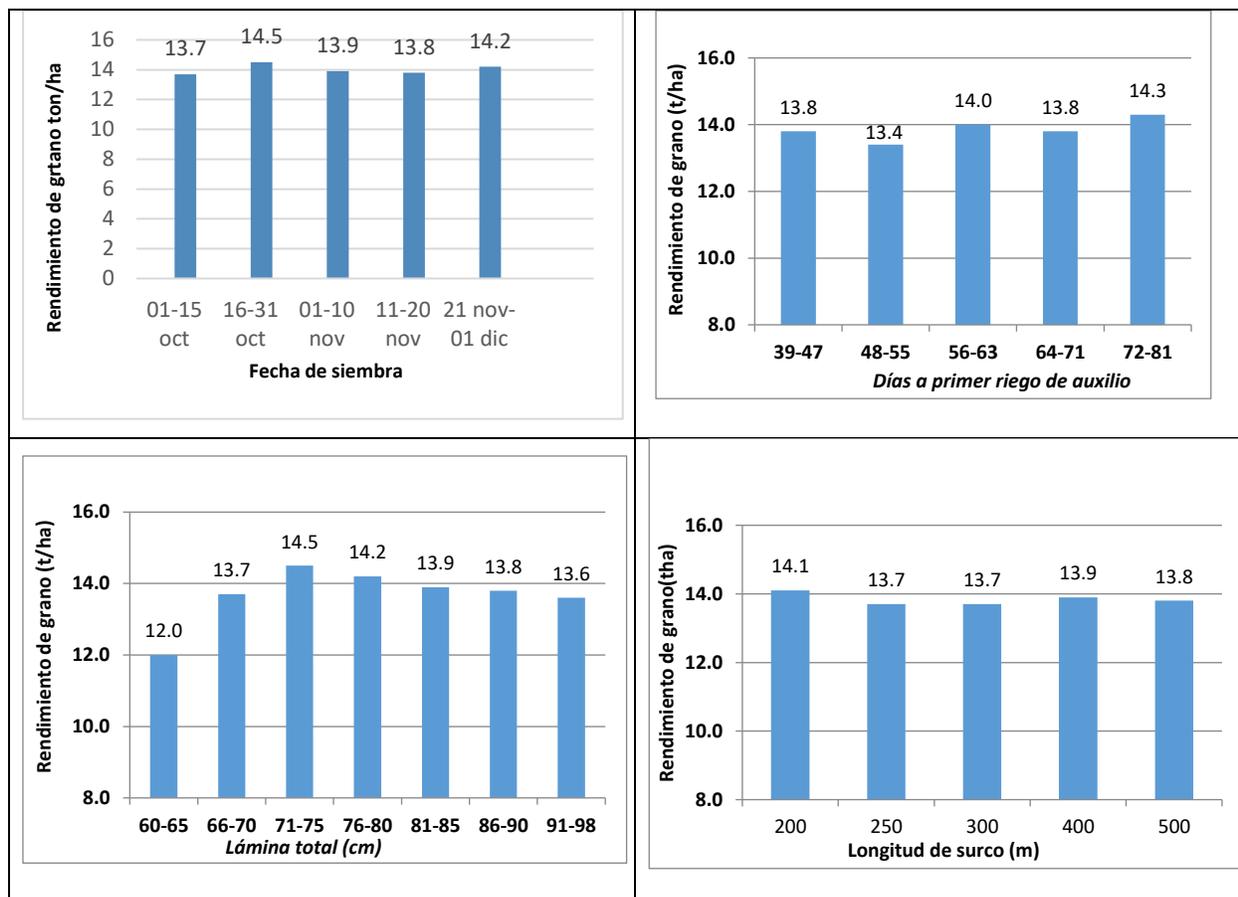
A continuación (**figura 1**) se muestran los criterios de manejo de sequía en maíz de las variables agronómicas para la zona norte del estado de Sinaloa para implementarse en escenario de restricción de agua con calendario de riego de tres riegos de auxilio.



**Figura 1.** Criterios de manejo de sequía en maíz de las variables agronómicas para la zona norte del estado de Sinaloa.

### Caso de éxito (validación)

La **figura 2** muestra el comportamiento de las variables de fecha de siembra, días a la aplicación del primer riego de auxilio, lámina total aplicada y trazo del riego, con relación al rendimiento obtenido en predios de validación.



**Figura 2.** Relación entre el rendimiento de grano y las variables de fecha de siembra, días a la aplicación del primer riego de auxilio, lámina de riego total aplicada y trazo del riego.

Los resultados muestran que prolongar los días para el primer riego de auxilio no afectan de manera significativa el rendimiento registrando una variación del 6% entre el valor mínimo de 13.4ton/ha y máximo de 14.3ton/ha. Esto, influye de manera directa en la lámina total aplicada ya que de esta manera se logra implementar solo 3 riegos de auxilio como lo indica el ensayo, aun cuando las lluvias en diciembre de 2020 provocaron el retraso del primer riego de auxilio hasta los 80 días.

La totalidad de predios se establecieron en el periodo de fecha de siembra sugerido, por lo que el rendimiento registro una variación del 5.5% entre valor máximo y mínimo. Los rendimientos más altos en relación con el trazo de riego se obtuvieron con longitudes de 200m coincidiendo con la sugerencia de no superar los 250m de longitud de surco,



valores por encima de estos disminuyen el rendimiento debido a la mala distribución de la humedad en el suelo.

El 100 % de los predios se sembraron en terrenos de textura arcillosa a franco arcillosa sin problemas de sales solubles, sodio y alcalinidad o acidez, y se aplicaron los riegos con oportunidad y atendiendo los valores sugeridos de porcentaje de abatimiento en humedad aprovechable.

## **Conclusiones**

La metodología desarrollada ayudó a manejar en forma eficiente un escenario de disponibilidad de agua restringida, por lo que un esquema a 3 riegos de auxilio es viable y de bajo impacto negativo en el rendimiento.

## **Referencias Bibliográficas**

Cánovas, R.E.: Influencia del riego deficitario controlado y agua regenerada en árboles jóvenes de pomelo, Murcia Universidad Politécnica de Cartagena, Tesis de maestría, Cartagena, Murcia, España, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), 2012.

GEERTS, S.; RAES, D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management* 96: 1275-1284.

Gheysari, M., S. H. Sadeghi, H. W. Loescher, S. Amiri, M. J. Zareian, M. M. Majidi, P. Asgarinia, and J. O. Payero. 2017. Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. *Agriculture Water Manage.* 182: 126–138. DOI: 10.1016/j. agwat.2016.12.014

Lagos, L.O.; Lama, W.; Hirzel, J.; Souto, C.; Lillo, M.: “Evaluación de riego deficitario controlado sobre la producción de kiwi (*Actinidia deliciosa*)”, *Agrociencia*, 51(4): 359-372, 2017, ISSN: 1405-3195.

Macías C. J., E. Sifuentes I., E. Cortez M., A. Borbón G., y L.A. Peinado F. 2015. Tecnología de Producción Sustentable de Maíz en Sinaloa. INIFAP-CIRNO-CEVAF. Folleto técnico No. 41, diciembre de 2015, ISBN 978-607-37-0539-4. Juan José Ríos, Sinaloa, México. 80 p.

Martínez, V.R.: “Efecto del riego deficitario controlado en la productividad del banano”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2): 51-55, 2013, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054



Mendoza P. C., E. Sifuentes I., W. Ojeda B., y J. Macías C. 2016. Response of surface-irrigated corn to regulated deficit irrigation. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 8(1): 29-40. doi: 10.5154/r.inagbi.2016.03.001.

SANCHEZ-BLANCO, M.J.; TORRECILLAS, A. 1995. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de riego. *Riego Deficitario Controlado en cultivos leñosos*. En: ZAPATA, M.; SEGURA, M. (Eds.). *Riego Deficitario Controlado*. Ed. Mundi Prensa. Madrid. 43-63.

Sifuentes I. E., W. Ojeda B., J. Macías C, C. Mendoza P. y P. Preciado R. 2021. Déficit hídrico en maíz al considerar fenología, efecto en el rendimiento y eficiencia en el uso del agua. *Agrociencia* 55: 209-226. México.

Studeto, P.; Hsiao, T.; Fereres, E.; Raes, D. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. *FAO Riego y Drenaje* 66.