



Sexto
Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



Artículo: COMEII-21007

Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021

ELABORACIÓN Y SEGUIMIENTO DE PLANES DE RIEGO DE CORTO PLAZO CONSIDERANDO TIEMPO TÉRMICO, EN DISTRITOS DE RIEGO CON BAJA DISPONIBILIDAD HÍDRICA

Ernesto Sifuentes-Ibarra^{1*}; Waldo Ojeda-Bustamente²; Jaime Macías-Cervantes¹ y Vladimir Ruíz-Pérez³

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF). Carretera internacional México-Nogales km 1609, 81110, Juan José Ríos, Sinaloa, México. Correo electrónico: eblnat68@gmail.com - +52 (55) 3871-8700 Ext. 81512 (*Autor de correspondencia)

² Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación. Vicente Garrido No. 106. Colonia Ampliación. Maravillas, 62330, Cuernavaca, Morelos, México.

³ Universidad Autónoma de Sinaloa-Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. Calle 16 y Avenida Japaraqui, 81110, Juan José Ríos, Sinaloa.

Resumen

Las sequías agrícolas recurrentes son una amenaza constante de los distritos de riego de México, manifestándose con mayor intensidad en las zonas áridas y semiáridas. La primera medida que se toma para afrontar este tipo de escenarios, es la reducción de volúmenes asignados por cultivo en los planes de riego. El seguimiento del plan de riegos se realiza mediante la elaboración de programas de riego semanales donde se define la distribución de los volúmenes de agua a entregar a partir de solicitudes de riego que los usuarios realizan al técnico responsable de su sección. Sin embargo, los grandes volúmenes de información y la falta de herramientas tecnológicas que ayuden al cumplimiento de los planes de riego, ha obligado a las Asociaciones de Usuarios de Riego (AUR) o módulos de riego (MR) a implementar una serie de acciones, entre las que destacan: 1) reducción del número de riegos en cultivos de alta demanda, 2) reducción de la superficie sembrada, 3) establecimiento de cultivos de baja demanda, 4) aprovechamiento de aguas subterráneas y 5) uso de agua de la red de drenaje agrícola, entre otras. Aunque estas acciones ayudan a cumplir con el plan, requieren mayor calidad y cantidad de supervisión técnica y más gastos de operación tanto de los productores como de las AUR. En este trabajo se presenta una propuesta para la elaboración y seguimiento de programas de riego de corto plazo usando una plataforma web, variables climáticas y el concepto tiempo térmico (grados-día desarrollo). Se analiza también su aplicación en una sección modelo de 200 ha dentro del módulo de riego Batequis, DR-075, donde se encontró un incremento del 10.7% de la EA y del 2.3% del rendimiento en maíz, que podrían representar 1200 ha adicionales a las 8000 que en promedio establece el MR con una producción de 15,060 toneladas.

Palabras claves: Variabilidad climática, adaptación dinámica, eficiencia, rendimiento



Introducción

Las zonas de riego de México son las principales generadoras de alimentos y las mayores contribuyentes al producto interno bruto (PIB) del sector agrícola. Las más importantes por su extensión, tecnificación y generadoras de riqueza se encuentran en la región noroeste del país como el Distrito de Riego (DR) 075 “Río Fuerte”, en el norte de Sinaloa (CONAGUA, 2018). En esta región se ha observado un incremento en la variabilidad climática afectando la duración de los ciclos fenológicos de los cultivos y de sus fases de desarrollo, provocando que el manejo tradicional del riego y otras prácticas agronómicas cada vez funcionen menos. Por otro lado, las bajas eficiencias en el manejo del agua y otros insumos, la alta vulnerabilidad a períodos de baja disponibilidad hídrica y heladas, ponen en riesgo su estabilidad económica y social (Ojeda-Bustamante et al., 2014).

Las sequías como la que actualmente afecta a la mayoría de las zonas de riego del país, son una amenaza constante de los DR's de México, manifestándose con mayor intensidad en las zonas áridas y semiáridas. La primera medida que se toma para afrontar este tipo de escenarios, es la reducción de volúmenes asignados por cultivo en los planes de riego. El seguimiento del plan de riegos se realiza mediante la elaboración de programas de riego semanales donde se define la distribución de los volúmenes de agua a entregar a partir de solicitudes de riego que los usuarios realizan al técnico responsable de su sección. Sin embargo, los grandes volúmenes de información y la falta de herramientas tecnológicas que ayuden al cumplimiento de los planes de riego, ha obligado a las Asociaciones de Usuarios de Riego (AUR) o módulos de riego (MR) a implementar una serie de acciones, entre las que destacan: 1) reducción del número de riegos en cultivos de alta demanda, 2) reducción de la superficie sembrada, 3) establecimiento de cultivos de baja demanda, 4) aprovechamiento de aguas subterráneas y 5) uso de agua de la red de drenaje agrícola, entre otras. Aunque estas acciones ayudan a cumplir con el plan de riegos, requieren mayor calidad y cantidad de supervisión técnica y más gastos de operación tanto de los productores como de las AUR.

El objetivo del presente trabajo fue generar una propuesta para la elaboración y seguimiento de programas de riego de corto plazo usando una plataforma web, variables climáticas y el concepto tiempo térmico o grados-día desarrollo (GDD), analizando su aplicación en forma manual o semi-automática y su aplicación automática en una sección piloto de 200 ha dentro del módulo de riego Batequis II-3, DR-075.

Materiales y Métodos

Características de la zona de estudio

El estudio se realizó en el MR Batequis II-3, DR075, ubicado en la región norte del estado de Sinaloa en los 25° 05' N y -108° 38' O a una elevación promedio de 15 msnm, donde se seleccionó una sección piloto (Figura 1). El clima predominante es cálido, seco estepario tipo desértico en el verano; en el invierno pasa de moderadamente frío en los meses de noviembre, diciembre y enero a templado a partir de febrero.

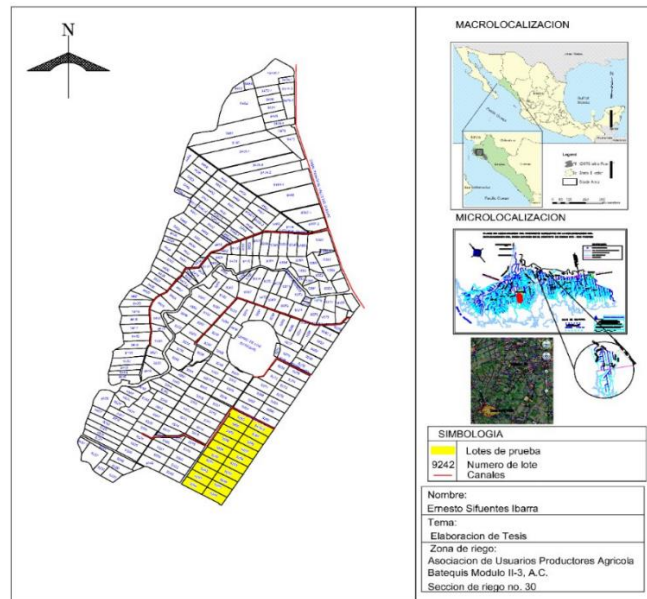


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

El MR cuenta con una superficie concesionada de poco menos 12,000 ha con suelos en su mayoría arcillosos característicos de este DR. La actividad agrícola en el MR inicia desde el mes de septiembre con siembras tempranas de maíz (*Zea mays* L.) y hortalizas; finalizando en el mes de diciembre. El patrón de cultivos promedio que se establece durante un ciclo otoño-invierno OI es representativo del distrito, compuesto por 66% de siembras de maíz, 23%, de frijol, 6% de garbanzo y papa y el resto de otras hortalizas. Esta región se considera como vulnerable a periodos de baja disponibilidad hídrica, la variación histórica del volumen almacenado en el sistema de presas al primero de octubre de cada año refleja un periodo de escasez de 10 años continuos (1995 a 2005) donde el año agrícola más crítico fue el 2003/2004 con solo el 30% de agua disponible (CONAGUA, 2019).

Servicio tradicional de riego en el DR-075

La entrega de agua en el DR-075 inicia desde la fuente de abastecimiento hasta las parcelas de los usuarios, para ello es necesario contar con un sistema de canales, con obras de control y complementarias construidas y localizadas de manera que permitan su distribución entre las diferentes unidades, módulos, zonas y secciones de riego. Para la entrega, el usuario debe solicitar al operador en cada sección o bloque, con las cuales realiza sus programas semanales de entrega. Cada fin de cada semana el módulo de riego realice la solicitud a la Sociedad de Responsabilidad Limitada (SRL), quien a su vez solicita el volumen estimado a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (Ojeda et al., 2007), como se muestra en la Figura 2.

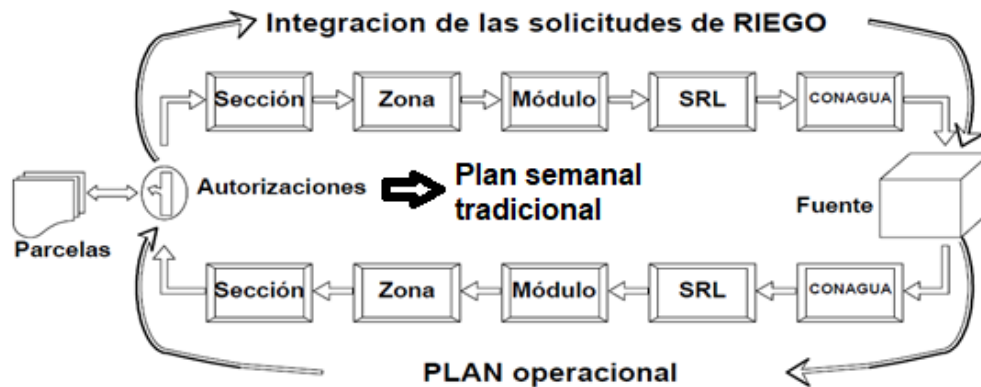


Figura 2. Proceso de servicio de riego en módulos del DR-075 (Ojeda et al., 2007).

Diseño del modelo operativo-seguimiento de planes de riego de corto plazo

La propuesta del modelo operativo para seguimiento de planes de riego de corto plazo considerando tiempo térmico o grados-día desarrollo (GDD), en distritos de riego con baja disponibilidad hídrica, se realizó mediante la integración de la plataforma IIRIMODEL (Sifuentes-Ibarra y Macías-Cervantes, 2015) al modelo tradicional como se muestra en la Figura 3. Esta plataforma permite entre otras cosas generar programas de riego de corto plazo a nivel de predio y a nivel de sección de riego, considerando variables climáticas, escenarios de disponibilidad hídrica y el concepto tiempo térmico o GDD.

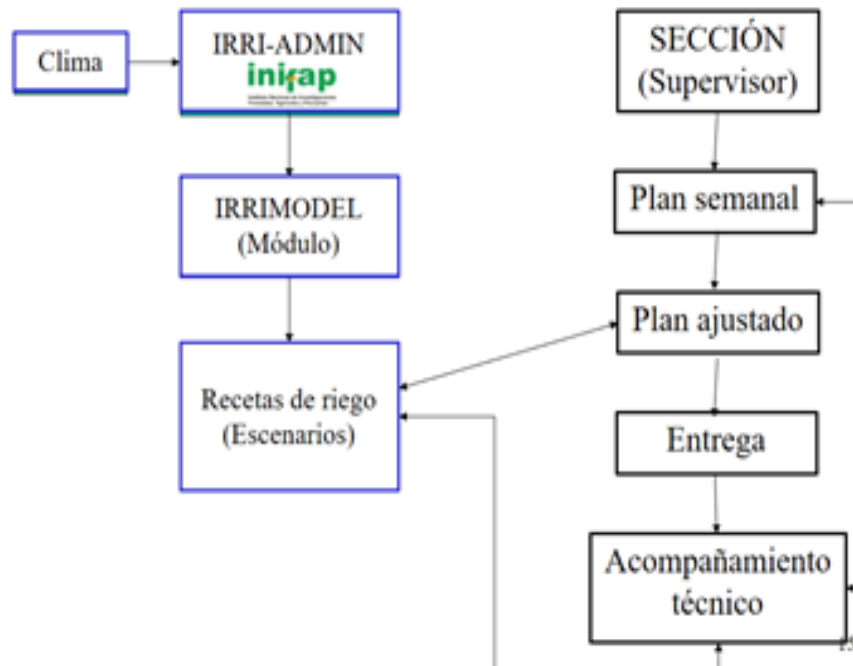


Figura 3. Modelo conceptual propuesto para la elaboración y seguimiento de programas de riego de corto plazo en el DR-075



Una vez que el técnico responsable de una sección de riego recibe las solicitudes de riego del usuario y elabora su plan semanal de distribución, debe ajustarlo consultando la recomendación de la plataforma para continuar con el proceso de entrega. En esta propuesta se sugiere un acompañamiento técnico hacia el usuario.

Evaluación

La evaluación de la propuesta se realizó bajo dos enfoques, el primero consistió en el ajuste manual de programas de riego semanales mediante la estimación del momento de riego basado en etapas fenológicas para un escenario de sequía (3 riegos de auxilio), recomendada por Sifuentes-Ibarra et al. (2021) y la relación días calendario (DDS)-tiempo térmico (GDDA) generada con la plataforma IRRIMODEL.

El segundo análisis se realizó durante el ciclo OI 2018-2019 en una sección piloto (Figura 1) donde la elaboración y el seguimiento de planes de riego de corto plazo se hizo en forma automática con la misma plataforma en esta sección piloto compuesta de 21 parcelas (200 ha) de las cuales 14 fueron de maíz. Las variables medidas en esta sección fueron: 1) lámina neta (L_n) estimada en cm y estimada con sensores de humedad TDR y con la plataforma, 2) Lámina bruta (L_b) expresada en cm y estimada mediante mediciones directas ($L_b = \text{Volumen aplicado} / \text{área regada}$), 3) Eficiencia de aplicación (EA) en %, mediante la relación $EA = (L_n / L_b) \times 100$, 4) rendimiento de grano (Y_a) en t ha⁻¹ y 5) Productividad del agua (PA) expresada en kg de grano producido por m³ de agua aplicado.

Resultados y Discusión

Ajuste manual de programas semanales

La Figura 4 muestra la relación Días después de siembra (días calendario)-Grados día-desarrollo acumulados (GDDA), para maíz en siembras del 10 de septiembre al 30 de noviembre, en el DR-075, Río Fuerte, Sinaloa. Las fases fenológicas consideradas para aplicar los riegos fueron: 1) Primero auxilio: octava a décima hoja verdadera (V8-V10) a los 550 GDDA, 2) Floración o jilote (R1) a los 850 GDD y 3) Grano lechoso (R3) a los 1100 GDDA.

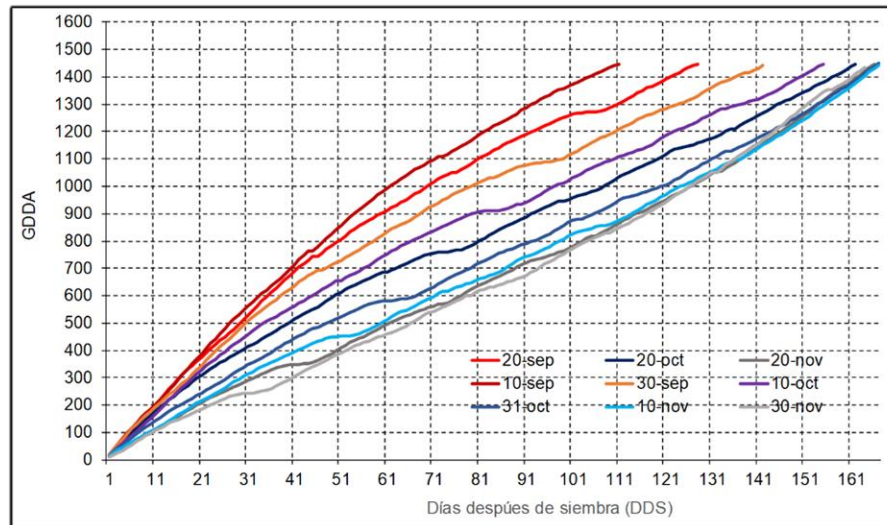


Figura 4. Relación Días después de siembra (DDS)-Grados día-desarrollo acumulados (GDDA), en maíz por fecha de siembra en el DR-075

El Cuadro 1 muestra el resultado de la aplicación manual de esta metodología para el periodo del 7 al 14 de enero de 2020 considerando suelos arcillosos con humedad aprovechable (HA) mayor o igual a $0.14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. El riego programado fue el primer auxilio cuando el cultivo acumule de 500 GDD. Para el periodo programado las parcelas que se autorizan son las que tienen fechas de siembra del 3 al 12 de noviembre de 2020, debido a que la fecha del riego (calculada con DDS de la Figura 4) está dentro de la semana programada.

Cuadro 1. Ejemplo de un programa de riegos semanal manual en parcelas de maíz, para el módulo de riego Batequis II-3, DR075.

Cuenta	Superficie (ha)	Fecha de siembra	Días después de siembra	Autoriza	Lámina bruta (cm)	Tiempo de riego (horas)
6818-2	10.1	10/11/2019	56	SI	9	24
9248-0	9.9	12/11/2019	54	SI	9	24
9249-0	9.9	20/11//2019	46	NO		
9251-0	9.0	3/11/2019	63	SI	9	22
6818-2	10.1	10/11/2019	56	SI	9	24
9248-0	9.9	12/11/2019	54	SI	9	24
9249-0	9.9	20/11//2019	46	NO		
9251-0	9	3/11/2019	63	SI	9	22

Seguimiento automático

La Figura 5 es un comparativo entre las hectáreas riego proyectadas y realizadas por decena en la sección piloto, observándose un alto nivel de similitud entre ambas. Se observa una ligera discrepancia en las últimas semanas debido a la decisión del usuario de adelantar el último riego debido a que la mayoría de las parcelas de maíz se establecieron en siembras tardías poco usuales, debido a lluvias atípicas que retrasaron las siembras.

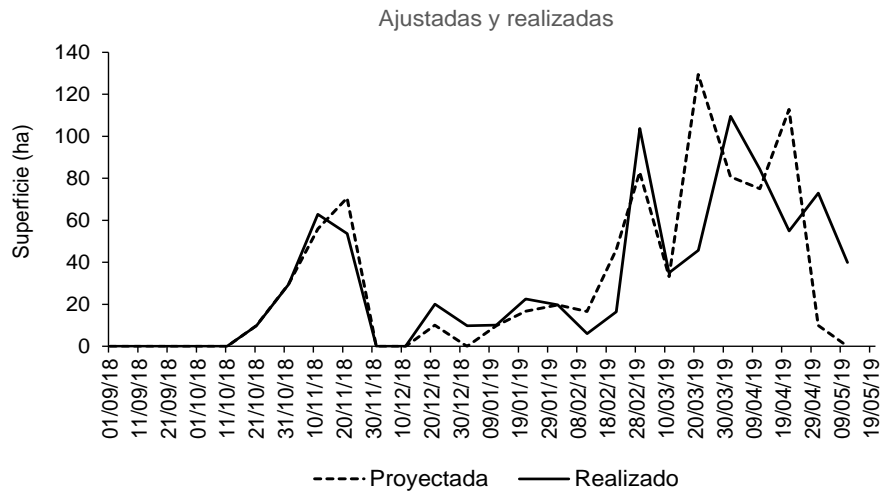


Figura 5. Hectáreas riego decenales proyectadas en forma automática y realizadas

En el Cuadro 2 se muestra una comparación entre las variables medidas en la sección piloto y un área con manejo convencional de similares características. Se observa que solo mediante el seguimiento adecuado de los programas de corto plazo permitió un incremento de 10.7% en la EA y de 290.3 kg ha⁻¹ en el rendimiento de maíz, lo cual podrían representar 1200 ha adicionales a las 8,000 que en promedio establece el MR con una producción adicional de 15,060 toneladas

Cuadro 2. Variables hídricas y agrícolas obtenidas en parcelas de maíz establecidas en área piloto (corto plazo) y área convencional, en el MR Batequis II-3, DR075.

Tipo	Ln (cm)	Lb (cm)	EA (%)	Ya (kg ha ⁻¹)	PA (kg m ⁻³)
Área piloto	46.5	85.1	54.2	12549.4	1.47
Convencional	41.9	97.5	43.5	12259.1	1.26
DIFABS	+4.6	-12.4	+10.7	+290.3	+0.21
DIFREL (%)	+9.9	-14.6	+19.7	+2.3	+14.3

Ln: lámina neta total (requerimiento de riego), Lb: lámina bruta (aplicada), EA: eficiencia de aplicación, Ya: rendimiento medido, PA = productividad del agua, DIFABS: diferencia absoluta, DIFREL: diferencia relativa.

Conclusiones

Tanto el enfoque manual o semi-automático como el automático, mediante la plataforma IRRIMODEL, representan herramientas tecnológicas importantes que se deben considerar en zonas de riego, en cualquier escenario de disponibilidad hídrica. Es fundamental contar con estudios experimentales enfocados a estrés hídrico controlado para los dos enfoques propuestos, principalmente en el semi-automático, ya que fechas de siembra tardías y algunos tipos de suelo podrían alterar los criterios técnicos utilizados. El uso adecuado del enfoque automático para la elaboración y seguimiento de programas de riego de corto plazo demostró una mejora de más del 10% en la eficiencia de aplicación y de 2.3% en rendimiento de maíz, lo cual justifica su implantación desde el nivel sección hasta el nivel módulo de riego.

Referencias Bibliográficas

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). Estadísticas del Agua en México, edición 2018. D. R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México. 303pp.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). Sistema Nacional de Información del Agua Monitoreo de las Principales Presas de México. Extraído de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/almacenamientoPresas.php>
- Ojeda B. W., J.M. González C., E. Sifuentes I., E. Isidro y L. Rendón P. 2007. Using spatial information systems to improve water management in México. *Agricultural Water Management*. 89. pp 81-88.
- Sifuentes I. E., y J. Macías C. 2015. "IRRIMODEL" Programación integral y gestión del riego a través de internet, manual del usuario, versión 2.0. INIFAP-CIRNO-CEVAF. Publicación especial No. 14. Juan José Ríos, Sinaloa, México. 36 p
- Sifuentes-Ibarra E., Ojeda-Bustamante W., Macías-Cervante 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. Publicado en *Agrociencia* 55: 209-226. 2021. DOI: <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i3.2414>.
- Steduto P., Raes D., Hsiao T. y Fereres E. 2014. AquaCrop: conceptos, fundamento y funcionamiento. Capítulo 3: Respuesta del rendimiento de cultivos herbáceos al agua: el modelo de simulación AquaCrop. En: *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Estudio FAO 66. ISSN 0254-5284. Roma, Italia. Pp17-53