



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



Artículo: COMEII-19005

Mazatlán, Sin., del 18 al 20

de septiembre de 2019

PROBLEMAS EN LA ELABORACIÓN TRADICIONAL DE PLANES DE RIEGO EN DISTRITOS DE RIEGO

Ernesto Sifuentes-Ibarra^{1*}; Waldo Ojeda-Bustamante²; Mauro Íñiguez-Covarrubias³; Ignacio Sánchez-Cohen⁴; José Rodolfo Namuche-Vargas³; Vladimir Ruíz-Pérez⁵; Jaime Macías-Cervantes⁶

¹Estudiante de Doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua-IMTA. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Jiutepec, Morelos 62550. eblnat68@gmail.com; Tel.: (777) 329-3600 Ext. 136 (*Autor de correspondencia)

²Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación. Cuernavaca, Morelos, México 62000

³Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

⁴CENID-RASPA-INIFAP. Km. 6.5 Margen derecha canal de Sacramento, Gómez Palacio, Durango. México. 35150

⁵Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-UAS. Calle 16 y Avenida Japaraqui, Juan José Ríos, Sinaloa 81110

⁶Campo Experimental Valle del Fuerte-INIFAP. Carretera México-Nogales km 1609, Juan José Ríos, Sinaloa 81110

Resumen

Las zonas de riego de México han sido las principales abastecedoras de alimentos y las que mayormente contribuyen al producto interno bruto (PIB) del sector agrícola. Sin embargo, la planeación y seguimiento del riego sigue realizándose en forma tradicional sin considerar los nuevos escenarios climáticos y operativos. Una planeación y seguimiento adecuados del servicio de riego en estas regiones, deben ser prioritarios de los organismos responsables de la administración del agua para tener una gestión eficiente. La metodología que se aplica actualmente además de no considerar estas variaciones, carece de precisión en las estimaciones de los requerimientos hídricos de los cultivos sobreestimado las demandas globales de riego a nivel de módulo y distrital, induciendo a tener una operación parcial y laxa con bajas eficiencias operativas. Se ha documentado que cuando se realiza una planeación integral con un acompañamiento y seguimiento del servicio de riego se incrementa significativamente la eficiencia en el uso del agua. El objetivo del presente trabajo fue identificar la problemática que se tiene en la elaboración y seguimiento de los planes de riego tradicionales en los distritos de riego, así como analizar una propuesta de planeación basada en la integración de las demandas de riego y la evapotranspiración de los cultivos apoyada en el concepto de grados día-desarrollo (GDD) de los cultivos por fecha de siembra. Los resultados mostraron ventajas importantes de la propuesta integral desde el punto de vista operativo y de ahorros de agua.

Palabras clave: variabilidad climática y adaptación, planeación del riego, servicio de riego



Introducción

Las zonas de riego de México son y seguirán siendo las principales generadoras de alimentos y las de mayor producto interno bruto (PIB) del sector agrícola; las más importante por su extensión, tecnificación y generadoras de riqueza se encuentran en la región noroeste del País como los distritos de riego (DR) Río Mayo (038) y Río Fuerte (075), ubicados en el sur de Sonora y norte de Sinaloa respectivamente.

En el DR-075 donde se llevó a cabo el presente análisis, se ha observado un incremento en la variabilidad climática afectando principalmente la duración de los ciclos fenológicos de los cultivos y sus correspondientes fases y etapas de desarrollo, provocando que el manejo tradicional del riego y otras prácticas agronómicas cada vez tengan menos aplicabilidad. Además de lo anterior, las bajas eficiencias en el manejo del agua y otros insumos, así como la alta vulnerabilidad a períodos de baja disponibilidad hídrica y heladas de estas regiones, ponen en riesgo su estabilidad económica y social (Ojeda, 2008).

Una planeación y seguimiento adecuados del servicio de riego deben ser prioritarias de los organismos encargados de la administración del agua, para tener una eficiente gestión de las grandes zonas de riego, sin embargo, se carece de una metodología apropiada que se pueda adaptar a los nuevos escenarios climáticos y de operación; la metodología que se usa actualmente no considera estas variaciones y carece de precisión en las estimaciones de los requerimientos hídricos de los cultivos sobreestimado las demandas globales de módulos y distritos de riego, induciendo a tener una operación parcial y relajada con altas desperdicios de agua.

Se ha documentado que cuando se realiza una adecuada planeación y acompañamiento del servicio de riego se incrementa significativamente la eficiencia en el uso del agua. Desafortunadamente esto solo se ha visto en años agrícolas con disponibilidad hídrica restringida, como es el caso del módulo de riego Batequis del DR075, que durante el año agrícola OI 2012-2013 con un volumen autorizado 30% menor al de un ciclo sin restricción, lograron además de establecer un patrón de cultivos normal, incrementar la superficie de maíz en 20%, con ahorros extraordinarios de agua que les permitió establecer un programa de riegos primavera-verano (PV) de más de 1 500 ha de sorgo y 300 ha de otros cultivos(Sifuentes et al., 2013).

Íñiguez et al. (2011) desarrollaron una metodología para la determinación de la evapotranspiración integrada con el fin de estimar la capacidad de canales en zonas de riego utilizando el concepto grados día-desarrollo (GDD). La propuesta consistió en el cálculo de la evapotranspiración de los cultivos por fecha de siembra y termina con una curva integral para un año agrícola, la cual puede aplicarse para la elaboración de planes de riego integrales para grandes zonas.

El objetivo del presente trabajo fue identificar la problemática que se tiene en la elaboración y seguimiento de los planes de riego tradicionales en los distritos de riego, así como analizar las ventajas de la planeación integral basada en el concepto grados día-desarrollo (GDD) bajo escenarios climáticos y de operación contrastantes.

Materiales y Métodos

Características de la zona de estudio

El análisis se realizó tomado como ejemplo el módulo de riego Batequis II-3 perteneciente al distrito de riego 075 Rio Fuerte, el cual está ubicado en la región norte del estado de Sinaloa en los 25° 05' latitud norte y -108° 38' longitud oeste. El clima predominante es cálido, seco estepario de 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 finales de Febrero. Los suelos son planos de tipo aluvión (franco) y barrial (arcilloso), pobres en materia orgánica, pendiente plana, con una elevación promedio de 15 msnm. El módulo cuenta con una superficie concesionada de poco menos 12 000 ha con suelos profundos de buena calidad mayormente de textura arcillosa pesada con humedad aprovechable (HA) de 0.15 cm³ cm⁻³. El cultivo predominante es el maíz con más del 60% de la superficie total, seguido por el frijol con el 24% y el resto de otros granos y hortalizas, como se muestra en la **Figura 1**.

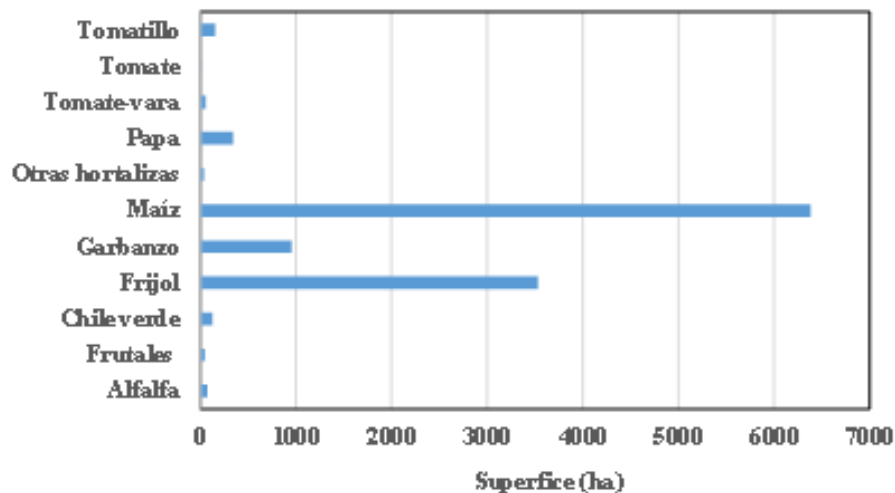


Figura 1. Patrón de cultivos característico ciclo OI, del módulo de riego Batequis-DR075

En este módulo, la actividad agrícola inicia desde septiembre con siembras de maíz y hortalizas tempranas y finaliza en diciembre; las primeras generalmente destinadas para producción de semilla y elote. La distribución típica de la superficie sembrada de los cultivos predominantes (maíz y frijol) se muestra en la **Figura 2**.

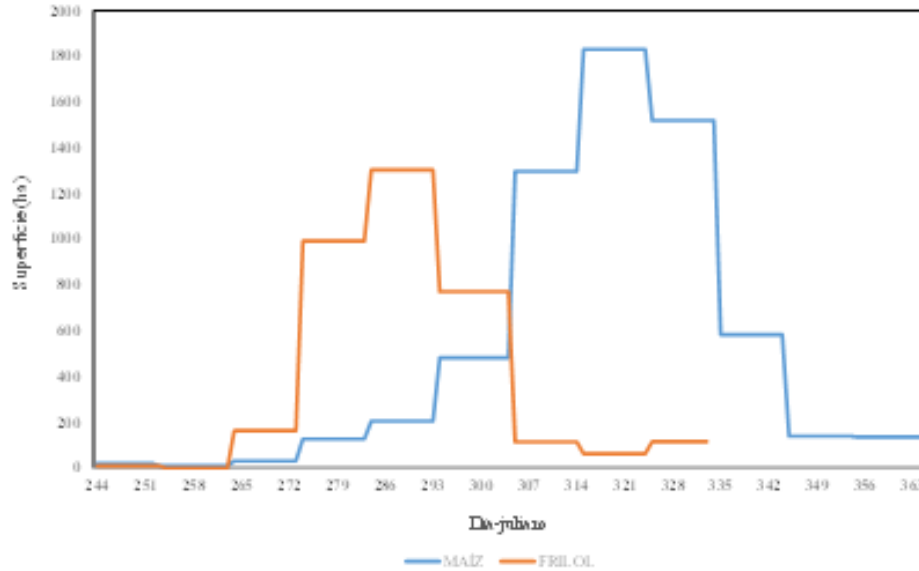


Figura 2. Distribución de superficie sembrada de los cultivos de maíz y frijol promedio del módulo de riego Batequis-DR 075

Plan de riegos tradicional

En los distritos de riego de México al inicio de cada año agrícola, normalmente el 1 de octubre, por norma oficial se debe realizar el Plan de riegos, en el cual se realiza un balance entre los volúmenes de agua disponibles-esperados en las fuentes de abastecimiento y los volúmenes demandados por los cultivos y para otros usos. Las demandas de los cultivos a establecer se estiman en base al riego requerido, mientras que los volúmenes para otros usos incluyen el agua demandada por centros de población, industria, uso pecuario y otros fuera del Distrito. Para elaborar este Plan de riegos se utiliza el sistema de cómputo “Plan-DR” que genera los anexos que integran el plan de riegos de acuerdo a la normatividad de la CONAGUA, a partir de coeficientes unitarios de riego neto (CURN), coeficiente de hectáreas riego (CUHR) y coeficientes de superficie física (CUSF).

Los valores de estos coeficientes se pueden asignar al Plan-DR por dos vías, la primera mediante su estimación a partir de la superficie de cultivos por sembrar (patrón de cultivos), superficie a regar por cultivo, láminas e intervalos de riego, volúmenes para otros usos y las eficiencias mensuales de conducción; la otra vía es mediante la asignación directa cuando ya se conocen dichos coeficientes (IMTA, 2014).

Para el cálculo de los CURN se utilizan las ecuaciones 1 y 2.

$$CURN_{\text{decenal}} = \frac{VA_{\text{decenal}}}{SR_{\text{decenal}}} \quad (1)$$



$$CURN_{total} = \sum_{i=1}^n CURN_{decenal} = Ln_{total} \quad (2)$$

donde:

$VA_{decenali}$ Volumen aplicado decenal (miles de m^3)
 $SR_{decenal}$ Superficie regada decena (ha)
 Ln_{total} Lámina neta total del cultivo i (cm)

Por su parte, para calcular los CUHR se utilizan las ecuaciones 3 y 4.

$$CUHR_{decenal} = NRA_{decena} \quad (3)$$

$$CUHR_{total} = \sum_{i=1}^n CUHR_{decenal} = NR_{totales} \quad (4)$$

donde:

NRA_{decena} Número de riegos aplicados en la decena del cultivo i
 $NR_{totales}$ Número de riegos totales del cultivo i

Por último los CUSF son calculados con las siguientes ecuaciones:

$$CUSF_{decenal} = \frac{SF_{decenal}}{SFT} \quad (5)$$

$$CUSF_{total} = \sum_{i=1}^n CUSF_{decenal} = 1 \quad (6)$$

donde:

SF_{decena} Superficie física decenal del cultivo i (ha)
 SFT Superficie física total del cultivo i (ha)

Los planes generados a nivel de módulo son acumulados para obtener los planes a nivel de unidad. SRL y Distrito aplicando las eficiencias de conducción de cada nivel y calcular sus volúmenes brutos. Una vez determinados los volúmenes brutos totales requeridos, se calcula el funcionamiento a nivel de las fuentes de abastecimiento.



Plan integral de riegos

El primer paso para la elaboración de este plan es la integración de los requerimientos de riego en una curva única de evapotranspiración utilizando la metodología propuesta por Íñiguez et al. (2011), descrita en la siguiente ecuación:

$$ET_{1C-i} = \sum_{j=i}^{NS} f_{i,j} ET_{c-i,j} \quad (7)$$

donde:

ET_{1C-i}	evapotranspiración del cultivo integrada para un ciclo agrícola bajo diferentes fechas de siembra
j	número de siembras a considerar en el cálculo de la curva integrada (para cada día i intervienen varias siembras)
i	día bajo análisis en el periodo de desarrollo del cultivo desde el día de la fecha de la primera siembra (PS) hasta madurez fisiológica (MF)
$NS =$	número total de siembras para el cultivo analizado
$f_{i,j}$	factor de la superficie sembrada para el día i para el número de siembra j
$ET_{c-i,j}$	evapotranspiración del cultivo ponderada para el día i de la siembra j para el cultivo analizado

El factor de ponderación de la superficie sembrada ($f_{i,j}$) se calcula con la siguiente ecuación:

$$f_{i,j} = \frac{S_{i,j}}{S_{t-1}}, \text{ para cada día } \sum f_{i,j} = 1 \quad (8)$$

donde:

$S_{i,j}$	superficie establecida en el día i del cultivo con la fecha de siembra j
S_{t-1}	superficie total del cultivo analizado para el día i

La ET_c diaria por fecha de siembra, se estimó utilizando la metodología de programación integral del riego basada en GDD (Ojeda et al, 2006) con los parámetros de calendarización generados localmente para las condiciones convencionales de manejo del riego, con la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_o * K_c * K_s \quad (9)$$

donde:



- ET_o Evapotranspiración del cultivo de referencia (FAO Penman-Monteith) (mm día⁻¹)
K_c coeficiente de cultivo diario (GDD)
K_s coeficiente de estrés

La curva integrada con esta metodología representa un escenario de plan integral, donde se busca reponer la demanda total diaria de la superficie establecida, bajo el supuesto que el módulo de riego tuviera la capacidad de suministrar el gasto de riego a través de su red de distribución (similar a un sistema de goteo) pudiendo manejar intervalos de riego a conveniencia. Para la estimación de gastos demandados a nivel punto de control (PC) se puede utilizar la ecuación 10.

$$Gasto - PC_{i,j} = \frac{\overline{ETc_{i,j}} * S_{i,j}}{Ea * ECI * EC} \quad (10)$$

donde:

- Gasto-PC_{i,j} gasto de riego demandado decenal a nivel PC del cultivo i de la decena j [L s⁻¹]
 $\overline{ETc_{i,j}}$ evapotranspiración del cultivo decenal del cultivo i de la decena j
E_a eficiencia de aplicación [adimensional]
E_{CI} eficiencia de conducción interparcelaria [adimensional]
E_C eficiencia de conducción desde PC a la parcela [adimensional]
S_{i,j} Superficie establecida en la decena del cultivo del cultivo i en la decena j [ha]

El plan de riegos del módulo resultará de acumular la demanda de gastos decenales de todos los cultivos que integran el patrón de cultivos. La versatilidad de esta metodología permite manejar otros escenarios de operación y climáticos, por ejemplo, para en una zona donde el total de la superficie es riego por gravedad, la superficie a regar se debe ajustarse mediante CUHR de acuerdo a la capacidad de conducción de la red de distribución. Otros ejemplos pueden derivarse considerando diferentes condiciones climáticas.

Resultados y Discusión

Plan integral de riegos

La **Figura 3** muestra el plan integral de riegos para un escenario para maíz bajo riego por goteo con intervalos decenales, considerando el suministro de agua al total de la superficie establecida. Se observa, que en la decena 21 y 22 la máxima demanda con un gasto demandado de $4.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para satisfacer la demanda de agua de casi 6 000 ha.

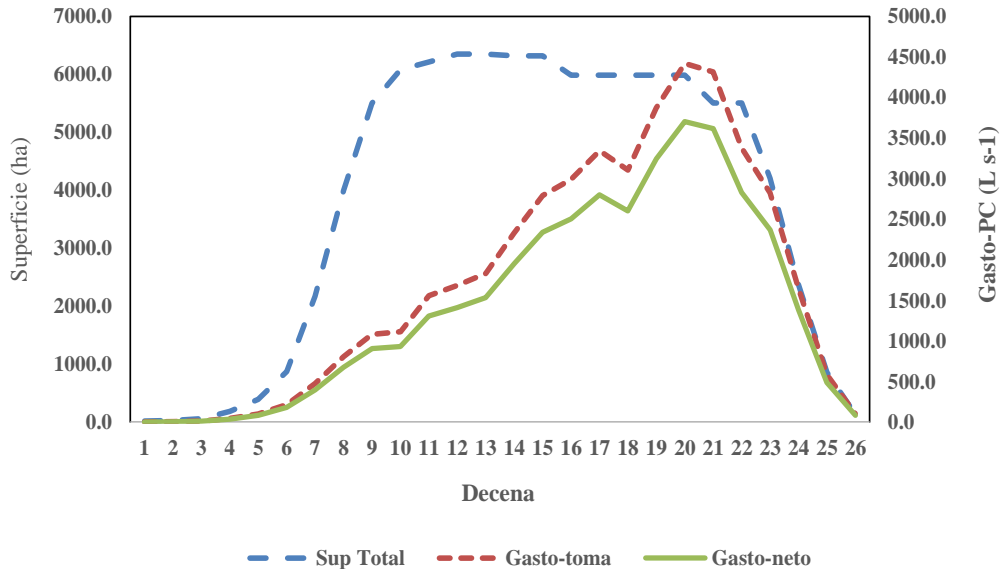


Figura 3. Plan de riegos decenal para el cultivo de maíz bajo goteo en el módulo de riego Batequis-DR075 a nivel punto de control (PC) (Eficiencia global = 84%)

Análisis comparativo

En el **Cuadro 1** se presenta un análisis de las principales limitaciones de la metodología tradicional para la elaboración del plan de riegos y las ventajas que puede tener la planeación integral como una herramienta de adaptación a escenarios climáticos y de operación.

Cuadro 1. Análisis comparativo entre plan de riegos tradicional y plan integral

Variable	Plan tradicional	Plan integral
Precisión (ETc)	Baja, no cuenta con respaldo experimental local	Alta, calculada a partir de parámetros de programación integral del riego generados experimentalmente
CUNR	Sin respaldo experimental, fijos y generalmente sobreestimados	Representativos y de alta precisión, dinámicos considerando escenarios de clima y operación



Variable	Plan tradicional	Plan integral
CUHR	Derivados de calendarios fijos, y Ln imprecisas	Derivados de calendarios generados con programación integral del riego considerando escenarios de operación, clima y fechas de siembra
CUSF	Derivado del patrón de cultivos	Derivado del patrón de cultivos
Adaptabilidad	Limitada, no considera variabilidad climática ni operación	Versátil, es posible generar coeficientes unitarios por escenario climático y de operación
Seguimiento	Limitado, generalmente incongruencia entre lo planeado y realizado	Versátil en el seguimiento del plan de riegos inicial usando plataformas basadas en GDD, congruencia entre lo planeado y realizado

Conclusiones

Una de las mayores ventajas de los planes integrales de riego es la alta precisión en los valores de los coeficientes unitarios de riego a partir de los cuales se deriva la calidad de la operación. Debido a que la base fundamental de esta metodología es el uso de parámetros de programación integral basados en el concepto GDD la hacen versátil para adaptarse a escenarios climáticos y de operación contrastantes. El seguimiento de estos planes de riego debe hacerse apoyado con plataformas desarrolladas bajo el mismo principio teórico y debe promoverse su incorporación a las zonas de riego del país.

Referencias Bibliográficas

- IMTA-CONAGUA-SEMARNAT. 2014. Sistema para el cálculo de planes de riego (Plan-DR v3), manual de usuario. Jitepec, Morelos.127pp
- Íñiguez C.M., Ojeda B.W. y Rojano A.A. 2011. Metodología para la determinación de la evapotranspiración integrada y la capacidad de canales en una zona de riego. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) UNCOYO. ISSN impreso 0370-4661. ISSN (en línea) 1853-8665. 43(2): 175-191.
- Ojeda, B.W., Sifuentes, I.E. y Unland, W.H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. *Agrociencias* 40: 13-25. Montecillos, Edo. México.
- Ojeda, W., P Martínez, y L. Hernández. 2008. Repercusiones del cambio climático en la agricultura de riego. Capítulo 6 del libro "Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México". Vol. II. Eds. A. Aguilar y P. Martínez. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Sifuentes I.E., Macías C.J., Ojeda B.W., Soto F.J., Mendoza P.C., Talamantes C.I. y Ruelas I. R. 2013. Estrategia integral para el uso eficiente del agua en módulos de riego del Distrito 075, Río Fuerte, Sinaloa. En: CD memorias del XVII Congreso Nacional de Irrigación. Puerto Vallarta, Jalisco. Pp 1-8