

## PROCESO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA IRRIMODEL 3.0 EN ZONAS DE RIEGO

**Ernesto Sifuentes-Ibarra<sup>1\*</sup>, Fernando Cabrera-Carbajal<sup>2</sup>, Mariana de Jesús Marcial-Pablo<sup>3</sup>, Sergio Iván Jiménez-Jiménez<sup>3</sup>, Jaime Macías-Cervantes<sup>1</sup>, María del Carmen Rodríguez-Rosales<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> INIFAP-Campo Experimental Valle del Fuerte. Carretera Internacional México-Nogales Km 1609, Juan José Ríos, Sinaloa, México. C.P. 81110

[sifuentes.ernesto@inifap.gob.mx](mailto:sifuentes.ernesto@inifap.gob.mx) y [ebnat68@gmail.com](mailto:ebnat68@gmail.com) (\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup> INIFAP-Sitio Experimental Valle del Mayo. Carretera Navojoa-Huatabampo km 9, Valle del Mayo, C.P. 85800, Navojoa, Sonora, México.

<sup>3</sup> INIFAP-Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Margen derecha Canal Sacramento km 6.5, Zona Industrial, C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango, México.

<sup>4</sup> Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-Universidad Autónoma de Sinaloa. Calle 16 y avenida Japaraqui, Juan José Ríos, Sinaloa, México. C.P. 81110

---

### Resumen

Las bajas eficiencias de riego, las sequías agrícolas, la variabilidad climática y los eventos climáticos extremos, cada año ponen en riesgo los planes de siembra y la rentabilidad de los cultivos en zonas de riego. Con el fin de atenuar esta problemática, el INIFAP desarrolló la plataforma computacional IRRIMODEL, basada en tecnologías de información y comunicación (TIC's) para la programación integral y gestión de riego por Internet usando el concepto Grados-día desarrollo (GDD), la cual estima y ajusta en forma dinámica los valores diarios de los requerimientos hídricos de los cultivos, a través de funciones no lineales de las variables coeficiente de cultivo (Kc), Máximo Déficit Permitido (MDP) y Profundidad dinámica de la raíz (Pr), permitiendo su uso bajo condiciones variables de clima y de disponibilidad hídrica. Sin embargo, para poder implantar esta herramienta en otras regiones agrícolas y cultivos, es necesario conocer los procesos para generar información de fenología de cultivos, bases de datos edáficas y climáticas, sistemas de riego y estudios específicos de riego de cada región. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue diseñar el proceso básico que deben seguir diferentes tipos de usuarios como módulos de riego y empresas agrícolas, para la implementación de la plataforma IRRIMODEL 3.0 en zonas de riego. Se presenta un estudio de caso de los Distritos de riego 038 (Río Mayo) y 041 (Río Fuerte), ubicados en el sur del estado de Sonora, México. Se logró calibrar la plataforma IRRIMODEL 3.0 para su aplicación en la gestión del riego en el sur de Sonora, se cuenta con una metodología base para la implementación de estas herramientas en zonas de riego.

**Palabras claves:** *Triticum aestivum*, variabilidad climática, escenarios hídricos, productividad del agua

## Introducción

El estado de Sonora aporta casi el 52% de la producción de trigo en México con 1.4 millones de toneladas, sin embargo, las bajas eficiencias de riego, las sequías agrícolas, la variabilidad climática y los eventos climáticos extremos cada año ponen en riesgo los planes de siembra y la rentabilidad del cultivo. Con el fin de atenuar esta problemática en las zonas de riego, en 2009-2010 el INIFAP desarrolló la plataforma computacional IRRIMODEL, basada en tecnologías de información y comunicación (TIC's) para la programación integral y gestión de riego por Internet usando el concepto Grados-día desarrollo (GDD), la cual estima y ajusta en forma dinámica los valores diarios de los requerimientos hídricos de los cultivos, a través de funciones no lineales de las variables coeficiente de cultivo (Kc), Máximo Déficit Permitido (MDP) y Profundidad dinámica de la raíz (Pr), permitiendo su uso bajo condiciones variables de clima y de disponibilidad hídrica (Sifuentes-Ibarra *et al.*, 2015).

En ese año agrícola se aplicó en más de 3 000 ha de papa, contribuyendo a mejorar significativamente la productividad y calidad de tubérculos. Durante el ciclo OI 2010-2011 se incorporaron maíz y frijol, logrando en el primero eficiencias de riego del 70% en riego por gravedad y hasta del 95% en goteo, con ahorros de agua de 1 800 a 4 000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e incrementos de rendimiento del 15% (1 500 kg ha<sup>-1</sup>) en gravedad y del 40% (4 000 kg ha<sup>-1</sup>) en goteo con respecto al método tradicional. En frijol se aplicó bajo riego por goteo y gravedad, con eficiencias similares a las de maíz, pero con mayor impacto en rendimientos.

En 2011-2012, 2012-2013 y 2020-2021 bajo escenarios de sequía, la plataforma se adecuó para su aplicación a nivel módulo de riego, logrando apoyar al 70% de la superficie de maíz con ahorro de agua de 1 600 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> sin reducción del rendimiento; del 2013 al 2019 se continuó con la mejora de la plataforma incorporando nuevos cultivos como nogal pecanero para su uso a nivel regional.

Sin embargo, para poder implantar esta herramienta en otras regiones agrícolas y cultivos, es necesario conocer los procesos para generar información de fenología de cultivos, bases de datos edáficas y climáticas, sistemas de riego y estudios específicos de riego de cada región. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue diseñar el proceso básico que deben seguir diferentes tipos de usuarios como módulos de riego y empresas agrícolas, para la implementación de la plataforma IRRIMODEL 3.0 en zonas de riego. Se presenta un estudio de caso de los Distritos de riego 038 (Río Mayo) y 041 (Río Fuerte), ubicados en el sur del estado de Sonora, México.

## Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el sur de Sonora durante el ciclo otoño-invierno (OI) 2022-2023 en las siguientes localidades: 1) INIFAP-Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB), 2) INIFAP-Sitio Experimental Valle del Mayo (SEMAY) y 3) Sibolibampo (Navojoa), ubicados en los municipios de Cajeme, Navojoa y Etchojoa.

### **Paso 1. Experimento de campo para parametrización del modelo**

Para la parametrización del modelo se estableció un experimento de campo con la participación de personal investigador del Sitio Experimental Valle del Mayo (SEMAY), Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB) y módulos de los distritos 038 y 041. En el experimento se evaluaron tres calendarios de riego en cada localidad, partiendo del calendario

tradicional, los cuales fueron: 1) Cuatro riegos de auxilio (4A), 2) Tres riegos de auxilio (3A) y Dos riegos de auxilios (2A), distribuyendo cada riego en fases fenológicas críticas para el cultivo, desde el punto de vista hídrico (Steduto *et al.*, 2014) y asociadas a los GDDA. como se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Descripción de tratamientos.**

Trat.	Sup. (ha)	Fases fenológicas	GDDA (° C)
4A	(1) 0.92 (2) 1.01 (3) 0.97	1A: producción de nudos-TP (encañado), 2A: espigado, 3A: grano acuoso, 4A: grano masoso	1A: 450, 2A: 664, 3A: 1010, 4A: 1438
3A	(1) 0.92 (2) 1.01 (3) 0.97	1A: producción de nudos-TP (encañado), 2A: antesis-floración, 3A: grano lechoso	1A: 450, 2A: 790, 3A: 1115.
2A	(1) 0.89 (2) 0.50 (3) 0.63	1A: vaina engrosada (embuche), 2A: grano acuoso	1A: 485, 2A: 874

GDDA: grados-día desarrollo acumulados, calculados con la metodología reportada por Ojeda-Bustamante *et al.* (2006), considerando temperaturas umbrales del cultivo de 27.2 y 4.4 ° C.

Las variables medidas para la evaluación fueron: 1) Fenología del cultivo, 2) Humedad del suelo y criterio de riego (CR), 3) Láminas neta (Ln) y bruta (Lb) y 4) rendimiento y calidad de grano. El monitoreo de la fenología se realizó utilizando la escala de Zadoks (código decimal) basada en 10 etapas importantes (Pask *et al.*, 2013). La humedad volumétrica del suelo (Hv) se midió antes de cada riego con sensor de humedad portátil TDR-350, calibrado localmente en forma gravimétrica, en dos estratos del perfil de suelo (0-30 y 30-60 cm) en tres sitios por tratamiento. Los datos obtenidos de esta variable sirvieron para conocer los CR o máximo déficit de humedad aprovechable permitido.

### **Paso 2. Generación de bases de datos climáticas, edáficas y de cultivo**

- **Clima.** Una vez calibrado los parámetros del modelo de programación integral IRRIMODEL, se realizó la compilación y carga de base de datos climáticas históricas, cultivos, parcelas, siembras y riegos. La actualización de clima se realizó usando la información climática de la Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de Sonora (REMAS), en esta plataforma se pueden consultar todas las estaciones del estado, estadísticas, pronósticos y mapas interpolados, Las variables que se puede consultar son: temperatura media, mínima y máxima en ° C, precipitación (mm), humedad relativa (%), velocidad del viento (km h<sup>-1</sup>), ráfaga de viento (km h<sup>-1</sup>) y evapotranspiración (mm). La Figura 1 muestra la interfaz principal de la plataforma REMAS.

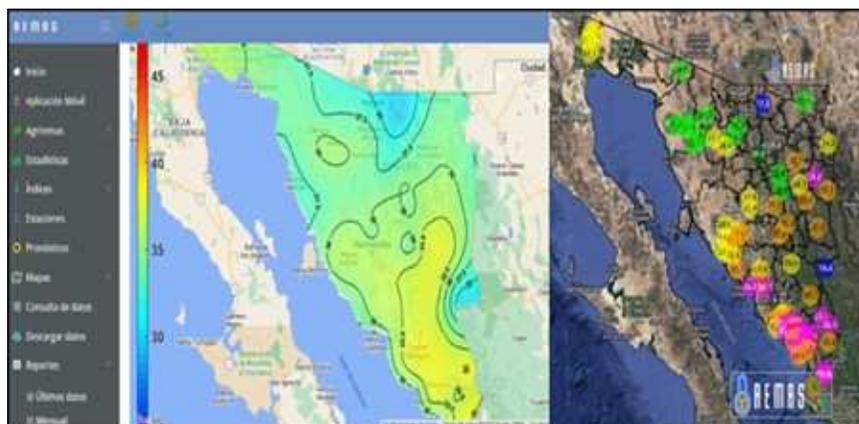


Figura 1. Interfaz principal de la plataforma de la Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de Sonora (REMAS).

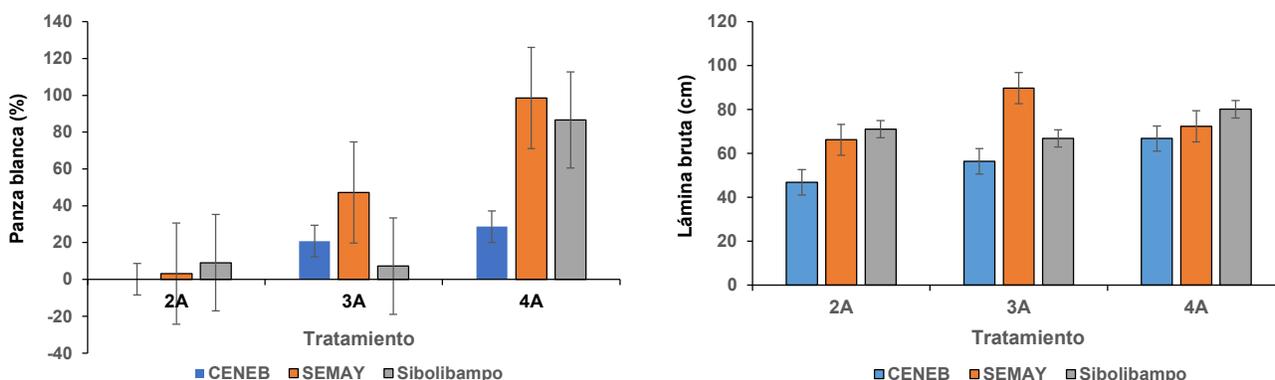
- **Fenología.** La fenología del cultivo se basó en la escala de Zadosk, en cada actualización de clima donde se reflejaba los GDD acumulados, la fenología se adecuó por medio de ello, para las tres localidades SEMAY, CENEB y Sibolibampo, las tres localidades fueron similares en su fenología, llegando a una sola conclusión y adecuándose una sola tabla de fenología.

### Paso 3. Calibración y adecuación de la plataforma IRRIMODEL

La información obtenida de las variables descritas en los párrafos anteriores, se utilizó para calibrar y ajustar los parámetros de las funciones del modelo integral para programación del riego en el cultivo de trigo en el sur de Sonora, que utiliza IRRIMODEL ((Ojeda-Bustamante *et al.*, 2006). En forma simultánea se adecuó la plataforma a la operación del riego de los diferentes tipos de usuarios potenciales mediante programación de software y quedando preparada para las etapas de validación y transferencia, los usuarios considerados fueron: 1) productores independientes, 2) empresas agrícolas y 3) módulos de riego.

### Resultados y Discusión

La Figura 1 ilustra el efecto del número de riegos y Lb en la presencia de panza blanca, mostrando una relación directa entre estas dos variables.

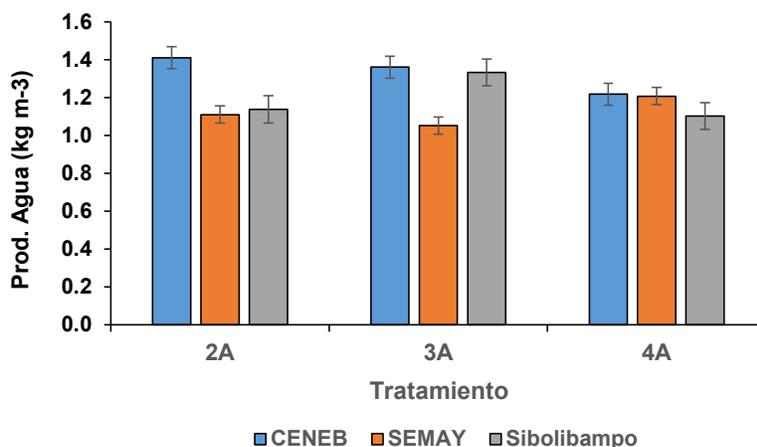


(a)

(b)

**Figura 1. Efecto del número de riegos y lámina aplicada (b) en la presencia de “panza blanca” (a), en el cultivo de trigo variedad Don Lupe C2020, en tres localidades del sur de Sonora, México (OI 2022-2023).**

La productividad del agua (PA) estimada como la relación del rendimiento y el volumen de agua aplicado (VA), se muestran en la Figura 2, donde los valores más altos se presentaron en el tratamiento 2A en las tres localidades, fluctuando de 1.3 a 1.4 kg/m<sup>3</sup>. El tratamiento 3A mostró valores altos en CENEB y Sibolibampo, similares a 2A, por su parte los valores en 4A fueron similares en CENEB y SEMAY (1.2 kg/m<sup>3</sup>), mientras que Sibolibampo reportó el valor más bajo (1.5 kg/m<sup>3</sup>).



**Figura 2. Productividad del agua del trigo variedad Don Lupe C2020 en tres calendarios de riego y tres localidades de estudio del sur de Sonora, México (OI 2022-2023).**

El Cuadros 2 muestran el comportamiento de las fases fenológicas del trigo variedad Don Lupe C2020, observado en la localidad Sibolibampo (parte central de la zona de estudio). Se presenta también la acumulación de grados-día desarrollo en cada fase (GDDA). Los muestreos de humedad antes de cada riego permitieron conocer los criterios de riego (CR), que para un calendario de tres riegos de auxilio fueron los siguiente: 65% en encañado, 55% en anthesis-floración y 65% en grano masoso.

**Cuadro 2. Fenología del cultivo de trigo variedad Don Lupe, sitio Sibolibampo.**

Orden	DDS	DF	GDD (fase)	GDDA (total)	Nombre-Fase	Criterio de riego (%)
0	0	0.00	0	0	Germinación-emergencia	
1	12	0.11	170	170	Producción de hojas del tallo principal	
2	28	0.22	178	348	Producción de amacollo	
3	39	0.31	127	475	Producción de nudos tp (encañado)	65
4	50	0.39	125	600	Vaina engrosada (embuche)	
5	60	0.45	96	696	Espigado	
6	68	0.49	65	761	Antesis-floración	55
7	82	0.61	182	943	Grano acuoso	
8	97	0.68	110	1053	Grano lechoso	



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.