

## **EFECTO DE TRES CALENDARIOS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TRIGO (Var. Don Lupe C2020), EN EL SUR DE SONORA**

**Ernesto Sifuentes-Ibarra<sup>1\*</sup>; Fernando Cabrera-Carbajal<sup>2</sup>; Sergio Iván Jiménez-Jiménez<sup>3</sup>; Mariana de Jesús Marcial-Pablo<sup>3</sup>; Jaime Macías-Cervantes<sup>1</sup>**

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

sifuentes.ernesto@inifap.gob.mx – Tel. (55) 3871-8700 Ext. 81512 (\*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.

---

### **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 las zonas de riego de México, sin embargo, existen pocos estudios científicos que proporcionen conocimiento práctico para afrontar estos escenarios. El objetivo del presente trabajo fue conocer el efecto de tres calendarios de riego en el rendimiento y calidad de trigo tipo cristalino duro (Var. Don Lupe C2020), en el sur de Sonora, México. El trabajo se realizó en el sur de Sonora, en las localidades: 1) INIFAP-Campo Experimental Norman E. Borlaug, 2) INIFAP-Sitio Experimental Valle del Mayo y 3) Sibolibampo. Los calendarios de riego evaluados fueron con dos, tres y cuatro riegos de auxilio (2A, 3A y 4A), aplicados en fases fenológicas críticas. Las variables medidas fueron humedad del suelo, fenología, láminas aplicadas (Lb), rendimiento y calidad física de grano (“panza blanca”). Se encontró una precocidad de 6 a 20 días después de siembra (DDS) y mayor a 200 grados días desarrollo (GDDA) en la localidad CENEB con respecto a Sibolibampo la localidad que presentó con mayor duración del ciclo. En general el tratamiento 3A tuvo mayor rendimiento en las tres localidades y poca presencia de panza blanca, se observó un incremento del rendimiento al incrementar la lámina aplicada, pero con caída en la calidad del grano. Los muestreos de humedad antes de cada riego permitieron conocer el criterio de riego (CR) que fue de 65% en encañado, 55% en anthesis-floración y 65% en grano masoso para un calendario 3A. Los resultados obtenidos servirán para sentar las bases para el manejo del cultivo en escenarios de disponibilidad hídrica normal y de sequía en el sur de Sonora.

**Palabras claves:** Fenología, criterios de riego, escenarios hídricos.

## 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 ( $K_c$ ), 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., 2016).

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 1800 a 4000  $m^3 ha^{-1}$  e incrementos de rendimiento del 15% (1500  $kg ha^{-1}$ ) en gravedad y del 40% (4000  $kg ha^{-1}$ ) 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 1600  $m^3 ha^{-1}$  sin reducción del rendimiento. Del 2013 al 2019 se continuó con la mejora de la plataforma incorporado nuevos cultivos como nogal pecanero para su uso a nivel regional.

Sin embargo, para poder implantar esta herramienta en otras regiones agrícolas y cultivos, se requiere un proceso de calibración y validación. En el presente trabajo se presenta un estudio para conocer el efecto de tres calendarios de riego en el rendimiento y calidad de trigo (Var. Don Lupe C2020), en el sur de Sonora que permita conocer la sensibilidad de esta variedad al estrés hídrico en etapas fenológicas críticas, el uso y productividad de agua y sentar las bases para calibrar la plataforma IRRIMODEL para su aplicación en escenarios de disponibilidad hídrica normal y restringida.

## 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 (Figura 1).

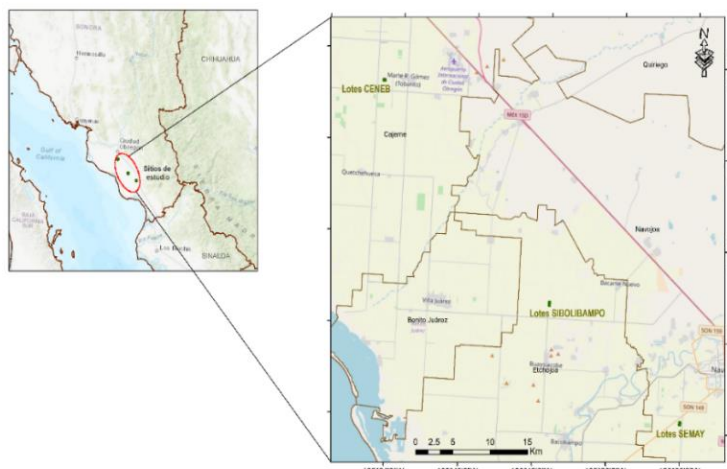


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

En cada localidad se estableció un lote experimental cuyas características generales se presentan en el Cuadro 1. La preparación del terreno se hizo de manera convencional consistiendo en barbecho, rastreo, marca de surcos y canalización. Previo a la siembra se realizó un análisis de suelos y se aplicó un riego de germinación por gravedad para llevar el suelo a capacidad de campo (CC) y uniformizar la humedad del suelo en un perfil de 100 cm. La siembra se realizó con sembradora de precisión calibrada para una densidad de 80 kg ha<sup>-1</sup>.

**Cuadro 1.** Lotes experimentales para la para la evaluación de calendarios de riego en el rendimiento y calidad de trigo (Var. Don Lupe), en el sur de Sonora. Ciclo OI 2022-2023.

Lote	Municipio	Sup. (ha)	Variedad	Fecha de siembra	Textura
(1) CENEB	Cajeme	2.73	Don Lupe C2020	18/12/2022	Arcillosa
(2) SEMAY	Navojoa	2.52	Don Lupe C2020	01/12/2022	Arcillosa
(3) Sibolibampo	Etchojoa	2.57	Don Lupe C2020	22/11/2022	Arcillosa

Se evaluaron tres calendarios de riego en cada localidad partiendo del calendario tradicional, estos 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, desde el punto de vista hídrico (*Steduto et al., 2014*) y asociadas a los GDDA. Los tratamientos se establecieron en franjas rectangulares de 0.5 a 1 ha, como se muestra en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** 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

Trat.	Sup. (ha)	Fases fenológicas	GDDA (° C)
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 ° 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.

Las láminas netas (Ln) y láminas brutas (Lb) se midieron en cada riego de auxilio, la primera estimada mediante balance hídrico con el programa IRRIMODEL utilizando datos climáticos de la Red de Estaciones Meteorológicas Automatizadas del Estado de Sonora (<https://www.siafeson.com/remas/index.php/estacionglobal/estaciones>), mientras que la segunda con la ecuación  $Lb = V / A$ , donde V es el volumen aplicado (m<sup>3</sup>) y A es la superficie regada (m<sup>2</sup>). El volumen de riego se calculó con la fórmula  $V = Q \times T$ , donde Q es el gasto de riego (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) medido con molinete electrónico y T es el tiempo de riego (h). El rendimiento se estimó mediante muestreo manual en tres repeticiones ubicadas en forma equidistante a lo largo de cada tratamiento. En cada repetición se tomaron cuatro sub-muestras de 0.8 m<sup>2</sup> (1m x 0.8 m), ubicadas en un radio de ocho surcos, cada sub-muestra se tomó de un surco. La variable relacionada con la calidad física fue el porcentaje de “panza blanca” la cual está asociada a una deficiencia de nitrógeno.

## Resultados y Discusión

### Fenología y criterios de riego (CR)

En el Cuadro 3 se hace una comparación del comportamiento de aparición de tres fases fenológicas del trigo en las tres localidades estudiadas. Se puede observar que, en las CENEB presenta un requerimiento menor de DDS y GDDA con respecto a las otras dos. En encañe se determinó una diferencia de seis DDS y 126 GDDA con respecto a Sibolibampo que es la localidad con mayor requerimiento. En la madurez las diferencias fueron hasta de 20 DDS y más de 200 GDDA, esta variación es una respuesta clara del cultivo a la diferencia de ambientes, principalmente temperatura, como lo demostraron Sifuentes et al. (2020) con el cultivo de maíz en Sinaloa.

**Cuadro 3.** Días calendario y grados día-desarrollo acumulados (GDDA) en tres fases fenológicas de trigo (Var. Don Lupe C2020), en tres localidades del sur de Sonora.

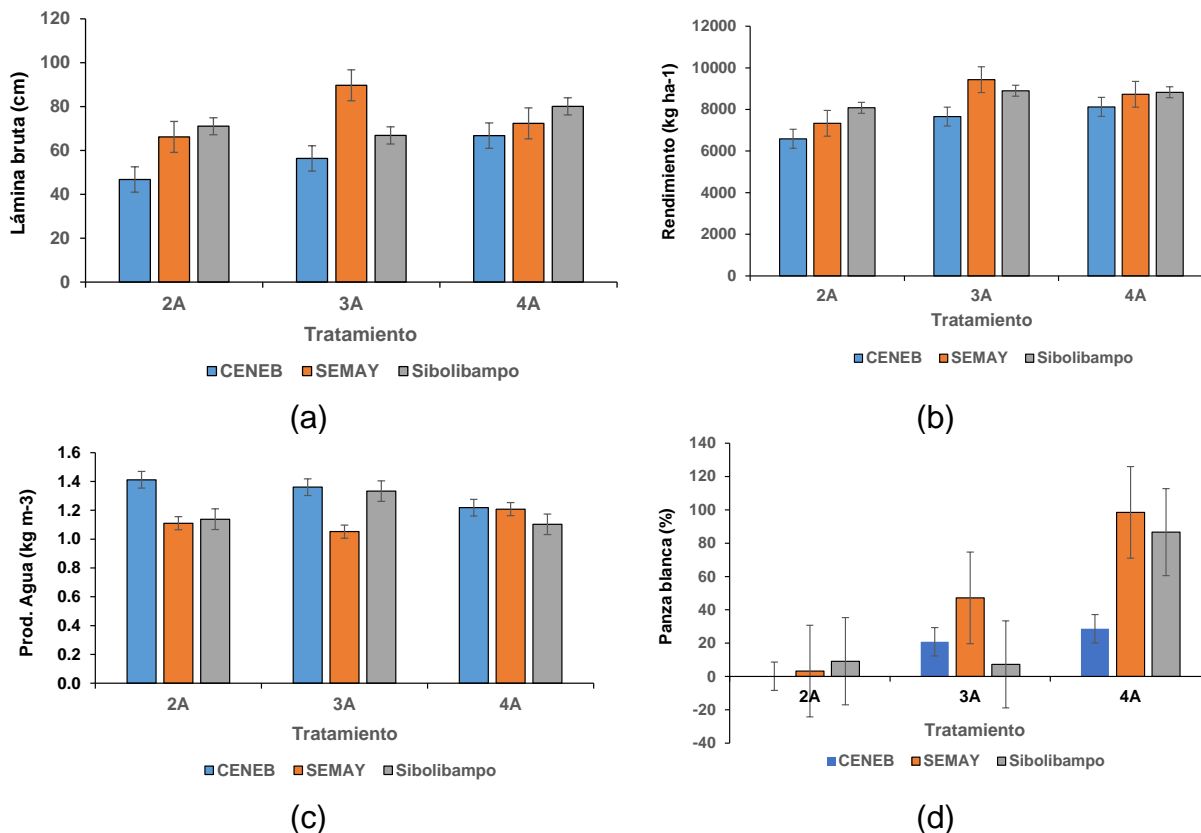
Sitio	Encañado		Antesis-floración		Madurez	
	DDS	GDDA	DDS	GDDA	DDS	GDDA
CENEB	42	450	76	790	131	1571
SEMAY	44	513	82	841	150	1696
Sibolibampo	48	576	87	943	151	1782

DDS: días después de siembra, GDDA: grados día-desarrollo acumulados

Los CR estimados para un calendario de tres riegos de auxilio fueron: 1) 65% para el primer riego de auxilio en la fase de encañado, 2) 55% para el segundo auxilio en antesis-floración y 3) 65% en grano masoso.

### Productividad del agua y calidad de grano

La Figura 2 muestra los efectos de los tres tratamientos en Lb, rendimiento, productividad del agua y calidad física de grano. En general el tratamiento 3A tuvo mayor rendimiento en las tres localidades y poca presencia de panza blanca, se observó un incremento del rendimiento al incrementar la lámina aplicada, pero con caída en la calidad del grano.



**Figura 2.** Productividad del agua (c) estimada a partir de lámina bruta (a) y rendimiento (b), asociada a la variable de calidad física de grano “panza blanca” (d), en tres localidades del sur de Sonora, México (OI 2022-2023).

Las láminas netas ( $L_n$ ) fluctuaron de 35 a 48 cm en CENEB, de 27 a 35 y de 35 a 46 cm en Sibolibampo, correspondiendo los valores más bajos al calendario 2A y los más altos a 4A. Los muestreos de humedad antes de cada riego permitieron conocer el criterio de riego (CR) que fue de 65% en encañado, 55% en antesis-floración y 65% en grano masoso para un calendario 3A.

### Conclusiones

El estudio permitió identificar diferencias importantes en el comportamiento fenológico del cultivo de trigo (variedad Don Lupe C2020) en tres localidades del sur de Sonora, lo cual debe considerarse en el manejo del riego. En general, un calendario de tres riegos de auxilio en CENEB y Sibolibampo es lo recomendable para maximizar el rendimiento y reducir la aparición de panza blanca, en CENEB, en condiciones de baja disponibilidad hídrica podría ser una excelente opción también. Los resultados obtenidos servirán para sentar las bases para el manejo del cultivo en escenarios de disponibilidad hídrica normal y de sequía en el sur de Sonora.

### Referencias Bibliográficas

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.

Pask, A.J.D.; Pietragalla, J.; Mullan, D.M.; Chávez-Dulanto P.N. y Reynolds, M.P. (Eds.). (2013) *Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo*. México, D.F.: CIMMYT.

Sifuentes-Ibarra, E.; Ojeda-Bustamante, W.; Ontiveros-Capurata, R.E.; Sánchez-Cohen, I. (2020). Improving the monitoring of corn phenology in large agricultural areas using remote sensing data series. *Spanish Journal of Agricultural Research*, Volume 18, Issue 3, e1204. <https://doi.org/10.5424/sjar/2020183-16269>.

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