



INFORME FINAL DE RESULTADOS

Nombre del proyecto: MEJORA DEL SERVICIO DE RIEGO DEL CULTIVO DE TRIGO, EN UN MÓDULOS PILOTO DEL DDR-038, RÍO MAYO, y DDR-041 RIO YAQUI, SONORA, APOYADOS CON LA PLATAFORMA IRRIMODEL.

Fecha del inicio del proyecto: 16 de enero de 2024

Fecha de terminación del proyecto: 30 de noviembre de 2024

Responsable del Proyecto: M.C. Fernando Cabrera Carbajal

1. Colaboradores del Proyecto

(Hacer una lista en el cuadro de las personas que participaron en el proyecto y las actividades que realizaron)

Nombre / Correo electrónico // Institución	Actividades realizadas por cada participante
Dr. Ernesto Sifuentes Ibarra / CEVAF sifuentes.ernesto@inifap.gob.mx	- Selección y establecimiento de sitios piloto y testigo - Diseño y coordinación de procesos operativos del proyecto - Actualización de bases de datos - Mejora de la plataforma IRRIMODEL - Compilación y análisis de datos de campo - Elaboración de informe.
MC. Jaime Macías Cervantes / CEVAF macias.jaime@inifap.gob.mx	- Compilación y análisis de datos de campo - Instructor de eventos de capacitación y difusión - Elaboración de informe Compilación y análisis de datos - Elaboración de informe.
MC. Sergio Iván Jiménez Jiménez / CENID-RASPA jimenez.sergio@inifap.gob.mx	Desarrollo de una APP para el monitoreo de la humedad del suelo con TDR portátiles, como parte complementaria de la plataforma IRRIMODEL. Elaboración del manual de operación de la APP Instructor de eventos de capacitación y difusión Elaboración de informe
MC. Mariana de Jesús Marcial Pablo / CENID-RASPA marcial.mariana@inifap.gob.mx	Monitoreo satelital del cultivo en sección piloto con la plataforma VICAL como complemento de la plataforma IRRIMODEL. Elaboración de manual de operación de la plataforma VICAL Instructor de eventos de capacitación y difusión



	Elaboración de informe. Apoyo en la elaboración de informes
M.C. J. Eliseo Ortiz Enríquez // CENEB ortiz.eliseo@inifap.gob.mx	En dos sitios del DDR 041 realizar: Monitoreo de humedad del suelo. Aforo y tiempo del riego Leer la fenología al riego Procesar información de campo para demostración Realizar avance de informe Realizar informe final

2. Introducción

La rentabilidad de los cultivos, la disponibilidad de agua y la estabilidad económica-social de los individuos en el noroeste de México están en riesgo debido a la problemática a que se enfrentan cada año los distritos de riego como lo son: alta competencia por el agua, sequías recurrentes, variabilidad climática y bajas eficiencias en el uso del agua de riego, entre otros. Esta problemática se agudiza debido a un modelo deficiente de gestión del servicio de riego (planeación-entrega-acompañamiento). El INIFAP ha desarrollado un nuevo modelo de gestión de agua de riego a pequeña y gran escala llamado Plataforma IRRIMODEL. Esto fue posible gracias al desarrollo de tecnologías de la información y comunicaciones (TIC's), a los sensores para el monitoreo de variables agrícolas como suelo y planta, y a los sensores remotos (satélites y drones) de la última década. Dicha Plataforma está vinculada a sensores de humedad y sensores remotos. Durante el ciclo OI 2022-2023 se desarrollaron estudios para calibrar y adecuar el modelo al cultivo del trigo en el sur de Sonora. En el presente ciclo se generaron las condiciones para emigrar su aplicación a nivel módulo de riego para mejorar el servicio de riego de estos organismos, que los respalde a hacer más oportuno el suministro, más eficiente el uso del agua, mantener o ampliar sus programas de siembra y mejorar la productividad de los cultivos como trigo.

Objetivos

General:

Contribuir a la mejora del servicio de riego del cultivo de trigo, en un sitio del del DR-038, Río Mayo, Sonora, así como en cuatro sitios del DDR 041 mediante la aplicación de la plataforma IRRIMODEL, complementada con uso de sensores portátiles de humedad del suelo TDR, el monitoreo satelital del cultivo, el seguimiento de campo por los técnicos de los DDR's, la capacitación simultánea por el personal del INIFAP al personal de los DDR's y la colaboración del productor realizando y aportando todo lo concerniente en la parcela para una adecuada aplicación del riego.

Específico(s):

1. Estructurar el modelo de operación para la mejora del servicio de riego en varios sitios definidos por el DDR 038 y DDR 041 del sur de Sonora, incorporando a la plataforma IRRIMODEL, información de sensores portátiles TDR, el monitoreo satelital del cultivo con la plataforma VICAL y la información de suelo necesaria de cada sitio para el adecuado seguimiento.



2. Determinar el grado de mejora del servicio de riego en un área representativa del módulo de riego piloto, en términos de eficiencias de aplicación, rendimiento, calidad de la producción y productividad del agua.
3. Capacitar al personal técnico, productores y regadores del módulo de riego, para la adopción de la tecnología a gran escala.

Objetivo Planteado	Comentarios
1	se logró el objetivo y se ilustro en el taller con los técnicos
2	se muestra la mejora con la información del cuadro 4.
3	realizado mediante talleres

3. Avances de Productos-Entregables (alimentar con fotografías)

Producto /Entregable	Comentarios
Desplegable sobre requerimientos hídricos del trigo en el sur de Sonora	Cumplido. El desplegable se elaboró el mes de agosto del 2024, con número 43.
Manual de operación de la APP para el monitoreo de la humedad del suelo con sensores portátiles	Cumplido. Se realizó el manual IRRIMOIST-APP 1.0 con número 50 en formato electrónico, se está en espera de la asignación del ISBN.
Demostración de campo en sitio del DDR 038/Taller: herramientas de apoyo en la gestión del riego en trigo	Ante el desfasamiento en la disponibilidad de recursos estas actividades se sustituyeron por la capacitación dada el 25 y 26 de septiembre de 2024 con el taller herramientas de apoyo en la gestión del riego en trigo
Demostración de campo en sitio del DDR 041/Taller: herramientas de apoyo en la gestión del riego en trigo	
Curso-taller sobre el uso de las tecnologías utilizadas en los DDR's 038 y 041/Taller: herramientas de apoyo en la gestión del riego en trigo	
Informe final técnico y financiero	Realizado



4. Descripción de las actividades o avances del proyecto (alimentar con fotografías)

- Seguimiento a parcelas en campo en manejo del riego de los distritos de riego (DDR) 038 y 041.

Con el apoyo de la herramienta IRRIMODEL 3.0. En estas parcelas se midió lo siguiente: 1) humedad del suelo, 2) Láminas y eficiencias de aplicación y 3) Rendimiento. Los Cuadros 1 y 2 muestran las características generales de las parcelas de validación.

Cuadro 1. Parcela de validación y testigo de trigo ubicadas en el sitio DDR 038. Ciclo OI 2023-2024.

Parcela	DDR	Padrón	Módulo	Superficie (ha)	Fecha de siembra	Variedad
Rosalba Díaz (Testigo)	38	10058-00	7	3	03-dic-23	DON LUPE
Félix corral (Prueba)	38	10283-00	7	4.96	01-dic-23	BORLAUG
Mini	38	3376-00	13	60	02-dic-23	CIRNO

Cuadro 2. Parcelas de validación ubicadas en el DDR 041. Ciclo OI 2023-2024.

Parcela	DDR	Padrón	Modulo	Superficie (ha)	Fecha de siembra	Variedad
Bacame nuevo	41	5123-64	Santini-1	45	23-nov-23	CIRNO
Morelos	41	1501-10	14	5	05-dic-23	CIRNO
Singapur	41	521-3	4	10	28-dic-23	DON LUPE

Para el seguimiento y evaluación de riegos con la plataforma IRRIMODEL 3.0, se hicieron dos cuentas de usuario, la primera como cuenta de riegos programados donde se generaron y guardaron las recomendaciones de riego (fecha, tiempos de riego, láminas y eficiencias de aplicación). En la segunda cuenta se incorporaron las parcelas con la información realizada en cada una de ellas, con el fin de comparar lo programado con lo realizado.

- Coordinar el levantamiento de información en campo de las cinco parcela o sitios del sur de Sonora.

Se realizó la elección de parcelas con las características de tipo de suelo, DDR, padrón, modulo, superficie, fecha de riego, No. de riego. fecha. de siembra, así como coordenadas de parcela y municipio. También se localizó la estación meteorológica más cercana para el uso de su información en la aplicación del IRRIMODEL 3.0. Lo anterior se incorporó a la plataforma IRRIMODEL 3.0 y se actualizó la información climática semanalmente. Para el pronóstico de riego fenología del cultivo se utilizó el promedio de cinco años de las variables temperatura del aire (Ta) y Evapotranspiración de referencia (ETo).

- Generación de información de la gestión del riego con la herramienta IRRIMODEL (proceso y suministro de información para capacitación e informe).

La información generada a partir del seguimiento de las parcelas de validación mostradas en los Cuadro 1 y 2 con la plataforma IRRIMODEL 3.0, se utilizó para realizar un análisis comparativo entre las recomendaciones programadas y lo realizado en campo, para estimar indicadores como fechas de riego, láminas y eficiencias de aplicación. Además con la información de rendimiento se estimó la productividad del agua expresada en kg de grano por cada m³ de agua aplicada.

- **Capacitación sobre determinación de Densidad aparente (Da), y manejo del TDR en campo a técnicos del DDR 038 y DDR 041 (proceso y suministro de información para demostración e informe).**

Durante los días 25 y 26 de septiembre de 2024 se dieron dos talleres a personal técnico de los distritos de riego 038 y 041. En la primera sesión se abordaron dos temas:

1. Densidad aparente del suelo por el método del pozo (u hoyo) y
2. Pulso de los sentidos organolépticos para el buen funcionamiento del TDR en la toma de datos de humedad en el suelo.

En el primero se dio la marcha en campo (imagen 2) para hacer la determinación de la densidad aparente del suelo. Esto considerando en obtener el dato más real, mismo que se usa en la ecuación para determinar la lámina de riego a partir de medir la humedad en suelo: $L = (CC - Hum) * Pr * Da$, donde L es lamina de riego; CC es capacidad de campo en tanto por uno; Hum es la humedad determinada ya sea gravimétrica o volumétrica; Pr es la profundidad a la que hay que humedecer y Da es la densidad aparente del suelo. La Da por su parte se obtiene con la ecuación $Da = Pss / Vss$, donde Pss es el peso seco del suelo y Vss es volumen seco del suelo. Además, el valor de la Da sirve para convertir la humedad gravimétrica a volumétrica o viceversa.

En el segundo tema, la práctica consistió en saber insertar las varillas del TDR (imagen 1) haciendo un procedimiento de compactación leve para -mediante el tacto- sentir el adecuado contacto del suelo con las varillas y obtener una lectura correcta del periodo y humedad volumétrica. El TDR es un instrumento que facilita la exploración de la humedad con lectura rápida y que su utilidad depende del buen uso para obtener estimaciones correctas, las cuales ayudan a saber cuanto y cuando aplicar el riego al cultivo.



Imagen 1.



Imagen 2.

- Seguimiento al NDVI de las cinco parcelas mediante imágenes de satélite con la herramienta VICAL e Índices útiles para la toma de decisiones en la aplicación de los riegos.

Análisis comparativo de los sitios de muestreo

Ubicación de la zona de estudio

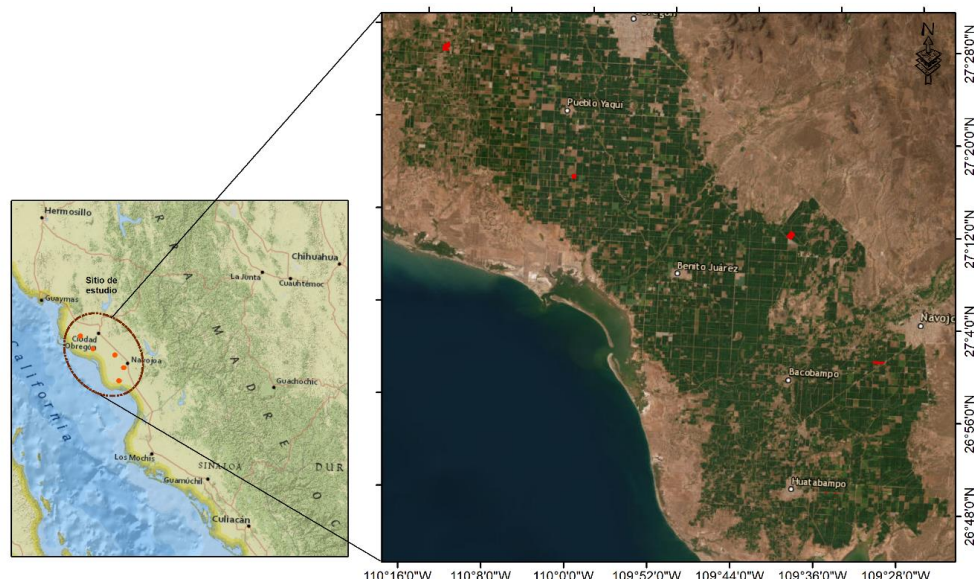


Figura 1. Ubicación de las parcelas de estudio.

La evaluación se realizó durante el ciclo otoño-invierno (OI) 2023-2024 en seis parcelas de muestreo; tres parcelas ubicadas en el municipio de Navojoa y Huatabampo dentro del Distrito de Riego 038 Río Mayo y tres parcelas ubicadas en el municipio de Etchojoa, Cajeme y Guaymas dentro del Distrito de Riego 041 Río Yaqui en el estado de Sonora (Figura 1).

Las características de las parcelas se indican en el cuadro 3.

Cuadro 3. Características de las parcelas analizada en el estudio.

Parcela	Etiqueta de parcela	DDR	Superficie (ha)	Fecha de siembra
Rosalva Díaz	P1-038	38	3	03-dic-23
Félix Corral	P2-038	38	4.96	01-dic-23
Mini	P3-038	38	60	02-dic-23
Bacame Nuevo	P1-041	41	45	23-nov-23
Morelos II	P2-041	41	5	05-dic-23
Singapur	P3-041	41	10	28-dic-23



Índices de vegetación

El monitoreo de la vegetación se realizó a partir de imágenes satelitales Sentinel-2 durante el desarrollo del cultivo (siembra-cosecha); con las imágenes espectrales se estimaron el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice de estrés hídrico (MSI). El NDVI está correlacionado con el contenido de agua de la vegetación y pueden considerarse como un índice descriptivo de la vegetación. El MSI se utiliza para el análisis de estrés en el dosel, la predicción de la productividad y la modelación biofísica; la interpretación del MSI se invierte en relación con otros índices de vegetación debido a que los valores más altos del índice indican un mayor estrés hídrico de las plantas y, en consecuencia, un menor contenido de humedad del suelo. Los valores de este índice son ≥ 3.0 , siendo el rango común para la vegetación verde de 0.2 a 2.0 (Welikhe *et al.*, 2017). El NDVI (Rouse *et al.*, 1973) y MSI (Hunt & Rock, 1989) fueron calculados mediante las siguientes ecuaciones:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$
$$MSI = \frac{SWIR}{NIR}$$

Dónde: SWIR representa la reflectancia o radiancia del dosel en el infrarrojo, NIR representa la reflectancia en el infrarrojo cercano y R la reflectancia del dosel en el rojo (R).

Recolección de datos

Los valores de los índices NDVI y MSI se obtuvieron para el periodo analizado automáticamente dentro de la herramienta VICAL (Jiménez-Jiménez *et al.*, 2022), que a su vez se encuentra soportada por la plataforma Google Earth Engine (GEE). Dentro de la herramienta VICAL se digitalizaron las parcelas de muestreo y se calcularon los índices de vegetación (IV) con imágenes Sentinel-2 (10 m de resolución), para cada uno de los casos. Los datos se obtuvieron desde la siembra (noviembre - diciembre del 2023) hasta la madurez fisiológica (abril del 2024).

En las parcelas se implementó la utilización de la plataforma IRRIMODEL y el análisis se realizó considerando la aplicación del número de riego, para el caso de las parcelas ubicadas dentro del Distrito de Riego Río Mayo se aplicaron 2 riegos de auxilio y para las parcelas ubicadas en el Distrito del Río Yaqui se aplicaron 3 riegos de auxilio.

Análisis de monitoreo de las parcelas

En el caso de las parcelas ubicadas en el DR 041, el mejor comportamiento vegetativo lo presentó la parcela P1-041, con un valor máximo de NDVI promedio de 0.97 a los 70 a 80 días después de la siembra (DDS) (figura 2). La parcela que presentó un menor estrés hídrico en las plantas fue P1-041,

seguido de P2-041 y P3-041; la parcela de mayor estrés hídrico P3-041 presenta un ciclo de cultivo más corto respecto al P1-041 y P2-041 (figura 3).

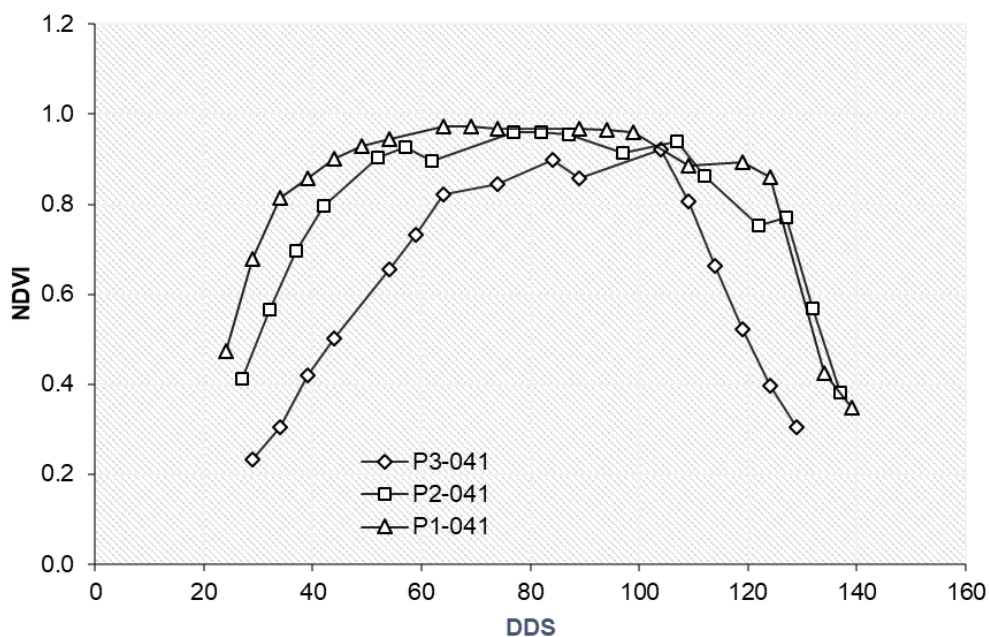


Figura 2. Comportamiento del NDVI en las parcelas ubicadas en DDR 041.

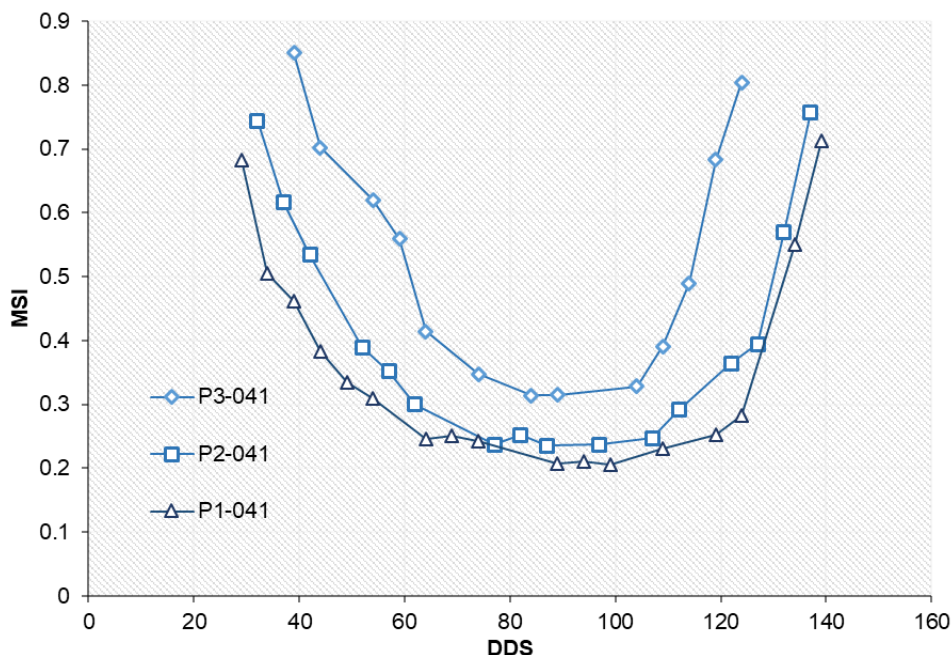


Figura 3. Comportamiento del MSI en las parcelas ubicadas en DDR 041.

Para el caso de las parcelas de DDR 038 (figuras 4 y 5), las diferencias entre los valores de NDVI son más notorias durante al inicio y final de temporada de crecimiento del cultivo; donde los valores promedios más altos en las etapas fenológicas iniciales se presentaron en la parcela P1-038,

posteriormente durante la etapa de antesis- floración en valor promedio máximo se presentó en la parcela P3-038, seguido de las parcelas P2-038 y P1-038. Considerando el índice MSI la parcela de mayor estrés hídrico en las plantas fue P2-038 y la parcela de menor estrés durante el inicio de crecimiento de cultivo (hasta a aproximadamente 50 DDS) fue P1-038, después durante el desarrollo máximo hasta la madurez fisiológica el estrés más bajo se presentó en la parcela P3-038.

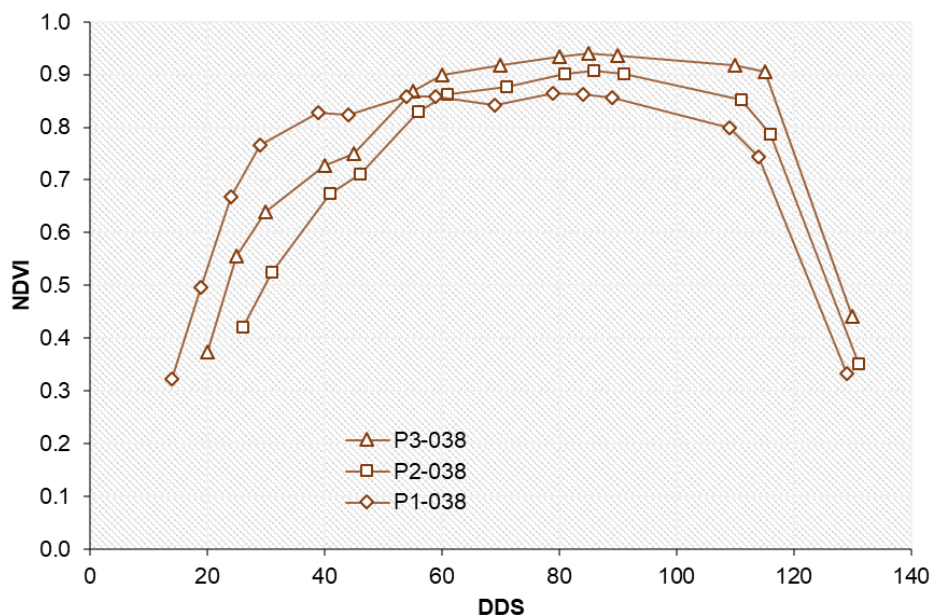


Figura 4. Comportamiento del NDVI en las parcelas ubicadas en DR 038.

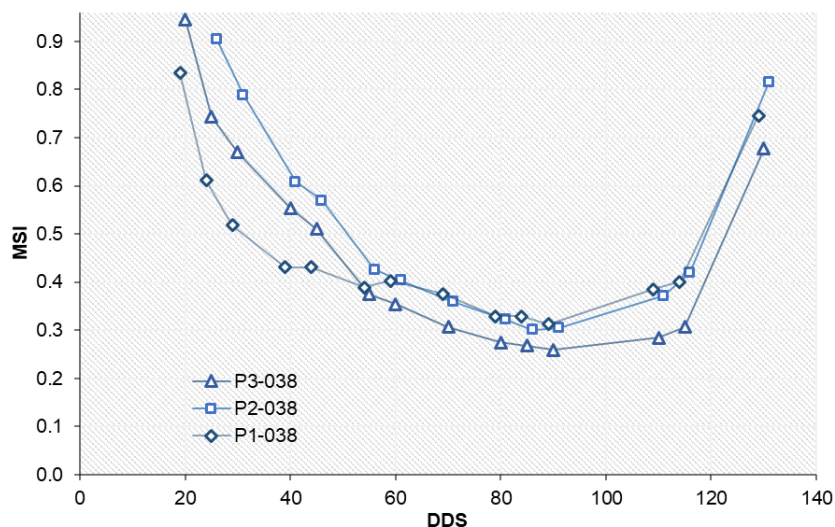


Figura 5. Comportamiento del MSI en las parcelas ubicadas en DR 038.

La cobertura máxima promedio en las parcelas ubicadas en DDR 041 (figura 6) fluctuaron entres 92 a 96% obtenidos a los 75 a 82 DDS, mientras que para las parcelas del DDR 038 (figura 7) la cobertura máxima se encontró entre los 87 a 94% a los 80 a 90 DDS. Las diferencias entre los valores de

cobertura máxima obtenidas se deben a que en las parcelas de DR-041 se aplicaron 3 riegos de auxilio y en las parcelas de DR-038 solo 2 riego de auxilio.

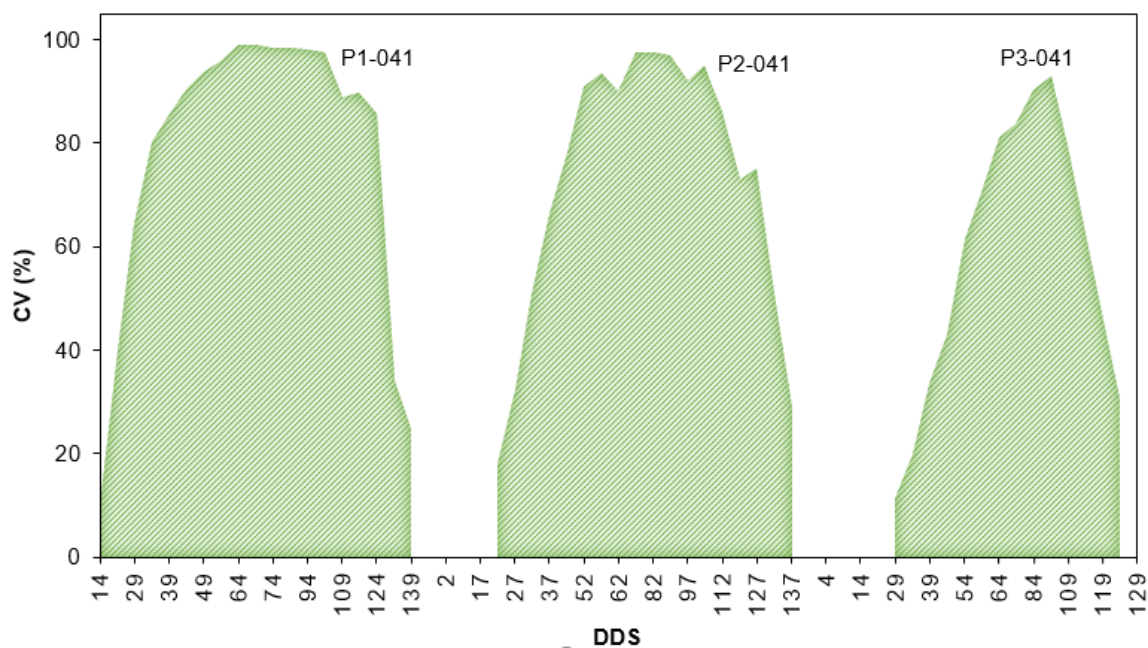


Figura 6. Cobertura vegetal obtenida de imágenes satelitales de las parcelas ubicadas en DDR 041.

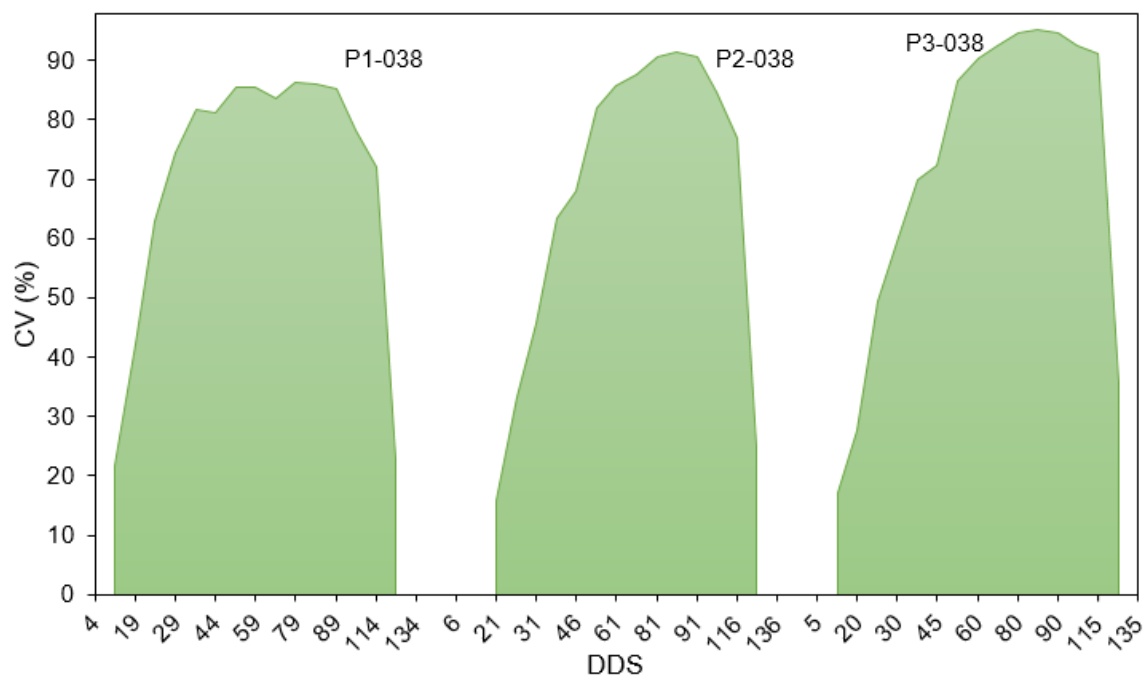


Figura 7. Cobertura vegetal obtenida de imágenes satelitales de las parcelas ubicadas en DDR 038.



- **Riegos programados vs riegos aplicados**

Realizados

El Cuadro 3 muestra un incremento en la eficiencia de aplicación de 10 a 17% con respecto al testigo a excepción de la parcela Morelos II. Lo anterior representa una reducción de 10 a 15 cm de lámina (1000 a 1500 m³/ha), resultados similares a los encontrados en maíz en el estado de Sinaloa.

Cuadro 4. Resumen de riegos aplicados en parcelas de validación. Ciclo otoño-invierno 2023-24.

Nombre	CTA	SC	Riegos aplicados	Lámina neta (cm)	Lámina bruta (cm)	Eficiencia de aplicación (%)
Rosalba Díaz (Testigo)	10058	00	3	31.9	63.36	53.7
Félix Corral-Prueba	10283	00	3	32.2	52.7	63.4
Mini	3376	00	3	32.9	47.4	70.6
Bacame nuevo	5123	64	4	37.3	60.5	62.1
Morelos II	1501	10	4	38.8	83.9	41.4
Singapur	521	3	4	41.5	72.7	62.1

Nota: la lámina neta representa el requerimiento de riego y la lámina bruta la lámina aplicada

Los riegos programados de las mismas parcelas con la plataforma IRRIMODEL 3.0, indican una lámina neta o requerimiento de riego de 37 cm y una lámina bruta o aplicada de 47, para un calendario de tres riegos de auxilio. Para un calendario de cuatro auxilios el requerimiento se incrementa a 44 cm y la lámina bruta a 55 cm. En ambos casos la eficiencia de aplicación máxima puede llegar hasta 80%.

- **Rendimiento y productividad del agua**

Rendimiento de grano

La Figura 8 muestra los rendimientos de grano promedios en las parcelas de validación, la parcela con el rendimiento más alto fue Morelos II con 8600 kg/ha, seguida de Bacame y Singapur, la de menor rendimiento fue Félix Corral y el testigo (Rosalba Díaz). Lo anterior indica las láminas altas aplicadas no incrementan el rendimiento.

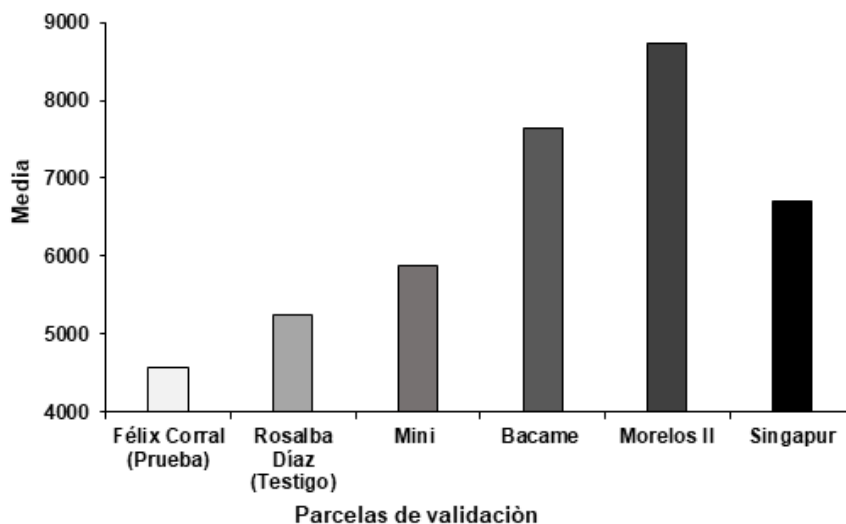


Figura 8. Rendimientos de grano promedios en las parcelas de validación

Productividad del agua (WP)

Respecto a la productividad del agua, el comportamiento de esta variable se muestra en la Figura 9. El valor más alto fue para Bacame y Mini y el más bajo para el testigo. Este indicador representa la cantidad de grano producido por cada 1000 litros de agua aplicados.

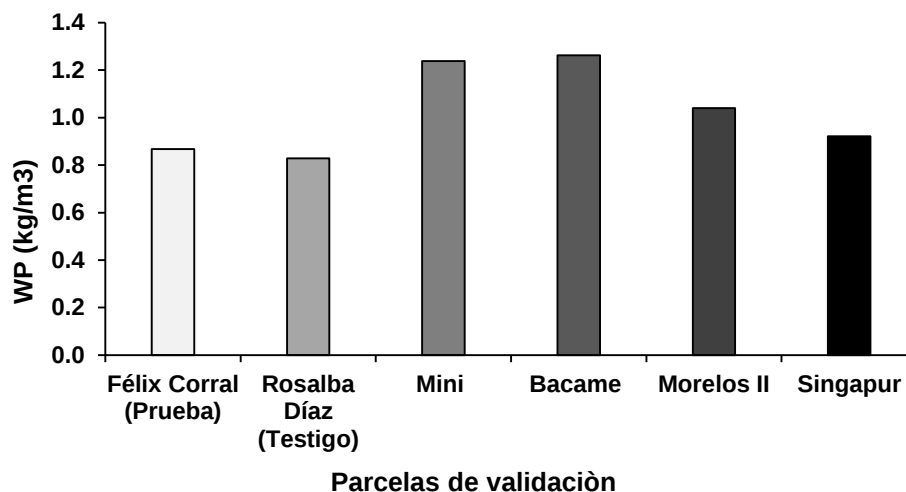


Figura 9. Productividad del agua en parcelas de validación.

- Manual de Usuario APP para programación del riego con sensores de humedad del suelo (IRRIMOIST-APP 1.0)

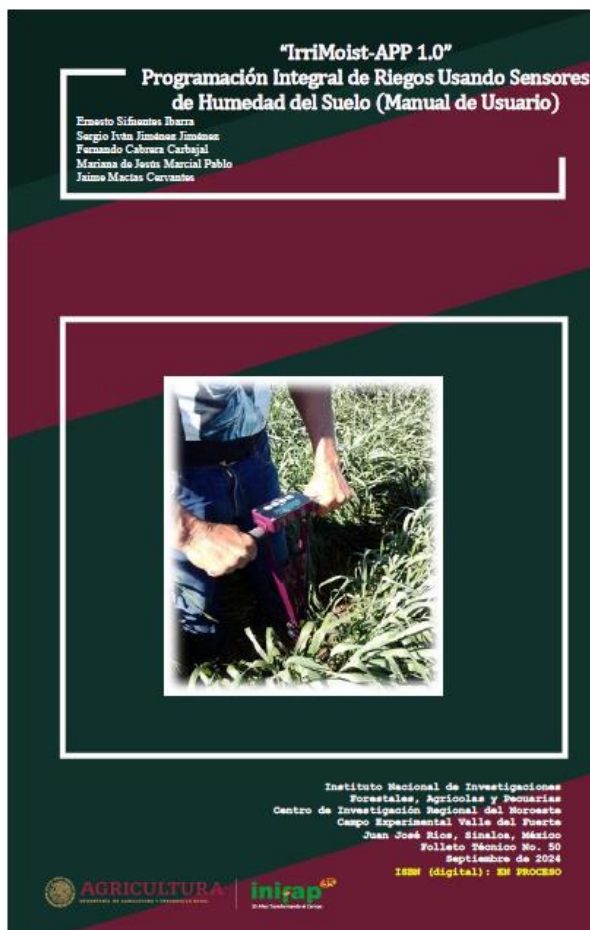


Figura 10. Portada del manual de usuario de IRRIMOISTA-APP 1.0

- APP para programación del riego con sensores de humedad del suelo (IRRIMOIST-APP 1.0)



Figura 11. Interface principal de IRRIMOIST APP 1.0



Desplegable para productores: “REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA”. Las figuras 1 herramientas de apoyo en la gestión del riego en trigo 12 y 13 componen el documento mencionado.

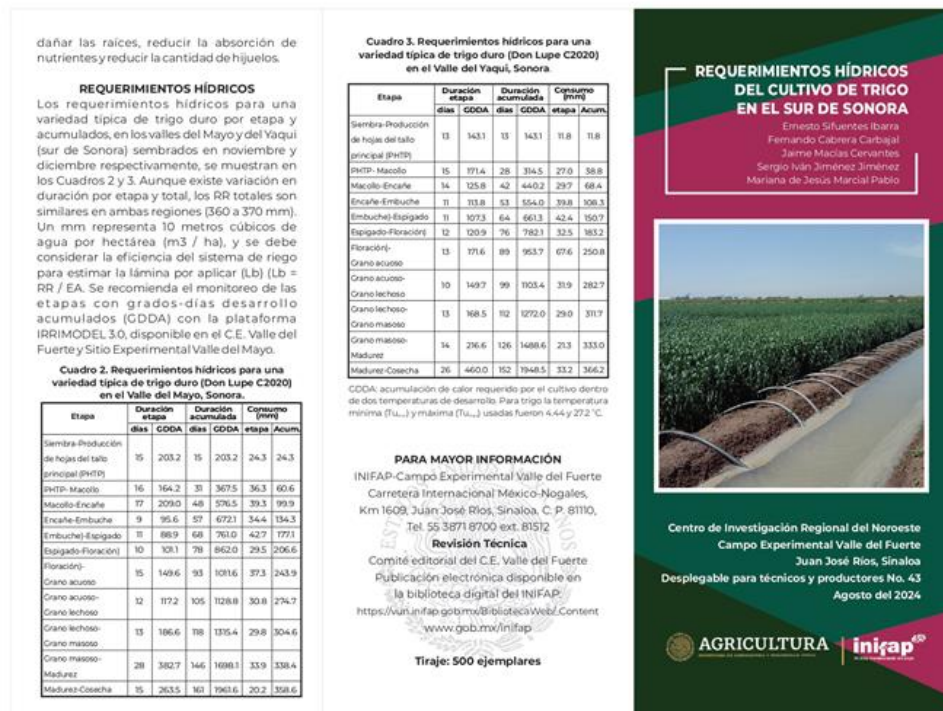


Figura 12



Figura 13.

- Taller: “HERRAMIENTAS DE APOYO EN LA GESTIÓN DEL RIEGO PARA TRIGO”

En septiembre 25 y 26 de 2024 se realizaron dos talleres con la temática contenida en imagen 3. El propósito fue adiestrar a los técnico usuarios de las herramientas que componen la plataforma IRRIMODEL para el buen manejo del agua de riego en trigo del sur de Sonora.

TALLER: HERRAMIENTAS DE APOYO EN LA GESTIÓN DEL RIEGO PARA TRIGO

24 Y 25 DE SEPTIEMBRE DEL 2024

MODALIDAD: PRESENCIAL



ORGANIZA: Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB)

LUGAR: Sitio Experimental Valle del Mayo (SEMAY-INIFAP), Km 9 Carretera Navojoa-Huatabampo. (27°00'56.08"N, 109°29'58.01"O)

DIRIGIDO A: Técnicos de los Distritos de Riego del Río Mayo y del Valle del Yaqui.

 **Traer LAPTOP y un dispositivo con sistema Android.**

INSTRUCTORES:
Dr. Ernesto Sifuentes Ibarra
M.C Sergio Jiménez Jiménez
M.C. Fernando Cabrera Carbajal
M.C. Mariana de J. Marcial Pablo
M.C. Jaime Macias Cervantes

PROGRAMA

Horario (9:30 a 14:30 horas)

SECCIÓN 1: Teórico -práctico (24 de septiembre)

- Densidad aparente (Da) del suelo y su uso en los cálculos de lámina de riego y humedad volumétrica.
- Practica de campo: Determinar la densidad aparente y manejo del TDR.
- Descripción e instalación de IRRIMOIST-APP 1.0: Programación integral de riegos usando sensores de humedad del suelo.
- Entrenamiento para la operación de IRRIMOIST-APP 1.0 con datos de humedad de campo y ejemplos de cálculo.

SECCIÓN 1: Teórico -práctico (25 de septiembre)

- Instalación y descripción de las plataformas IrriModel 3.0 y VICAL (Vegetation Index Calculator)
- Gestión del riego en trigo con la plataforma IrriModel 3.0.
- Información general de la plataforma VICAL (Vegetation Index Calculator) - Trigo.
- Como interacciona VICAL con la plataforma IrriModel 3.0 para gestionar el riego?
- Ejercicio práctico en la plataforma VICAL-Trigo.



Imagen 4.



Imágenes de asistencia al taller



Imagen 5.



Imagen 6.



AGRICULTURA

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



- Publicación en extenso en congreso internacional



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

Ernesto Sifuentes-Ibarra^{1*}, Fernando Cabrera-Carbajal², Mariana de Jesús Marcial-Pablo³,
Sergio Iván Jiménez-Jiménez², Jaime Macías-Cervantes¹, María del Carmen Rodríguez-
Rosales⁴

¹ 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 y ebinat68@gmail.com (*Autor de correspondencia)

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

³ 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.

⁴ Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-Universidad Autónoma de Sinaloa. Calle 16 y avenida Japaraquí, 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 con trigo de los Distritos de riego 038 (valle del Mayo) y 041 (valle del Yaqui), 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 m³ ha⁻¹ e incrementos de rendimiento del 15% (1 500 kg ha⁻¹) en gravedad y del 40% (4 000 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 1 600 m³ ha⁻¹ 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 con trigo de los Distritos de riego 038 (valle del Mayo) y 041 (valle del Yaqui), 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 trigo variedad Don Lupe C2020, 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,

Firmas


M.C. Fernando Cabrera Carbajal
Investigador Responsable del Proyecto


Dr. Alberto Borbón Gracia
Jefe del Campo Experimental Norman E. Borlaug