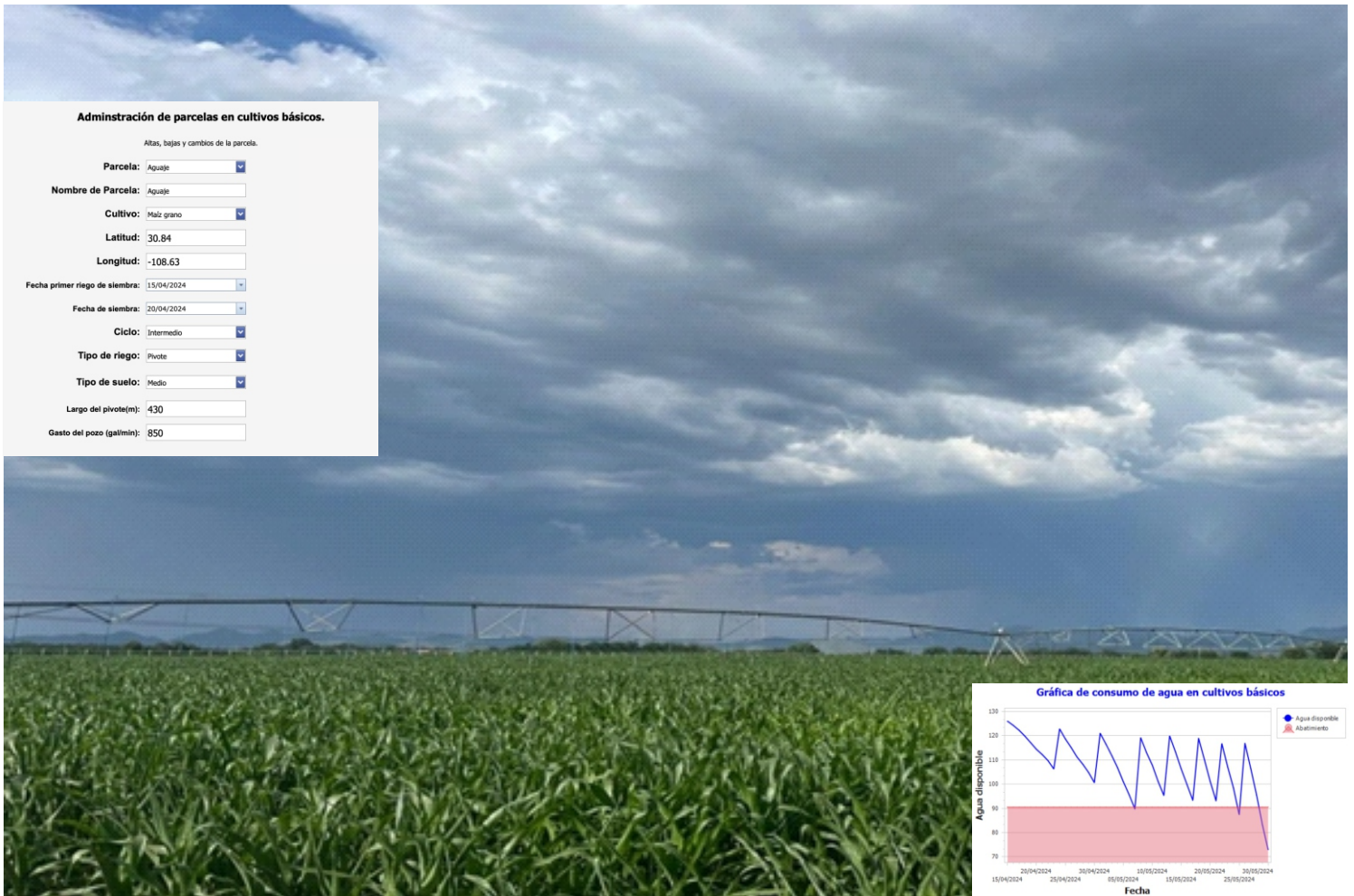


APLICACIONES EN DISPOSITIVOS MÓVILES Y WEB PARA LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN TIEMPO REAL EN NOGAL, MANZANO, ALGODÓN Y MAIZ EN CHIHUAHUA.

Noé Chávez Sánchez
Luis Antonio González Jasso
Arturo Corrales Suastegui



Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Delicias
Ciudad Delicias Chihuahua
Publicación Especial No. 18 agosto 2024

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

DR. VÍCTOR MANUEL VILLALOBOS ARÁMBULA

Secretario

ING. VÍCTOR SUÁREZ CARRERA

Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

M.V.Z. ARTURO MACOSAY CÓRDOVA

Coordinador General de Ganadería

DR. SALVADOR FERNÁNDEZ RIVERA

Coordinador General de Desarrollo Rural

ING. SANTIAGO JOSÉ ARGÜELLO CAMPOS

Coordinador General de Agricultura

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

DR. LUIS ÁNGEL RODRÍGUEZ DEL BOSQUE

Encargado del Despacho de los Asuntos Correspondientes a la Dirección General
del INIFAP

DR. EFRAÍN CRUZ CRUZ

Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

DR. LUIS ORTEGA REYES

Coordinador de Planeación y Desarrollo

LIC. JOSÉ HUMBERTO CORONA MERCADO

Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE-CENTRO

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG

Director Regional

DR. JUAN BAUTISTA RENTERIA ÁNIMA

Director de Investigación

ING. RICARDO CARRILLO MONSIVÁIS

Director de Administración

CAMPO EXPERIMENTAL DELICIAS

M.C. OMAR CASTOR PONCE GARCÍA

Jefe del Campo Experimental

**SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL
GOBIERNO DEL ESTADO DE CHIHUAHUA**

MTRA. MARÍA EUGENIA CAMPOS GALVÁN
Gobernadora Constitucional del Estado de Chihuahua

MTRO. MAURO PARADA MUÑOZ
Secretario de Desarrollo Rural

ING. JOSÉ EDUARDO CABADA ESTRADA
Subsecretario de Desarrollo Rural

ING. MAURICIO HERNÁNDEZ CERÓN
Director de Desarrollo Agropecuario

LIC. PRISCILA GABRIELA CONTRERAS GARCÍA
Directora de Planeación

ING. LUIS ALBERTO HERNÁNDEZ PÉREZ
Supervisor Administrativo del Departamento
de Coordinación de Residentes

**APLICACIONES EN DISPOSITIVOS MÓVILES Y WEB PARA LA
PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN TIEMPO REAL EN NOGAL, MANZANO,
ALGODÓN Y MAIZ EN CHIHUAHUA.**

Noé Chávez Sánchez

Investigador del Programa de Matemáticas Aplicadas
Campo Experimental Delicias

M.C. Luis Antonio González Jasso

Investigador del Programa de Vulnerabilidad Climática
Campo Experimental Pabellón

Dr. Arturo Corrales Suastegui

Investigador del Programa de Vulnerabilidad Climática
Campo Experimental Pabellón

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Delicias
Ciudad Delicias, Chihuahua, México
Agosto 2024.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Alcaldía Coyoacán, C. P. 04010 Ciudad de México.
Teléfono (55) 3871-8700

Derechos Reservados ©

Publicación especial No. 18

**APLICACIONES EN DISPOSITIVOS MÓVILES Y WEB PARA LA
PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN TIEMPO REAL EN NOGAL, MANZANO,
ALGODÓN Y MAIZ EN CHIHUAHUA.**

Primera Edición 2024

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la institución.

Hecho en México

Contenido

1. Introducción	1
2. Centro de datos hidrometeorológicos de Chihuahua	2
3. Estructura de la programación de la aplicación	2
3.1. Estimación de la evapotranspiración de cultivos	3
3.2. Balance de humedad en el suelo	4
3.3. Determinación de cuándo y cuanto regar	5
3.4. Tiempo de riego	5
4. Programación del riego en tiempo real	6
4.1. Registro de usuarios y parcelas	6
4.2. Registro de las propiedades de la parcela o huerta	9
4.3. Consulta del proceso de programación del riego en tiempo real	9
4.4. Reporte de resultados del proceso de la programación	11
5. Literatura citada	16

Índice de figuras

Figura 1	Portada de la página web del centro de datos hidrometeorológicos de Chihuahua y secciones contenidas.	3
Figura 2	Portada de la página web del centro de datos hidrometeorológicos de Chihuahua, secciones contenidas y opciones del manejo del riego en tiempo real.	7
Figura 3	Menú para el registro de usuario.	7
Figura 4	Menú para el registro de parcelas en cultivos básicos.	8
Figura 5	Registro de las propiedades de una sección de huerta manzanera.	9
Figura 6	Consulta del seguimiento del manejo del riego en huerta nogalera y selección de la estación climatológica.	10
Figura 7	Resultados de la consulta de huerta nogalera.	10
Figura 8	Etiquetas de los riegos aplicados y sugeridos por la aplicación.	11
Figura 9	Dinámica del contenido de humedad en el suelo en relación a los umbrales definidos.	12
Figura 10	Tabla de la relación por fecha entre láminas de riego aplicadas y sugeridas por la aplicación.	13
Figura 11	Propiedades de una parcela de maíz con riego por pivote.	14
Figura 12	Dinámica de humedad del suelo en maíz con riego por pivote.	15
Figura 13	Suspensión del proceso, por no registrar el riego programado.	15

1.- Introducción

El estado de Chihuahua ocupa el primer lugar en la producción de nuez, manzana, algodón y el tercero en maíz para grano y forrajero en el país, se cultivan 164,771 ha de nogal, 38,396 ha de manzana, 97,460 ha de algodón, 143,328 ha de maíz para grano y 21,296 ha de maíz forrajero, (SIAP, 2024).

La producción agrícola de Chihuahua es limitada por varios factores, entre los que se puede mencionar plagas, enfermedades, nutricionales y principalmente por la reducida disponibilidad de agua considerando tanto la cantidad como la calidad, ya que frecuentemente el agua de bombeo de pozos profundos, se presentan una alta concentración de sales y sodio, además de los altos costos de la extracción de pozos profundos. Por otra parte, las principales zonas productoras del estado, se encuentra en acuíferos sobreexplotados (CONAGUA, 2024), por lo que es fundamental disponer de tecnología de riego que permita hacer un uso eficiente del agua, de tal forma que permita lograr un incremento en la eficiencia, ahorro de agua y se asegure la sustentabilidad agrícola, una alternativa es el manejo del riego en tiempo real, donde el agua se aplica en tiempo y cantidad, acorde al requerimiento del cultivo, considerando el clima y fases de desarrollo del cultivo, sin permitir estrés hídrica, ni excesos de agua (Hunsaker et al., 2015; Steduto et al., 2009).

El manejo del agua de riego se realiza empíricamente, ya que no se consideran los requerimientos de agua del cultivo de acuerdo al clima y fases de desarrollo, propiedades del suelo y de los sistemas de riego, se tienen calendarios fijos en los diferentes sistemas de riego presurizado. Con el objetivo de mejorar la eficiencia en el uso del agua de riego, en los años recientes se han instalado sistemas de riego presurizado con inversiones de productores y apoyos gubernamentales (Olvera et al., 2014); sin embargo, existe la necesidad de capacitación sobre la operación de los sistemas de riego y criterios técnicos para definir cuándo y cuánto regar.

En base a las circunstancias descritas anteriormente, se observa que es necesario modificar los criterios del manejo del riego, para lograr un manejo eficiente del agua; para ello es apropiado el esquema de manejo del riego en tiempo real y lograr el uso óptimo del agua para maximizar su eficiencia, incrementar el rendimiento de los cultivos y disminuir los impactos negativos en el medio ambiente, aspectos importantes en la actualidad ante la menor disponibilidad de agua para el riego y la demanda creciente de alimentos.

La programación del riego, es un factor clave en el manejo eficiente del agua, para ello es fundamental definir en forma precisa el momento y cantidad de agua a aplicar, considerando en forma integrada los factores de suelo, clima, fase fenológica del cultivo y sistemas de riego; bajo este planteamiento hace algunos años se han desarrollado programas de software que varían en complejidad, desde hojas de cálculo, programas independientes de aplicaciones web o en teléfonos inteligentes (Catalan et al., 2012; Steele et al., 2010; Vellidis et al., 2016).

Actualmente se dispone de información climatológica en tiempo real en internet y se ha logrado la facilidad de adquirir dispositivos móviles como tabletas y teléfonos inteligentes, condiciones que hacen posible una alta adopción de aplicaciones como herramientas para el manejo del riego en tiempo real, pronóstico de plagas y enfermedades de los cultivos y varios factores de la agricultura de precisión, donde se integran varios componentes de tecnologías de la información (Arabi, 2011; Birt et al., 2012).

2.- Centro de datos hidrometeorológicos de Chihuahua

Con el objetivo de consolidar una red de estaciones agrometeorológicas automatizadas que permita el registro continuo de variables meteorológicas, se diseñó e implementó una base de datos que proporciona información meteorológica en tiempo real e histórica. La base de datos contiene información meteorológica generada por estaciones meteorológicas automatizadas, así como por el modelo Weather Research & Forecasting Model (WRF) y esta almacenada en el Centro de Datos Hidrometeorológicos del Estado de Chihuahua.

Se diseñó y configuró una base de datos de la unidad central sobre el motor SQL Server, para ordenar y almacenar la información recibida de las estaciones climatológicas e hidrológicas automatizadas en un servidor. Por otra parte, se creó una página web para proporcionar acceso a la información y permitir su uso en aplicaciones web y dispositivos móviles, generar los cálculos de índices climatológicos, modelos de cuantificación térmica como horas frío y unidades calor, así como los medios de consulta y resolución de solicitudes de los usuarios. Esta base de datos y las aplicaciones construidas permite definir estrategias y prácticas de manejo en las diferentes actividades productivas del sector agrícola, pecuario, forestal, pesquero y del medio ambiente.

La página web del Centro de Datos Hidrometeorológicos de Chihuahua, se encuentra en la dirección: <https://secrural.chihuahua.gob.mx/sdr/>. Se compone de las secciones: Datos Hidrometeorológicos, Alertas Fitosanitarias, Manejo del Riego en Tiempo Real, Manuales y Folletos, Usuario, Contacto. En la figura 1, se muestra la pantalla de la página con sus diferentes secciones y opciones para el Manejo del Riego en Tiempo Real.

3.- Estructura de la programación de la aplicación

La estructura de la programación se basa en estimar los diferentes componentes que participan en la programación del riego como: evapotranspiración del cultivo, balance de humedad del suelo, fases fenológicas de los cultivos, propiedades de capacidad de retención de humedad del suelo y características de los

sistemas de riego, las cuales son integradas en el algoritmo para realizar los cálculos y definir la programación del riego. Se construyó un portal en internet donde se programó los componentes de la aplicación, utilizando la información de la base de datos de información meteorológica del Centro de Datos Hidrometeorológicos del Estado de Chihuahua, también se construyó una base de datos donde se registra a cada usuario con la información específica de cada huerta con sus secciones de riego y actividades del manejo del riego; por otra parte se realizó la programación de la aplicación en celular y tablets en los sistemas operativos iOS y Android, así como los mecanismos de enlace entre los dispositivos y la unidad central para el proceso de consulta, cálculos y respuesta por parte de los usuarios de los dispositivos móviles.



Figura 1. Portada de la página web del centro de datos hidrometeorológicos de Chihuahua y secciones contenidas.

3.1. Estimación de la evapotranspiración del cultivo

La programación del riego se realiza en base a la demanda del cultivo y el nivel de disponibilidad de agua en el suelo, para ello como primera fase, se estima la evapotranspiración diaria del cultivo, mediante la ecuación: $ET_c = K_c * ET_o$ (Allen et al. 1998), donde ET_c es la evapotranspiración del cultivo, ET_o es la evapotranspiración de referencia y K_c es el coeficiente de cultivo, la ET_o se estima consultando los datos climatológicos diarios, seleccionando la estación climatológica más cercana a la huerta, en base a los valores de las variables de temperatura máxima y mínima, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento, se aplica el método de Penman-Monteith, (Allen et al., 1998).

La determinación del K_c del cultivo se realiza considerando las estimaciones realizadas en experimentos de campo en las regiones productoras del estado,

considerando los cultivos de nogal, manzano, algodón y maíz, de donde se obtuvieron modelos que relacionan el coeficiente del cultivo (K_c) con las fases de desarrollo (Hunsaker et al., 2015; Marsal et al., 2013; Steduto et al., 2009)

3.2. Balance de humedad en el suelo

El balance de humedad en el suelo consiste en cuantificar el consumo y aportaciones del agua en el suelo, determinar el contenido actual y compararse con el umbral de abatimiento; definido para cada fase de desarrollo de los cultivos, en base a su sensibilidad a la falta de humedad, de tal forma que se determina cuando regar, lo cual se define cuando el contenido de agua en el suelo es igual o muy próximo al nivel de abatimiento, luego se determina la lámina de riego a reponer en base a la diferencia entre contenido de agua a capacidad de campo y el contenido actual de agua, bajo este criterio se responde a las preguntas fundamentales para la programación del riego que son cuándo y cuánto regar, (Steele et al., 2010).

El agua en el suelo se considera en forma de lámina de riego expresada en mm, la cual se calcula en base a la capacidad de retención de humedad del suelo, caracterizado en base tres clases de textura: ligera, media y pesada, para cada una de ellas se define el contenido volumétrico de humedad a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), el nivel de abatimiento se define en base al porcentaje de humedad aprovechable, que se permite abatir sin que el cultivo sufra estrés, donde el 100% de humedad aprovechable (HA) es la diferencia en el contenido volumétrico de CC-PMP. Para estimar la lámina de riego, se considera una profundidad radicular de 60 cm para manzano y nogal y 30 cm en algodón y maíz.

Tanto el K_c como el umbral de abatimiento de humedad se estiman en función de una fracción de crecimiento en base a Grados Días de Desarrollo (GDD); para ello se programó una función que determina los GDD calor para cada cultivo y su acumulación en relación a la fecha de brotación del nogal y manzano, y la fecha de siembra de algodón y maíz.

El balance se puede representar matemáticamente con la ecuación:

$$D_e = D_p + P_e + I_{rr} - E_{tc}$$

Donde:

D_e = Lámina de riego al final del periodo, D_p = Lámina de riego al inicio del periodo, P_e = Precipitación efectiva durante el periodo, I_{rr} = Irrigación neta durante el periodo, E_{tc} = Evapotranspiración del cultivo.

El balance de humedad descrito en la ecuación anterior se estima considerando un periodo diario, para ello se determina la evapotranspiración del cultivo, también se consulta la precipitación pluvial; para estimar la evapotranspiración del cultivo se multiplica la

evapotranspiración potencial por el K_c correspondiente a la fase de desarrollo del cultivo, la cual se estima en base a los grados día de desarrollo acumulados a partir de la fecha de brotación de los árboles y fecha de siembra de algodón y maíz.

La precipitación efectiva se estima multiplicando a los milímetros de lluvia por 0.80, si la precipitación fue mayor de 12.5 mm y si es menor se considera igual a cero, según el método Burma, descrito por Ali and Mubarak (2017).

3.3. Determinación de cuándo y cuanto regar

El balance de agua en el suelo se inicia considerando que en brotación de frutales o antes de la siembra de algodón y maíz, se aplicó un riego y se llevó la humedad del suelo hasta capacidad de campo y se determina la lámina de riego contenida a este nivel, considerando la profundidad radicular del cultivo; luego se determina el consumo del día mediante el cálculo de la evapotranspiración del cultivo, restando la lámina evapotranspirada a la lámina contenida en el suelo, si se presenta una precipitación, se estima la precipitación efectiva y la lámina efectiva se suma al contenido del suelo, luego el contenido del suelo se compara con la lámina de riego que debe tener el suelo según el umbral de abatimiento definido para la fase de desarrollo del cultivo; si el contenido de agua en el suelo es mayor que la lámina definida por el umbral, se continúa con el cálculo del siguiente día, bajo el mismo criterio sucesivamente.

Se determina que debe aplicarse riego cuando el contenido de agua en el suelo es menor o cercano a la lámina definida por el umbral, cuando esta condición se cumple, se indica que es el momento de aplicar riego y se estima la lámina a reponer determinando la diferencia entre el contenido actual del suelo y la lámina equivalente a capacidad de campo, de tal forma que no se desperdicie agua y se suministre únicamente la que el suelo puede retener.

El balance se estima por un periodo que inicia a partir de la fecha de brotación del árbol o riego previo a la siembra de los cultivos, hasta la fecha de consulta o la selección de otra fecha; si en ese lapso se presentaron varios riegos, se muestra las fechas en que se regó y la lámina repuesta, también se reporta la disponibilidad de agua para un cierto número de días, calculando el consumo en base al periodo del último riego, esta información se reporta en una tabla y también en forma gráfica.

3.4. Tiempo de riego

La información del balance de humedad en el suelo es muy útil, ya que define cuando y cuanto regar; el cuándo regar se determina cuando la lámina de riego

contenida en el suelo es similar o próxima al nivel de abatimiento definido anteriormente, el cuanto se define de la diferencia entre la lámina contenida en el suelo y la lámina de riego en el suelo a capacidad de campo, expresada como lámina de riego a reponer, de este resultado se estima el tiempo de riego, estimando la capacidad de suministro de agua por hora, según las propiedades del sistema de riego y en base a la relación entre lámina a reponer y lámina de suministro del sistema por hora, se estima el tiempo de riego y se reporta las horas y minutos que debe durar el riego para humedecer el suelo hasta capacidad de campo.

Para determinar la capacidad de suministro del sistema de riego, se le pregunta al usuario las características del sistema de riego, para el riego por goteo, se solicita la información de gasto de gotero, separación de hileras, cintas por hilera y separación de goteros; en riego por micro aspersión se considera el gasto del emisor, separación de hileras y separación del aspersor y número de aspersores por árbol, y en riego por aspersión se considera el gasto del aspersor, separación de hileras y separación del aspersor. En los sistemas de riego se considera una eficiencia del 90% para goteo, 85% para microaspersión y aspersión.

4.- Programación del Riego en Tiempo Real

En la página web del Centro de Datos Hidrometeorológicos se tiene el menú para seleccionar de las diferentes opciones como Datos Hidrometeorológicos, Alertas Fitosanitarias, Manejo del Riego en Tiempo Real, Manuales y Folletos, Usuarios, Contacto. En la sección de Manejo del Riego en Tiempo Real, se tienen las opciones de Cultivos Básicos y Frutales, con las diferentes opciones de: Huertas, Secciones, Consultas, Registro de riegos y App Móvil, detalles que se muestran en la figura 2.

4.1. Registro de usuarios y parcelas

Para realizar la programación del riego en tiempo real, inicialmente es necesario registrar al usuario en la base de datos, con el objetivo de poder registrar las parcelas y sus secciones, para formar un archivo personal en la base de datos; para que el usuario pueda realizar nuevos registros o modificaciones de parcelas y secciones, así como registrar los riegos aplicados y la realización de consultas, de esta forma se hace posible que la aplicación identifique al usuario y la información registrada anteriormente.

En la sección: Usuario, existe la opción para el registro o iniciar sesión cuando se haya registrado previamente, como se muestra en la figura 3. Una vez registrado, se inicia sesión o se entra a la sección de Manejo de Riego en Tiempo Real, luego para seleccionar una opción, si no se ha iniciado sesión, también da la oportunidad de realizarlo.



Figura 2. Portada de la página web del centro de datos hidrometeorológicos de Chihuahua, secciones contenidas y opciones en manejo del riego en tiempo real.



Figura 3. Menú para el registro de usuario

Al seleccionar Cultivos Básicos, aparecen las opciones de: Parcela, Consultas, Registro de riegos y App Móvil, para realizar las acciones de registrar una parcela, consultar, registrar riegos o bajar la aplicación de celular, de igual forma en la opción de frutales existen las opciones de Huertas, Secciones, Consultas, Registrar riegos y App móvil, donde se puede realizar el registro de huertas, y secciones dentro de la huerta, ya que es posible manejar el riego en forma específica por secciones dentro de una huerta por diferencias en edad de los árboles, tipo de suelo u otro factor que no permita manejar el riego uniformemente.

Para registrar una parcela en cultivos básicos, se selecciona la opción de parcelas y aparece el menú para registrar las propiedades de: Nombre, Cultivo, Latitud, Longitud, Fecha del primer riego de siembra, Fecha de siembra, Ciclo vegetativo de la variedad, selección del tipo de riego y tipo de suelo, como se muestra en la figura 4.

The screenshot shows the INIAP web application interface. At the top, there is a header with the text "CENTRO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS" and the INIAP logo. Below the header is a navigation menu with options: "Datos Hidrometeorológicos", "Alertas Fitosanitarias", "Manejo del Riego en Tiempo Real", "Documentación", "Usuario", and "Contactos". The "Manejo del Riego en Tiempo Real" menu is expanded, showing sub-options: "Cultivos Básicos", "Frutales", "Parcelas", "Consultas", "Registrar riegos", and "App Móvil". The "Parcelas" option is selected, and a form is displayed below. The form includes fields for "Parcela:", "Nombre de Parcela:", "Cultivo:", "Latitud:", "Longitud:", "Fecha primer riego de siembra:", "Fecha de siembra:", "Ciclo:", "Tipo de riego:", and "Tipo de suelo:". There are also "Guardar" and "Borrar" buttons.

Figura 4. Menú para el registro de parcelas en cultivos básicos

El registro de secciones dentro de las huertas, se realiza inicialmente con el registro de la huerta, luego en secciones se debe seleccionar una huerta registrada y aparece el menú para registrar las propiedades de la sección, donde se incluye: a la sección nueva se le da el nombre, cultivo, latitud, longitud, fecha de riego de brotación, fecha de brotación, luego se selecciona el tipo de riego y aparece el menú para registrar sus características y tipo de suelo, como se muestra en la figura 5.

4.2. Registro de las propiedades de la parcela o huerta.

Se registran las coordenadas, para mostrar en la aplicación de celular el mapa que muestra las estaciones más próximas a la ubicación y seleccionar la más cercana para realizar la consulta de datos climatológicos, se pide el tipo de suelo para determinar la capacidad de retención de humedad, propiedad grabada en el código del programa, al igual que el ciclo de cultivo de la variedad sembrada de maíz o algodón; se considera la fecha de brotación de frutales y fecha de siembra para cultivos básicos para definir la fecha de inicio de la acumulación de GDD y estimar las fases fenológicas específicas del cultivo.

The image shows a web interface for managing orchard plots. The header includes the text 'CENTRO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS' and the 'iniRap' logo. A navigation bar contains links for 'Datos Hidrometeorológicos', 'Alertas Fitosanitarias', 'Manejo del Riego en Tiempo Real', 'Documentación', 'Usuario', and 'Contactos'. The main content area is titled 'Administración de parcelas en frutales.' and contains a form with the following fields and values: 'Huerta' (Riego Manzana), 'Sección' (empty), 'Nombre de Sección' (Primera), 'Cultivo' (Manzano), 'Latitud' (28.849), 'Longitud' (-107.259), 'Fecha primer riego de brotación' (18/03/2024), 'Fecha de brotación' (29/03/2024), 'Tipo de riego' (Aspersión), 'Tipo de suelo' (Medio), 'Separación de hileras (m)' (4), 'Separación de árboles en hilera (m)' (3), 'Aspersores por árbol' (1), and 'Gasto del aspersor (lh)' (120). There are 'Guardar' and 'Borrar' buttons on the right side of the form.

Figura 5. Registro de las propiedades de una sección de huerta manzanera

Después de haber registrado las parcelas y secciones de las huertas se pueden hacer consultas para realizar la programación del riego, se considera que se realizan los cálculos en tiempo real porque se usa información diaria del clima para determinar el consumo de agua del cultivo y realizar el balance de humedad diariamente, estimar los umbrales de abatimiento y definir el manejo del riego; si existe humedad suficiente en relación al riego anterior a la consulta, se determina por cuantas horas existe humedad disponible, si es necesario regar, reporta las horas de riego.

4.3 Consulta del proceso de programación del riego en tiempo real.

Para realizar la consulta se selecciona la opción en el cultivo que se dese analizar y aparece un mapa con la ubicación de las estaciones, como se muestra en la figura 6; después se selecciona la más próxima a la parcela y luego aparece el menú de selección de huerta, luego se realiza la selección y se define la fecha de consulta y aparecen los resultados, en las figuras 7 y 8.

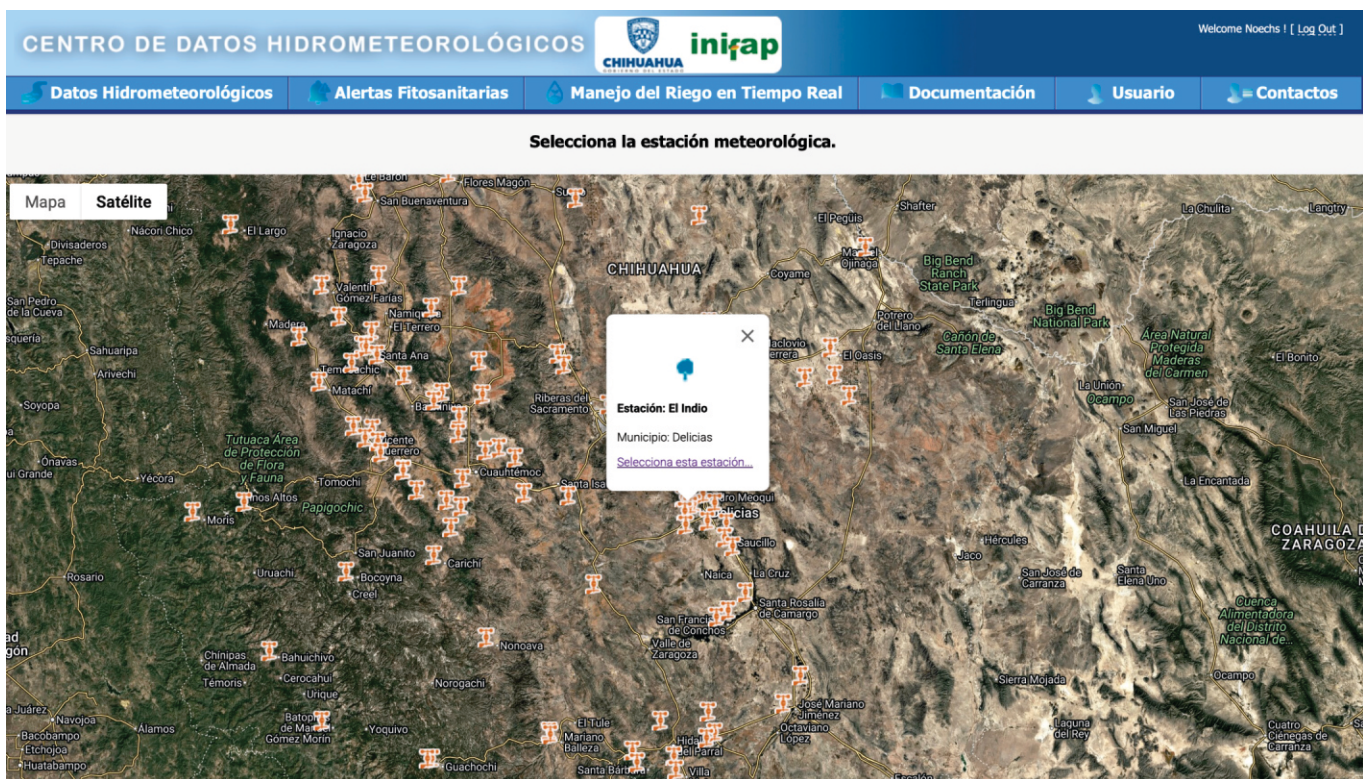


Figura 6. Consulta del seguimiento del manejo de riego en huerta nogalera y selección de la estación climatológica.

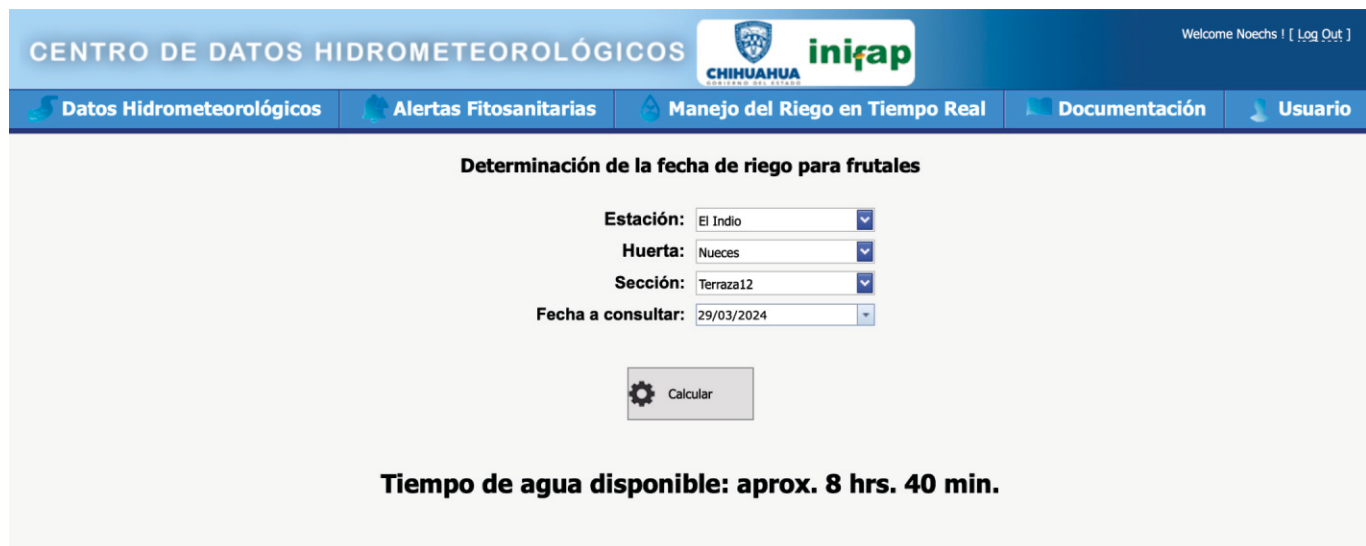


Figura 7. Resultados de la consulta de huerta nogalera.

4.4. Reporte de resultados del proceso de la programación del riego en tiempo real

La aplicación reporta los resultados donde en primer lugar, indica que existe humedad en el suelo suficiente para 8 horas y 40 minutos, por lo que debe programarse el riego en este día de consulta; por otra parte, muestra etiquetas que describen detalles de los riegos sugeridos por la aplicación y los registrados, también se muestra la media de láminas de riego a reponer y la lámina total a reponer al momento del riego, así como las Unidades Calor Acumuladas (UCA) como se muestra en la figura 8, luego se reporta una gráfica que muestra la fluctuación de los niveles de humedad en el suelo en relación a los niveles de abatimiento definidos, desde la brotación hasta la fecha consultada, como se puede observar en la figura 9.



Figura 8. Etiquetas de los riegos aplicados y sugeridos por la aplicación.

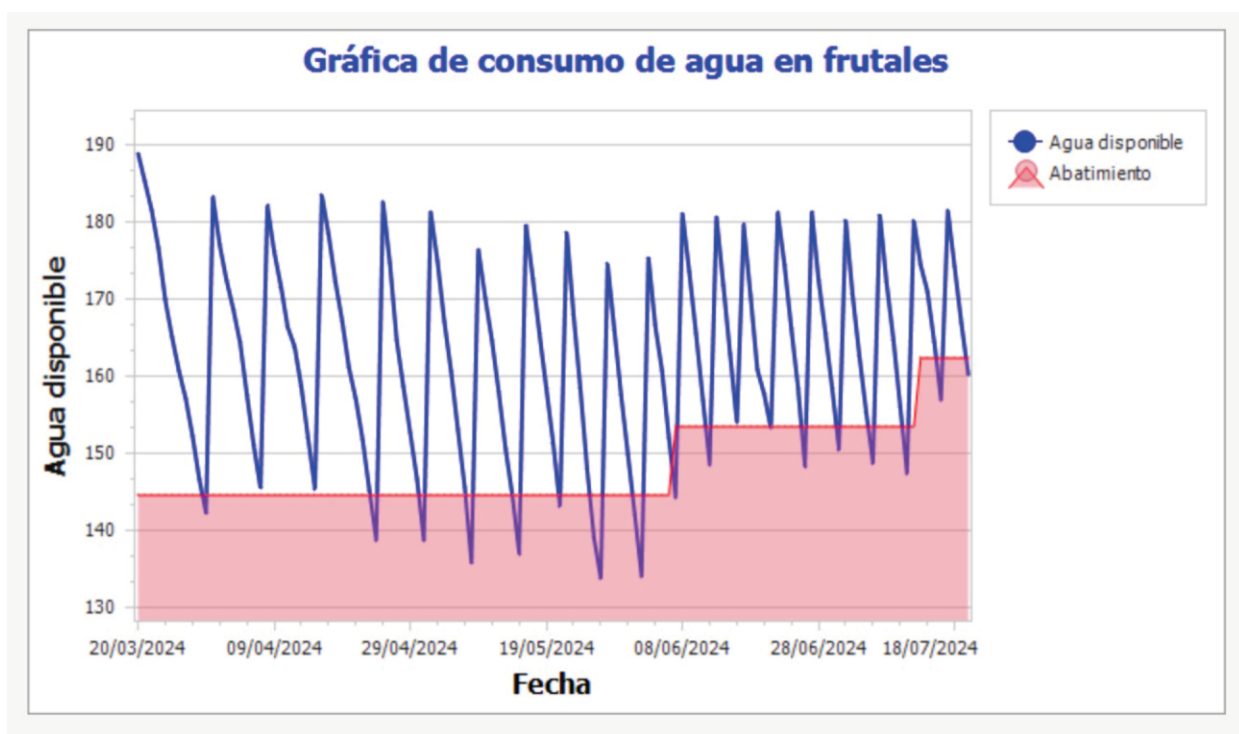


Figura 9. Dinámica del contenido de humedad en el suelo en relación a los umbrales definidos.

En base al proceso utilizado para estimar el consumo de agua de los cultivos, se considera una forma muy objetiva, ya que se consultan datos de clima de una red amplia de estaciones climatológicas automatizadas, que identifican en forma representativa ante la variabilidad climática de las diferentes zonas productoras, al consultar los datos climatológicos de la estación más cercana a la ubicación de la huerta o parcela y por otra parte se considera en tiempo real la información para realizar las estimaciones de acuerdo al ritmo en que se van manifestando cada una de las fases fenológicas del cultivo, como lo recomiendan Marsal et al (2013) y Steduto et al. (2009) y de esta forma se determina el momento y cantidad de agua a reponer, con el objetivo de que el cultivo no sufra estrés hídrico para que el rendimiento sea óptimo, y no se desperdicie agua al aplicar solo la requerida para reponer el consumo del cultivo y no superar la capacidad de retención del suelo.

En los resultados, también se reporta una tabla que se muestra en la figura 10, la cual describe por fecha las láminas de riegos sugeridos y los aplicados, que en conjunto con la gráfica de la dinámica de humedad en el perfil de suelo en relación a los umbrales de referencia, permiten evaluar objetivamente el manejo del riego, describiendo con detalle si se aplicaron riegos inoportunamente o láminas de riego en exceso o deficientes y se ocasionó estrés hídrica, si se aplicó una lámina superior a la requerida, la lámina de humedad en el suelo, no rebasa al nivel de capacidad de campo.

Fechas de riegos aplicados y fechas de riegos sugeridos.

Fecha aplicada	Lámina aplicada	Fecha sugerida	Lámina sugerida
31/mar./2024	49.7	31/mar./2024	50.97
08/abr./2024	49.7	09/abr./2024	51.89
16/abr./2024	49.7	19/abr./2024	54.41
25/abr./2024	49.7	27/abr./2024	51.81
02/may./2024	49.7	04/may./2024	51.89
09/may./2024	49.7	11/may./2024	49.93
16/may./2024	49.7	18/may./2024	52.16
22/may./2024	49.7	24/may./2024	53.56
28/may./2024	49.7	31/may./2024	59.82
03/jun./2024	49.7	06/jun./2024	56.05
08/jun./2024	49.7	12/jun./2024	58.69
13/jun./2024	49.7	17/jun./2024	51.37
17/jun./2024	49.7	23/jun./2024	46.59
22/jun./2024	49.7	29/jun./2024	47.74
27/jun./2024	49.7		

Figura 10. Tabla de la relación por fecha entre láminas de riego aplicadas y sugeridas por la aplicación.

El algoritmo de la aplicación es el mismo para frutales y cultivos básicos, considerando de forma específica por cultivo, los requerimientos térmicos para estimar las fases fenológicas, umbrales de abatimiento de humedad y coeficientes de cultivo; de esta forma los resultados se describen de la misma forma para los cultivos, en la figura 11, se muestra la información de una parcela de maíz con riego por pivote, y en la figura 12, la dinámica de humedad en el suelo, donde se observa que los primeros dos riegos se aplicaron con anticipación, los siguientes se aplican más oportunamente.

Administración de parcelas en cultivos básicos.

Altas, bajas y cambios de la parcela.

Parcela:	<input type="text" value="Aguaje"/>	<input type="button" value="Guardar"/>
Nombre de Parcela:	<input type="text" value="Aguaje"/>	
Cultivo:	<input type="text" value="Maíz grano"/>	<input type="button" value="Borrar"/>
Latitud:	<input type="text" value="30.84"/>	
Longitud:	<input type="text" value="-108.63"/>	
Fecha primer riego de siembra:	<input type="text" value="15/04/2024"/>	
Fecha de siembra:	<input type="text" value="20/04/2024"/>	
Ciclo:	<input type="text" value="Intermedio"/>	
Tipo de riego:	<input type="text" value="Pivote"/>	
Tipo de suelo:	<input type="text" value="Medio"/>	
Largo del pivote(m):	<input type="text" value="430"/>	
Gasto del pozo (gal/min):	<input type="text" value="850"/>	

Figura 11. Propiedades de la una parcela de maíz con riego por pivote.

Para continuar con la programación del riego, los riegos deben de realizarse en el momento que el programa lo sugiere, así como el tiempo de riego indicado y registrarlo en la base de datos, para que la aplicación continúe con la programación ya que, si no se realiza el registro, aparece el nivel de humedad del suelo, abajo del umbral, como en el que se muestra en la figura 12, donde se observa un retraso del riego sugerido para aplicarse el 29 de mayo.

Si el riego no se aplica y se registra, al consultar posteriormente, después de que la humedad se redujo un 25% abajo del umbral, el sistema se detiene e indica que no se ha registrado el riego programado, como se muestra en la figura 13.



Figura 12. Dinámica de humedad del suelo en maíz con riego por pivote.

Determinación de la fecha de riego para cultivos básicos

Estación: Buena Vista (Janos) [v]

Parcela: Aguaje [v]

Fecha a consultar: 01/06/2024 [v]

[Calcular]

Riegos no registrados. Es necesario registrar los riegos a partir de la fecha: 29/05/2024

Figura 13. Suspensión del proceso, por no registrar el riego programado.

De acuerdo a lo mostrado anteriormente, sobre la integración de los componentes del proceso para realizar la programación del riego en tiempo real, se observa que también funciona como un programa de evaluación y simulación de las acciones de riego, ya que muestra gráficamente y en tablas, la información del riego por fechas sobre láminas sugeridas y aplicadas, gráfica de la dinámica de humedad del suelo en relación a los umbrales a través del tiempo, con opciones de registrar y editar la información del riego, para observar el comportamiento en cuanto a los niveles de humedad del suelo y el comportamiento deseado.

9.- Literatura Citada

- Ali, M. H. and S. Mubarak. 2017. Effective Rainfall Calculation Methods for Field Crops: An Overview, Analysis and New Formulation. Asian Research Journal of Agriculture. 7:1-12.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua. Estudio FAO Riego y Gredaje 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma Italia. 322 p.
- Arabi, M. 2011. Environmental Risk Assessment and Management System. Colorado Water. 28:15-17.
- Birt, A. G., A. Calixto, M. Tchakerian, A. Dean, R. N. Coulson, and M. Harris. 2012. Harnessing Information Technology (IT) for Use in Production Agriculture. Journal of Integrated Pest Management. 3(1):1-8.
- Catalan, V. E. A., M. Villa C., M. A. Inzunza I., A. Román L., y J. L. González B. 2012. Cálculo de demandas de agua y programación del riego de cultivos en Coahuila. AGROFAZ. 12:123-131.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2024. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en los acuíferos de Chihuahua. Consultado en internet, en agosto de 2024.
https://sigagis.conagua.gob.mx/sections/Disponibilidad_Acuiferos.html.
- Hunsaker, D., A. French, P. Waller, E. Bautista, K. Thorp, K. Bronson, and P. Andrade, S. 2015. Comparison of traditional and ET-based irrigation scheduling of surface. Irrigated cotton in arid southwestern USA. Agric. Water Manage. 159:209-224.
- Marsal, J. Girona, J., Casadesus, J., López, G., Stockle, C. O. 2013. Crop coefficient (kc) for apple: comparison between measurements by a weight lysimeter and prediction by CropSyst. Irrig. Sci. 31:445-463.
- Olvera, S. Ma. D., W. Ojeda B., G. Bahena D. y O. Alpuche G. 2014. Participación y apropiación de la modernización y tecnificación del riego en Chihuahua México. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. XXXV(1): 47-61.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Anuario estadístico de la producción agrícola. Consultado el 20 de septiembre de 2024, desde https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

Steduto, P., T.C. Hsiao, D. Raes, and E. Fereres. 2009. "Aquacrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agron. J.* 101(3):426-437.

Steele, D.D., T.F. Scherer, D. G. Hopkins, S. R. Tuscherer, J. Wright. 2010. Spreadsheet Implementation of Irrigation Scheduling by the Checkbook Method for North Dakota and Minnesota. *Applied Engineering in Agriculture.* 26(6):983-995.

Vellidis, G., V. Liakos, J. H. Andreis, C. D. Perry, W. M. Porter, E. M. Barnes, K.T. Morgan, C. Fraisse, K. W. Migliaccio. 2016. Development and assessment of a smartphone application for irrigation scheduling in cotton. *Computers and Electronics in Agriculture* 127:249-259.

Comité Editorial del CIRNOC

M.C. Yasmin Ileana Chew Madinaveitia
Dr. Esteban Salvador Osuna Ceja
Dr. José Ángel Sígala Rodríguez
Dr. Pedro Jurado Guerra
M.C. Mayra Denise Herrera
Dr. Arturo Corrales Suastegui
M.C. Omar Cástor Ponce García

Comité Editorial del CE DELICIAS

M.C. OMAR CÁSTOR PONCE GARCÍA

PRESIDENTE

DRA. LESLIE CARNERO AVÍLES

SECRETARIA

DR. ENRIQUE HERNÁNDEZ LEAL

VOCAL 1

M.C. NOÉ CHÁVEZ SÁNCHEZ

VOCAL 2

DR. GERARDO GARCÍA NEVÁREZ

VOCAL 3

Edición

Agosto 2024

La presente publicación se terminó de imprimir en agosto del 2024

GRUPO COMPU GRAPHIX, Calle 6TA Norte 619 Cd. Delicias Chihuahua Col Centro CP 33000.

Su tiraje consta de 300 ejemplares.

Directorio del C.E DELICIAS

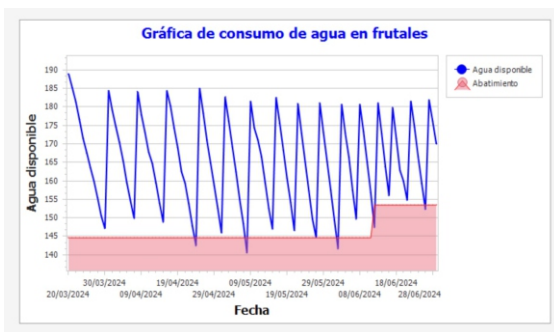
M.C. OMAR CÁSTOR PONCE GARCÍA
JEFE DE CAMPO EXPERIMENTAL DELICIAS

INVESTIGADORES

DR. DAVID GPE. RETA SANCHEZ
DR. GERARDO GARCIA NEVAREZ
DR. JESUS ARCADIO MUÑOZ VILLALOBOS
DR. ENRIQUE HERNANDEZ LEAL
M.C. HUGO RAUL URIBE MONTES
M.C NOE CHAVEZ SANCHEZ
DRA. LESLIE CARNERO AVILES
DRA. OLGA BONILLA BARRIENTOS
M.C. PAULINA NAVA RUIZ



En el servidor de la unidad central del Centro de Datos Hidrometeorológicos del Estado de Chihuahua, se programó una página web y aplicaciones en dispositivos móviles para la programación del riego en tiempo real, la cual enlaza información climatológica y una base de datos donde se registra cada usuario con información específica de la huerta o parcela con sus secciones de riego, propiedades del suelo, sistema de riego y manejo del riego; para estimar en forma precisa el consumo de agua de los cultivos de nogal, manzano, algodón y maíz; en base a la evapotranspiración y coeficientes de cultivo, según la fase de desarrollo del cultivo, también estima el balance de humedad del suelo, lo cual permite definir cuando regar y la cantidad de agua a reponer, considerando las propiedades del suelo y el sistema de riego con que se cuente, se determina el tiempo de riego, la información se despliega en tablas y gráficas; los resultados le facilitan al usuario definir estrategias de manejo para las diferentes fases de desarrollo del cultivo y condiciones climáticas, de tal forma que se suministre adecuadamente el agua que se requiere, sin causar estrés hídrica al cultivo y sin aplicar agua en exceso, lo cual permite hacer un uso eficiente de este limitado recurso.



Fechas de riegos aplicados y fechas de riegos sugeridos.

Fecha aplicada	Lámina aplicada	Fecha sugerida	Lámina sugerida
31/mar./2024	49.7	31/mar./2024	50.97
08/abr./2024	49.7	09/abr./2024	51.89
16/abr./2024	49.7	19/abr./2024	54.41
25/abr./2024	49.7	27/abr./2024	51.81
02/may./2024	49.7	04/may./2024	51.89
09/may./2024	49.7	11/may./2024	49.93
16/may./2024	49.7	18/may./2024	52.16
22/may./2024	49.7	24/may./2024	53.56
28/may./2024	49.7	31/may./2024	59.82
03/jun./2024	49.7	06/jun./2024	56.05
08/jun./2024	49.7	12/jun./2024	58.69
13/jun./2024	49.7	17/jun./2024	51.37
17/jun./2024	49.7	23/jun./2024	46.59
22/jun./2024	49.7	29/jun./2024	47.74
27/jun./2024	49.7		