

BALANCE DE HUMEDAD EN EL SUELO PARA EL PRONOSTICO DEL RIEGO

Jorge A. Castillo González^{1*}; Víctor Manuel Gordillo Salinas²; Juan Arista Cortes²

¹ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P.62550, México.

jorgecas@tlaloc.imta.mx (*Autor de correspondencia)

² Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

Resumen

En el presente trabajo se desarrollo un sistema de computo para pronosticar el riego, mediante el método de balance de humedad cuyo algoritmo comienza al aplicar riego, lo que lleva el nivel de humedad a capacidad de campo (CC), a partir del cual se va restando la evapotranspiración del cultivo y adicionando la precipitación efectiva, cuando la perdida de humedad en el suelo llega a la máxima permitida(humedad fácilmente aprovechable), se considera un riego lo que recupera el nivel de humedad a CC y el ciclo se repite. Para el cálculo de evapotranspiración se consideraron datos de clima históricos y utilizando el método de Penman – Monteith se calculó con el Software CropWat, por otra parte para el cálculo de la precipitación efectiva se utilizó las metodologías de USDA y AGLW-FAO. Para la obtención de los coeficientes de cultivo (Kc) se consideró las fases fenológicas acorde a la metodología del manual de FAO 56 y finalmente se creo una base de datos que contiene tablas de parcelas con los valores de CC y Punto de Marchitamiento permanente (PMP), tabla de Evapotranspiración de referencia con un promedio suavizado a una media móvil de 5 días y la tabla de precipitación efectiva.

Palabras claves: pronostico, balance, humedad.

Introducción

A nivel mundial y particularmente en México, en los Distritos y Unidades de Riego hay una problemática de la escasez de agua, lo que se complica aún más por el cambio climático y la variabilidad temporal de la precipitación, por lo que se requiere de un manejo más acorde a los requerimientos reales que minimicen el desperdicio.

La demanda de agua se incrementa año con año de tal manera que a nivel nacional el volumen concesionado ha aumentado a un ritmo de 0.9 % anual y la presión hídrica a una tasa de 1.1 %, por lo cual en 2016 el grado de presión hídrica alcanzó un valor de 19.2 categorizado como de grado moderado. En un análisis realizado a escala de nivel de región hidrológica administrativa (RHA) se ha reportado que la RHA XIII, Aguas del Valle de México presentó un grado de presión de 139.1 %, demostrando un grado de presión muy alto en algunas RHA (Vega, 2020).

Considerando lo anterior, se requiere de herramientas y metodologías que permitan hacer un uso eficiente y sustentable del agua, lo que demanda tecnologías que maximicen su uso a la hora de aplicar el riego, para ello es importante determinar el momento óptimo de riego, lo que implica monitorear el consumo de agua de la planta, el cual depende del clima, específicamente de la temperatura y de la precipitación, por lo tanto el riego basado en función de variables climáticas que inciden en la demanda de agua, nos permite realizar un pronóstico eficiente, lo que a su vez nos facilita la planeación de gastos en el sistema de conducción optimizando el uso del agua de riego y minimiza el desperdicio durante la conducción.

El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un sistema de cómputo para pronosticar el riego con el fin de optimizar su aplicación y los gastos en los canales reduciendo las pérdidas por operación.

Materiales y Métodos

Balance de humedad

El pronóstico del riego se realizó mediante el balance de humedad del suelo, considerando sus características hídricas para determinar la humedad aprovechable y fácilmente aprovechable, el consumo se estima con el uso de una base de datos meteorológicos históricos y actuales para la estimación de la demanda de agua de los cultivos (evapotranspiración). Los datos históricos se adquirieron de la red de estaciones meteorológicas reportadas por la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y los datos actuales se obtuvieron de estaciones meteorológicas automáticas instaladas en cada módulo de riego dentro del proyecto en curso. El balance de humedad se realizó a nivel diario, por lo que la información climática también fue a nivel diario.

Para el balance de humedad se parte de la siguiente ecuación que tiene las entradas y salidas del flujo de humedad del suelo. Esta ecuación es:

$$L_{i+1} = L_i + P_{e_i} + R_i - E_{tr_i} - P_{p_i} + O_{A_i} - O_{E_i} \quad (1)$$

Donde:

L_{i+1} = Lámina disponible al inicio del día siguiente (i+1) (mm).

L_i = Lámina disponible al día i (mm).

P_{e_i} = Precipitación efectiva en la zona de las raíces en el día i (mm)

R_i = Riego aplicado en el día i (mm).

E_{tr_i} = Evapotranspiración real del cultivo en el día i (mm).

P_{p_i} = Lámina drenada, ya sea escurrida o percolada en el día i (mm)

O_{A_i} = Otras aportaciones (mm).

O_{E_i} = Otras extracciones (mm).

En la práctica P_{p_i} , O_{A_i} , y O_{E_i} además de ser poco significativos son difíciles de evaluar, por lo que se enfocará en los más significativos, por lo que la ecuación anterior, con fines de pronóstico de riego en tiempo real se puede reducir a la forma:

$$L_{i+1} = L_i + P_{e_i} + R_i - E_{tr_i} \quad (2)$$

El balance de humedad parte de un punto conocido de humedad en el suelo, para esto, se considera que después de cada riego la humedad llega al máximo posible en la capa de suelo que abarcan la zona de raíces del cultivo, este supuesto se cumple prácticamente siempre debido a que los riegos se aplican por costumbre cultural en exceso. Conociendo los parámetros de los suelos a partir de su textura, se parte de la Capacidad de Campo (CC) y se suman o restan diariamente la evapotranspiración y/o la lluvia efectiva, los valores que excedan la CC se consideran como lámina drenada o percolada. Este balance diario se realiza hasta agotar la Humedad Fácilmente Aprovechable (HFA), cuando esto ocurre es el momento de aplicar el siguiente riego para llevar la humedad nuevamente hasta la CC. Cabe señalar que cada cultivo soporta diferente porcentaje de agotamiento de la Humedad Aprovechable, por lo que estrictamente cada cultivo debe tener una diferente HFA.

Para el balance es importante que las estimaciones tanto de evapotranspiración como de lluvia efectiva sean lo más precisos posibles, de estos los de evapotranspiración son los más sensibles debido a que son, por la naturaleza de este cálculo, los que mayor influencia tienen, es decir, generalmente este balance es para zonas áridas o para épocas secas por lo que la precipitación en general casi no influye. En algunos casos donde la precipitación es parte importante en el aporte de humedad al suelo como en ciclos donde hay una importante precipitación como es el caso del ciclo Primavera – Verano (PV) en el Distrito de Riego (D.R.) 020 Morelia Querendaro, la precipitación debe considerarse con la mejor precisión posible.

Para determinar la evapotranspiración se dispone de dos fuentes, los registros históricos y las mediciones diarias hechas por estaciones meteorológicas automáticas. En el caso de los registros históricos se cuentan con datos en algunos casos de aproximadamente 50 años.

Para el estudio se utilizaron datos climáticos promediados a nivel diario y se utilizó una media móvil de cinco días para suavizar la variabilidad. El cálculo de la evapotranspiración se realizó mediante el uso del software Cropwat de la FAO el cual utiliza como insumo las variables de temperatura máxima y mínima, los demás parámetros utilizados por la ecuación de Penman – Monteith dentro del Cropwat fueron estimados por el mismo software utilizando la localización geográfica, esto debido a que la información disponible solo cuenta con datos de temperatura y ocasionalmente algunos otros datos como nubosidad.

De las estaciones climatológicas automáticas mencionadas se obtienen las estimaciones de evapotranspiración resultado de la medición de las variables climáticas de sus sensores. Estas estimaciones del Etr se usan para realizar el balance de humedad del suelo a nivel diario con el objetivo de estimar el momento requerido del riego. Estas estimaciones del Etr se complementan de los Etr producto del promedio (aproximadamente 50 años) de estaciones meteorológicas tradicionales mencionadas en la medida que es necesario para tener datos de evapotranspiración de todo el ciclo de cada cultivo.

La lluvia efectiva es una variable clave en el balance de humedad del suelo, la cual es considerada como la cantidad de agua proveniente de la lluvia que realmente se infiltra en el suelo. El cálculo de la precipitación efectiva tiene varias complicaciones debido a que la cantidad de esta es muy variable dependiendo de las condiciones en las que se presente la lluvia por lo que siempre se recurre a ecuaciones simplificadas que funcionan bajo ciertas condiciones. El cálculo de la Precipitación efectiva (P_e) de forma precisa es complejo porque intervienen factores difíciles de evaluar como la permeabilidad del suelo, su contenido de humedad, la forma superficial del suelo, su pendiente, la intensidad de la lluvia principalmente, por lo que este cálculo se realiza con fórmulas simplificadas entre las que destacan la del USDA de gobierno de Estados Unidos de América (EEUU) y el método de AGLW-FAO, las cuales se muestran en las siguientes ecuaciones.

Ecuación propuesta por la FAO:

$$P_e = 0.6 * P_p - 10 \quad P_p \leq 70 \text{ mm} \quad (3)$$

$$P_e = 0.8 * P_p - 24 \quad P_p > 70 \text{ mm} \quad (4)$$

Ecuación propuesta por el USDA:

$$P_e = 0.6 * P_p - 10 \quad P_p \leq 70 \text{ mm} \quad (5)$$

$$P_e = 0.8 * P_p - 24 \quad P_p > 70 \text{ mm} \quad (6)$$

Como se dijo, estas ecuaciones son las más usadas, aunque existen muchas para casos particulares bajo las muy diferentes condiciones que existen en el campo. En la mayoría de los

casos el cálculo de la P_e tiene poco impacto en el balance por tratarse de zonas áridas y/o época de secas, que es cuando más se aplica el riego, en los casos en que la precipitación tiene un papel importante se hace notoria la necesidad de un cálculo más preciso de la P_e . Al aplicar las ecuaciones hay que considerar que fueron desarrolladas para la lluvia acumulada mensual.

En la realización del balance (ecuación 2) el componente de la evapotranspiración real (E_{tr}) tiene que calcularse conforme a la ecuación siguiente.

$$E_{tr} = E_{t_0} * K_s \quad (7)$$

Donde

E_{tr_i} = Evapotranspiración real del cultivo (mm).

E_{t_0} = Evapotranspiración de referencia (mm)

K_c = Coeficiente del cultivo

La evapotranspiración de referencia se calculó con los datos históricos y la que las estaciones automáticas dan como un dato. A partir de la evapotranspiración de referencia (E_{t_0}), que es un dato se calcula la evapotranspiración real mediante la ecuación 7.

El coeficiente del cultivo depende del cultivo y de su etapa fenológica y puede ir desde 0.2 hasta 1.2 (1990, Manual 56) en los casos más extremos, en la figura 1 puede verse la evolución de varios parámetros para el cálculo de la evapotranspiración real, la K_c en color azul fuerte va desde aproximadamente 0.3 hasta 1.1, bajando en la etapa final del cultivo hasta 0.4, en el caso de esta figura el desarrollo del cultivo está dividido en seis etapas fenológicas, el número de etapas fenológicas en que se divide el desarrollo de un cultivo es arbitrario y depende más bien de la información con que se cuente al hacer la división, normalmente se usan 3 o 4 etapas fenológicas.

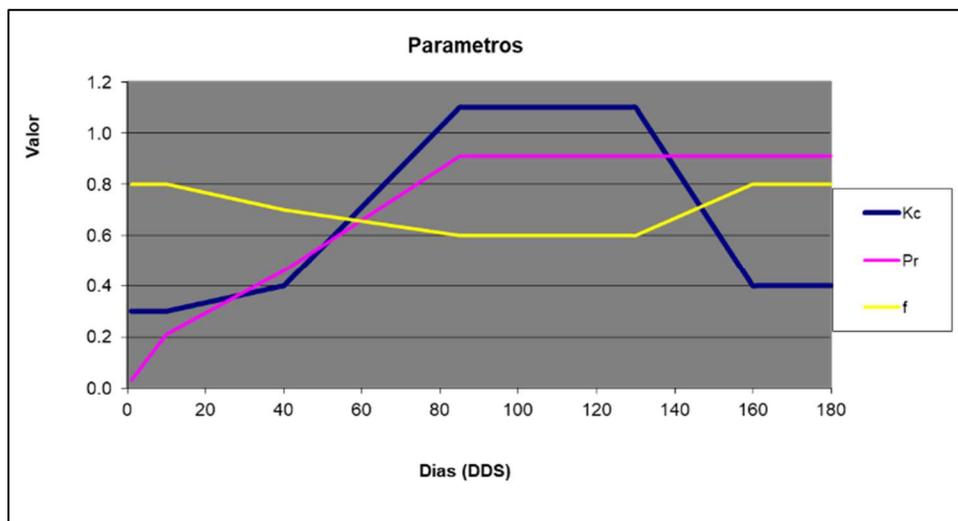


Figura 1. Comportamiento del Kc, Pr y f según etapa fenológica en maíz de 180 días.

En la figura 1 además del Kc también puede verse la evolución de la Profundidad de raíces (Pr) y el factor de abatimiento admisible (f). Como puede verse la Pr va desde valores muy bajos en el inicio (siembra) hasta un valor ya establecido como profundidad máximo de raíces, que para el maíz debe andar de 0.8 m a 1.2 m (1990, Manual 56), en el caso de esta figura, el valor máximo es de 0.9 m. En el caso de factor f este puede variar dependiendo de la resistencia del cultivo a la falta de humeada conforme el cultivo se desarrolla, este factor f es el que determina la Humedad Fácilmente Aprovechable (HFA), es decir,

$$HFA = HA * f \quad (9)$$

$$HA = CC - PMP \quad (10)$$

Donde

HA = Humedad Aprovechable

CC = Capacidad de Campo

PMP = Punto de Marchitamiento Permanente

Teniendo procesada toda la información necesaria se realiza el balance de humedad partiendo del suelo a su máxima capacidad, es decir, a CC mediante la ecuación 2, en este balance los términos de Pe y R en su mayoría no tienen valores por lo que el término de la evapotranspiración real (ETr) es la que domina el cálculo. Normalmente a cada paso del tiempo, el cual, en este estudio fue considerado a nivel diario, la humedad va disminuyendo hasta que la HFA se agota, en este punto el programa determina la necesidad de la aplicación del riego reponiendo el volumen de agua hasta llevar el suelo a CC, así sucesivamente hasta completar el ciclo entero del cultivo.

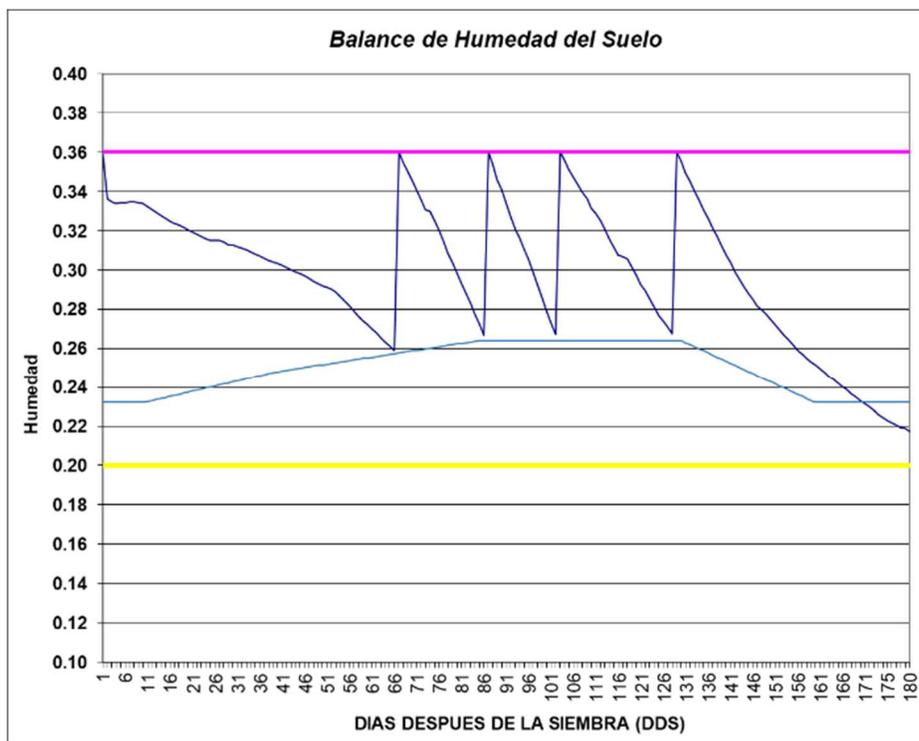


Figura 2. Comportamiento de la humedad durante el ciclo del cultivo.

En la figura 2 se ve el comportamiento de la humedad en el ciclo de un cultivo, en esta figura se tiene la línea superior (color morado) correspondiendo a la CC, aproximadamente 36 % en volumen, la línea inferior (color amarillo) correspondiente al Punto de Marchitamiento Permanente (PMP), aproximadamente 20% en volumen. La línea azul claro corresponde a la HFA que varía conforme avanza el ciclo y marca el punto donde se recomienda regar, la línea azul fuerte es la humedad del suelo, empieza en la CC y va disminuyendo, la primera vez de manera lenta hasta tocar la línea de la HFA, aquí se aplica el primer riego y la humedad sube hasta la CC nuevamente, a partir de aquí la humedad disminuye más rápidamente debido a que el cultivo está más desarrollado, esto hasta tocar nuevamente la línea de la HFA, cuando se vuelve a regar, esto hasta completar el ciclo del cultivo.

De esta manera se pronostican las fechas aproximadas y el número de riegos. Debido a que las estaciones dan un dato de nuevo de evapotranspiración cada día se debe recalcular de preferencia diariamente para considerar los nuevos datos de ET0 estimados por las estaciones con valores medidos, además los nuevos riegos aplicados deben reiniciar el cálculo en dichas parcelas. Con estos riegos pronosticados se llena una tabla de la base de datos que permite la planeación del manejo del agua y una proyección del volumen final que se usará.

Programación y bases de datos

Con el balance de humedad del suelo, como se dijo, se puede pronosticar la fecha de riego recomendada y su cuantía, esto es posible realizarlo una hoja de cálculo cuando se está hablando de cultivos y parcelas en particular, sin embargo, la intención es la de hacer el pronóstico en todas las parcelas sembradas de una unidad, o módulo de riego. Para esto se realizó una base de datos con diversas tablas sobre las cuales se realizan las operaciones de

balance de humedad, por principio se requiere una tabla con las parcelas pertenecientes a la zona de riego correspondiente, sección, módulo, unidad o distrito de riego, esta tabla debe tener la información necesaria para la identificación de la parcela y las características de la parcela para poder hacer el balance de humedad. Para poder identificar la parcela se requiere de un identificador como lo es el número de cuenta y subcuenta que es muy usado en los distritos de riego, si no existe este número es necesario tener algún otro identificador único, otros datos como su ubicación geográfica y su superficie son necesarios, otros campos más que se requieren para el balance son las características del suelo donde se realiza el balance, es decir, la CC y el PMP, otros campos adicionales pueden ser requeridos dependiendo de la implementación del software que maneja el sistema y de la información requerida en los reportes del sistema.

Otra tabla que forma parte del sistema son las tablas donde se encuentran la evapotranspiración potencial, tanto la tabla para la calculada en base a datos históricos, así como la tabla que contiene los datos medidos por las estaciones en tiempo real, que debe actualizarse diario o lo más frecuente que se pueda. La estructura de estas tablas se ve en la figura 3, esta estructura es para ambas tablas, tanto la de datos históricos como la de datos calculados con mediciones recientes de las estaciones.

Otras tablas que se usan en para la realización del balance en todas las parcelas de la zona de riego en cuestión son la tabla de cultivos con sus características como el Kc, número de etapas y su duración, Pr y f. La estructura de estas tablas se ve en la figura 4, aquí se trata de dos tablas, una donde están los valores de Pr, f y Kc para cada etapa de desarrollo del cultivo y una tabla que liga la primera tabla con el cultivo y es donde se tiene el número de etapas que se tiene para cada cultivo. En este caso el número de etapas puede variar en cada cultivo, generalmente las etapas coinciden con los estados de desarrollo del cultivo de forma fisiológica, sin embargo, pueden aumentarse el número de etapas para tener mayor precisión en la descripción de la evolución de estos parámetros en el desarrollo del cultivo, en este caso para algunos cultivos como el maíz se usaron seis etapas sacadas de experiencias en los Módulos de Riego en le D.R. 010 Culiacán Humaya y en este caso no coinciden necesariamente con las estadías de desarrollo de los cultivos.

#	Nombre	Tipo de datos	Longitud...
1	dia_juliano	SMALLINT	
2	id_estacion	VARCHAR	50
3	ET0	FLOAT	
4	PR	FLOAT	

Figura 3. Estructura de las tablas de ET0 y precipitación.

#	Nombre	Tipo de datos	Longitud...
1	cve_cultivo	INT	
2	Etapa	INT	
3	dias	INT	
4	kc	DOUBLE	
5	pr	DOUBLE	
6	f	DOUBLE	

#	Nombre	Tipo de datos	Longitud...
1	cve_cultivo	INT	
2	descripcion	VARCHAR	45
3	Etapas	INT	

Figura 4. Estructura de las tablas para el Kc, Pr y f.

La tabla de riegos aplicados también es parte del sistema de cálculo, ya que se parte de estos para realizar el balance de humedad y desde luego la tabla de riegos pronosticados con sus láminas de riego sugeridas.

Para manejar y realizar todas las operaciones del balance de humedad y la manipulación de la base de datos para el llenado de las tablas correspondientes de riegos pronosticados se realizó mediante la programación en lenguaje Python, considerando que de esta forma puede correr sobre varias plataformas sin grandes o ninguna modificación al código.

Resultados y discusión

El resultado final del balance de humedad es el Pronóstico del Riego, son las fechas recomendadas de los próximos riegos y sus volúmenes respectivos, de tal forma que puede estimarse con buena precisión el consumo total y faltante en cada momento del proceso de crecimiento de los cultivos, además de la estimación de la distribución de la demanda futura de agua en el resto del ciclo.

Esta información ha permitido planear y de esta forma tener una mejor operación de los canales de riego, con lo que se minimiza las pérdidas por operación inherentes al tránsito del agua por los canales. Aunque esto no ha podido implementarse en su totalidad por una serie de obstáculos relacionados con la implementación del sistema como ha sido la capacitación de los canaleros, la aceptación del sistema. Considerando que la totalidad de los distritos de riego en México están diseñados con canales operados “Aguas Arriba”, es decir, se controlan los niveles agua arriba de la estructura de control, las pérdidas por una mala operación se incrementan de manera significativa, por lo que el pronóstico de los gastos requeridos ayuda a disminuir las pérdidas por el manejo del agua en el canal.

La aplicación debe ser monitoreada y actualizada de forma frecuente, preferentemente a diario, lo cual debe hacerse con alguna metodología y con formatos predeterminados de tal manera que se sistematice y de preferencia que se automatice para garantizar que la información de la aplicación este a tiempo para realizar el pronóstico a tiempo y con resultados aplicables. Para esto es recomendable tener una aplicación para la captura de riegos manejada por los canaleros como se estado implementado.

En la figura 3 puede verse un reporte de riegos de una parcela que incluye los riegos aplicados y los riegos pronosticados producto del balance de humedad con los Et₀ reportados y calculados para realizar el balance, buena parte de la exactitud de los resultados depende de la exactitud de los Et₀ calculados, que en este caso están calculados con los valores de

temperaturas medias de los años con registros y de estimaciones de los de más parámetros de la ecuación de Penman – Monteith.

Normalmente el pronóstico del riego se realiza bajo condiciones de muy poca lluvia, ya sea zonas áridas o en la época de estiaje, por lo que aportación al balance de la Pe frecuentemente es nulo o de muy poca importancia, por lo que la ecuación para el cálculo de la Pe tiene poco peso en estos casos. Cuando el balance es en época de lluvia la aportación de esta puede ser significativa e influye de manera significativa en el balance, por lo que es importante el usar la mejor fórmula posible en estos casos. Esto se hizo muy notorio cuando el pronóstico de los riegos se realizó en el ciclo primavera verano en el distrito 020 Morelia Querendaro, donde, los riegos solo son complementarios al aporte de la lluvia, aquí se tenía una ecuación que subestimaba la aportación de la lluvia y provocaba el pronóstico de riegos frecuentes, no acordes a la realidad, con el cambio de ecuación a una más adecuada esto quedo resuelto.

La subestimación de la Pe no era notoria cuando la lluvia no era significativa, este y otros ajustes se han ido realizando para mejorar la precisión del balance para el pronóstico de los riegos. Este es el caso de la profundidad de raíces para el cálculo de la profundidad del almacenamiento disponible como parte del balance, esto también causa el pronóstico de riegos más o menos frecuentes. El considerar espesores de suelo bajos debido a la poca profundidad radicular causa que el almacenamiento se disminuya provocando riegos frecuentes en el pronóstico de estos, para corregir esto se requiere de considerar mayores espesores de suelo ya que prácticamente se inicia con la profundidad de raíces máxima a CC, por lo que es recomendable iniciar el balance con profundidades mayores a las profundidades de raíz iniciales, probablemente lo más sencillo sea considerar la profundidad Pr total desde el inicio.

Riegos aplicados					
No. riego	Inicio	Fin	Area(ha)	Gasto(lps)	Agua consumida
1	2024-03-13	2024-03-17	11.25	80	25

Riegos pronosticados			
Cultivo	Fecha riego	Num riego	Lámina riego(cm)
MAÍZ	2024-05-13	2	85
MAÍZ	2024-06-08	3	67

Figura 5. Reporte de riegos aplicados y pronosticados.

El pronóstico del riego mediante el balance de humedad en el suelo ha demostrado ser una herramienta útil para optimizar la operación de los distritos y unidades de riego del país. Al pronosticar los riegos de cada parcela se puede planear el manejo de los canales disminuyendo las pérdidas por conducción y operación de canales de riego. Las características de cada Módulo de Riego en el país son diferentes ya que son independientes desde su transferencia en 1992, por esto se requiere de la adaptación del sistema a cada Módulo de forma particular, la información que se maneja en cada Módulo de Riego es diferente por lo que la base de datos de un módulo no puede ser igual a los demás. Esto dificulta su adopción masiva.

El manejo de la información relativa a las parcelas y los riegos aplicados en muchos casos puede ser el problema para la aplicación del balance de humedad debido a que suele tener formas de organización propias, incluso en cada módulo de riego, aunque sean módulos vecinos. Este es el caso de los Módulos de Riego del D.R. 020 Morelia Querendaro donde fue relativamente complicado tener un identificador único.

El desarrollo de software para la gestión de los riegos lleva varios años desarrollándose con diversos enfoques y diversas plataformas, el enfoque principalmente ha sido el de llevar una contabilidad de los riegos, pero rara vez se ha añadido el pronóstico del riego que permite pronosticar el volumen que se utilizará durante un tiempo determinado, así como el momento de aplicación. El añadir el pronóstico del riego a la gestión de los riegos da un valor agregado al software que permite planear el manejo del agua en los canales de riego optimizando y minimizando el desperdicio.

Como ejemplos de estos desarrollos puede mencionarse el software “MegaOperacion” que aún se usa en algunos Módulos de Riego del D.R. 010 Culiacán Humaya, este software básicamente solo llevaba la contabilidad del agua de riego, otro también usado en el Módulo de Riego IV-1 Culiacancito de este distrito de riego es el “Water Supply”, este software también llevaba la contabilidad del agua de riego añadiendo la captura del riego en tiempo real en campo mediante dispositivos tipo Handheld.

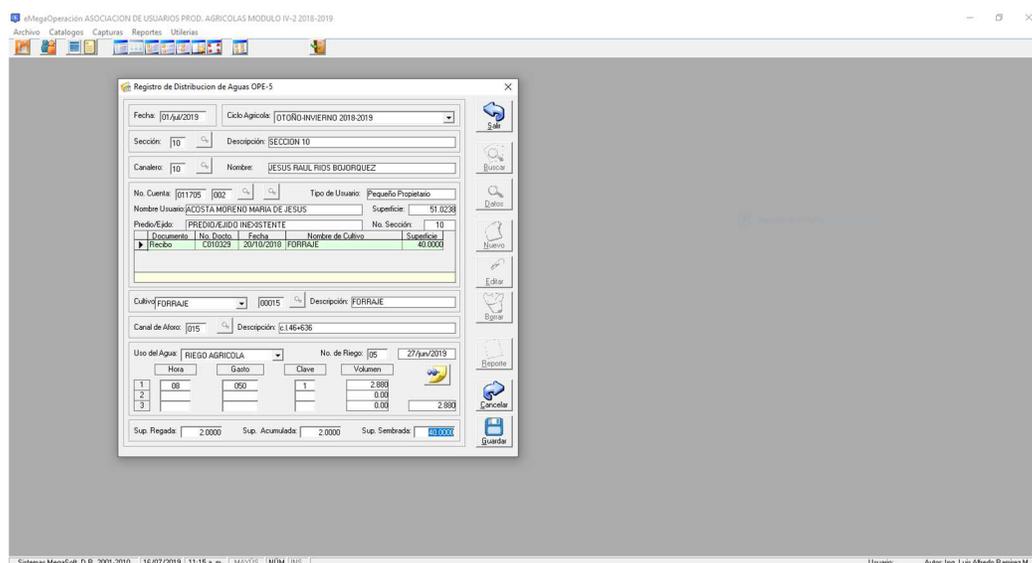


Figura 6. Software de captura y procesamiento de información hidrométrica MegaOperacion.

El realizar el pronóstico del riego requiere no solo el manejo de las fechas y volúmenes aplicados en cada riego, es indispensable el estimar y medir la evapotranspiración para poder realizar el balance de humedad, por lo que es necesario añadir esta parte con estaciones climatológicas bien distribuidas y metodologías de pronóstico del clima adecuadas a la realización de balance de humedad del suelo y con esto el pronóstico de estos.

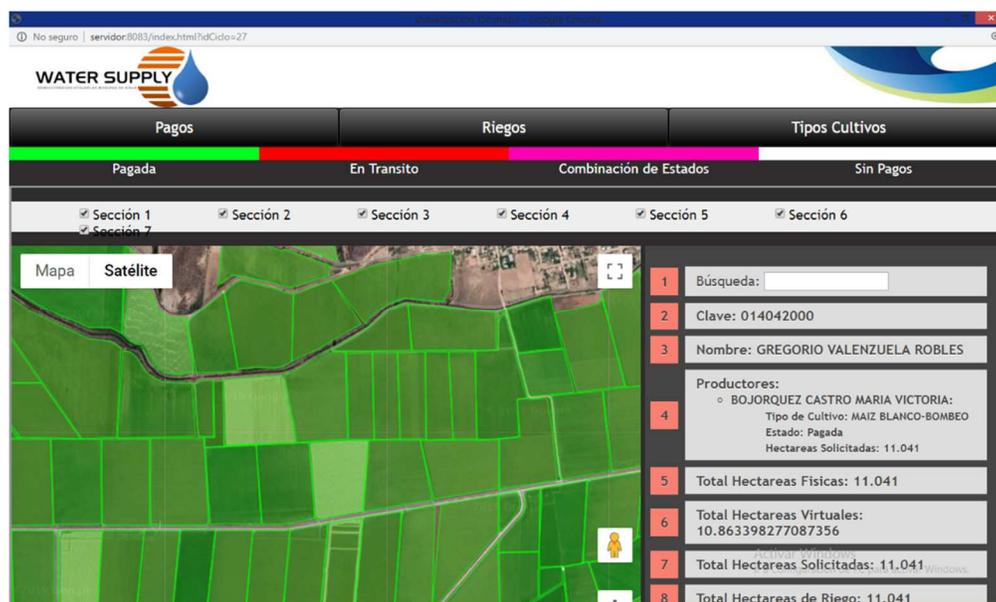


Figura 7. Software de captura y procesamiento de información hidrométrica WaterSupply

Conclusiones

El pronóstico de riego en grandes zonas agrícolas es una herramienta útil para la gestión de volúmenes servidos mediante la red de distribución, de manera mas controlada, lo que reduce perdidas en la conducción

Para cada región en particular se recomienda ajustar los coeficientes de cultivo para una mayor precisión en la estimación de la demanda de agua de los cultivos. Sin Embargo, el uso de los coeficientes recomendados en el manual de FAO 56 tienen muy buena precisión.

Las tecnologías informáticas deben estar en constante evolución para ser utilizadas por los distintos dispositivos que se tienen ahora en día, como es el caso de los equipos con acceso a Internet.

Referencias Bibliográficas

- Breña Naranjo A., Quevedo Nolasco A., Montiel Gutiérrez M., Olvera Aranzolo E., De la Cruz Bartolón J., Arista-Cortés J., Castillo González J., González Sánchez A., Gordillo Salinas V. M., Gilberto Carreón J. (2023). Diseño e implementación de un sistema digital de monitoreo y evaluación para el uso óptimo del agua y de los fertilizantes en los Módulos III, IV y V del D.R. 020 Morelia-Querendaro, Michoacán. Informe parcial del proyecto. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Castillo González J. A., Montiel Gutiérrez M. Manejo de la Información Hidrométrica en los Módulos RIGRAT. Quinto Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII-AURPAES. Mazatlán. Sinaloa.

Castillo Solís E., Namuche Vargas J. R., Saucedo Rojas H. E. (2015). Regulación del Régimen de Humedad del Suelo Mediante la Aplicación de Riego y Drenaje Controlados en Zonas de Riego Subhúmedas. Informe Final del Proyecto RD-1507.1. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Coordinación de tecnología de riego y drenaje (1995). Proyecto RD-95062 "Pronóstico de riego en tiempo real". Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Ojeda Bustamante W., Sifuentes Ibarra E., De León Mojarro B. (2003). Sistema de pronóstico del riego en tiempo real. Revista de la Universidad de México. noviembre de 2003.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (1990), manual 56 Estudio. Evapotranspiración del cultivo, FAO.