



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



Artículo: COMEII-19038

Mazatlán, Sin., del 18 al 20

de septiembre de 2019

ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS UTILIZADAS PARA EL DISEÑO Y TRAZO DEL RIEGO EN EL RIGRAT

Juan M. Angeles Hernández^{1*}; Jorge A. Castillo González¹; Mario A. Montiel Gutiérrez¹

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

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

Resumen

Para la elaboración del diseño de riego por gravedad parcelario en el marco de la componente RIGRAT que maneja la Comisión Nacional del Agua, actualmente existen varias herramientas informáticas o programas de cómputo que permiten calibrar los parámetros del suelo y a la vez generar los diseños del riego por gravedad, para la aplicación eficiente y uniforme del agua de riego a la parcela. Actualmente el IMTA, como Coordinadora de la componente RIGRAT de los distritos de riego de los estados de Sinaloa y Nayarit, entre sus Responsables técnicos de campo, se maneja para el diseño del riego por gravedad los softwares RIGRAV y RISUR. Desde el punto de vista de los resultados generados para el diseño del riego por gravedad, estos softwares cumplen con la precisión requerida de campo. La problemática es que entre los técnicos de diferentes distritos y en algunos casos en un mismo distrito, utilizan diferente software. El objetivo es uniformizar tanto metodología y resultados entre el personal participante al utilizar el mismo software para la calibración y diseño del riego por gravedad.

Se presenta un análisis del RISUR Y RIGRAV como herramientas informáticas que se emplean actualmente para el diseño de riego por gravedad. RISUR, al utilizar el modelo de la onda cinemática, presenta mayor flexibilidad u opciones de diseño tanto para surco abierto, riego intermitente como para surco cerrado. La versión del RIGRAV se adaptó para operar solamente la opción de surco cerrado. Ambas herramientas cumplen de manera muy satisfactoria su encomienda en el diseño del riego por gravedad. La capacitación y entrenamiento del Técnico RIGRAT para el diseño y trazo de riego por gravedad, se facilita con el apoyo de estas herramientas informáticas.

Palabras claves: diseño del riego, RISUR, riego por gravedad, RIGRAV.



Introducción

Durante el año agrícola 2006-2007 del volumen de agua extraído total de las fuentes de abastecimiento de los distritos de riego para regar una superficie total de 2'840,000 ha, fueron regadas por gravedad alrededor de 2'570,000 ha (Rendón et al. 2012), lo que representa que en las áreas de riego de México, alrededor del 90% de la superficie regada utiliza el método de aplicación por gravedad. Por otro lado, diversos documentos indican valores de eficiencia de aplicación del 40 al 50 %, debido entre otras razones a las características propias de la forma de aplicación, esto es, que para aportar el agua a la última planta del surco, el flujo de agua requiere realizar el recorrido total desde la parte alta o inicial hasta la parte final del surco, es decir, que el frente de agua a la vez que avanza sobre la superficie del suelo, también se va infiltrando, reduciendo su caudal a medida que avanza; ocasionando que este método de riego no sea muy eficiente debido a pérdidas de agua por percolación profunda y escurrimiento superficial que se originan durante el proceso del riego. Sin embargo, este tipo de sistemas de riego contando con cierto grado de tecnificación se reportan eficiencias del 60 y hasta del 70% a nivel de parcela.

En este contexto, la Comisión Nacional del Agua, a través del Programa en Apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola ha implementado la Componente de Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT), teniendo como uno de los principales objetivos el hacer un uso más racional del agua de riego en las parcelas e incrementar la eficiencia a nivel parcelario, y sobretodo, generar una cultura de ahorro del agua. La componente RIGRAT contempla principalmente asistencia técnica a los usuarios del riego en aspectos de diseño, trazo, aplicación controlada y medición del agua de riego, y la nivelación de tierras para una mayor uniformidad del riego; para contribuir a reducir el volumen de agua aplicado a nivel de la parcela.

Para la aplicación controlada del agua a la parcela por parte del usuario y/o regador, se requiere de un diseño y trazo de riego a fin de generar la receta de riego que le indique de manera explícita y sencilla como aplicar el riego de manera eficiente y uniforme al responsable de la aplicación del riego en la parcela. En esta receta se muestra el tiempo de riego por tendida o puesta de riego, el número de tendidas de riego y el tiempo total para regar la parcela con base en una lámina de riego por aplicar y del gasto de riego total disponible a la entrada de la parcela.

Para la realización del diseño del riego por gravedad, actualmente existen varias herramientas informáticas o programas de cómputo que permiten ajustar o calibrar los valores de los parámetros del suelo para la aplicación eficiente del agua de riego a la parcela. La utilización de estos programas de cómputo permite de manera sencilla realizar un diseño de riego ajustado a las condiciones requeridas para cada lote en cuestión, con parámetros como el contenido de humedad al momento del riego, la constante de humedad a saturación, coeficiente de conductividad hidráulica a saturación, la presión en el frente de humedecimiento, y el coeficiente de rugosidad como valores dependientes del tipo de suelo.



La longitud de surcos, pendiente topográfica de la parcela, lámina de riego y el gasto disponible en la regadera, son datos que se obtienen directamente del lote a regar. Para la elaboración de los diseños y trazos de riego parcelarios, en el marco de la componente RIGRAT, se han venido utilizando los softwares RIGRAV (riego por gravedad) y el RISUR (riego por surcos). Por ejemplo, en distritos de riego de Sinaloa, como el 076 Valle del Carrizo, 075 Río Fuerte y 010 Culiacán, se ha venido utilizando el RIGRAV, aunque en este último distrito ahora ya están utilizando el RISUR, al igual que en el distrito 011 Alto Río Lerma, desde su inicio se utilizó el RISUR.

Dado lo anterior, y a pesar que los dos programas de cómputo resuelven de manera muy satisfactoria el diseño del riego por gravedad, así como lo amigable que resultan para su manejo y operación, es importante mostrar las características, bondades y el potencial de cada software, para que el técnico RIGRAT pueda obtener el máximo beneficio de éstos, y así coadyuvar a uniformizar los criterios de calibración y diseño del riego por gravedad.

Objetivo

Mostrar las bondades y limitaciones de las herramientas informáticas utilizados para el diseño del riego por gravedad, a fin de uniformizar los criterios de calibración y de diseño del riego entre los técnicos RIGRAT.

Materiales y Métodos

De los principales problemas que enfrentan los productores agrícolas en las áreas de riego por gravedad en México y en el mundo, es la baja eficiencia y la deficiente uniformidad con que se aplica el agua. La baja eficiencia repercute en la sustentabilidad del recurso y la baja uniformidad del riego impacta en forma negativa en el desarrollo y productividad desigual de los cultivos y por lo tanto en los ingresos del productor. El objetivo del riego por gravedad parcelario es aplicar la lámina de riego calculada previamente, de manera que su distribución a lo largo de la melga o surco sea lo más uniforme que pueda realizarse por parte del usuario o bien del regador.

El diseño del riego por gravedad consiste en encontrar el gasto óptimo por surco o por melga, que hace eficiente la aplicación y la distribución uniforme de la lámina de riego; que traduciéndolo a receta de riego para el regador, implica definir el ancho y tiempo por tendida o puesta de riego, así como el número de tendidas y tiempo total de riego por parcela; a partir del gasto total que se dispone en la entrada de la parcela. Las mejoras en trazo de riego se refieren a los cambios de pendiente a través de la nivelación topográfica de la parcela, regar siguiendo las curvas de nivel, modificar la longitud del surco o melga a través de la construcción de alguna regadera intermedia, y/o mejoras en las labores culturales para la preparación del suelo. En este documento, el punto principal



del diseño y trazo de riego está enfocado al cómo regar a partir de láminas de riego proyectadas o láminas de riego deseables de aplicar para cada tipo de suelo.

Actualmente el IMTA, como parte Coordinadora de la componente RIGRAT de los distritos de riego de los estados de Sinaloa y Nayarit, entre sus Responsables Técnicos de campo, se manejan para el diseño del riego por gravedad parcelario los siguientes softwares: RIGRAV (versión IMTA), RIGRAV 3.0 (versión UACH) y el RISUR (sugerido por la CONAGUA). Desde el punto de vista de los resultados generados para el diseño del riego por gravedad, estos tres softwares cumplen con la precisión requerida en campo. Desde el enfoque de los modelos matemáticos para simular y representar el escurrimiento superficial y subterráneo del agua de riego, de los tres analizados softwares, el RISUR es el más completo ya que utiliza el modelo de la onda cinemática, y en el caso de los dos primeros utilizan el modelo hidrológico. Para el caso específico del movimiento subterráneo del agua, los tres softwares utilizan la ecuación de infiltración de bases físicas de Green y Ampt (IMTA, 2007).

Software RISUR

El RISUR, es un software, que en su conceptualización teórica, se basa en el desarrollo del modelo matemático de la onda cinemática, el cual permite simular, diseñar y evaluar sistemas de riego en surcos abiertos, surcos cerrados y riego por pulsos (flujo intermitente). En el caso de surcos cerrados este modelo hace simplificaciones a las condiciones de frontera aguas abajo en las fases de almacenamiento, recesión y avance-recesión (Muñoz, 1998). La ecuación utilizada en el RISUR para modelar el movimiento subterráneo del agua es la función de infiltración de Green y Ampt. Los parámetros de esta función tienen significación física y facilitan su actualización temporal, en función del contenido de humedad del suelo al momento del riego.

Las ecuaciones básicas del modelo de la onda cinemática son la ecuación de conservación de la masa y la dinámica, esta última supone que los términos de inercia y aceleración son despreciables comparados con los de gravedad y fricción.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial \tau} = 0 \quad (1)$$

$$S_o = S_f \quad (2)$$

Donde Q es el gasto aplicado por unidad de ancho [L^2T^{-1}], A es el área de la sección transversal del surco [L^2], Z es el volumen infiltrado por unidad de longitud [L^2], t es el tiempo acumulado [T], $\tau = t - t_x$ es el tiempo de oportunidad [T], t_x es el tiempo que tarda el frente en alcanzar el punto x [T], x es la distancia de avance [L].

La ecuación de infiltración Green y Ampt, utilizada es la siguiente:

$$I = K_s t + \lambda \ln \left(1 + \frac{I}{\lambda} \right) \quad (3)$$

$$\lambda = (h + h_f) (\theta_s - \theta_o) \quad (4)$$

donde:

- I lámina infiltrada acumulada [L]
- t tiempo de oportunidad de infiltración [T]
- K_s conductividad hidráulica a saturación [LT^{-1}]
- h tirante de agua, sobre la superficie del suelo [L]
- h_f presión efectiva del agua en el frente de humedecimiento [L]
- θ_s contenido de humedad a saturación [L^3L^{-3}]
- θ_o contenido de humedad inicial [L^3L^{-3}]

Una de las principales ventajas del RISUR, es que permite la simulación y el diseño del riego por gravedad con surco cerrado y también tiene la opción para surco abierto (figura 1).

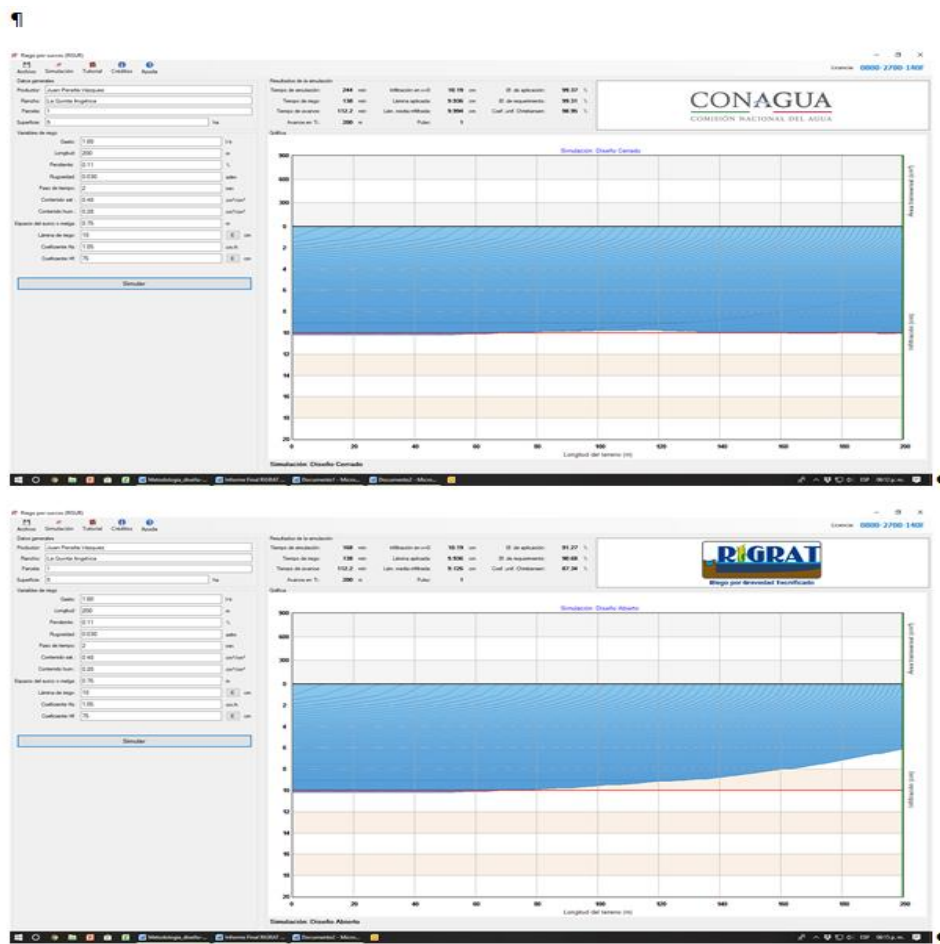


Figura 1. Pantallas del software RISUR, para surco cerrado y surco abierto, respectivamente.

La condición de surco cerrado permite incrementar el volumen infiltrado y, en consecuencia, aumentar la eficiencia de aplicación. Sin embargo, el volumen de agua infiltrado o percolado fuera del alcance de las raíces puede incrementarse si el gasto y tiempo de riego son excesivos e inducir problemas de encharcamiento, y resultar dañino para el cultivo. El RISUR también permite simular diferentes condiciones de gastos y

tiempos de riego (riego intermitente), lo que ayuda a elegir la mejor estrategia que ayude a mejorar la eficiencia de aplicación y uniformidad sin provocar excesos de agua al final del surco.

Software RIGRAV

A diferencia del RISUR, que utiliza el modelo de la onda cinemática, el RIGRAV (versiones 2.1 y 3.0) utiliza el modelo hidrológico, en el cual la principal simplificación consiste en presentar de manera integral la ecuación de conservación de la masa (1), para la fase de avance (IMTA, 2007).

$$Q_g t = \int_0^s A(x, t) dx + \int_0^s Z(x, t) dx \quad (5)$$

donde:

- Q_g gasto de riego de la melga o surco [$L^3 T^{-1}$],
- s es la posición del frente de avance en el tiempo [L]
- A área hidráulica de la sección transversal del escurrimiento superficial [L^2]
- x es la longitud del surco o melga [L]
- Z área hidráulica de la sección transversal del escurrimiento subterráneo [L^2]
- t tiempo [T]

Para la representación de la lámina de riego infiltrada, también utiliza la ecuación (3) de Green y Ampt. La versión de este RIGRAV (figura 2), está adaptado para la simulación y diseño del riego para condiciones de surcos y melgas cerradas.

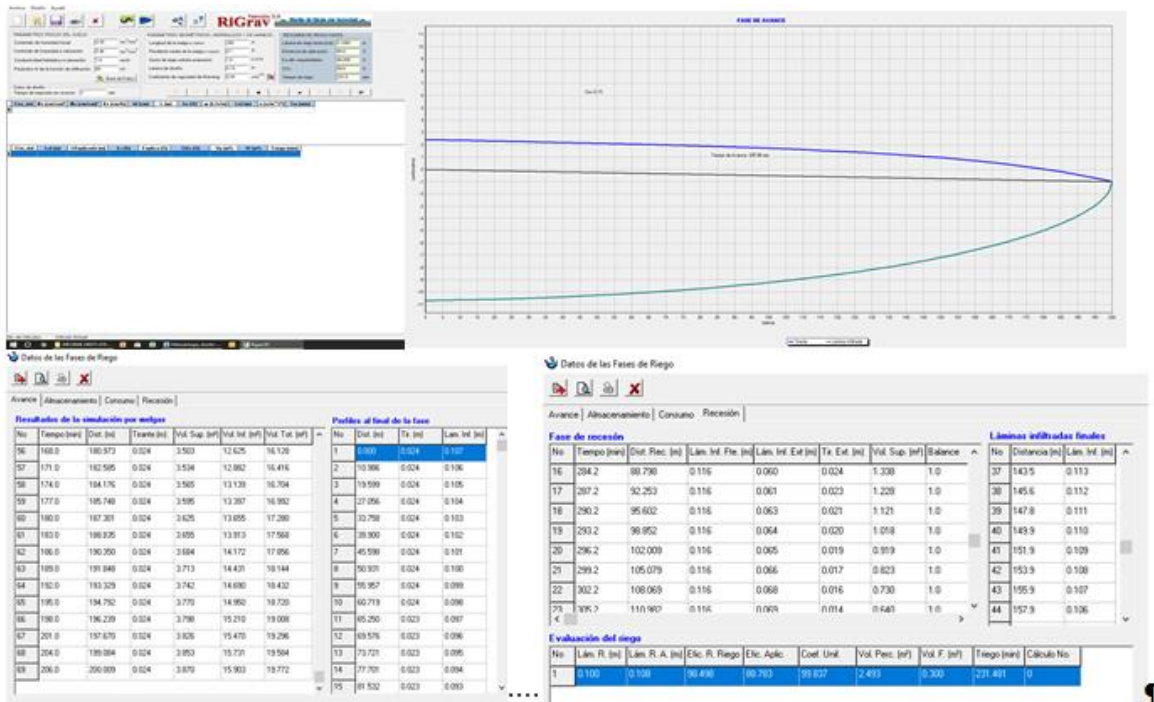


Figura 2. Pantallas del software RIGRAV 3.0

RIGRAV 3.0 al igual que el RIGRAV 2.1 (figura 3), son herramientas informáticas amigables con el usuario, el ingreso de datos puede ser a través del teclado o desde una base de datos y tiene capacidad para editar fácilmente los valores que ingresa. Permite realizar las tareas básicas de despliegue de resultados, en forma resumida o detallada, en pantalla o en forma impresa, así como el despliegue de gráficas y exportación de datos y resultados, con lo cual es muy fácil realizar reportes técnicos de los diseños. El programa RIGRAV, no tiene integrado una opción para calibrar los parámetros de infiltración a partir de los resultados de una prueba de riego. La calibración de los parámetros de infiltración, tanto para melgas como para surcos, se puede realizar con otro software denominado EVAGRAV 2.1 (Hernández, 2015).



Figura 3. Pantallas del software RIGRAV 2.1

Resultados y Discusión

Pruebas de Riego para la calibración del Software

Las pruebas de riego en campo (figura 4), son importantes para ajustar o calibrar los parámetros del suelo que tienen que ver con el diseño del riego por gravedad, en particular los coeficientes hidrodinámicos de conductividad hidráulica a saturación (K_s) y el potencial de presión en el frente de succión (h_f), ambos parámetros de la ecuación de infiltración de Green y Ampt, a las condiciones reales del terreno, partiendo siempre de constantes de humedad del suelo que provienen de datos texturales o en el mejor de los casos datos de laboratorio. Un mejor ajuste de estos parámetros permitirá representar los datos medidos en campo de las fases de avance y recesión del riego por gravedad con la información generada de las simulaciones con el software.



Figura 4. Medición de las fases de avance y de recesión en el riego por gravedad, respectivamente.

En el cuadro 1, se presenta la relación de los parámetros medios de la ecuación de infiltración de Green y Ampt, del contenido de humedad inicial del suelo (θ_0), contenido de humedad a saturación (θ_s), el potencial de presión en el frente de humedecimiento (h_f) y la conductividad hidráulica a saturación natural (K_s), en relación a la textura del suelo. Este último parámetro (K_s), es importante remarcar que su valor para los suelos de textura arcilla limosa y arcilla que les corresponde a ambos en este cuadro, un valor de 0.05 cm/h, en la simulación del proceso de infiltración y la obtención del gasto óptimo tanto para el modelo de la onda cinemática como para el modelo hidrológico, la experiencia obtenida en el diseño del riego nos dice que los valores resultantes del gasto óptimo son caudales muy pequeños, en relación al gasto real (de campo), es decir que hay una subestimación del caudal óptimo para estas dos texturas del suelo. La explicación en la práctica del riego conduce a que este tipo de suelos presenta, sobre todo en condiciones de suelo seco, muchos agrietamientos, haciendo que durante la aplicación del riego se requiera un caudal o gasto mayor al obtenido mediante los modelos de simulación (RISUR y RIGRAV).

Cuadro 1. Parámetros medios de la ecuación de infiltración de Green y Ampt, utilizados para el diseño (o prediseño) del riego por gravedad en función del tipo de suelo.

Textura del suelo	Parámetros			
	θ_o (cm ³ / cm ³)	θ_s (cm ³ / cm ³)	hf (cm)	Ks (cm/h)
Arena	0.07	0.41	2	15
Arena franca	0.09	0.42	4	10
Franco arenosa	0.16	0.46	12	2.9
Franco	0.20	0.46	25	1.5
Franco limoso	0.17	0.55	30	1.0
Limo	0.14	0.55	35	0.8
Franco arcillo arenoso	0.18	0.42	12	2.0
Franco arcilloso	0.25	0.48	38	0.4
Franco arcillo limoso	0.26	0.49	60	0.15
Arcilla arenosa	0.25	0.42	25	0.5
Arcilla limosa	0.32	0.48	100	0.05
Arcilla	0.36	0.49	100	0.05

Fuente: IMTA, 2007.

El proceso de ajuste o calibración con los datos de campo con el RISUR es el siguiente:

1. Se realiza una prueba de riego, respetando la forma como normalmente riega el productor. Se miden los tiempos del frente de avance del agua, desde el inicio hasta el final del surco (avance), y los tiempos, en que desaparece el agua de la superficie (recesión).
2. Utilizar el modelo de simulación el RISUR, en donde se utilizan valores iniciales de K_s , h_f y n (coeficiente de rugosidad) para calibrar dichos modelos por aproximaciones. De manera preliminar se pueden utilizar los valores del cuadro 1.
3. Dichos datos de campo se grafican y se comparan contra los del modelo de simulación. Si no son similares, se ajustan los valores de los parámetros " K_s " y " h_f ", hasta obtener valores similares de las curvas de avance y de recesión. Cabe mencionar que el software RISUR (figura 5), tiene la ventaja sobre el RIGRAV, de que permite capturar y graficar los valores de campo y compararlos a la vez con los generados por este modelo.
4. Se considera que el modelo de simulación ya está calibrado (RIGRAV O RISUR), cuando los valores graficados obtenidos de campo y los estimados por el modelo son similares, como se muestra en la figura 5.

Como primer parámetro de verificación se compara el tiempo de avance. Sí este valor es menor que el valor obtenido de campo, quiere decir que en la simulación el agua está avanzando más rápidamente, entonces, tenemos que incrementar el valor de K_s , manteniendo o en su caso disminuyendo el valor de h_f . Por el contrario, sí el tiempo de avance en la simulación es mayor que el de campo, quiere decir que en la simulación el agua está avanzando más lentamente, entonces, tenemos que disminuir el valor de K_s ,

manteniendo o en su caso aumentando el valor de h_f . En ambos casos verificar también que las fases de recesión sean similares. Para llegar a este resultado es posible que se requiera aplicar tres o hasta cuatro pruebas de riego. Una vez calibrado el modelo para la parcela o grupo de parcelas con características texturales similares, se podrán generar los gastos de riego por surco o gastos unitarios para diferentes condiciones de láminas de riego por aplicar.

Comprobación de la calibración

Verificando en la "Gráfica" los datos de la fase de avance y de recesión simulados, sean similares a los datos medidos en campo.

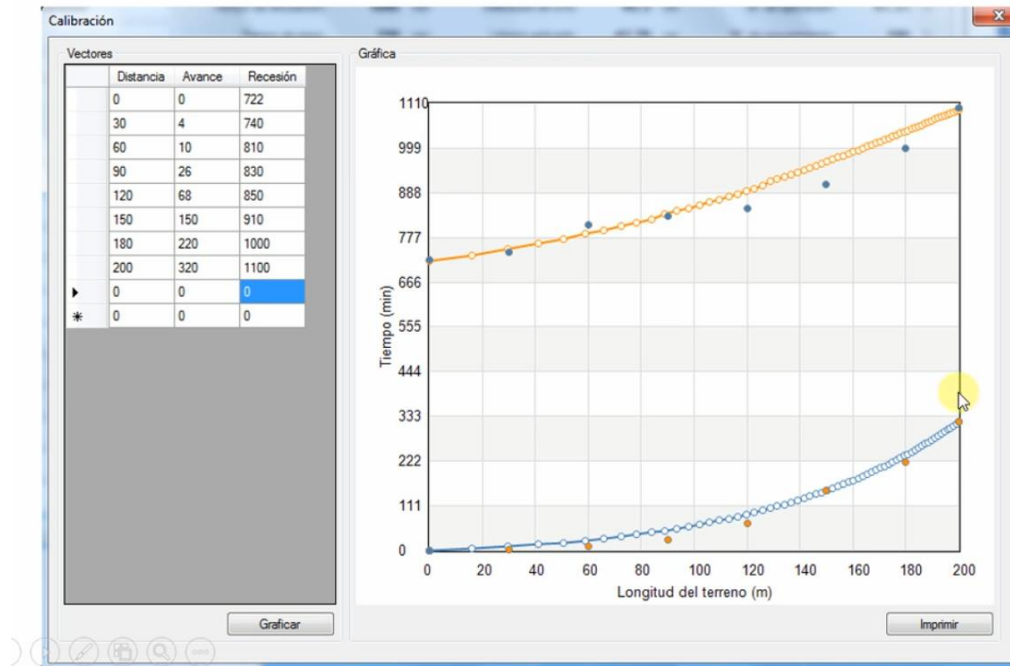


Figura 5. Gráfica generada con el RISUR. Datos de campo de la prueba de avance-recesión, y los generados de la simulación. Fuente: www.saprigrat.mx.

Diseño del riego

Con los valores calibrados o ajustados de la conductividad hidráulica a saturación (K_s), el potencial de presión en el frente de humedecimiento (h_f), y el coeficiente de rugosidad (n); o bien con los parámetros medios a partir de la textura del suelo, obtenidos de la función de infiltración a partir del cuadro 1 se procede a realizar el diseño del riego ya sea con el RIGRAV o con el RISUR. Además de los parámetros del suelo mencionados arriba, se ingresan en todos los casos la longitud de la parcela, la lámina de riego neta por aplicar, el contenido de humedad del suelo previo al riego y el de saturación, la pendiente longitudinal y el ancho del surco. En todo el proceso de diseño (selección del gasto óptimo por surco o melga), siempre se debe revisar que los indicadores de eficiencia de aplicación y el coeficiente de uniformidad del riego sean los más altos posibles.



Conclusiones

Se presenta un análisis del RISUR y RIGRAV como herramientas informáticas que se emplean actualmente para el diseño de riego por gravedad. RISUR, al utilizar el modelo de la onda cinemática, presenta mayor flexibilidad u opciones de diseño tanto para surco abierto, riego intermitente como para surco cerrado. La versión del RIGRAV opera solamente la opción de surco cerrado. Ambas herramientas cumplen de manera muy satisfactoria su encomienda en el diseño del riego por gravedad.

La capacitación y entrenamiento del Técnico RIGRAT en el proceso de generación de diseños y trazos de riego parcelarios, se facilita con el apoyo de estas herramientas informáticas.

Referencias Bibliográficas

- Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2017). Informe final del Proyecto RD1626. "Desarrollar los trabajos de coordinación, seguimiento y evaluación de la componente Riego por Gravedad Tecnificado, en una superficie de 8,000 hectáreas, en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato". Jiutepec, Morelos, México.
- González Camacho J. M., Muñoz H. B., Acosta H. R, y Jean C. Mailhol. (2006). Modelo de la onda cinemática adaptado al riego por surcos cerrados. Revista Agrociencia 40. Noviembre-diciembre de 2006. Colegio de postgraduados. Montecillo, México.
- Hernández Saucedo R., Rendón Pimentel L., García Herrera F., Pérez Nieto S. (2015). Herramientas para la asistencia técnica en riego por gravedad. I Congreso Nacional COMEII. Jiutepec, Morelos.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (1997). Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Capítulo 1. Tecnificación del riego. Jiutepec, Morelos. México.
- Muñoz Hernández B. (1998). El modelo de la onda cinemática aplicado al diseño de sistemas de riego por surcos, continuo y por pulsos. Tesis de maestría. Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Rendón Pimentel L., Saucedo H. R., Fuentes Ruíz C. (2012). Capítulo 7. Diseño de Riego por Gravedad. En Riego por Gravedad. Editores Carlos Fuentes y Luis Rendón. Universidad Autónoma de Querétaro. 321-358.
- www.saprigrat.mx. Tutorial SAPRIGRAT. Magaña Sosa G, Muñoz Hernández B., Valencia Rico V.