



**Quinto  
Congreso Nacional  
de Riego y Drenaje  
COMEII-AURPAES 2019**

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



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

JUAN MANUEL ANGELES HERNÁNDEZ<sup>1\*</sup>; JORGE A. CASTILLO GONZÁLEZ<sup>1</sup>,  
MARIO A. MONTIEL GUTIÉRREZ<sup>1</sup>

Fecha de presentación 20/septiembre/2019  
Mazatlán, Sinaloa, México



# Introducción



El riego por gravedad parcelario  
y las modalidades de aplicación





# Software RISUR

## Riego por surcos (RISUR)

- Archivo
- Simulación
- Tutorial
- Créditos
- Ayuda

### Datos generales

Productor:

Rancho:

Parcela:

Superficie:  ha

### Variables de riego

Gasto:  l/s

Longitud:  m

Pendiente:  %

Rugosidad:  adim

Paso de tiempo:  min

Contenido sat.:  cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>

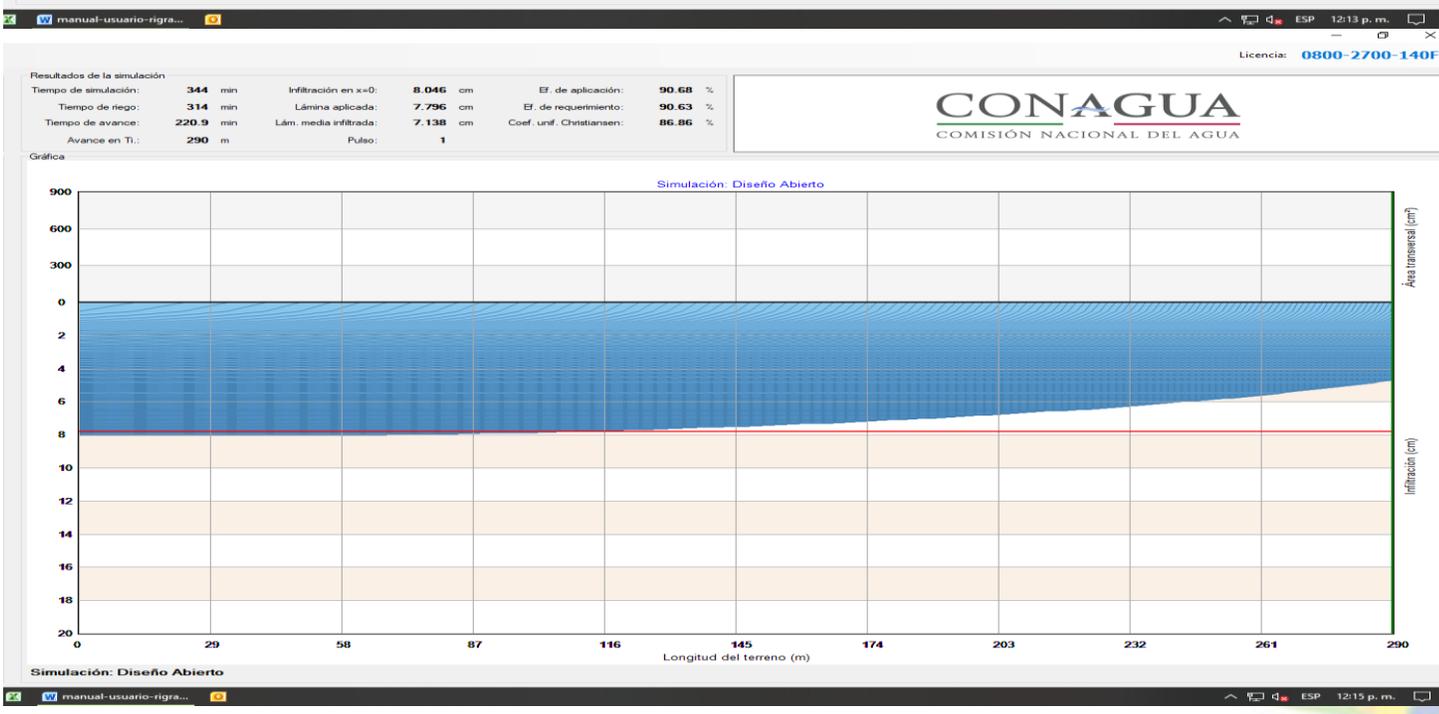
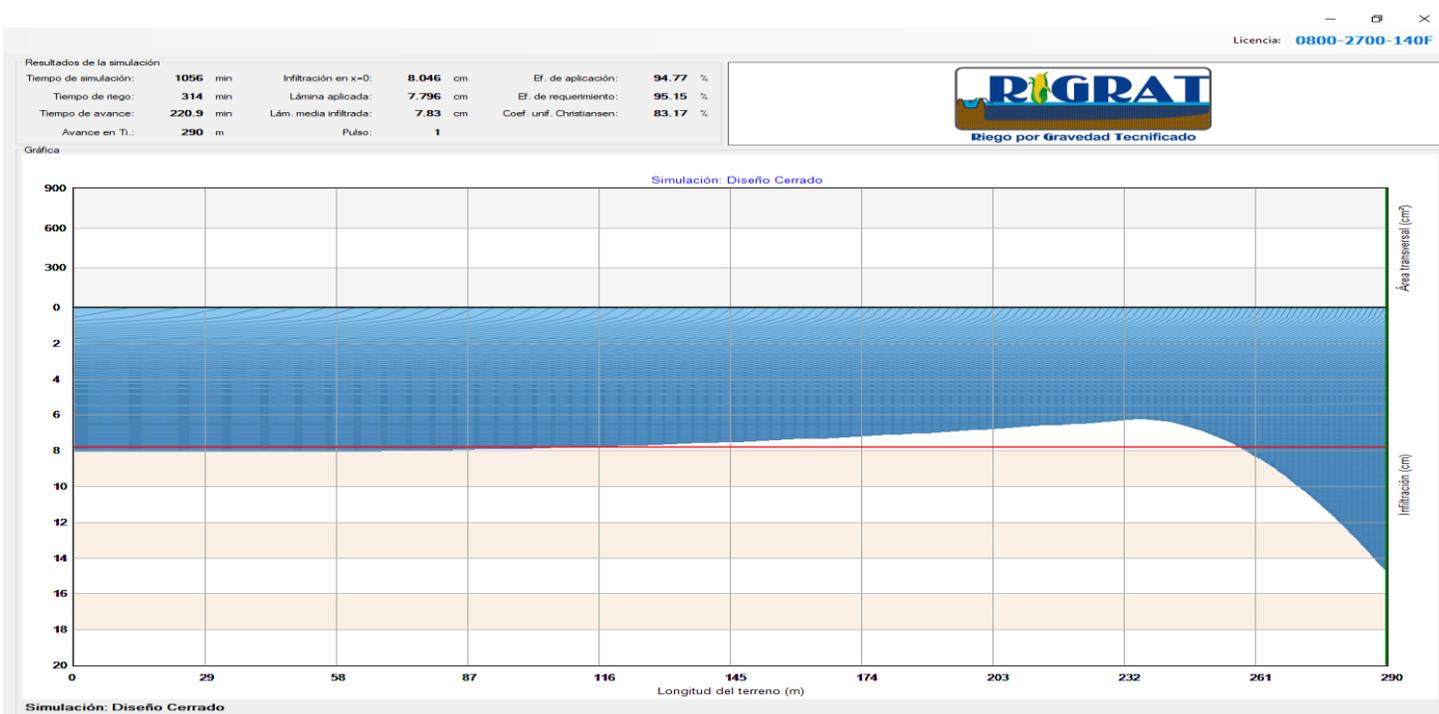
Contenido hum.:  cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>

Espacio del surco o melga:  m

Lámina de riego:  E cm

Coefficiente Ks:  cm/h

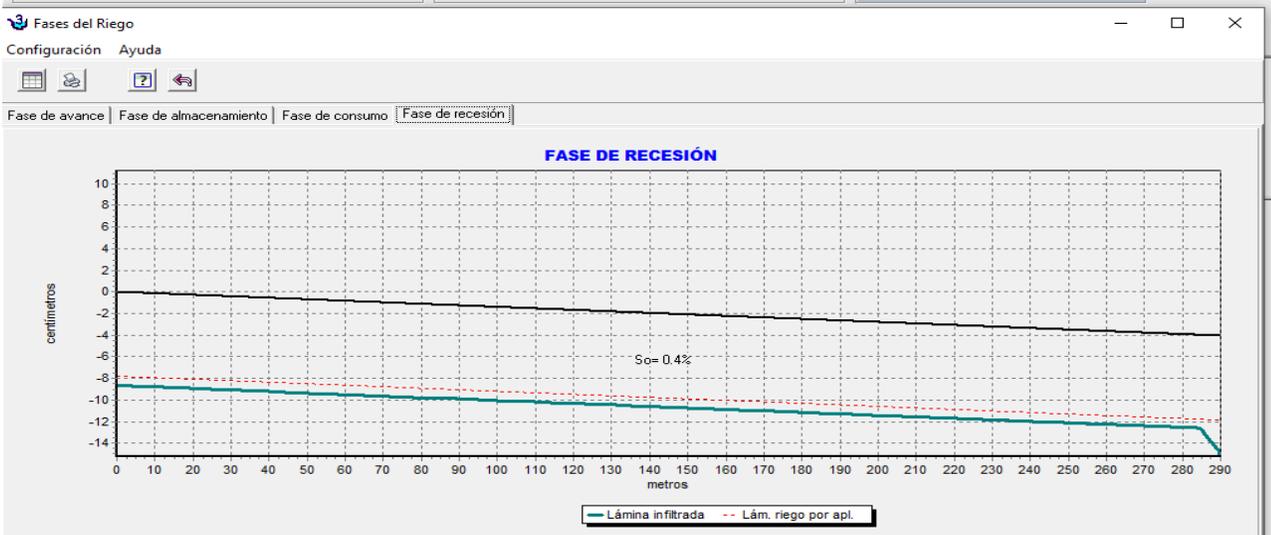
Coefficiente Hf:  E cm



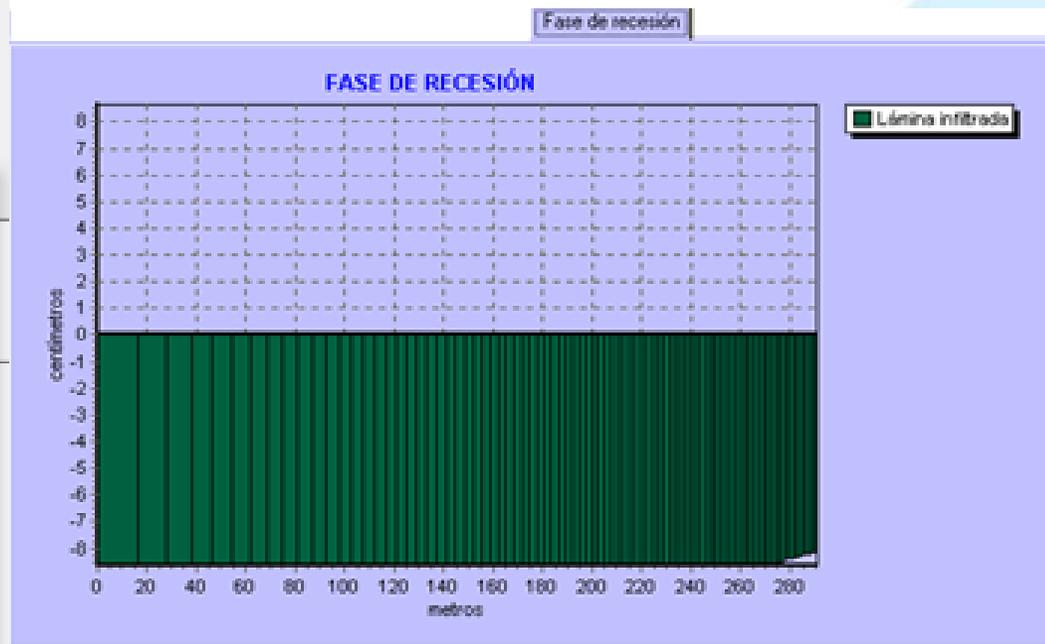


**RiGrav** Versión 3.0 Diseño de Riego por Gravedad

<b>PARÁMETROS FÍSICOS DEL SUELO:</b> Contenido de humedad inicial: 0.25 cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> Contenido de humedad a saturación: 0.48 cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> Conductividad hidráulica a saturación: 0.4 cm/h Parámetro h <sub>f</sub> de la función de infiltración: 45 cm		<b>PARÁMETROS GEOMÉTRICOS, HIDRÁULICOS Y DE MANEJO:</b> Longitud de la melga o surco: 290 m Pendiente media de la melga o surco: 0.4 % Gasto de riego unitario propuesto: 1.2 L/s/m Lámina de diseño: 0.078 m Coeficiente de rugosidad de Manning: 0.03 s/m <sup>1/3</sup>		<b>RESUMEN DE RESULTADOS:</b> Lámina de riego bruta (Lrb): 0.0882 m Eficiencia de aplicación: 90.0 % Ea del requerimiento: 100.000 % CUC: 100.0 % Tiempo de riego: 349.1 min
---	--	---	--	---



# Software RIGRAV

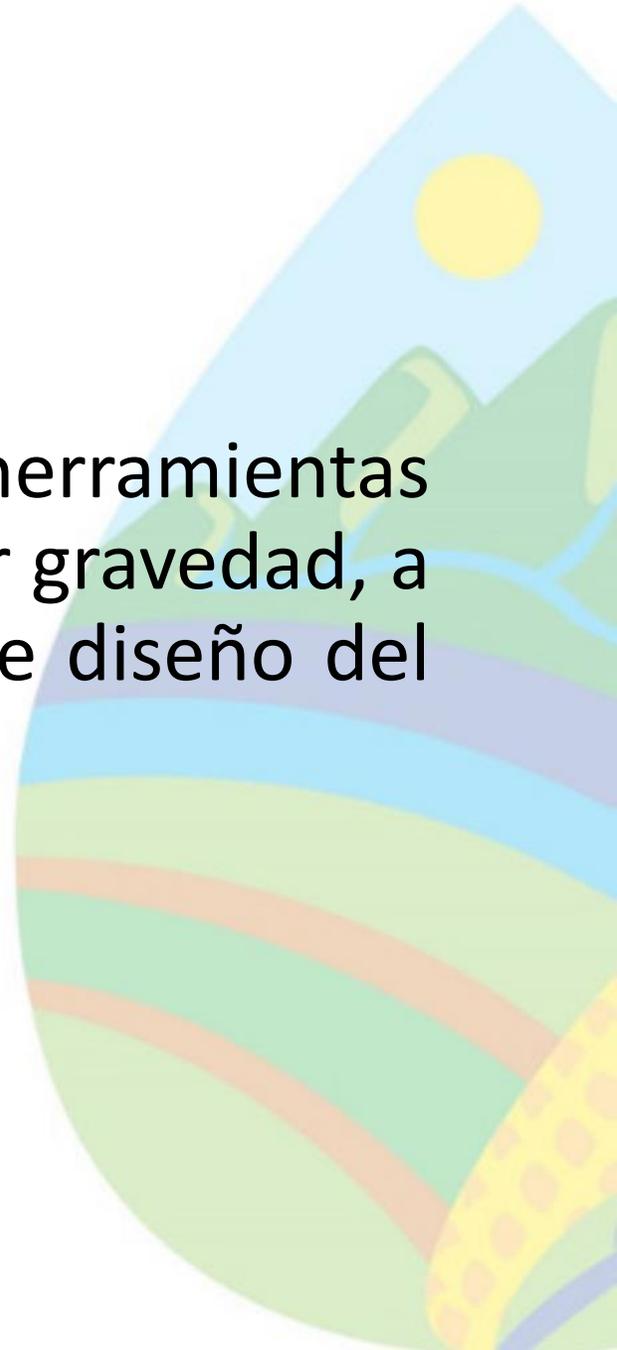


Software	Lámina media (cm) infiltrada	Tiempo de riego (min)	E.A. (%)	CUC (%)
RISUR (S. Cerrado)	7.8	314	94.8	83.2
RISUR (S. Abierto)	7.1	314	90.7	86.9
RIGRAV (UACH)	8.8	349	90.0	100.0
(RIGRAV) IMTA	8.7	349	90.4	98.8



# 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.

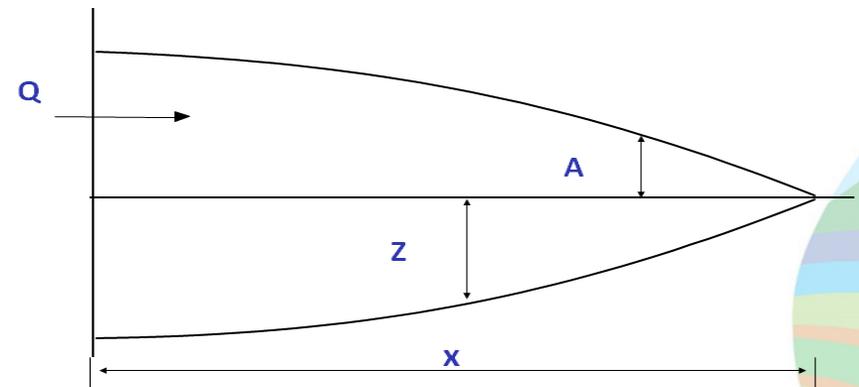


## • *Software RISUR*

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.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial \tau} = 0$$

$$S_o = S_f$$



Representación esquemática de la fase de avance del riego por gravedad

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 [ $T$ ],  $\tau = t - tx$  es el tiempo de oportunidad [ $T$ ],  $tx$  es el tiempo que tarda el frente en alcanzar el punto  $x$  [ $T$ ],  $x$  es la distancia de avance [ $L$ ].

$S_o$  Pendiente longitudinal de la melga, adimensional

$S_f$  Pendiente de fricción de la línea de energía, adimensional.



- *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, para la fase de avance (IMTA, 2007).

$$Q \ t = \int_0^s A (x, t) \ dx \ + \int_0^s Z (x, t) \ dx$$

donde:

Q 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]

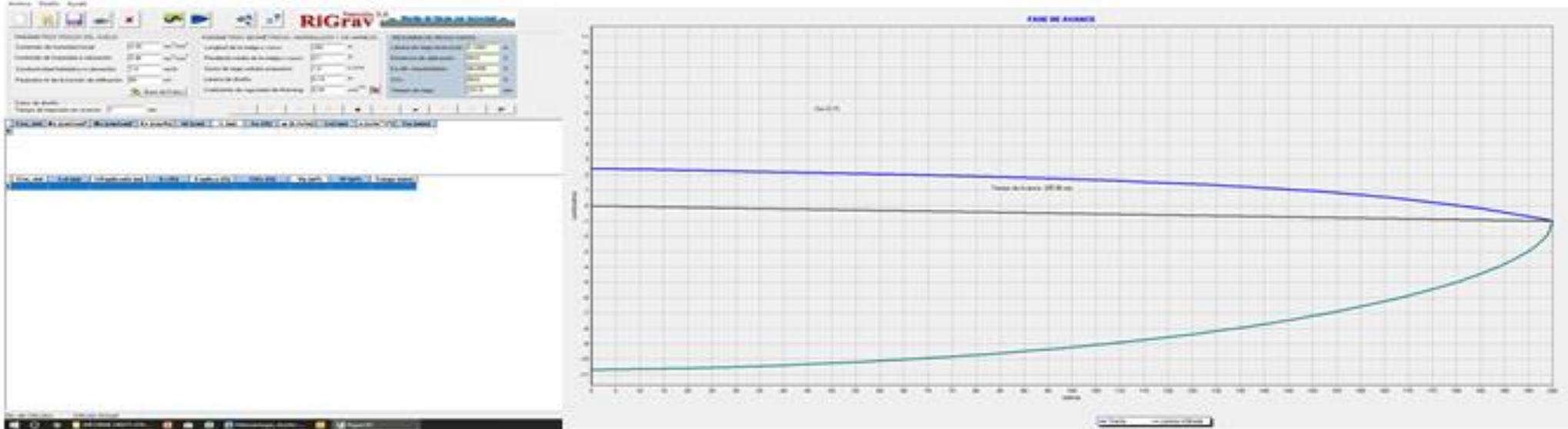
Z área hidráulica de la sección transversal del escurrimiento subterráneo [ $L^2$ ]

t tiempo [T]





# RIGRAV (UACH)



**Datos de las Fases de Riego**

Avance | Almacenamiento | Consumo | Recesión

**Resultados de la simulación por riegos**

No	Tempo (min)	Dist. (m)	Tiempo (h)	Vol. Sup. (m³)	Vol. Inf. (m³)	Vol. Tot. (m³)
56	160.0	180.573	0.024	-3.503	12.625	16.128
57	171.0	182.505	0.024	-3.534	12.862	16.416
58	174.0	184.176	0.024	-3.565	13.133	16.704
59	177.0	185.740	0.024	-3.595	13.397	16.992
60	180.0	187.301	0.024	-3.625	13.655	17.280
61	183.0	188.825	0.024	-3.655	13.913	17.568
62	186.0	190.250	0.024	-3.684	14.172	17.856
63	189.0	191.840	0.024	-3.713	14.431	18.144
64	192.0	193.325	0.024	-3.742	14.690	18.432
65	195.0	194.752	0.024	-3.770	14.950	18.720
66	198.0	196.239	0.024	-3.798	15.210	19.008
67	201.0	197.670	0.024	-3.826	15.470	19.296
68	204.0	199.084	0.024	-3.853	15.731	19.584
69	206.0	200.009	0.024	-3.879	15.993	19.872

**Perfiles al final de la fase**

No	Dist. (m)	Tx. (m)	Lám. Inf. (m)
1	0.000	0.024	0.107
2	10.896	0.024	0.106
3	19.599	0.024	0.105
4	27.056	0.024	0.104
5	33.758	0.024	0.103
6	39.900	0.024	0.102
7	45.599	0.024	0.101
8	50.927	0.024	0.100
9	55.967	0.024	0.099
10	60.719	0.024	0.098
11	65.250	0.023	0.097
12	69.576	0.023	0.096
13	73.721	0.023	0.095
14	77.701	0.023	0.094
15	81.532	0.023	0.093

**Datos de las Fases de Riego**

Avance | Almacenamiento | Consumo | Recesión

**Fase de recesión**

No	Tempo (min)	Dist. Rec. (m)	Lám. Inf. Fle. (m)	Lám. Inf. Ext. (m)	Tx. Ext. (m)	Vol. Sup. (m³)	Balace
16	204.2	98.790	0.116	0.060	0.024	1.338	1.0
17	207.2	92.253	0.116	0.061	0.023	1.220	1.0
18	200.2	95.602	0.116	0.063	0.021	1.121	1.0
19	203.2	98.952	0.116	0.064	0.020	1.018	1.0
20	206.2	102.009	0.116	0.065	0.019	0.919	1.0
21	209.2	105.079	0.116	0.066	0.017	0.823	1.0
22	202.2	108.069	0.116	0.068	0.016	0.730	1.0
23	205.2	110.980	0.116	0.069	0.014	0.640	1.0

**Láminas infiltradas finales**

No	Distancia (m)	Lám. Inf. (m)
37	143.5	0.113
38	145.6	0.112
39	147.8	0.111
40	149.9	0.110
41	151.9	0.109
42	153.9	0.108
43	155.9	0.107
44	157.9	0.106

**Evaluación del riego**

No	Lám. R. (m)	Lám. R. A. (m)	Efic. R. Riego	Efic. Aplic.	Coef. Unit.	Vol. Perc. (m³)	Vol. F. (m³)	Tiempo (min)	Cálculo No
1	0.100	0.108	90.498	90.793	99.837	2.493	0.300	231.491	0

# RIGRAV (IMTA)

Riego por gravedad

Propiedades físicas del suelo

Contenido de humedad inicial: 0.25 (cm/cm)<sup>3</sup>

Contenido de humedad a saturación: 0.48 (cm/cm)<sup>3</sup>

Conductividad hidráulica a saturación: 0.5 cm/h

Parámetro N de la función de infiltración: 40 cm

Datos generales

Longitud de la melga o surco: 250 m

Pendiente media de la melga o surco: 0.128 ‰

Gasto de riego unitario propuesto: 1 l/s/m

Lámina de riego por aplicar: 1.4 m

Coefficiente de rugosidad de Manning: 0.03 s/m<sup>1/3</sup>

Resultados

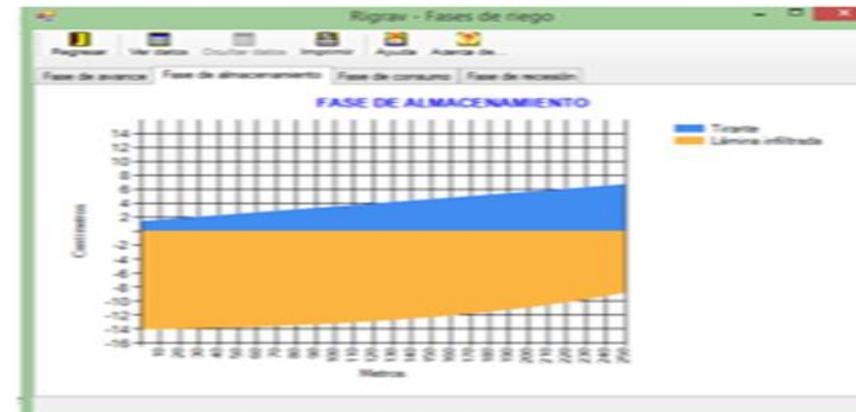
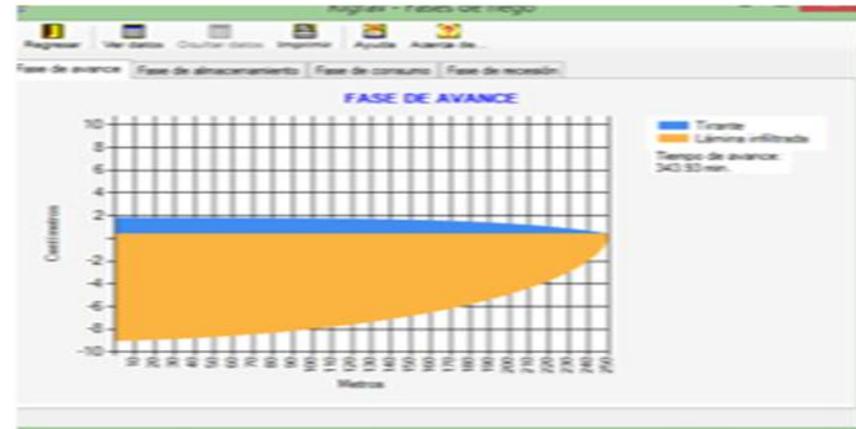
Lámina de riego: 0.14 m

Lámina de riego aplicada: 0.17 m

Eficiencia de aplicación: 90.13 ‰

Coefficiente de uniformidad: 94.25 ‰

Tiempo de riego: 643.15 min



## Información de campo para la calibración y diseño



Determinación de los tiempos de avance y de recesión durante una prueba de riego por gravedad





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

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

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

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]

$\theta_s$  contenido de humedad a saturación [ $L^3L^{-3}$ ]

$\theta_o$  contenido de humedad inicial [ $L^3L^{-3}$ ]





## Parámetros medios de la ecuación de infiltración de Green y Ampt (1911) utilizadas para hacer el diseño de riego por gravedad, en función del tipo de suelo

Textura del suelo	Parámetros			
	$\theta_o$ (cm <sup>3</sup> / cm <sup>3</sup> )	$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> / cm <sup>3</sup> )	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

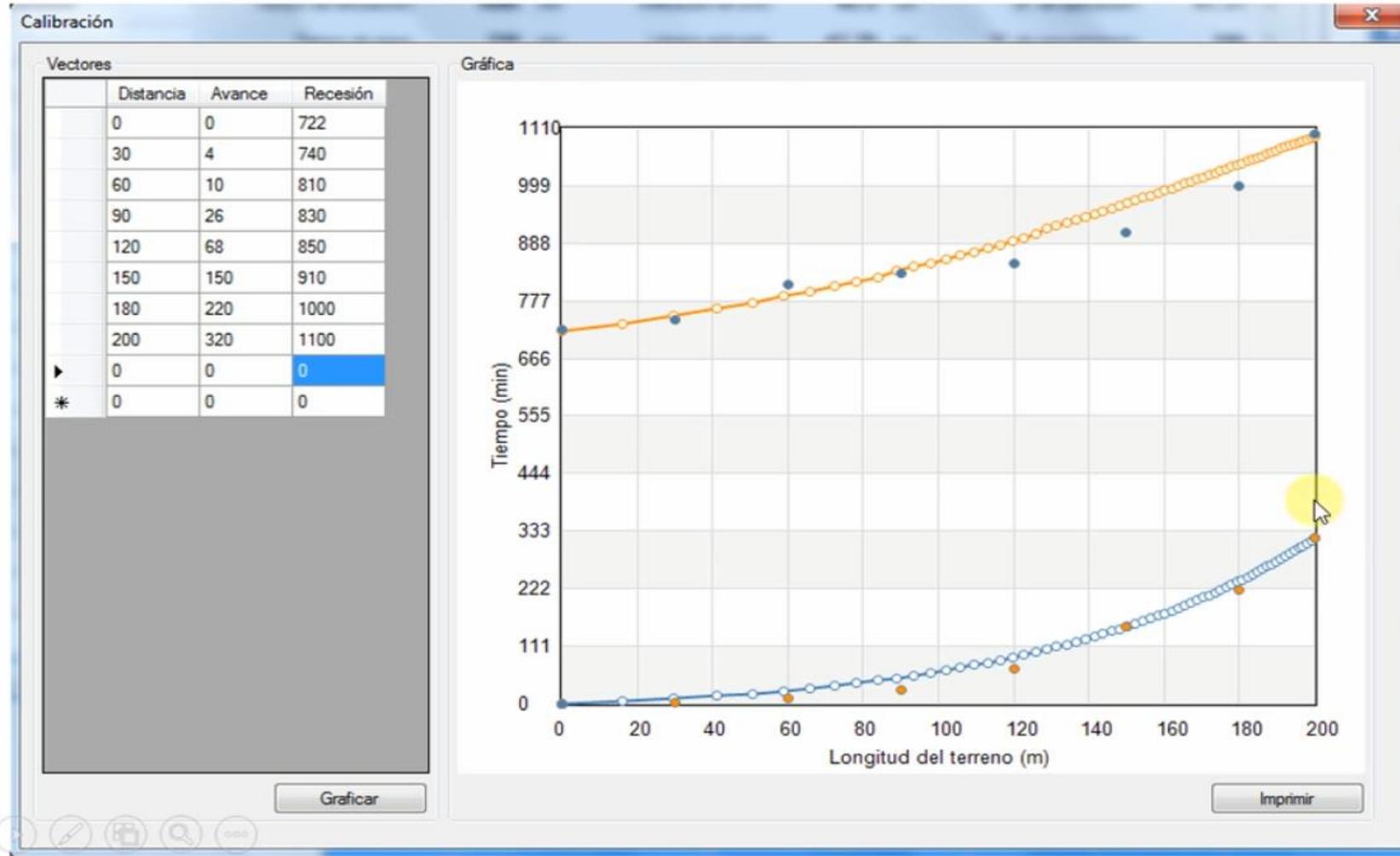
**Textura arcilla limosa y arcilla**



## 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.

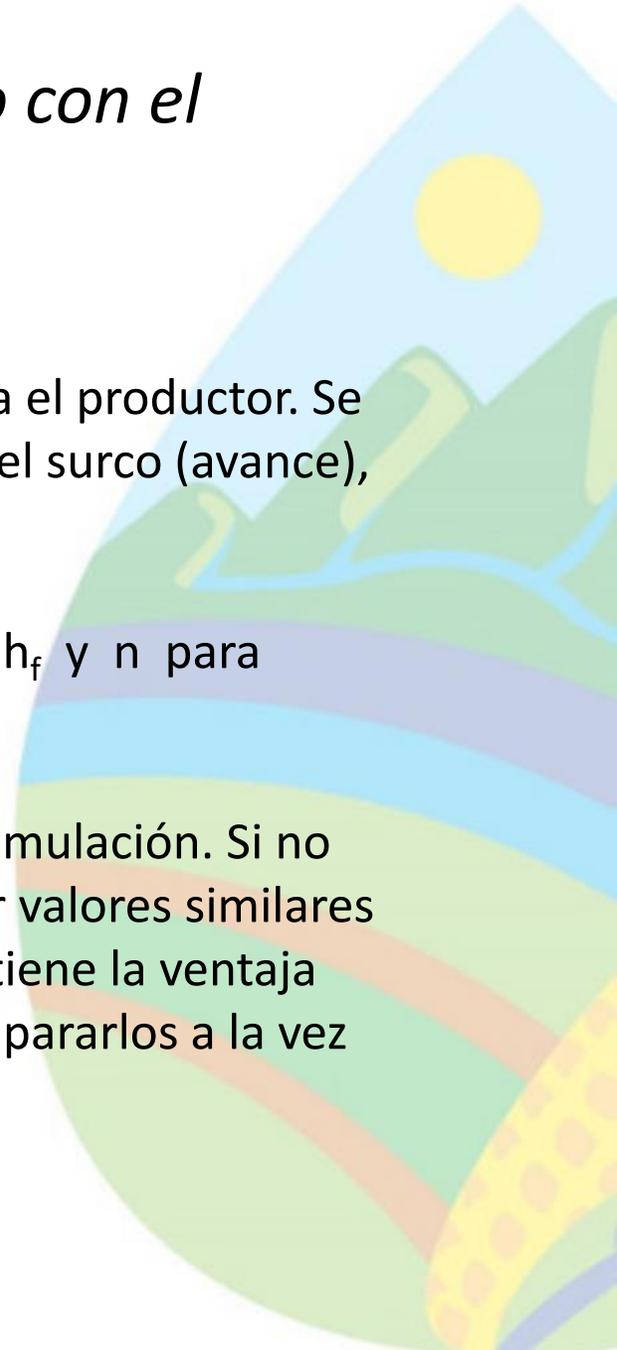
RISUR





## *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, con los valores iniciales preliminares de  $K_s$ ,  $h_f$  y  $n$  para calibrar dichos modelos por aproximaciones.
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, 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.

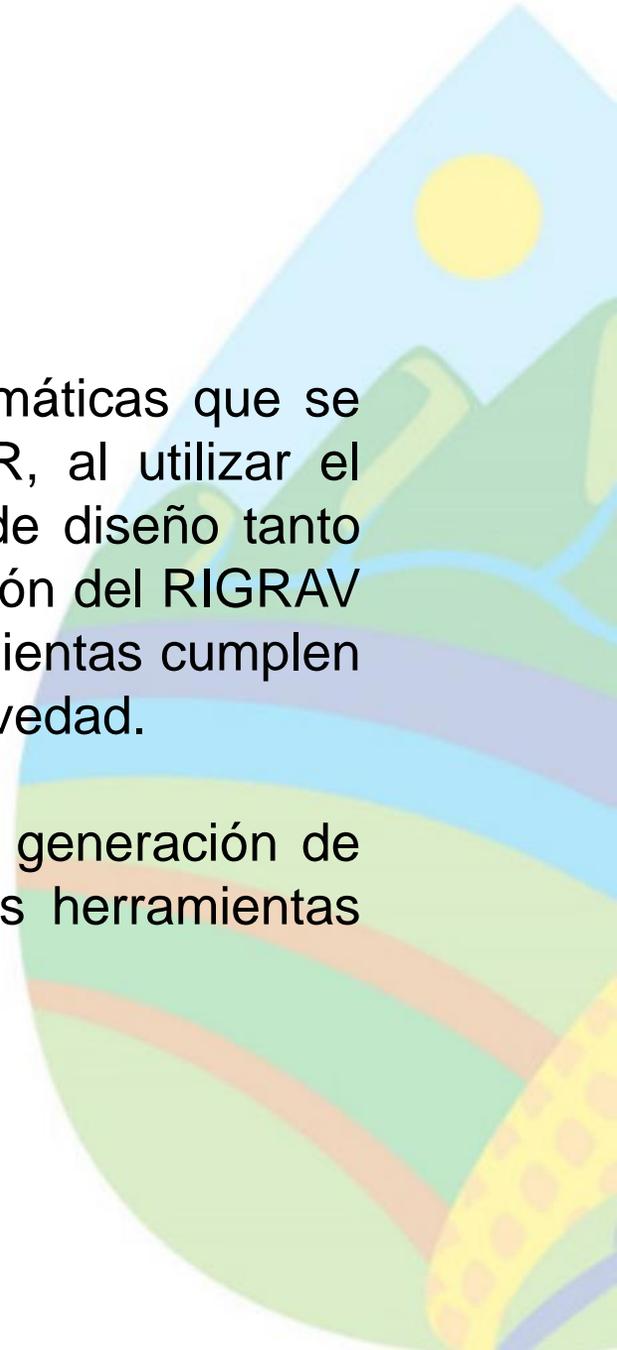




# Conclusiones

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



GRACIAS



Quinto  
Congreso Nacional  
de Riego y Drenaje  
**COMEII-AURPAES 2019**

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



**AURPAES, S.C.**  
Asociación Nacional de Asociaciones de Usuarios de Riego  
Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.

## Contacto

Juan Manuel Angeles Hernández; Jorge A. Castillo González,  
Mario A. Montiel Gutiérrez

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

[jangeles@tlaloc.imta.mx](mailto:jangeles@tlaloc.imta.mx)

