

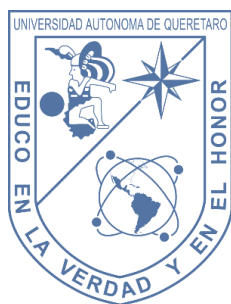


**VIII** Congreso Nacional y  
**I** Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# COMPARACIÓN DE ECUACIONES DE INFILTRACIÓN EN LA MODELACIÓN DE LA FASE DE AVANCE DEL RIEGO POR GRAVEDAD

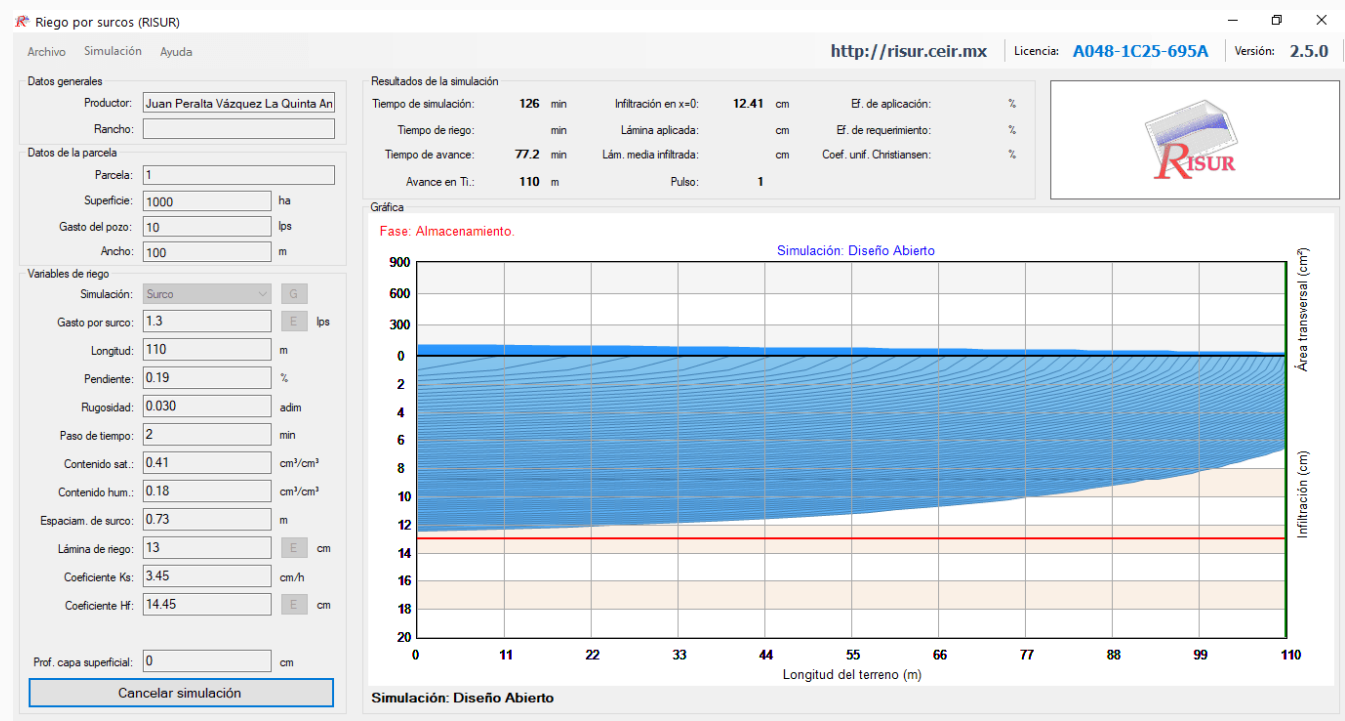
Sebastián Fuentes y Carlos Chávez



Fecha de presentación: 05 de octubre 2023

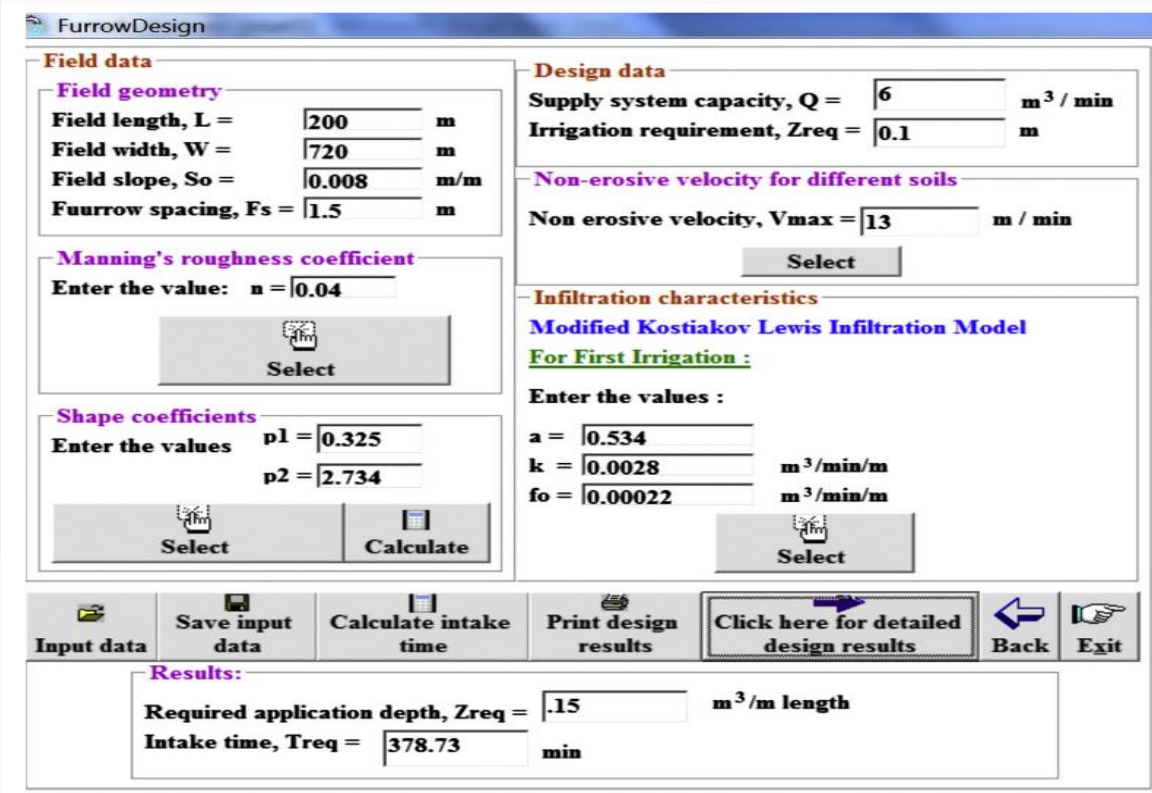






González *et al.* (2006)

Adamala *et al.* (2014)



Input - SISCO - Merah-North

**Field Details**  
 Field Length: 686.0 m  
 Manning n: 0.04000  
 Spacing (wetted): 2.000 m

**Inflow Data**  
 Cut-off Time: 992.00 min  
 Inflow Rate: 3.31600 L/s

**Furrow Shape**  
 Furrow Type: Every second  
 Top Width: 600.0 mm  
 Middle Width: 400.0 mm  
 Bottom Width: 190.0 mm  
 Max Height: 110.0 mm

**Infiltration Parameters**  
 a: 0.3911360428  
 k: 0.0210739182 m<sup>3</sup>/min<sup>a</sup>/m  
 f<sub>0</sub>: 0.0000133492 m<sup>3</sup>/min/m  
 C: 0.0000000000 m<sup>3</sup>/m  
 Deficit: 80.0 mm  
 Time required: 171.71 min.

Gillies y Smith (2015)

Bautista *et al.* (2016)

WinSRFR 5.1.1 - Simulation

USDA / ARS / ALARC

Farm: Fam 1, Field: Field 1  
 Folder: Folder 1, Simulation: Simulation 1

**Roughness**  
 Resistance Equation: Manning n

**Infiltration**  
 Graph showing Az/FS vs Infiltration Time. A point is marked at (10 cm, 273.5 min).  
 Infiltration Time: 546.9 min

**NRCS Suggested Values:**  
 0.04 - Bare Soil  
 0.10 - Small Grain (drilled lengthwise)  
 0.15 - Alfalfa, Mint or Broadcast Small Grain  
 0.20 - Alfalfa, dense or on long fields  
 0.25 - Dense crops or small grain drilled  
 User Entered Value: 0.04

**Wetted Perimeter:** Furrow Spacing (No WP Effect)  
**Infiltration Equation:** Kostiakov Formula

$Z_n = k * T^a$   
 k: 46.84 mm/hr<sup>a</sup>  
 a: 0.5

Start Simulation | System Geometry | Soil / Crop Properties | Inflow / Runoff | Data Summary | Execution | Results

====> Proceed down tabs verifying data is correct for your field. ====> Level: Advanced

New Analysis added | User Level: Advanced | 12:40 a. m.

# Flujo superficial

Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial l}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Ecuación de cantidad de movimiento, versión recomendada por Saucedo *et al.* (2005):

$$h^2 \frac{\partial q}{\partial t} + 2hq \frac{\partial q}{\partial x} + (gh^3 - q^2) \frac{\partial h}{\partial x} + gh^3 (J - J_o) + \beta qh \frac{\partial l}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

La ecuación que relaciona  $q$  y  $h$  es la ley fractal de resistencia hidráulica propuesta por C. Fuentes *et al.* (2004):

$$q = kv \left( \frac{h^3 Jg}{v^2} \right)^d \quad (3)$$

## Flujo subsuperficial

Ecuación de infiltración de Kostiakov:

$$I = \kappa \tau^\alpha \quad (4)$$

Ecuación de Green y Ampt:

$$I = K_s t + \lambda \ln\left(1 + \frac{I}{\lambda}\right), \lambda = (h + h_f)(\theta_s - \theta_o) \quad (5)$$

La solución de las ecuaciones (1) y (2) de Saint-Venant para el flujo superficial, se realizó mediante un esquema lagrangiano en diferencias finitas, mientras que en el flujo subsuperficial se utilizaron las ecuaciones (4) y (5) que fueron resueltas directamente y por el método de Newton-Raphson respectivamente (S. Fuentes *et al.*, 2022; S. Fuentes y Chávez, 2022).

## Representación analítica del gasto óptimo de riego

La representación analítica del gasto óptimo de riego es función de la longitud de la melga, las propiedades hidrodinámicas y las constantes de humedad del suelo para obtener valores altos del coeficiente de uniformidad (C. Fuentes y Chávez, 2020):

$$q_{opt} = \alpha_u K_s L, \alpha_u = \frac{l_n}{l_n - \frac{S^2}{2K_s} \ln \left( 1 + \frac{2K_s}{S^2} l_n \right)}, S^2 = 2K_s h_f (\theta_s - \theta_0) \quad (6)$$

## Resultados y Discusión

La modelación se realizó con la información reportada por Saucedo *et al.* (2005) de un suelo Franco de Montecillo.

### Parámetros del suelo

Humedad inicial =  $0.2749 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

Humedad a saturación =  $0.4865 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

### Ley de resistencia hidráulica

$d = 1$  (Poiseuille)

$k = 5.00 \times 10^{-6}$

### Parámetros de riego

Gasto unitario =  $0.0032 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$

Tirante medio = 2.00 cm

Longitud = 100 m

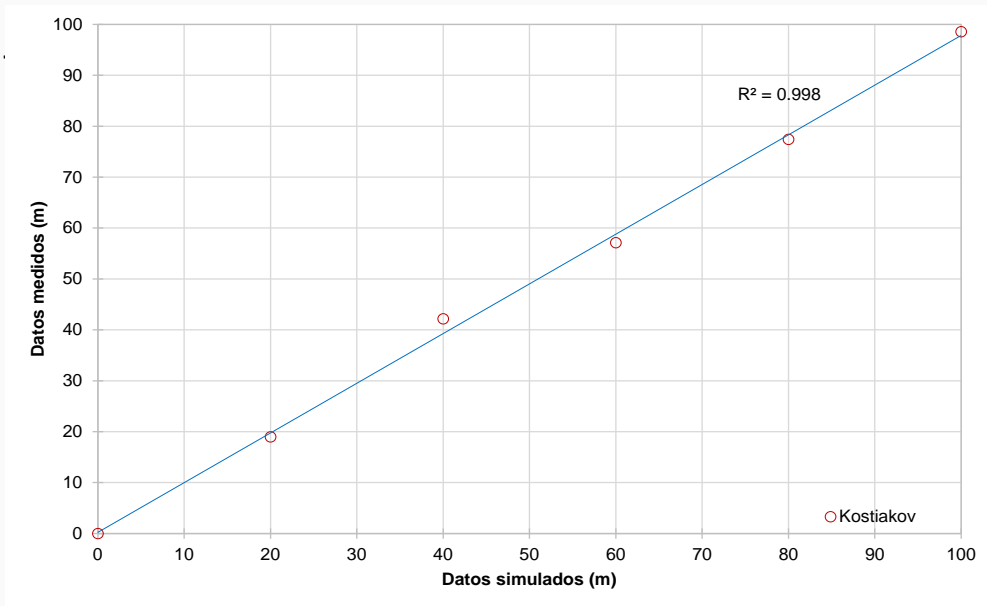
Ancho de melga = 10.00 m

Pendiente = 0.002 m/m

$\beta = 0$

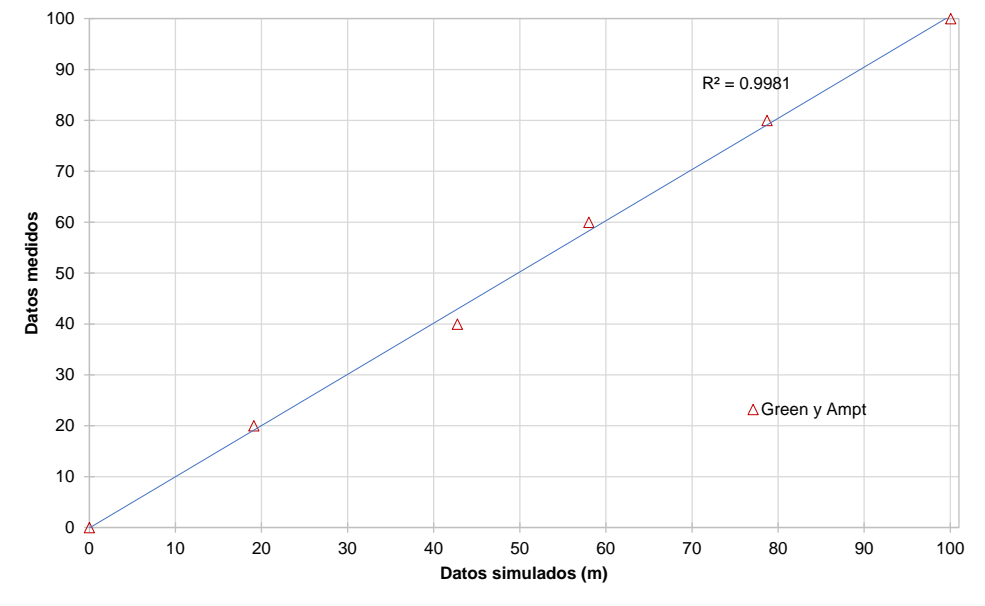


# Prueba de riego



$$\kappa = 5.9926 \text{ cm/h}^\alpha$$

$$\alpha = 0.5271$$



$$K_s = 1.54 \text{ cm/h}$$

$$h_f = 38.00 \text{ cm}$$

Figura 1. Relación entre los datos medidos y los simulados por el modelo con parámetros optimizados.

## Riegos subsecuentes

La humedad del suelo se redistribuye debido a la evapotranspiración del cultivo, que depende de la etapa fenológica y las condiciones climáticas.

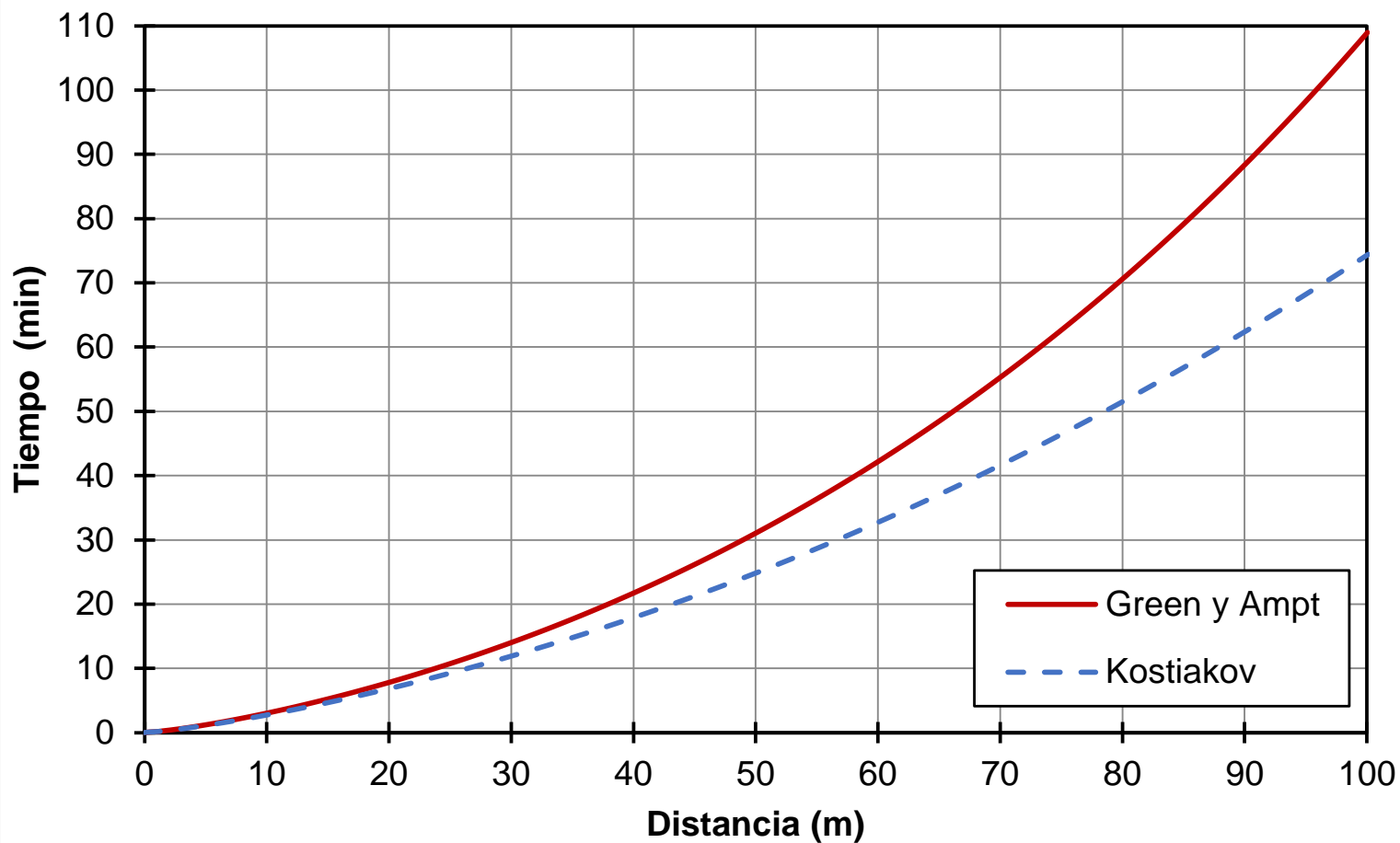
### Parámetros del riego subsecuente

$$\theta_0 = 0.1285 \text{ cm}^3 / \text{cm}^3$$

$$l_n = 12.00 \text{ cm}$$

De la ecuación (6)

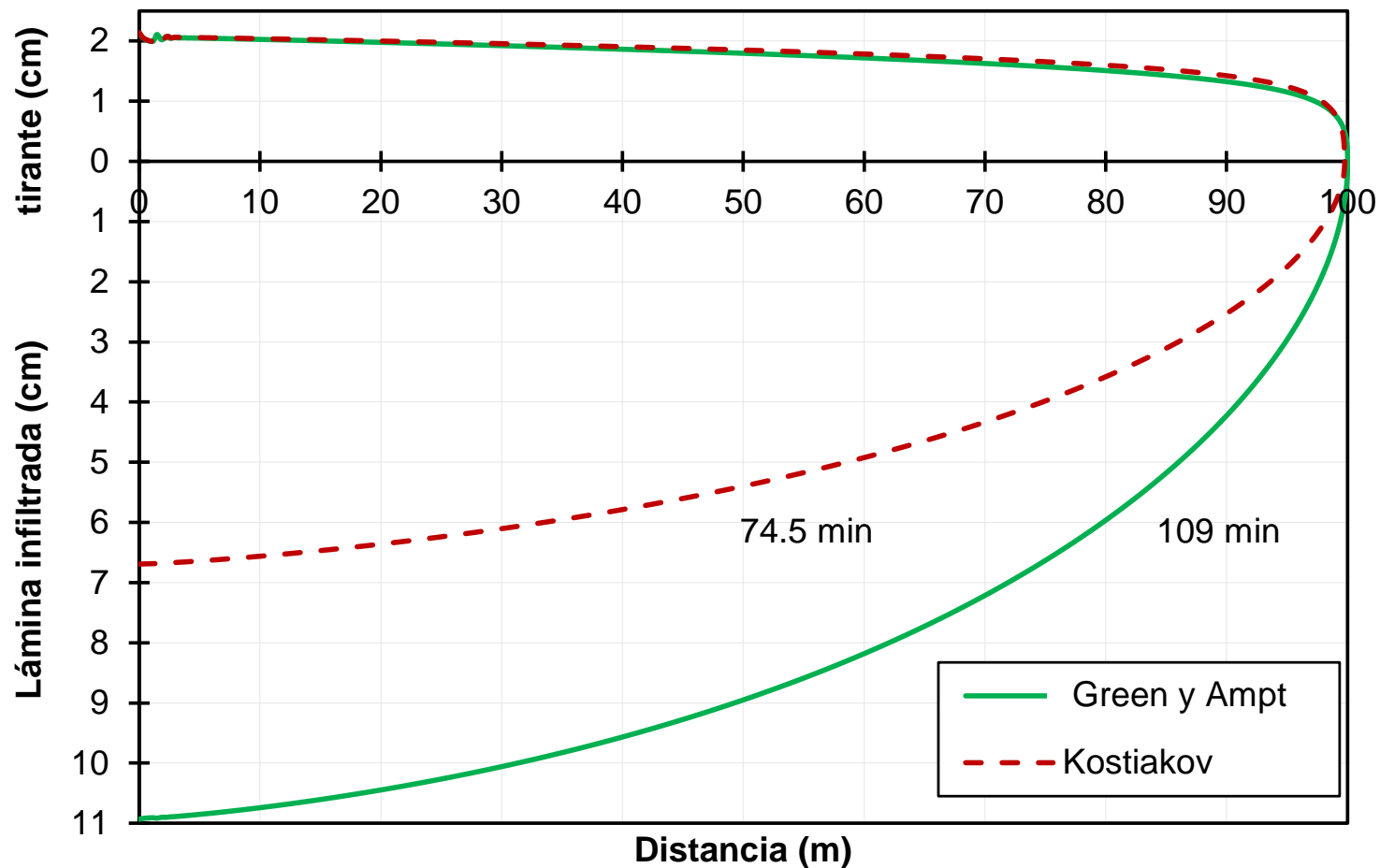
$$q_{opt} = 0.001511 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$



**Figura 2.** Curvas de avance para las dos ecuaciones de infiltración en un segundo riego.

## Riegos subsecuentes

- Los frentes de onda llegan en tiempos distintos debido a la humedad del suelo, afectando la velocidad del frente y aumentando la infiltración.
- Profundidades infiltradas: 6.75 cm (Kostiakov) vs. 9.88 cm (Green y Ampt).
- Uso de Kostiakov resulta en un déficit de humedad del 31.65% para el cultivo en el segundo riego.



**Figura 3.** Tirante e infiltración en el extremo de la melga.

## Conclusión

- **Simulación y Humedad:** Cambios en la humedad inicial afectan el gasto en la entrada de la parcela y las láminas de riego.
  - **Consecuencias:** Posibles déficits o excesos de agua para el cultivo.
- **Cálculo del Riego:** Es esencial calcular el gasto óptimo de riego.
- **Factores del Riego Óptimo:**
  - Longitud de la melga.
  - Lámina de riego neta.
  - Contenido de humedad.
  - Parámetros de infiltración.
- **Ecuación de Green y Ampt:** Ideal para diseño y modelado del riego basada en parámetros físicos del suelo.
- **Diseño Basado en Textura del Suelo:** Valores promedio recomendados (Saucedo et al., 2015).

## Referencias

- Adamala, S., Raghuwanshi, N. S., & Mishra, A. (2014). Development of Surface Irrigation Systems Design and Evaluation Software (SIDES). *Computers and Electronics in Agriculture*, 100(January), 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.11.004>
- Bautista, E. (2016). Effect of infiltration modeling approach on operational solutions for furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(12), 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001090](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001090)
- Fuentes, C., y Chávez, C. (2020). Analytic Representation of the Optimal Flow for Gravity Irrigation. *Water*, 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/w12102710>
- Fuentes, S., Chávez, C., Brambila-Paz, F., y Trejo-Alonso, J. (2022). Hydrodynamic Border Irrigation Model: Comparison of Infiltration Equations. *Water*, 14(13), 2111. <https://doi.org/10.3390/w14132111>
- Gillies, M. H., y Smith, R. J. (2015). SISCO: Surface irrigation simulation, calibration and optimisation. *Irrigation Science*, 33(5), Article 5. <https://doi.org/10.1007/s00271-015-0470-8>
- Green, W. H., y Ampt, G. A. (1911). Studies on Soil Physics I: The flow of air and water through soils. *The Journal of Agricultural Science*, 4(1), Article 1.
- Kostiakov, A. N. (1932). On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity of studying it from the dynamic point of view for the purposes of amelioration. *Trans. Sixth Comm. Int. Soc. Soil Sci.*, 1, 7–21.



**VIII** Congreso Nacional y  
**I** Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# ¡GRACIAS!



[sebastian.fuentes@uaq.mx](mailto:sebastian.fuentes@uaq.mx)



442 205 35 66

Fecha de presentación: 05 de octubre 2023



**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



Sonhos  
universidad personalizada

