



VIII Congreso Nacional y
I Congreso Internacional
 de Riego, Drenaje y Biosistemas
 COMEII - 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

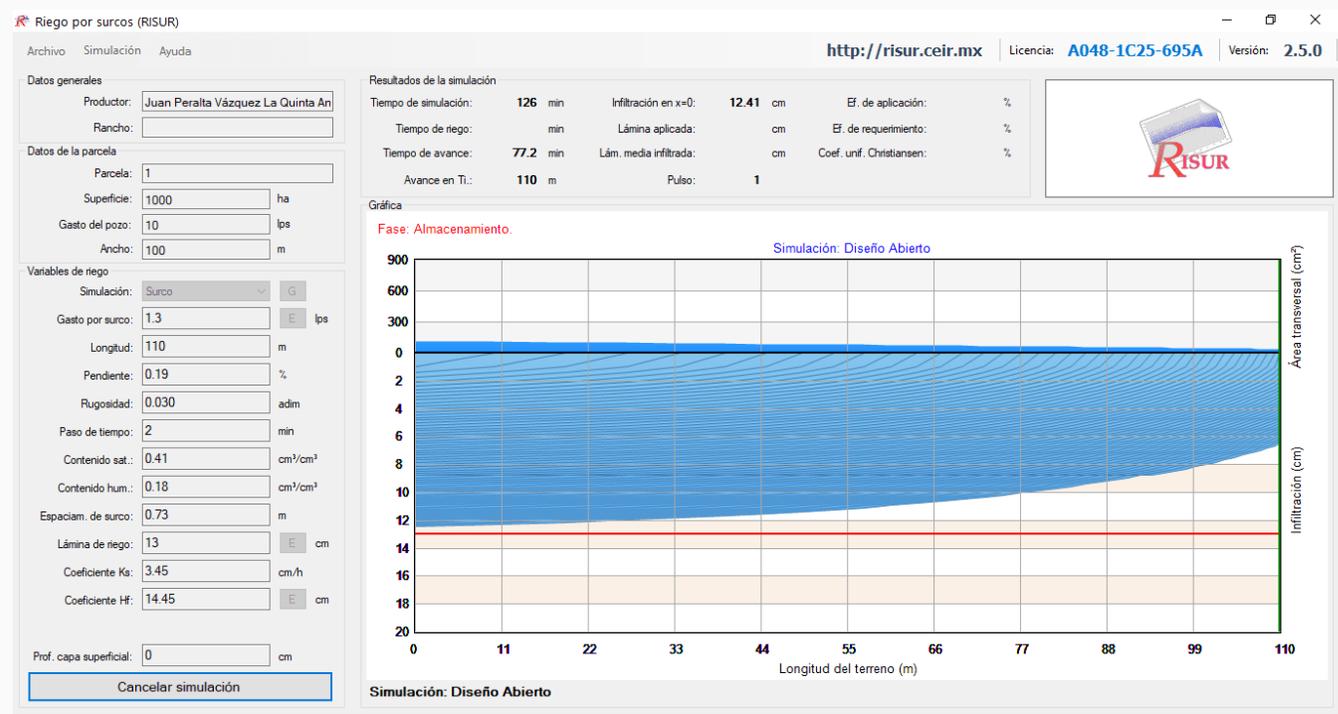
Sebastián Fuentes y Carlos Chávez



Fecha de presentación: 05 de octubre 2023

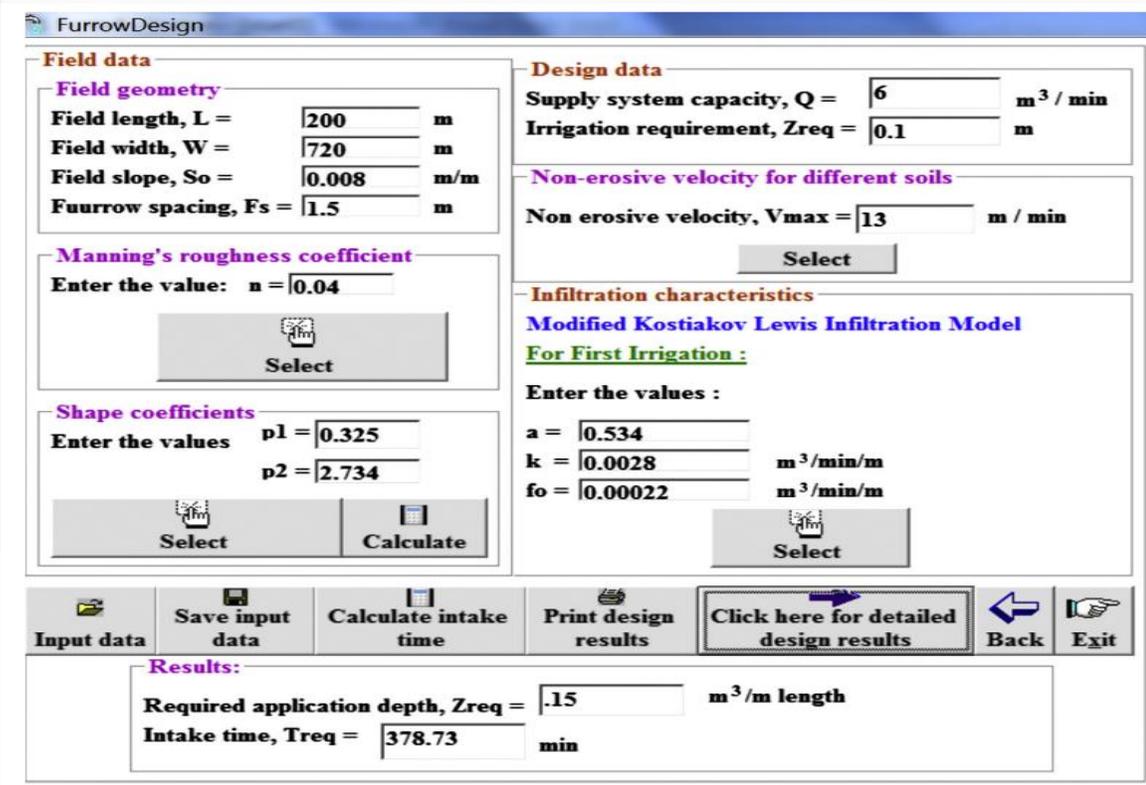






González *et al.* (2006)

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
 Variable
 Inflow Rates
 Siphon Calculator

Furrow Shape
 Furrow Bay/Basin
 Furrow Type: Every second
 Variable
 Table
 Top Width: 600.0 mm
 Middle Width: 400.0 mm
 Bottom Width: 190.0 mm
 Max Height: 110.0 mm

Downstream Condition:
 Free Draining Blocked
 Recycling Eff.: 85.00 %
 Runoff Position: 650.0 m

Upstream Condition:
 Drainback (upstream)
 Draw Down: 60.00 min.

Field Slope
 Variable
 Average slope: 0.001024
 Bed Height data

Inlet Depth Measurement
 Use Depth instead of inflow
 Up Stream Depths

Numerical Parameters
 Time Step: 300 seconds
 Distance inc.: 200
 Allow negative velocities
 Simulation Stability
 Just Advance
 QTol: 1E-05
 ATol: 1E-06

Infiltration Parameters
 Variable
 Table
 a: 0.3911360428
 k: 0.0210739182 m³/min^a/m
 f₀: 0.0000133492 m³/min/m
 C: 0.0000000000 m³/m
 Source: SISCO
 Deficit: 80.0 mm (Not Recorded)
 Time required: 171.71 min.

Gillies y Smith (2015)

Bautista *et al.* (2016)

WinSRFR 5.1.1 - Simulation

File Edit View Simulation Help

USDA / ARS / ALARC

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

Roughness

 Resistance Equation: Manning n
 Tabulated

Infiltration
 14.14 cm
 (10 cm, 273.5 min)
 Infiltration Time: 546.9 min
 Az / FS

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^a
 a: 0.5

Use Infiltration Function Editor...

Lim. Depth: 100 cm Tabulated

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):

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

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

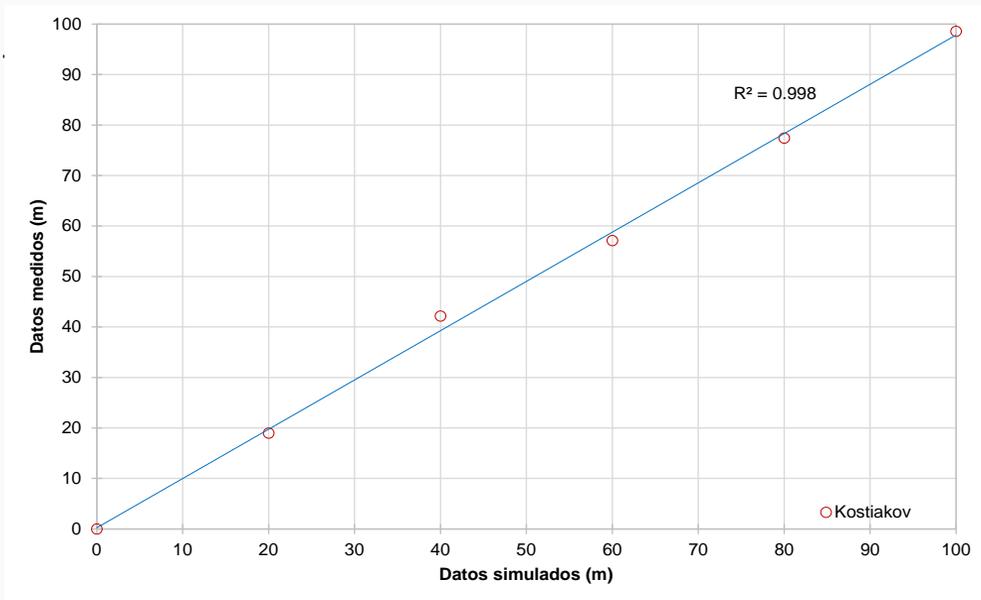
Longitud = 100 m

Ancho de melga = 10.00 m

Pendiente = 0.002 m/m

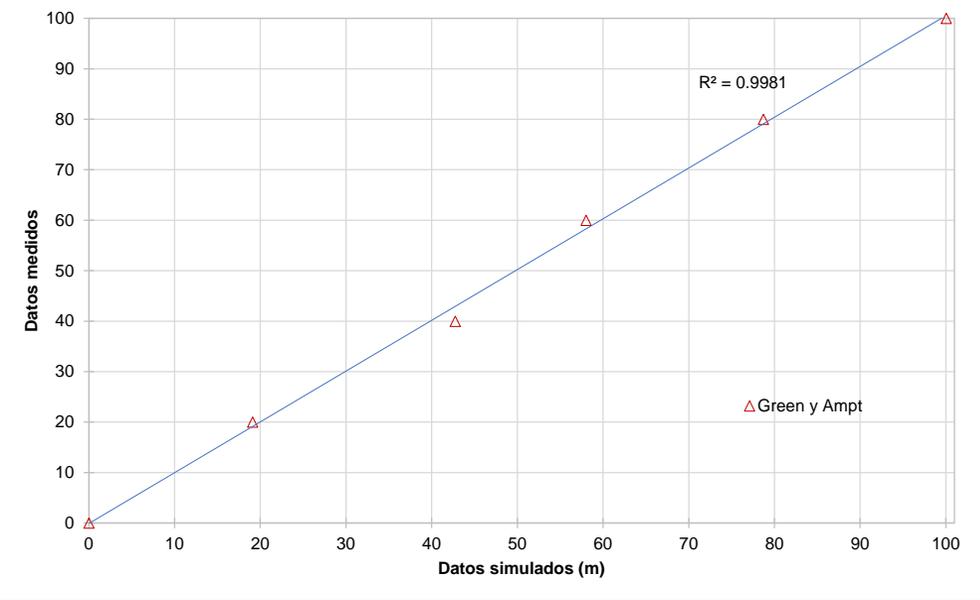
$\beta = 0$

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)

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

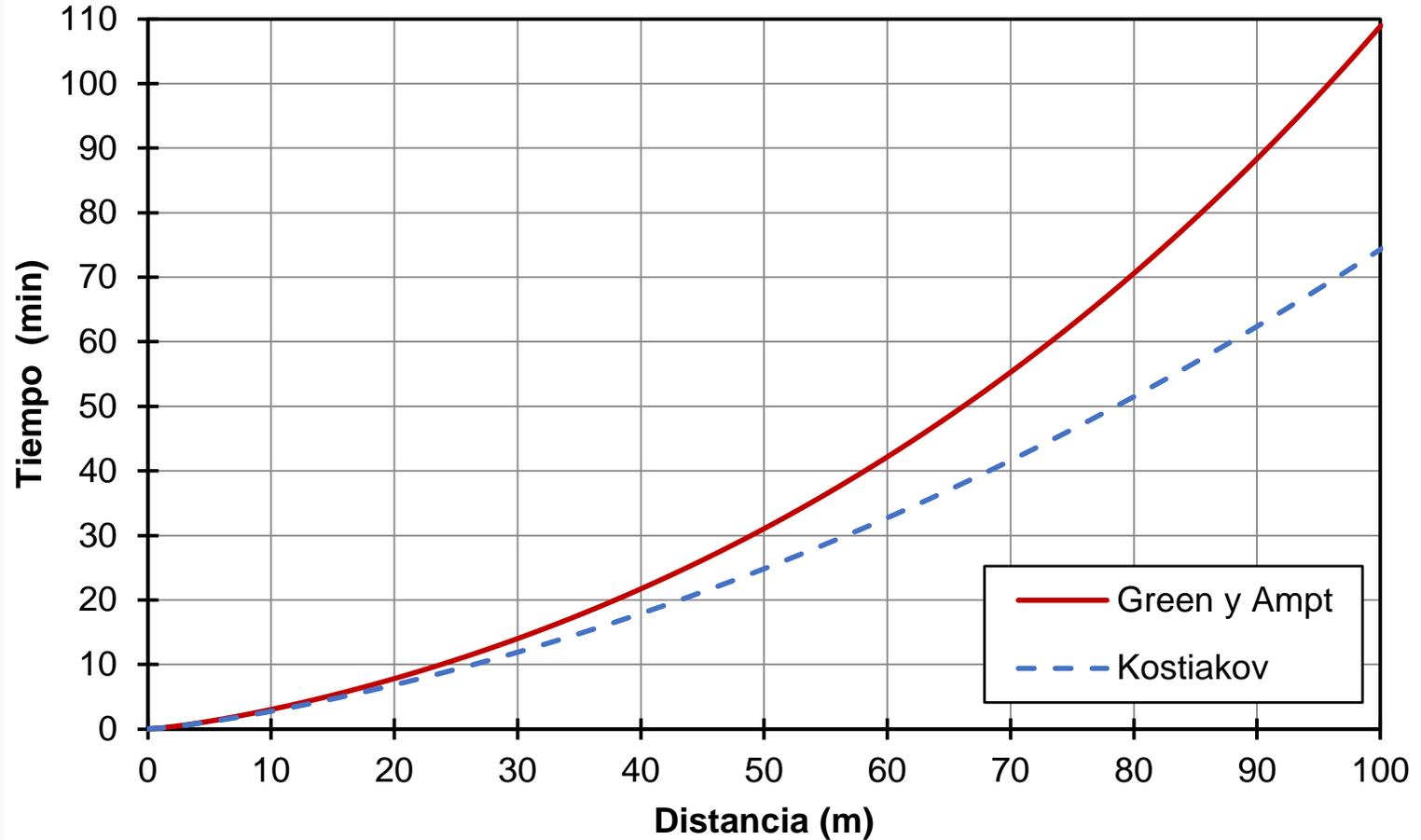


Figura 2. Curvas de avance para las dos ecuaciones de infiltración en un segundo riego.

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.

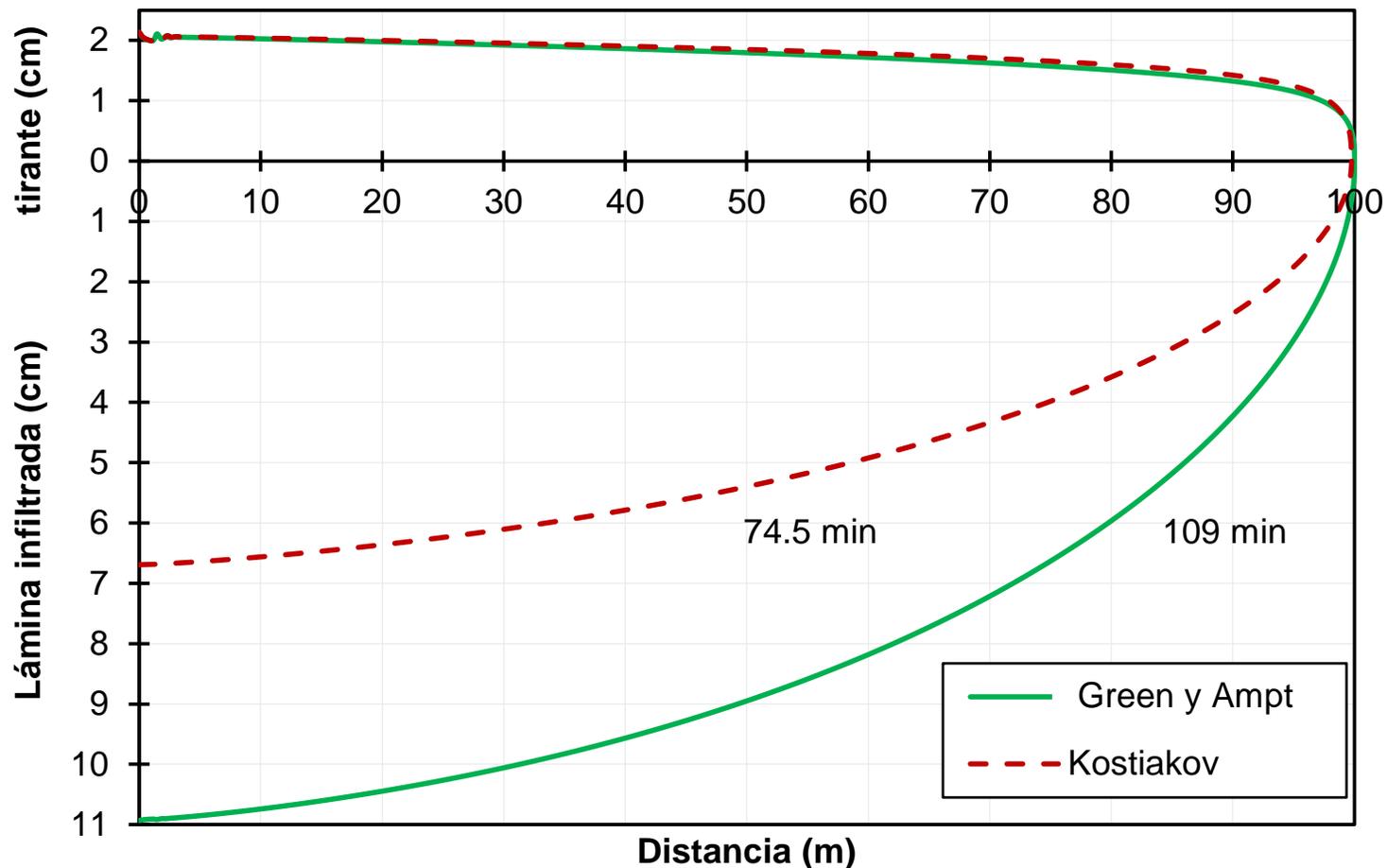


Figura 3. Tirante e infiltración en el extremo de la melga.

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



442 205 35 66

Fecha de presentación: 05 de octubre 2023



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

