

MODELACIÓN DE LA REDISTRIBUCIÓN DEL AGUA DURANTE Y DESPUÉS DE UN EVENTO DE RIEGO POR GRAVEDAD CON LA ECUACIÓN DE RICHARDS

Carlos Chávez¹, Antonio Quevedo¹, Carlos Fuentes²

¹. Universidad Autónoma de Querétaro

². Instituto Mexicano de Tecnología del Agua



I CONGRESO NACIONAL COMEII 2015 DE RIEGO Y DRENAJE
23 Y 24 de noviembre de 2015
Jiutepec, Morelos

Antecedentes

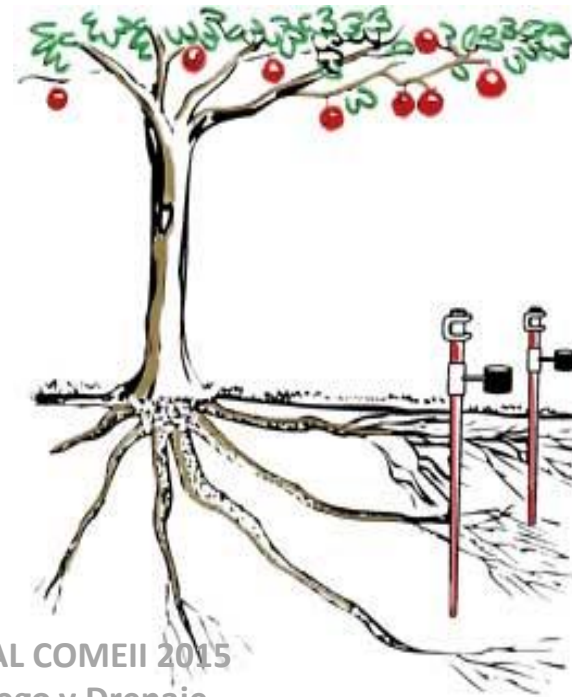
1. El proceso de infiltración: interés en el riego por gravedad

1. Tiempo de infiltración
2. Perfil de humedad
3. Movimiento del agua después del riego. ¿Cuándo regar?

2. Durante y después del riego:

1. Evaporación
2. Transpiración
3. Percolación
4. Redistribución

3. Ecuación de Richards



La ecuación de Richards (1931)

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \cdot \left[K(\psi) \nabla \psi \right] - \frac{dK}{d\psi} \frac{\partial \psi}{\partial z} - \gamma$$

$$C(\psi) = \frac{d\theta}{d\psi}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = -\gamma$$

$$\nabla \cdot \left[K(\psi) \nabla \psi \right] - \frac{dK}{d\psi} \frac{\partial \psi}{\partial z} - \gamma = C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t}$$

$$q_z = K(\psi) - K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

Características hidrodinámicas

Curva de retención y la curva de conductividad hidráulica

1. Métodos directos

Laboratorio

Campo



2. Métodos indirectos

Funciones de pedotransferencia: M.O. textura, tamaño de partículas

3. Métodos inversos

Estimación de parámetros. Con condiciones inicial y de frontera

Características hidrodinámicas

1. van Genuchten (1980)

$$\theta(\psi) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + \left(\frac{\psi}{\psi_d}\right)^n\right]^m}$$

2. Fuentes *et al.* (2003)

PMG

$$K(\Theta) = K_s \left[1 - (1 - \Theta^{1/m})^{sm}\right]^2 \quad ; \quad 0 < sm = 1 - 2s/n < 1$$

$$s = D/E$$

$$(1 - \phi)^s + \phi^{2s} = 1$$

$$\phi = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_o}$$

Parámetros desconocidos:

$$\theta_s, \theta_r, \phi, \psi_d, K_s, m, n$$



a) Curva granulométrica y porosidad:

$\theta_s, \theta_r, \phi, m, n$



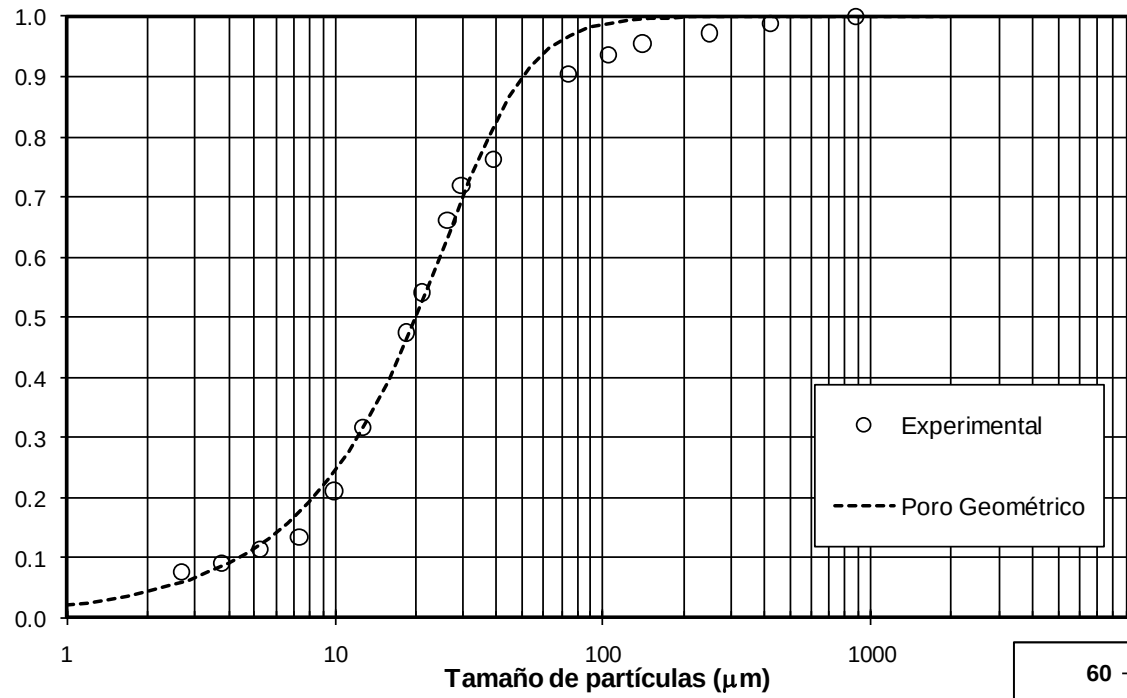
$$F(D) = \left[1 + \left(\frac{D_d}{D} \right)^{\frac{n}{2(1-s)}} \right]^{-m}$$

Fuentes (1992)

b) Prueba de infiltración:

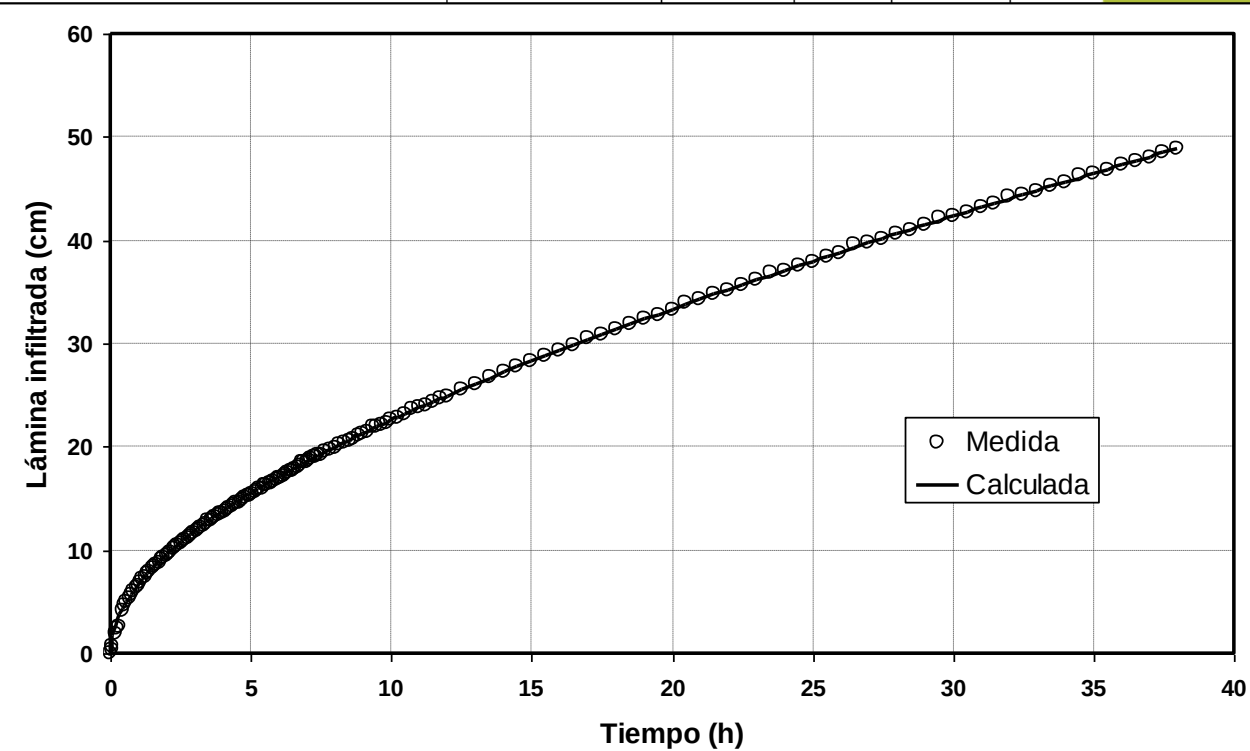
ψ_d, K_s

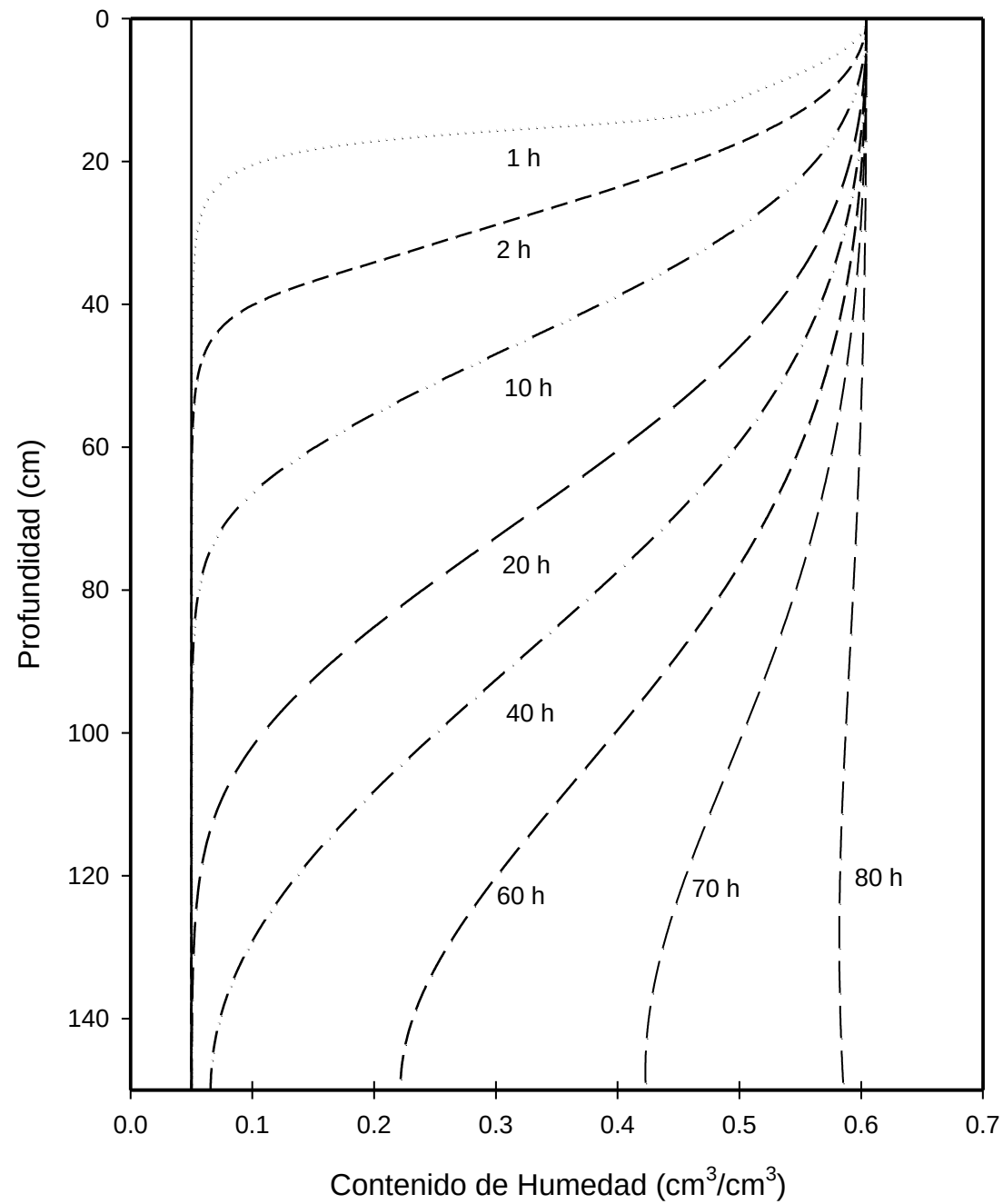
Frecuencia acumulada



Modelos	Parámetros de Ajuste		
	K_{sw}	Ψ_{dw}	RECM
	(cm/h)	(cm)	(cm)
Poro de la Media Geométrica	1.1498	110.68	0.2322

Modelos	ϕ	θ_s	θ_r	s	m	n
	(adim)	(cm^3/cm^3)	(cm^3/cm^3)		(adim)	(adim)
Poro de la Media Geométrica	0.5695	0.5695	0.0000	0.7083	0.3410	1.8677





$$\ell_{\text{inf}} = \int_0^L (\theta - \theta_0) d\theta$$

Ejemplo: una prueba de riego

Datos de una parcela de Montecillo:

$$\theta_s = 0.4865 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

$$m = 0.125$$

$$n = 2.2857$$

$$\eta = 11.0$$

$$\psi_d = -32.75 \text{ cm}$$

$$K_s = 1.84 \text{ cm/h}$$

$$\frac{\theta(\psi) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[1 + \left(\frac{\psi}{\psi_d} \right)^n \right]^{-m}$$

$$K(\theta) = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\eta$$

$$m = 1 - 2/n$$

$$0 < m < 1$$

$$n > 2$$

$$\psi_{\text{PMP}} = -15300 \text{ cm}$$

$$\theta_{\text{PMP}} = 0.0840 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

$$\psi_{\text{CC}} = -340 \text{ cm}$$

$$\theta_{\text{CC}} = 0.2492 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

$$\theta_0 = \theta_{\text{PMP}} + F_{\text{ap}} (\theta_{\text{CC}} - \theta_{\text{PMP}})$$

$$F_{\text{ap}} = 1/3$$

$$\theta_0 = 0.1391 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

$$\text{Lámina neta: } (\theta_{\text{CC}} - \theta_{\text{PMP}}) P_r$$

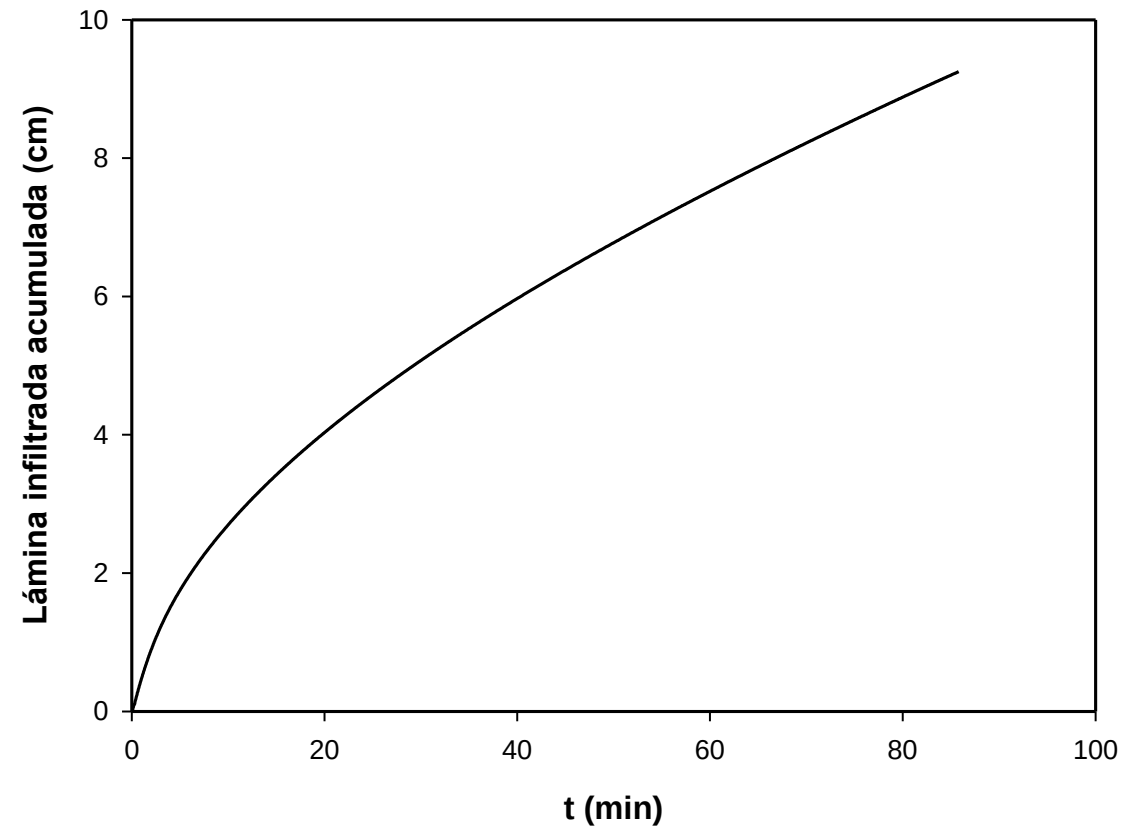
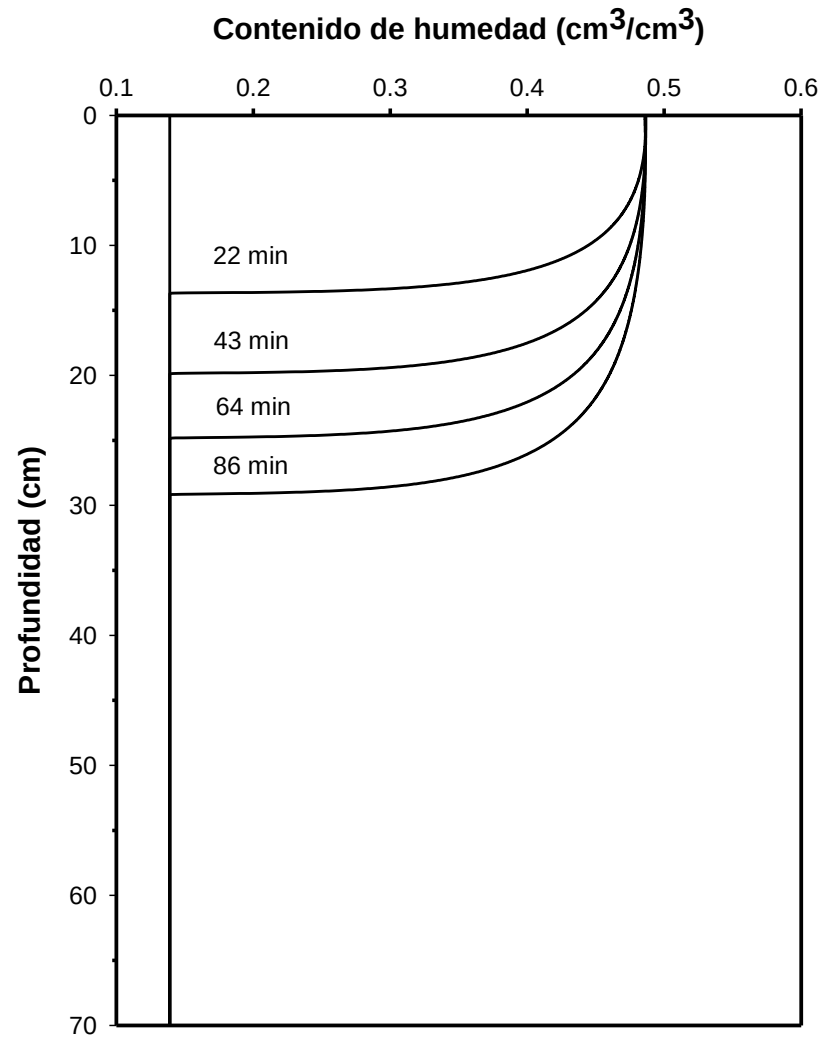
$$7.71 \text{ cm}$$



Eficiencia de aplicación: 83.3 %

Lámina bruta = 9.25 cm

Tiempo de riego: 86 min



La evaporación y transpiración

$$e_v(t) = \bar{e}_v + c_v \cos[\omega(t - t_M)]$$

$$\omega = \frac{2\pi}{P} \quad P = 24 \text{ h}$$

$$\phi = -\omega t_M$$

$$e_{vM} = e_v(t_M)$$

$$Ev_d = 3.2 \text{ mm/d}$$

$$\bar{e}_v = 0.13 \text{ mm/h}$$

$$e_{vM} = 0.27 \text{ mm/h}$$

Tiempo de origen, media noche:

$$t_M = 15 \text{ h}$$

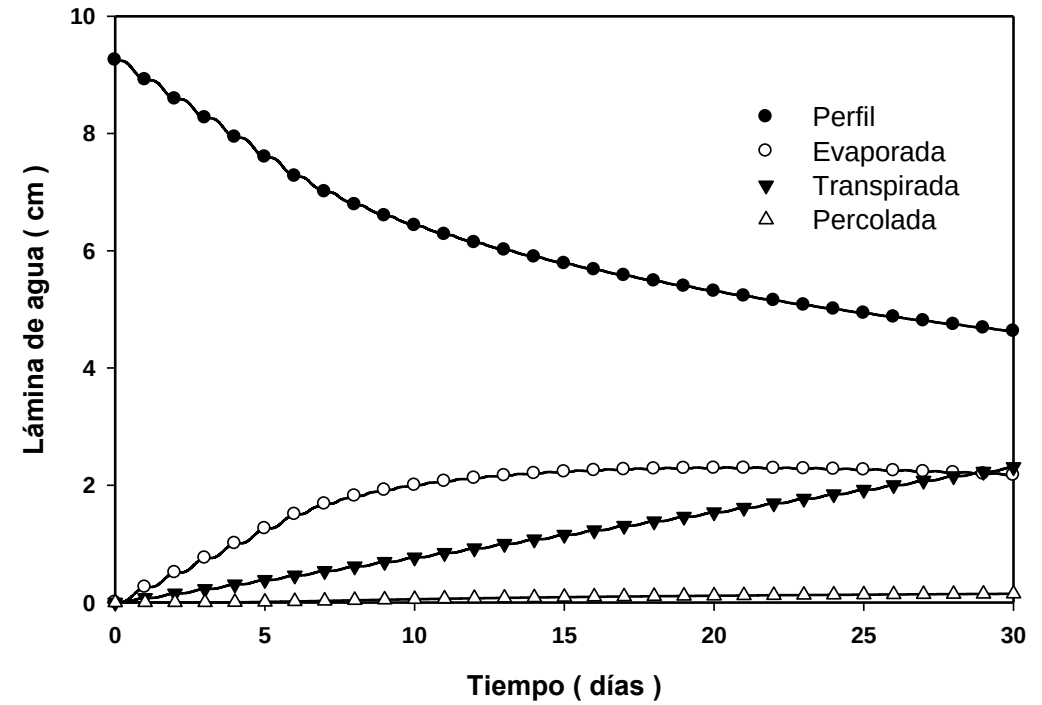
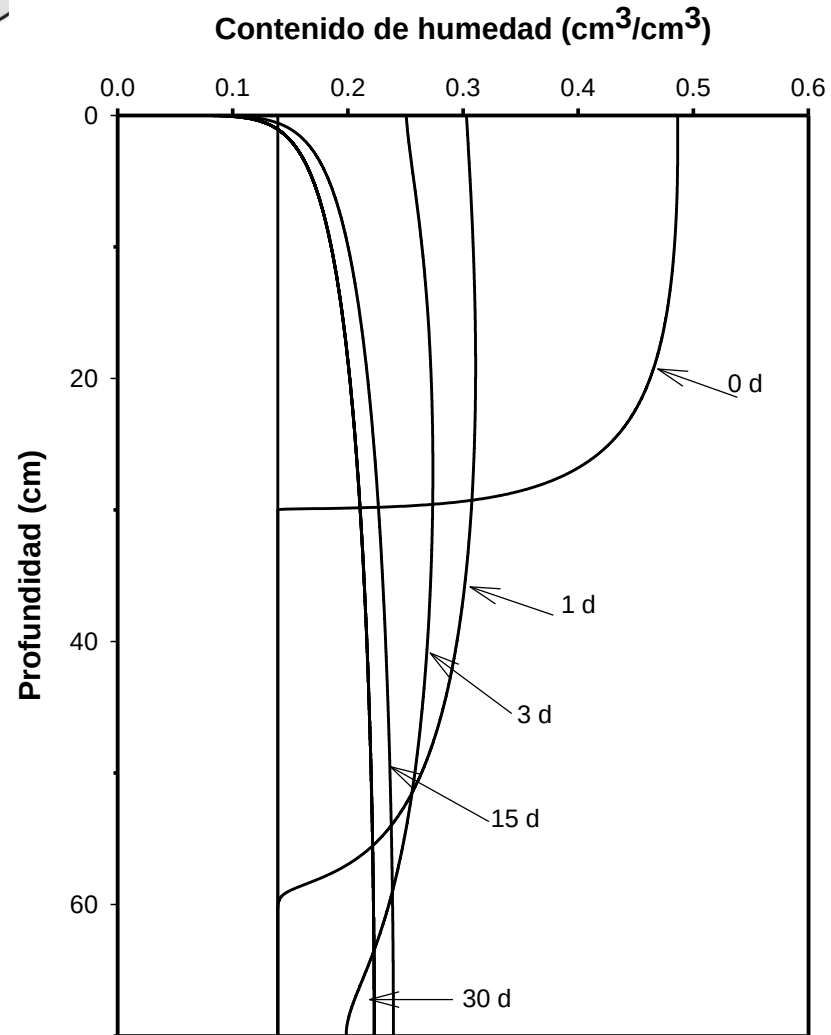
$$\Upsilon = -\frac{\gamma}{\lambda_c} K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad \gamma = 0.015$$

$$\lambda_c = \frac{1}{K_s} \int_{-\infty}^0 K(\psi) d\psi$$

$$\lambda_c = |\psi_d| \frac{1}{n} B\left(\eta m - \frac{1}{n}, \frac{1}{n}\right)$$

$$\lambda_c = 33.95 \text{ cm}$$

Redistribución



Conclusiones

Es posible conocer la evolución del perfil de humedad y la redistribución del agua en el suelo si se conoce:

Las características del suelo

Las características del cultivo

Las características atmosféricas

Apoyo en la toma de decisiones en la generación de los calendarios de riego

IMPORTANTE. Calibración el modelo

MODELACIÓN DE LA REDISTRIBUCIÓN DEL AGUA DURANTE Y DESPUÉS DE UN EVENTO DE RIEGO POR GRAVEDAD CON LA ECUACIÓN DE RICHARDS

Carlos Chávez¹, Antonio Quevedo¹, Carlos Fuentes²

¹. Universidad Autónoma de Querétaro

². Instituto Mexicano de Tecnología del Agua



I CONGRESO NACIONAL COMEII 2015 DE RIEGO Y DRENAJE
23 Y 24 de noviembre de 2015
Jiutepec, Morelos