



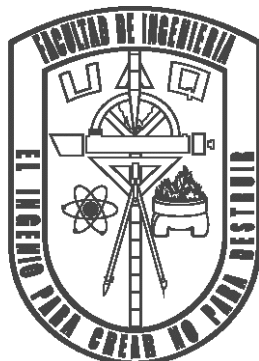
IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE

Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.

PARÁMETROS MULTIFRACTALES EN LA ECUACIÓN DE RICHARDS

Juan Carlos Mota Escamilla
Carlos Alberto Chávez García
Carlos Fuentes Ruiz

Fecha 17/octubre/2018

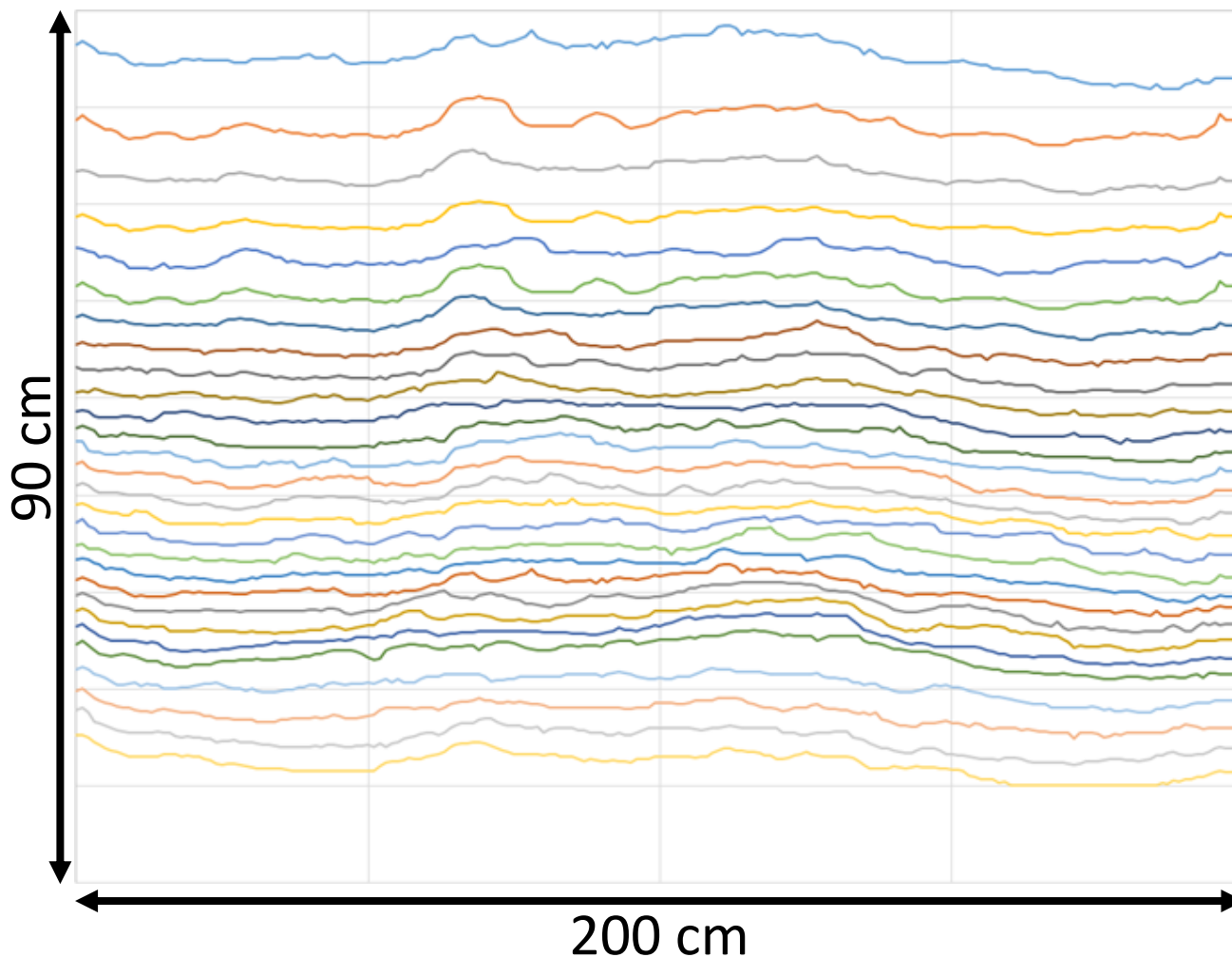


Experimento de infiltración



- Módulo de drenaje.
- Foto tomada de la tesis de Chávez (2010)

Frentes de humedecimiento



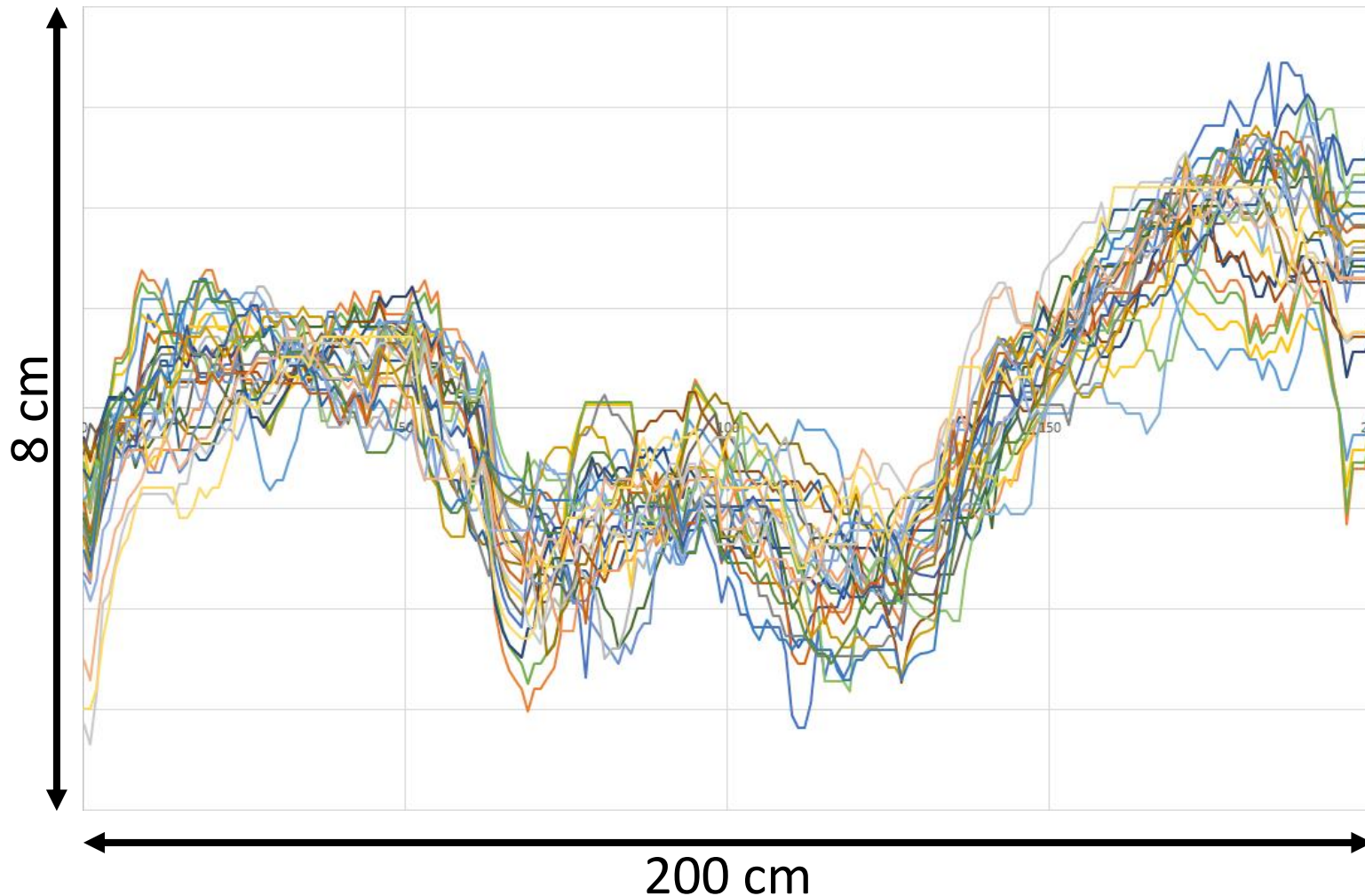
- Los trazos corresponden al frente de humedecimiento cada media hora
- Los últimos cuatro trazos fueron muestreados cada hora



**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Frentes con media restada



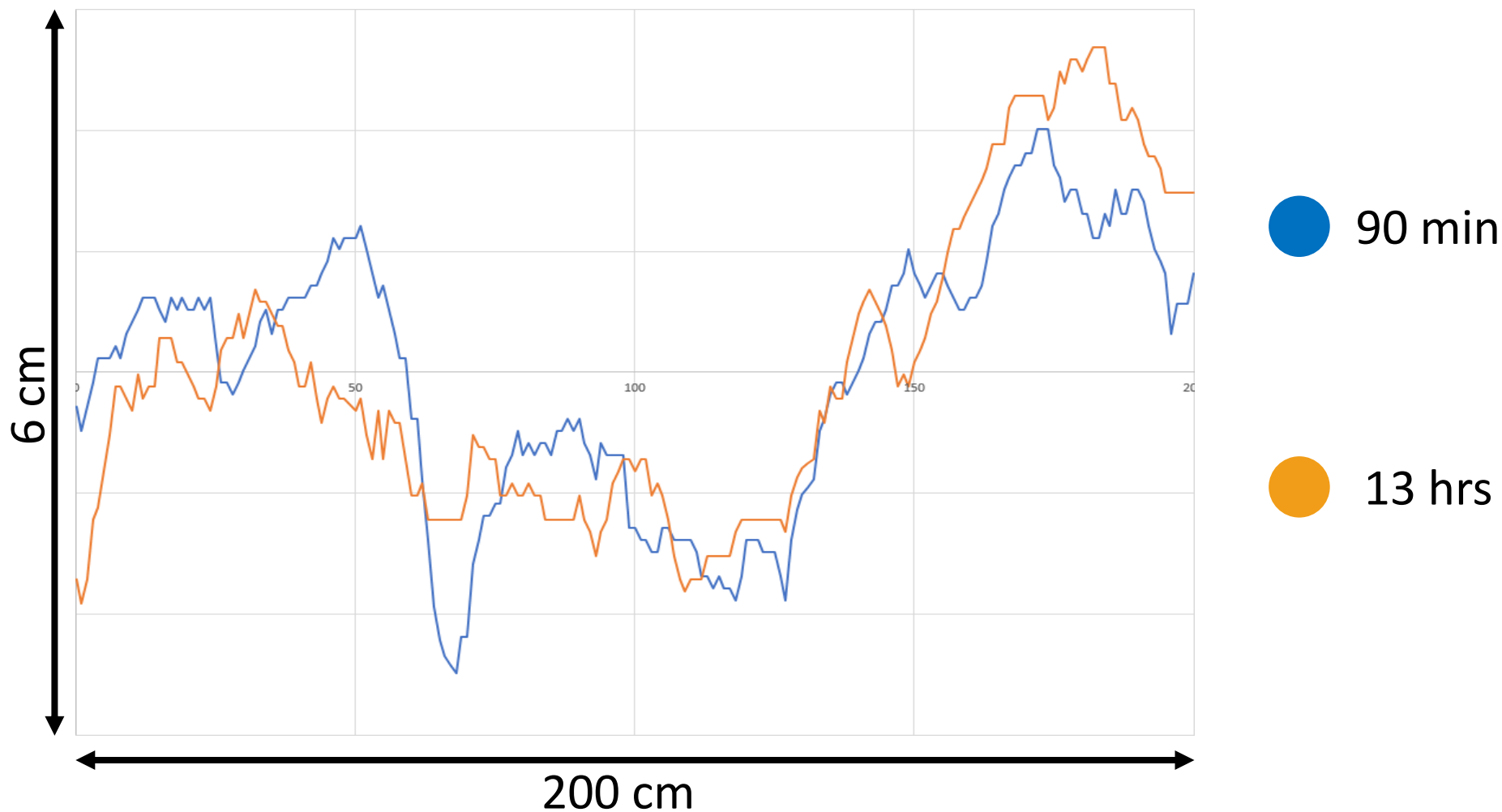


IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE

Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Un frente al inicio y otro al final del experimento





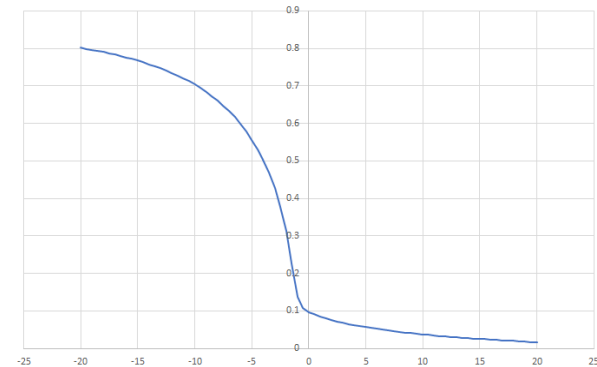
IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



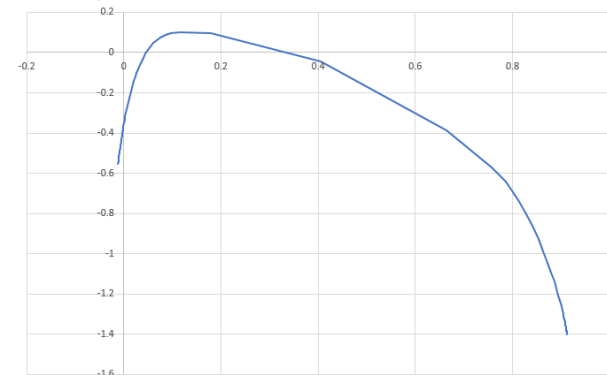
Medidas fractales y multifractales

- Medidas fractales
 - Dimensión fractal
 - Autosimilitud
 - Lagunaridad
- Medidas multifractales
 - Dimensión generalizada
 - Espectro multifractal

Dimensión generalizada



Espectro multifractal





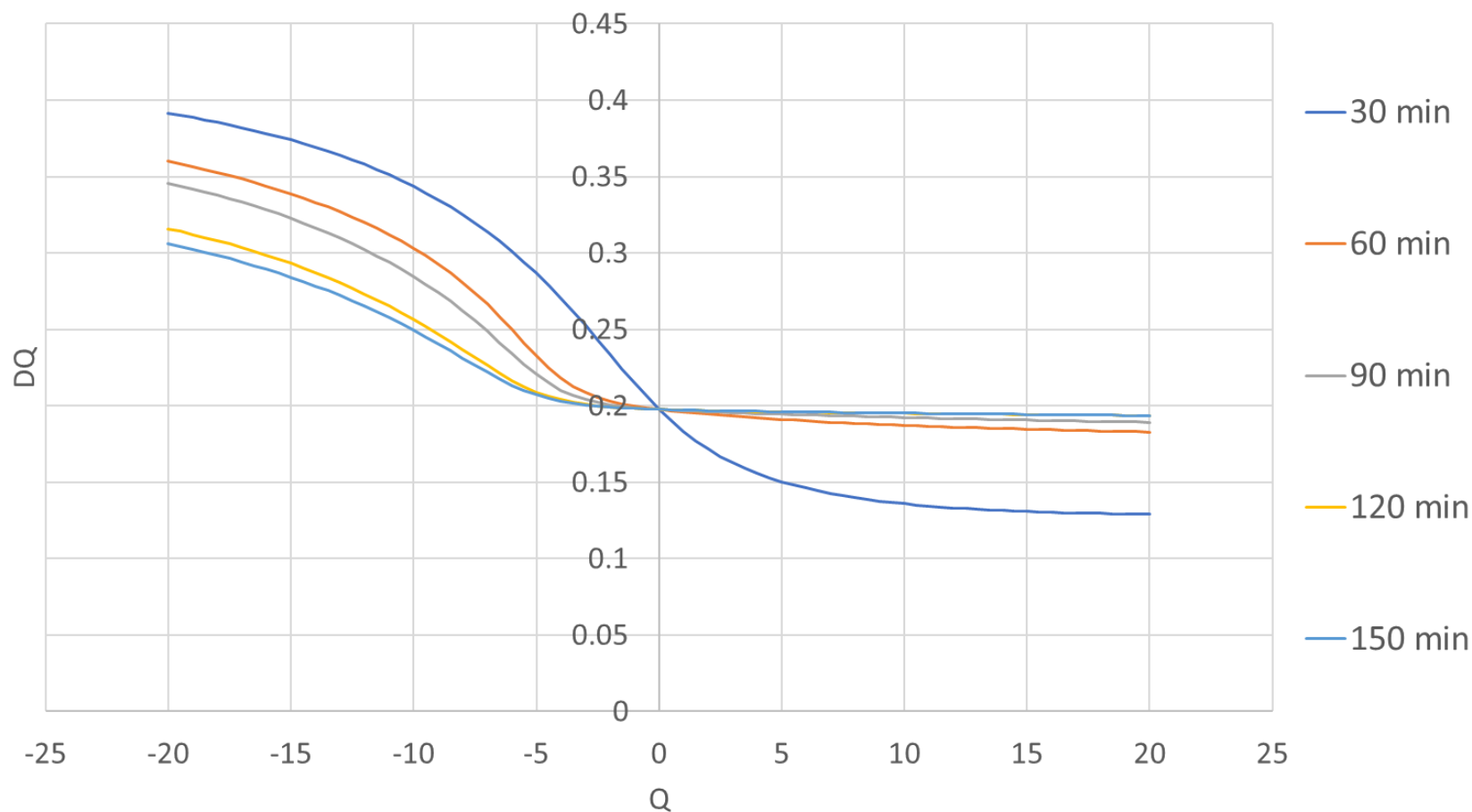
IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE

Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Dimensión generalizada

DQ_vs_Q



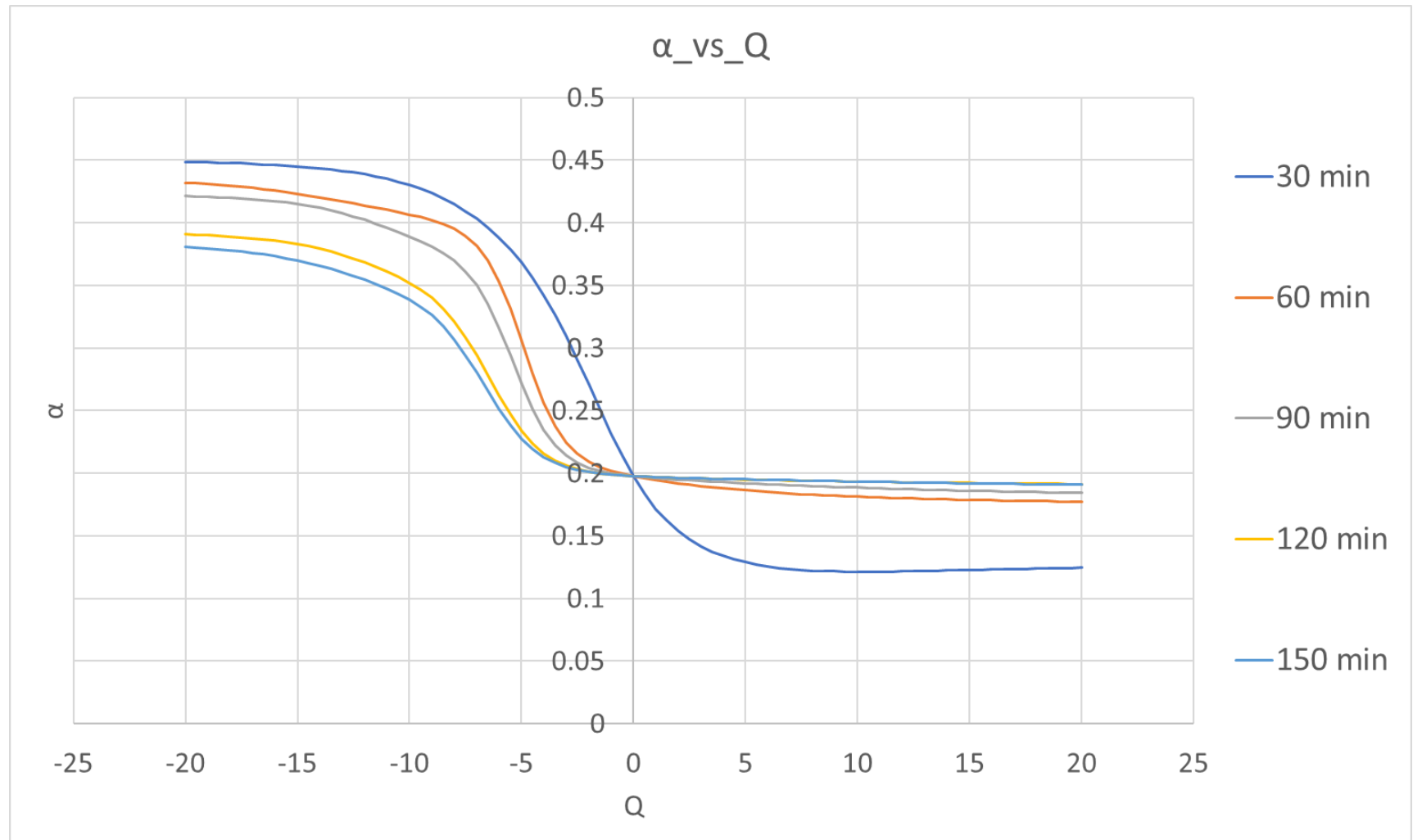


IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE

Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



α



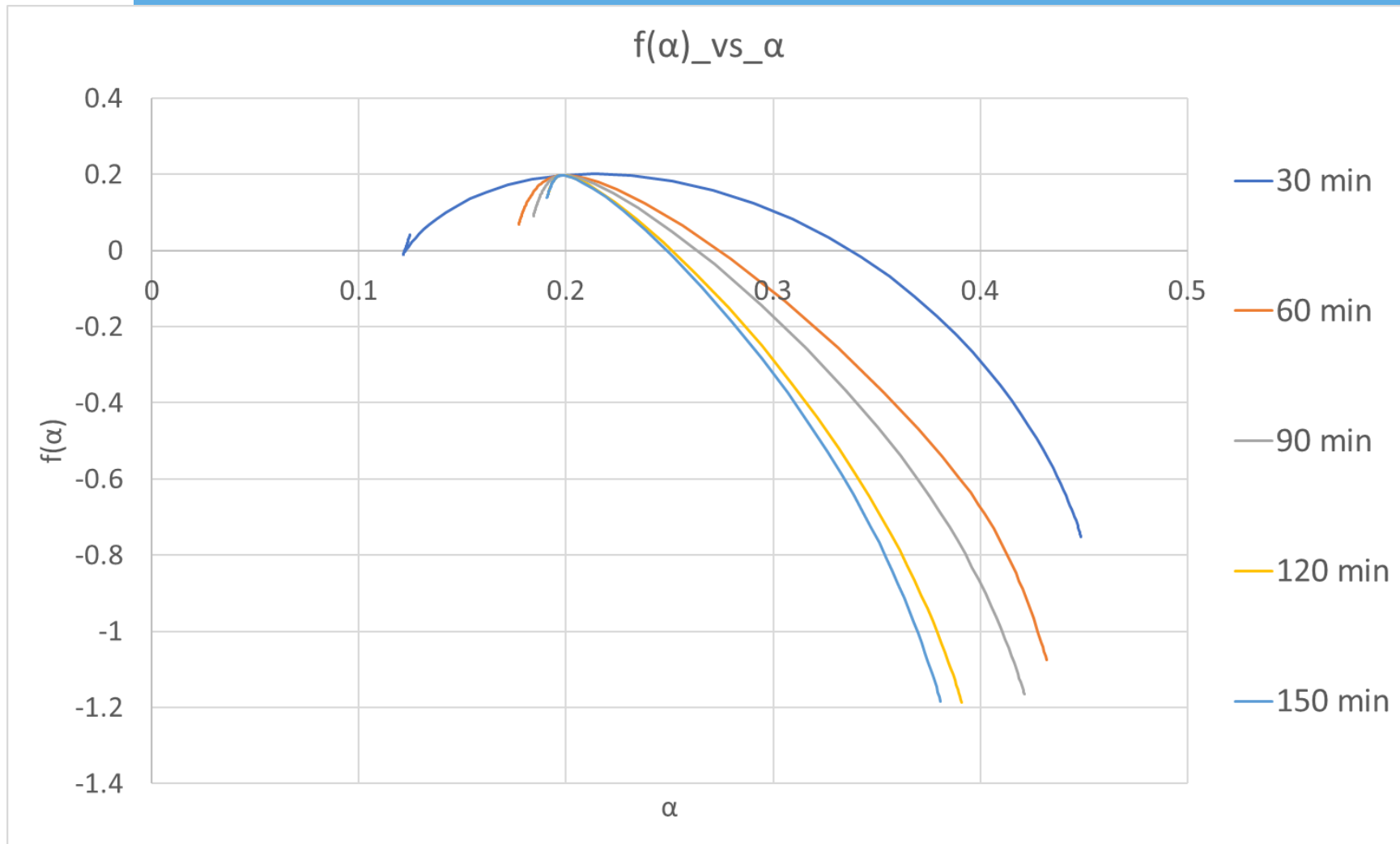


IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE

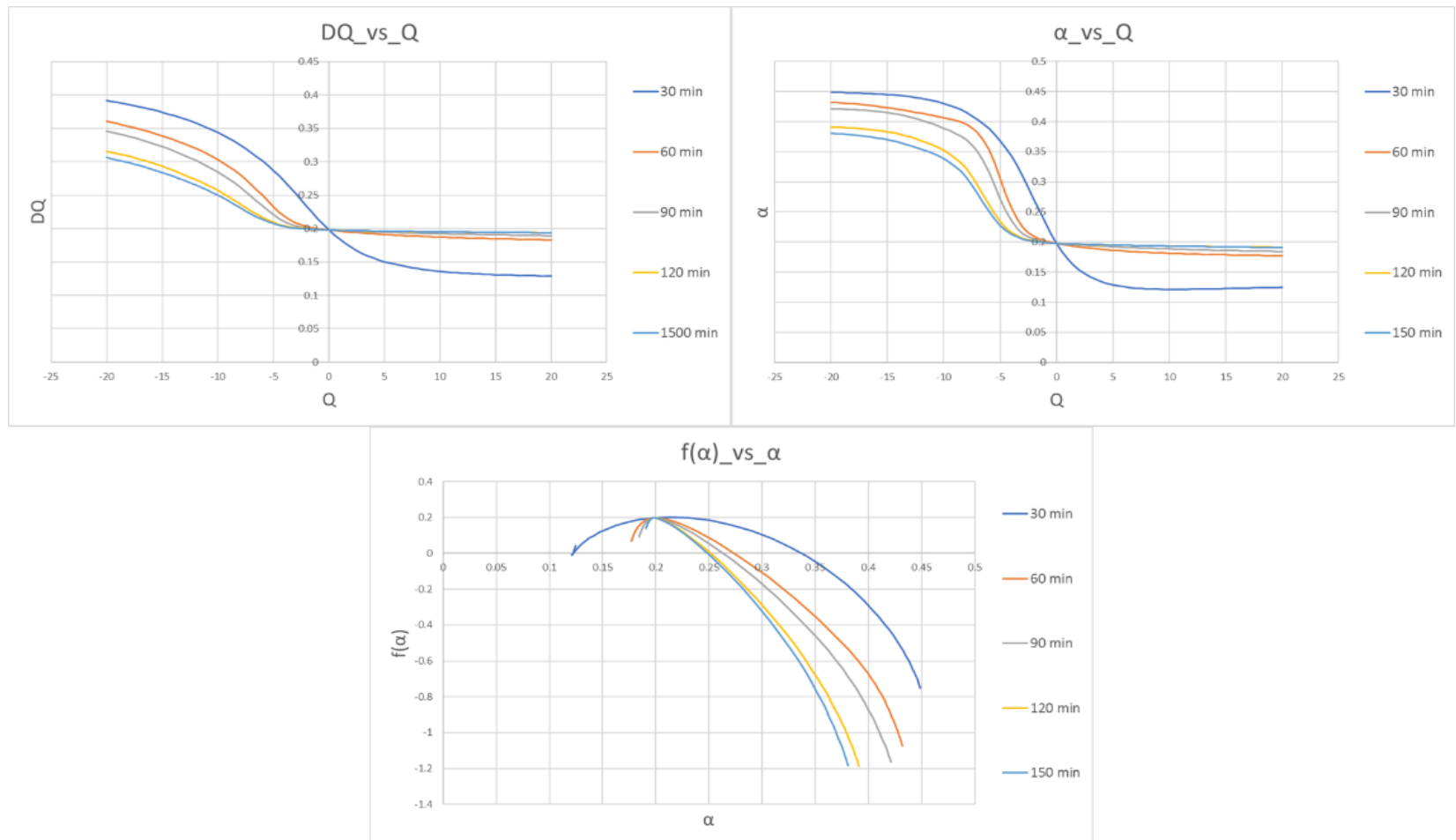
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Espectro de singularidad



Medidas multifractales del experimento





IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Ecuación de Richards (2D)

Cambio de la cantidad de
agua respecto de la presión

$$C(\Psi) \frac{\partial \Psi}{\partial t}$$

Cambio de la presión
respecto del tiempo

=

$$\nabla (K(\Psi) \cdot \nabla \Psi)$$

Efectos de la
presión
(capilaridad)

Término de
fuente/sumidero

$$\frac{\partial K}{\partial z}$$

Efectos de la
gravedad

$$\Upsilon$$



IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Ecuación de Richards 2D

$$C(\Psi) \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(\Psi) \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\Psi) \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) - \frac{\partial K(\Psi)}{\partial z}$$

$\Psi = \Psi(x, z)$	Presión en (x, z)	t	Tiempo
$C(\Psi)$	Función de capacidad específica	x	Coordenada espacial horizontal
$K(\Psi)$	Función de conductividad hidráulica	z	Coordenada espacial vertical (profundidad)



IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Función de humedad (modelo de Van Genuchten)

$$\theta(\Psi) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left(1 + \left(\frac{\Psi}{\Psi_d}\right)^n\right)^m}$$

$$C(\Psi) = \frac{\partial \theta}{\partial \Psi}$$

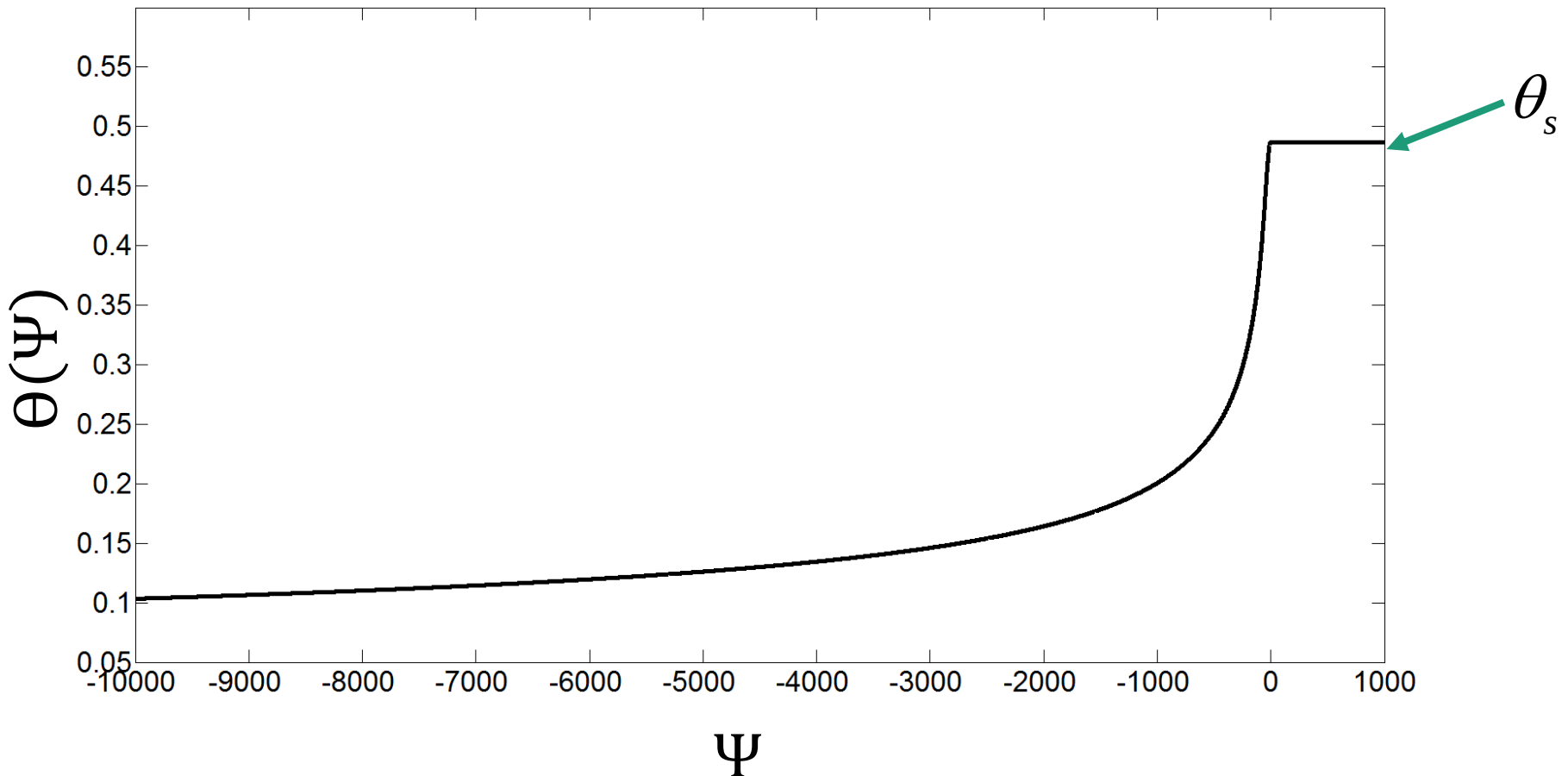
$\theta(\Psi)$	Cantidad de agua respecto de la presión	Ψ_d	Valor característico de la presión
θ_s	Cantidad de agua a saturación	m, n	Parámetros de forma
θ_r	Cantidad residual de agua	Ψ	Presión



IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Función de humedad (modelo de Van Genuchten)





IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Función de conductividad hidráulica (poro neutro)

$$K(\theta) = K_{sat} \Theta^s \left[1 - \left(1 - \Theta^{1/m} \right)^{sm} \right]$$

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

ϕ es la porosidad

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

$$0 < sm = 1 - 4s/n < 1$$

θ_s Cantidad de agua a saturación

θ_r Cantidad residual de agua

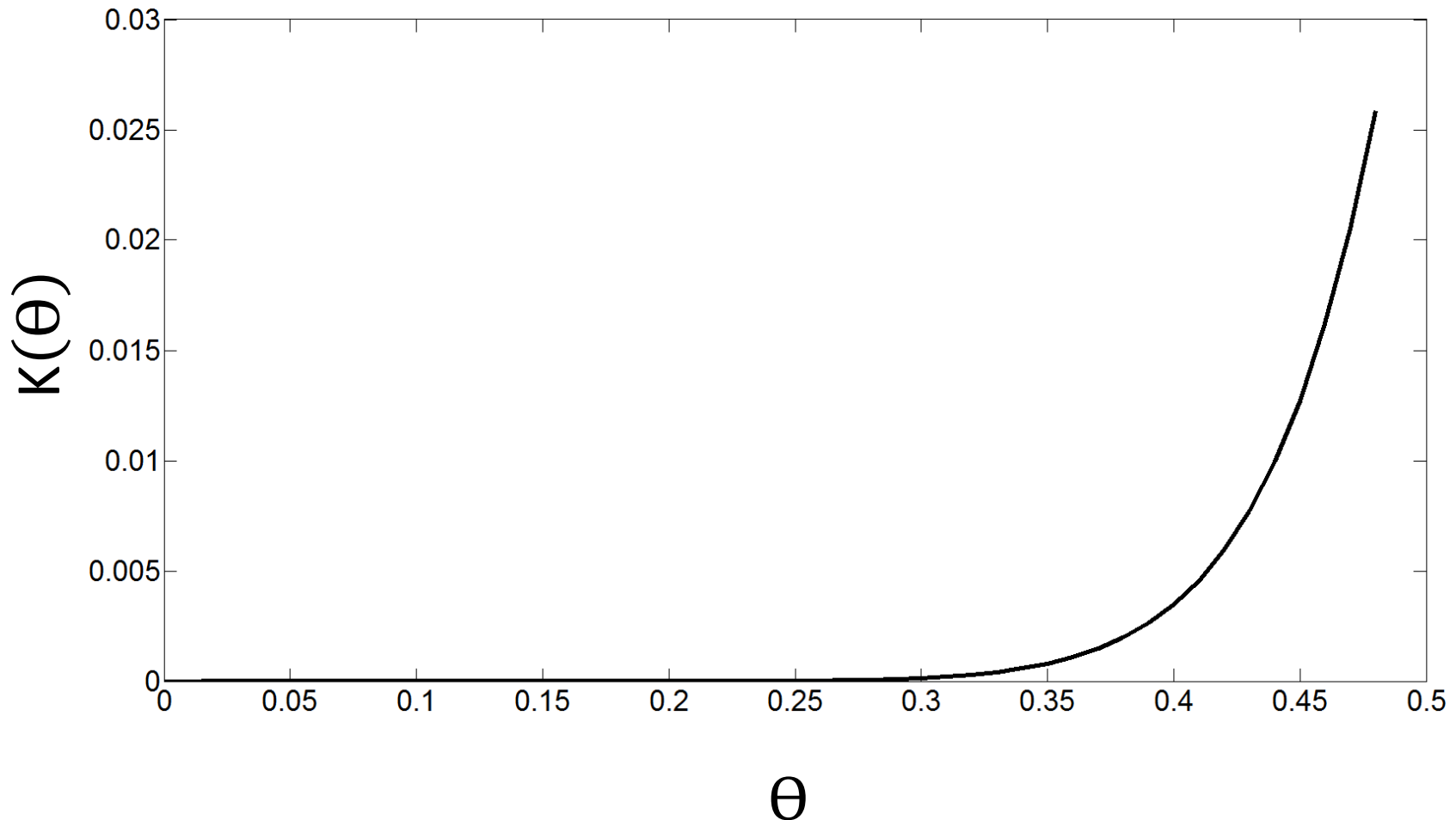
K_{sat} Conductividad hidráulica a saturación



**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Función de conductividad hidráulica (poro neutro)





**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



“Con parámetros homogéneos se obtienen resultados homogéneos”¹



30 min



60 min



90 min



120 min



150 min



180 min



210 min



240 min



270 min



300 min



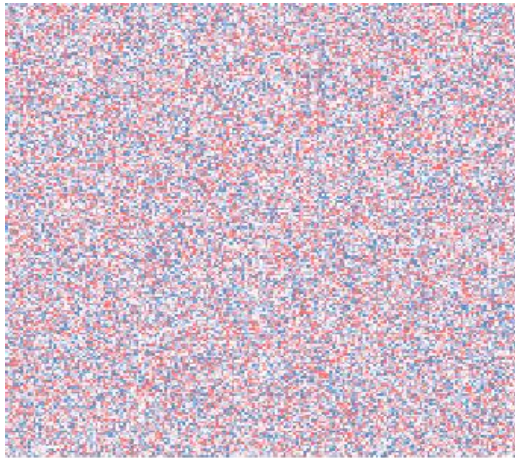
330 min



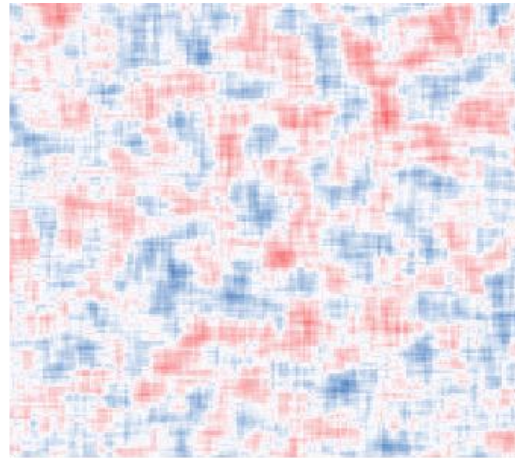
360 min

¹Esto no es totalmente cierto, como ejemplo están las ecuaciones de Navier-Stokes.

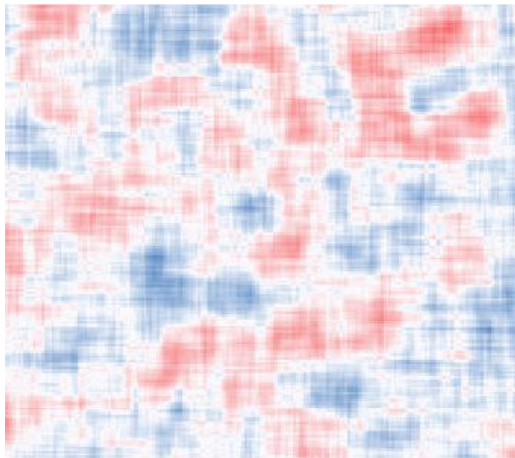
Matrices de varianza para el parámetro K_s



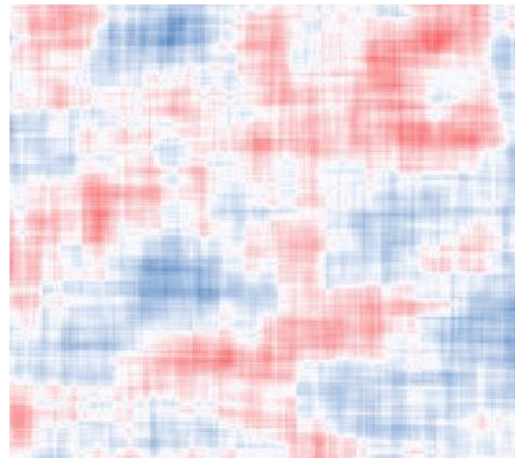
1



11



21



31

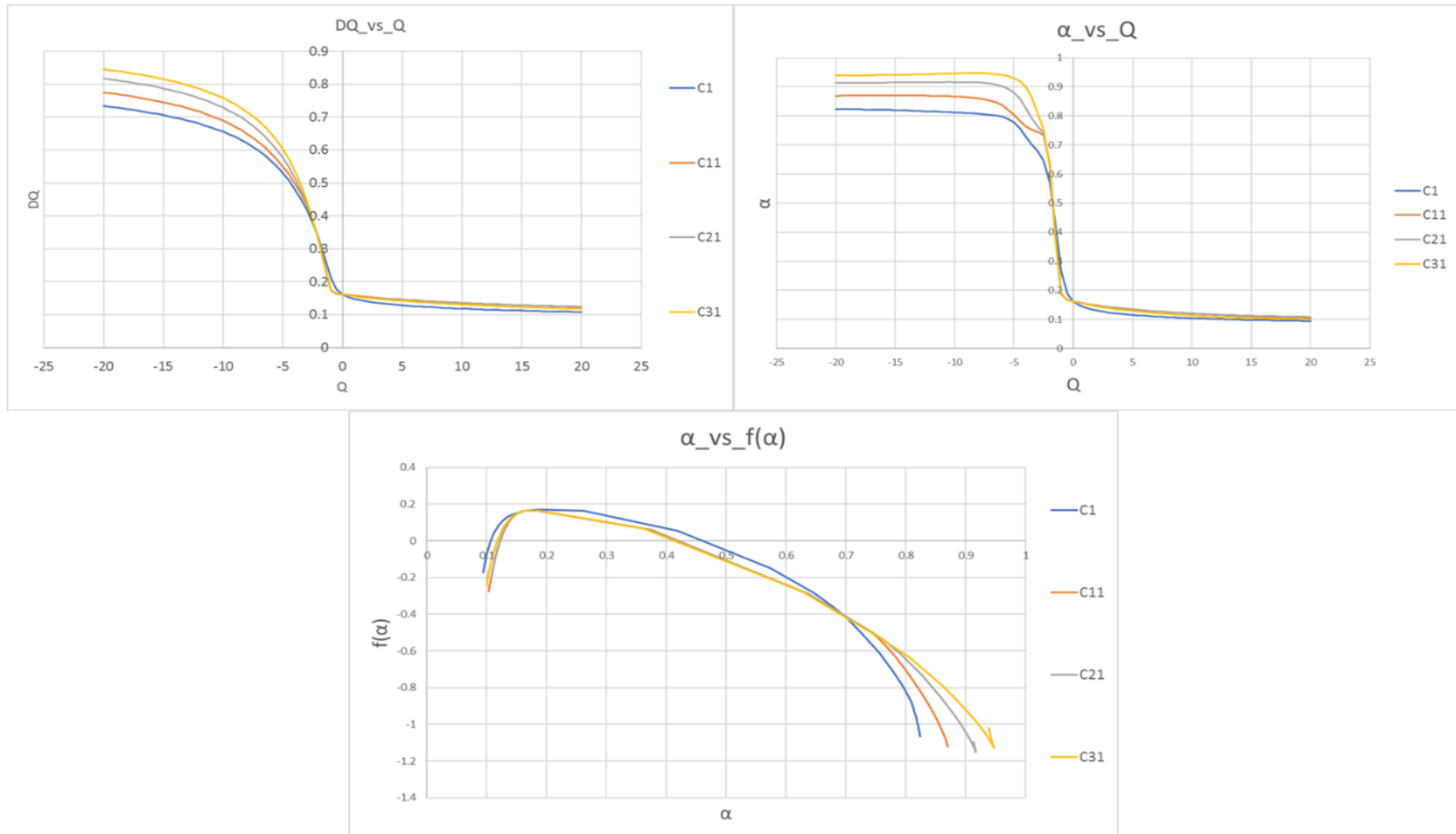
- Matrices de varianza para el parámetro K_s .
- Las cuatro matrices se generan partiendo de una matriz más grande de valores aleatorios.
- El Número inferior a cada matriz es el tamaño de ventana de suavizado



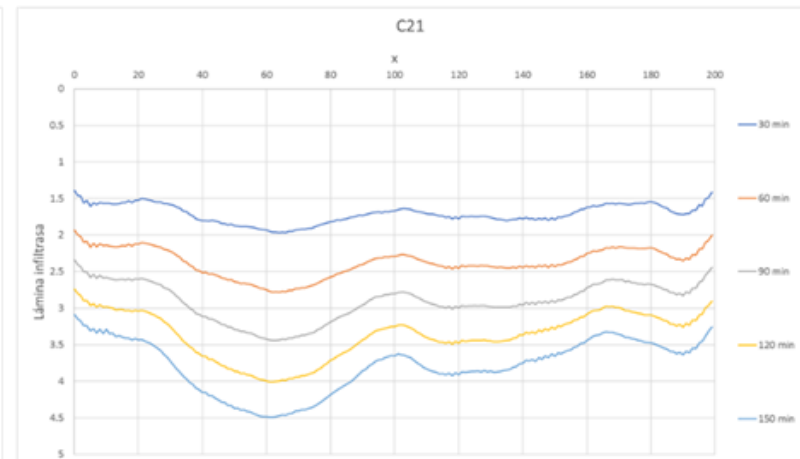
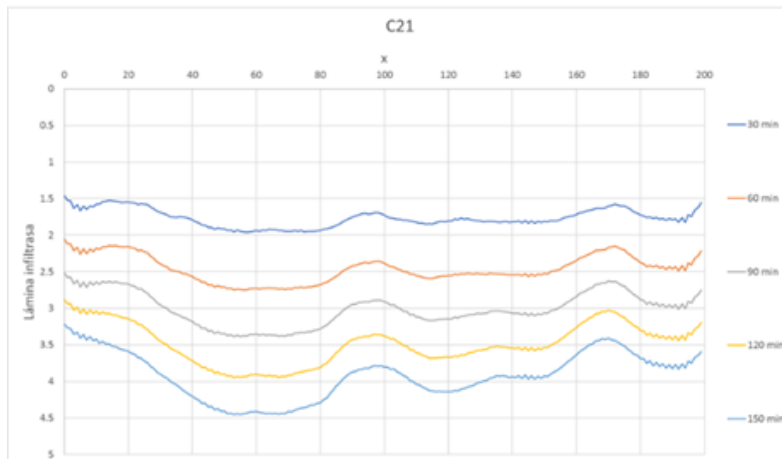
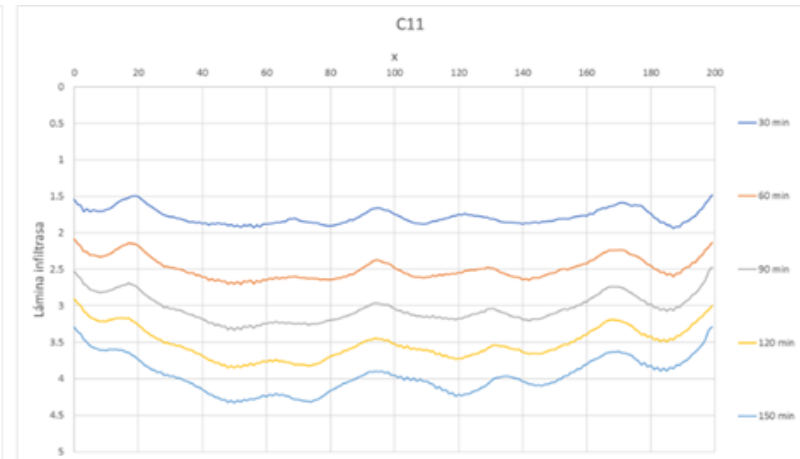
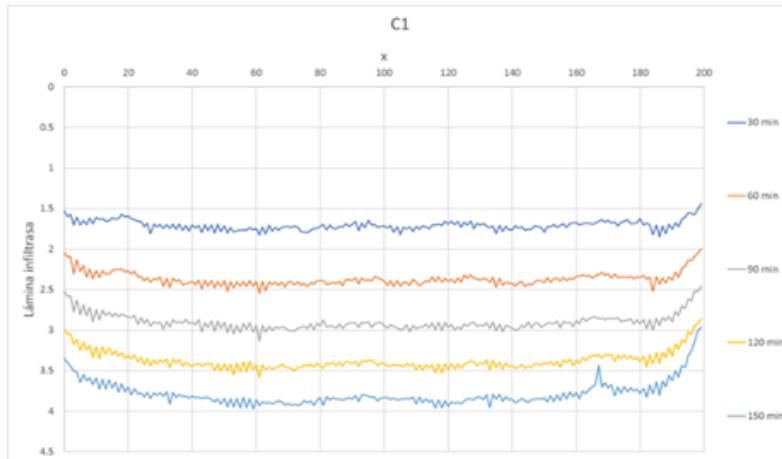
IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



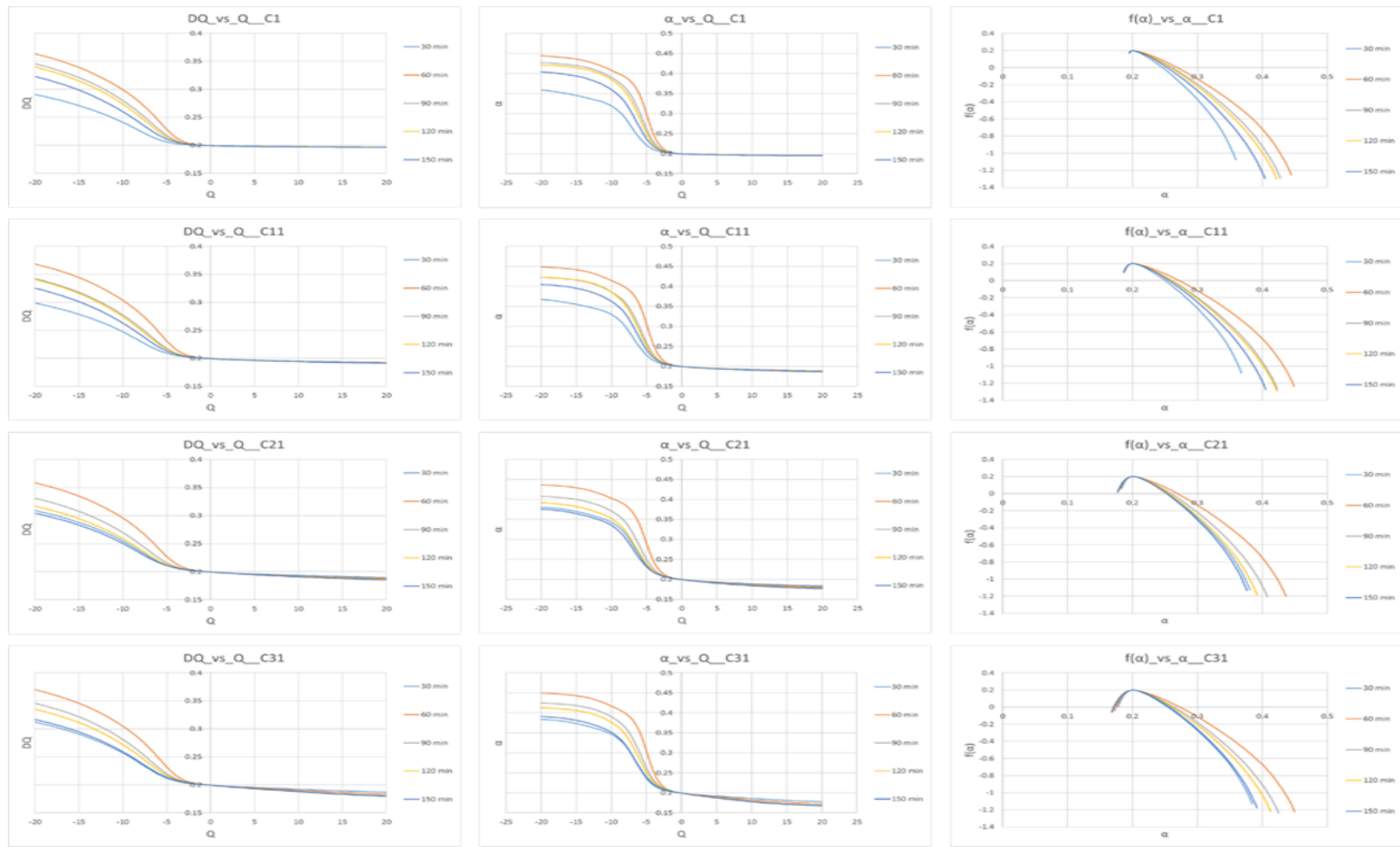
Medidas Multifractales de la variación de K_s



Frente de humedecimiento del experimento computacional



Medidas multifractales de los experimentos computacionales

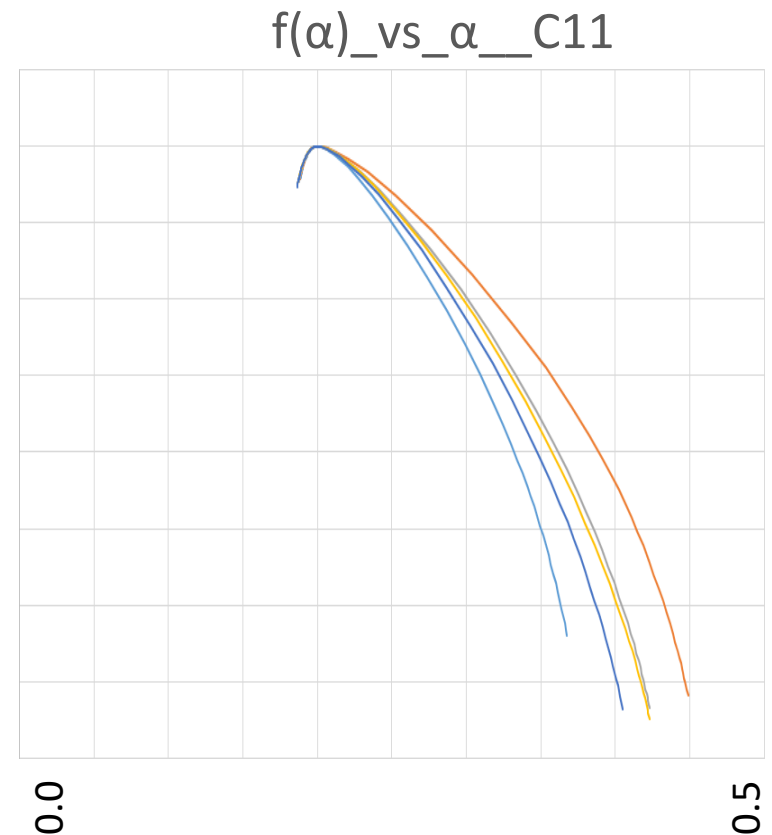
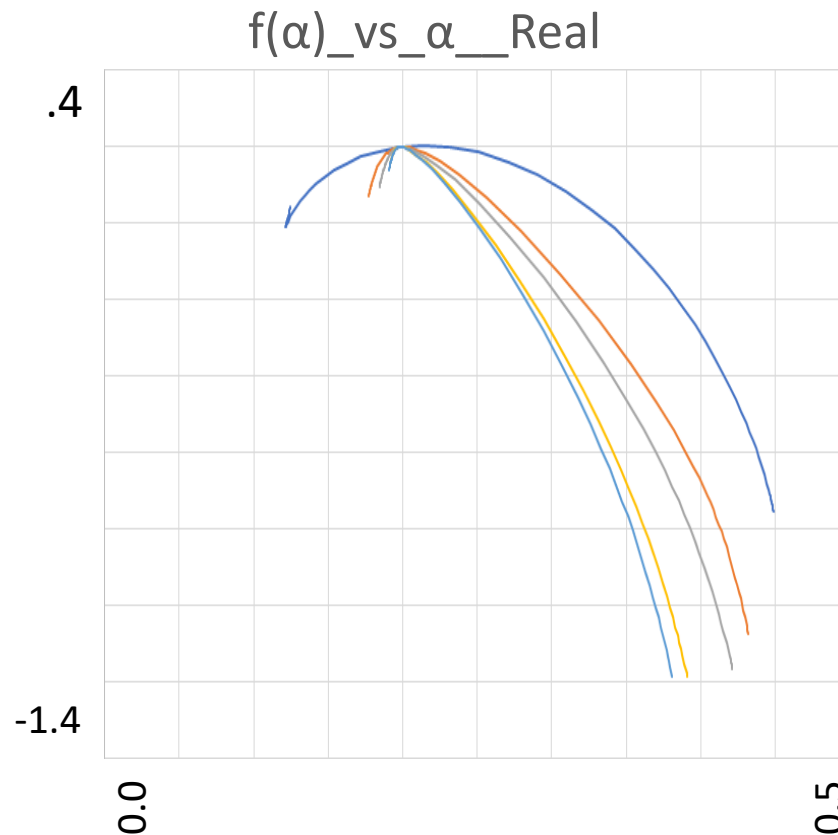


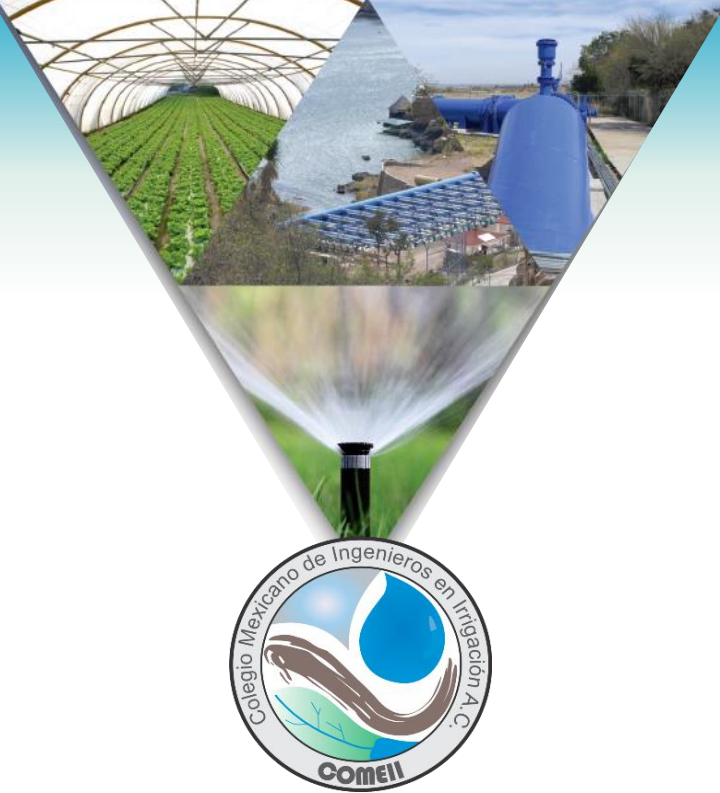


**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Comparación del frente real con C11





Gracias

CEL. 4424311519

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

EMAIL: JUAN_MOTA_0@LIVE.COM.MX



AGUASCALIENTES
GOBIERNO DEL ESTADO
Contigo al 100

SEDRAE
SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL
Y AGROEMPRESARIAL

SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL
PESCA Y ALIMENTACIÓN



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES



AMERD
ASOCIACIÓN MEXICANA DE EMPRESAS DE REGADÍO Y CANTARAL A.C.



SM GEODIM
MODELOS DE INFORMACIÓN DE LA TIERRA