

# **SUPROMED: Sustainable production in water limited environments of Mediterranean agro-ecosystem**

Manual PRESUD goteo







# Diseño de subunidades de riego localizado con coste mínimo y adecuado funcionamiento.

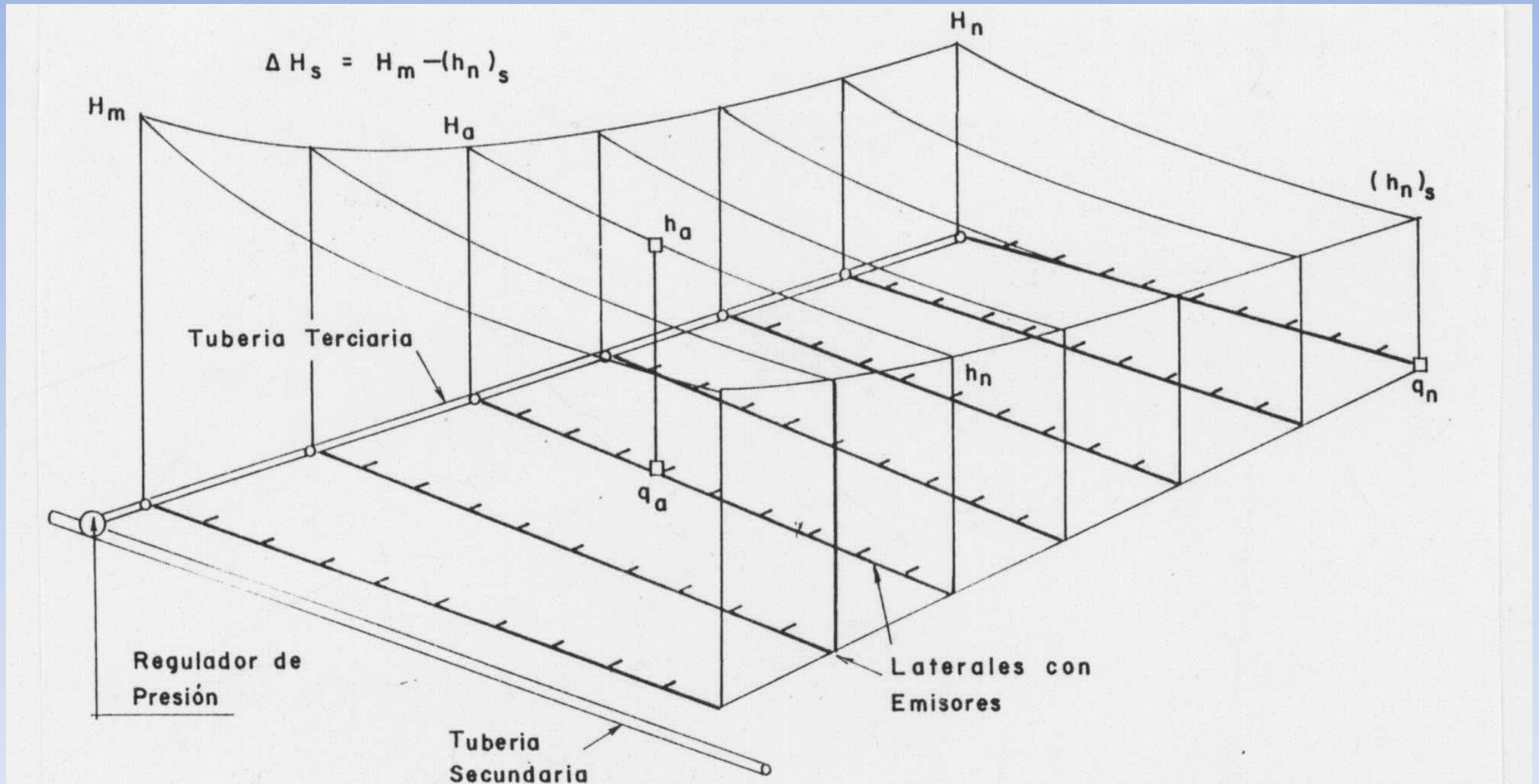
**J.M. Tarjuelo and M.A. Moreno**



# OBJETIVO

Se ha desarrollado en Matlab un software llamado PRESUD (PREssurized SUBunit Design) que permite identificar el diseño de la subunidad rectangular de riego localizado que minimiza el coste anual de la aplicación del riego (CT) por unidad de superficie, calculado como suma de los costes de inversión, energía, mantenimiento y el coste de llevar el agua desde la fuente hasta el origen de la subunidad de riego.

# Distribución de presión en una subunidad de riego en terreno horizontal



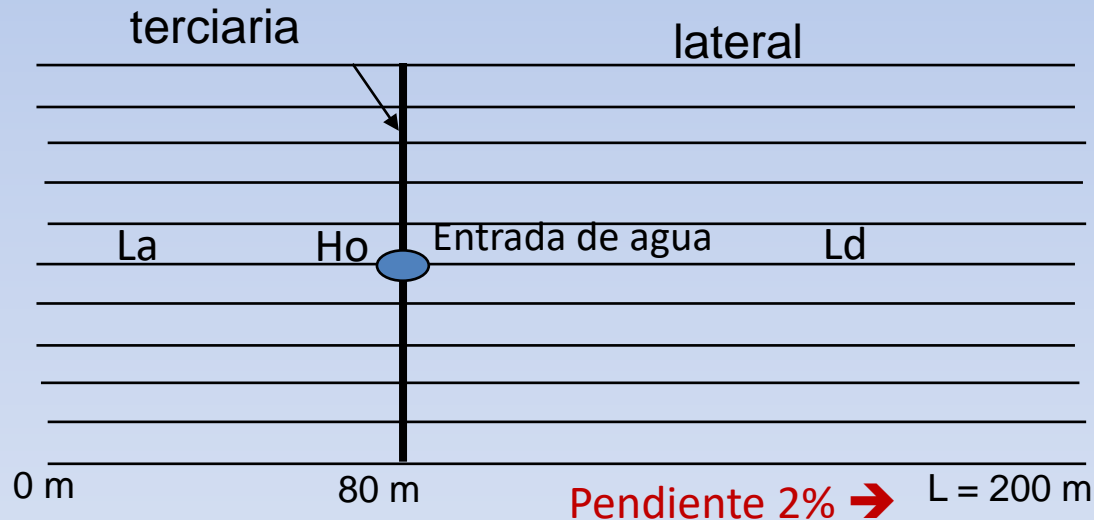
# METODOLOGIA

## Identificación del punto de alimentación intermedio en laterales y terciaria

Ecuación de descarga del gotero

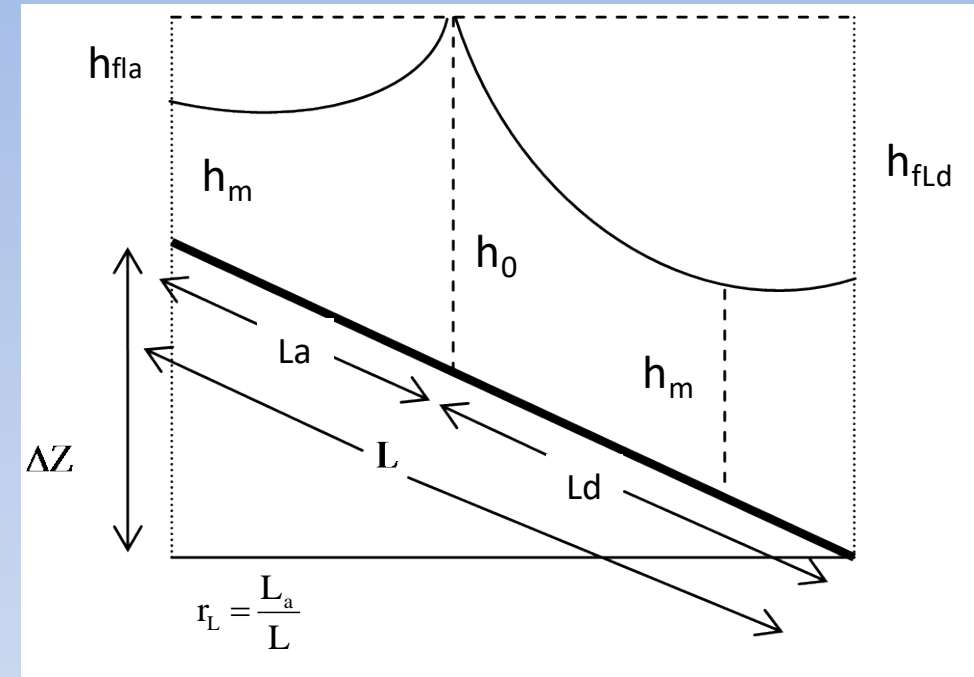
$$q_e = K h_e^x$$

$q_e$  = cuadal;  $K$  = coeficiente de descarga;  
 $x$  = exponent de descarga;  $h_e$  = presión en el gotero.



Ecuación para calcular La

$$\Psi(r_L) = \frac{0,5 S_0 (1+m)}{0,74 \cdot 0,426 D^{-(3+m)} q_u^m L^m}$$



$S_0$  = pendiente en el lateral

$m = 1.75$  en la Ecu. de Blasius (pérdidas de carga en PE)

$q_u$  = caudal por unidad de longitud

$L$  = longitud total del lateral ascendente y descendente

$D$  = Diámetro interno de la tubería

La relación  $\Psi(r_L) \Leftrightarrow r_L$  en tabla

Tabla 1. Valores de  $r_L$  para laterales y terciarias alimentadas por un punto intermedio

$r_L$	$\Psi(r_L)$	$r_L$	$\Psi(r_L)$	$r_L$	$\Psi(r_L)$	$r_L$	$\Psi(r_L)$
0.01	0.973	0.14	0.656	0.27	0.394	0.40	0.165
0.02	0.946	0.15	0.634	0.28	0.375	0.41	0.148
0.03	0.920	0.16	0.613	0.29	0.357	0.42	0.132
0.04	0.894	0.17	0.591	0.30	0.339	0.43	0.115
0.05	0.868	0.18	0.570	0.31	0.321	0.44	0.098
0.06	0.843	0.19	0.550	0.32	0.303	0.45	0.082
0.07	0.818	0.20	0.529	0.33	0.285	0.46	0.065
0.08	0.794	0.21	0.509	0.34	0.267	0.47	0.049
0.09	0.770	0.22	0.489	0.35	0.250	0.48	0.033
0.10	0.747	0.23	0.470	0.36	0.233	0.49	0.016
0.11	0.723	0.24	0.450	0.37	0.216	0.50	0.000
0.12	0.701	0.25	0.431	0.38	0.199		
0.13	0.678	0.26	0.412	0.39	0.182		

Tabla 2. Valores de  $Tr$  en función de la textura del suelo la profundidad radicular

Profundidad radicular	Textura del suelo			
	Muy gruesa	gruesa	media	fina
< 0.8 m	1.10	1.10	1.05	1.00
0.8 to 1.50 m	1.10	1.05	1.00	1.00
> 1.50 m	1.05	1.00	1.00	1.00

Para microaspersión añadir 0.05 a  $Tr$  en climas húmedos y 0.10 en climas áridos para tener en cuenta la evaporación

# METODOLOGIA

El procedimiento utiliza las siguientes etapas de cálculo:

- **Etapas 1.** Identificación del punto de entrada y primera aproximación de  $H_0$  : el procedimiento comienza identificando un punto de suministro para el diámetro previamente seleccionado de ramales y terciaria. Asume que todos los goteros descargan el caudal medio requerido ( $q_a$ ) (dato de diseño), calcula la distribución de caudales en todas las tuberías y realiza una primera estimación de la presión en la entrada de la subunidad ( $H_0$ )
- **Etapas 2.** Determinación de la presión del emisor ( $h_{ei}$ ) y la descarga ( $q_{ei}$ ) de cada emisor dentro de la subunidad para  $H_0$  de la etapa 1: comienza a calcular  $q_{ei}$  en un proceso iterativo, manteniendo el mismo valor  $H_0$  para facilitar la convergencia. Calcula la distribución de caudales y presiones en cada tubería. El proceso se repite hasta que la diferencia en la presión del emisor entre dos iteraciones consecutivas es inferior a 0,0001 m.
- **Etapas 3.** Cálculo del valor de  $H_0$  que hace coincidir con el promedio de  $q_{ei} = q_a$  : Esta etapa repite la Etapa 2, pero cambiando el valor de  $H_0$  hasta que  $(q_{ei\ med} - q_a) < 0.001\ L\ h^{-1}$ .
- **Etapas 4.** Cálculo de: EU, CU, CVq, CT,  $\Delta q$  (diferencia de caudales) e  $\Delta h$  (diferencia de presiones) extremas en los goteros de la subunidad de riego

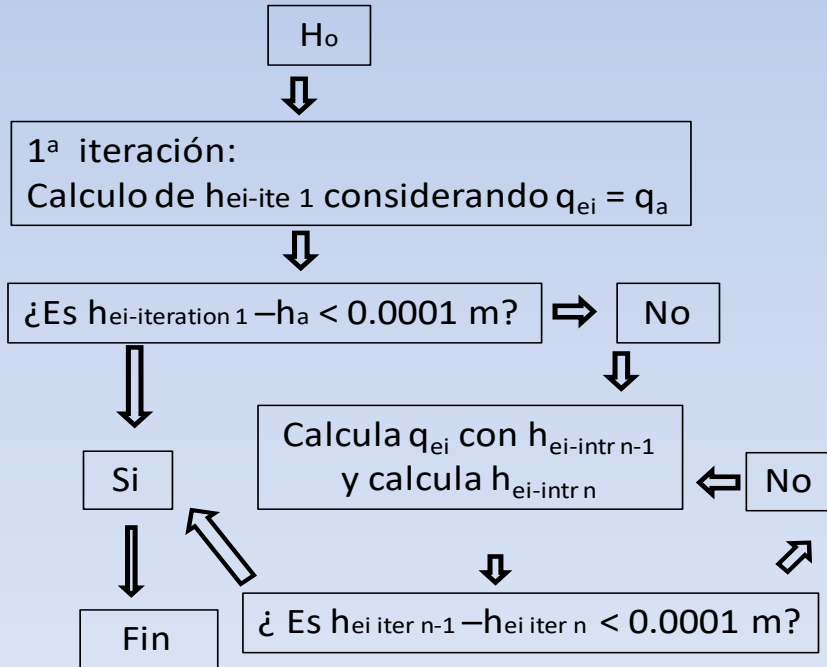
# Diagrama del proceso de cálculo de la herramienta PRESUD

**Etapa 1.** Identificación del punto de conexión y primera aproximación de  $H_0$

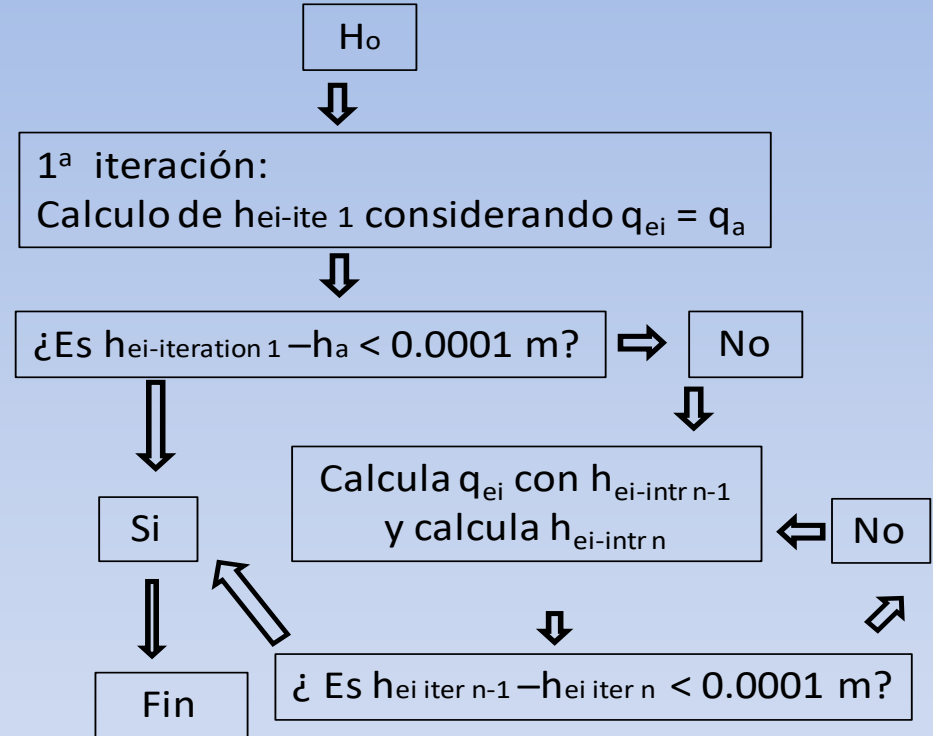
Supuesto: Todos los emisores descargan  $q_a$

**Stage 2.** Determinación de  $h_{ei}$  y  $q_{ei}$

Supuesto:  $H_0$  se considera constante



**Stage 3.** Cálculo de  $H_0$  que hace la media de  $q_{ei} = q_a$



**Stage 4.** Cálculo de la idoneidad de la distribución del agua y de los coeficientes de variación

-EU (Eq. 3); CVq (Eq. 4);  $\Delta q$ ;  $\Delta h$ ;  $C_T$



# METODOLOGIA

Coste de la aplicación del agua de riego:

$$C_T = C_a + C_e + C_w + C_m$$

## 1) Inversión

$$C_a = \frac{A}{S} = \frac{CRF \cdot C_i}{S}$$

## 2) Energía

$$C_e = \frac{P \cdot O_t \cdot En_c}{S}$$

$$P = \frac{9,81 \cdot Q_{0s} \cdot H_0}{E_p}$$

$$O_t = \frac{R_n S}{3600 E_a Q_{0s}}$$

## 3) Agua

$$C_w = R_g P_w$$

$$R_g = \frac{R_n}{E_a}$$

$$E_a = \frac{EU_q}{Tr}$$

Ca = anualidad de inversión por unidad de área (€ ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>)

Ce = anualidad de energía por unidad de área (€ ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>)

Cw = Coste del agua de riego por unidad de área (€ ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>)

Cm = Coste de mantenimiento (5% de Ca)

A = anualidad de inversión (€ año<sup>-1</sup>)

S = área regada (ha)

CRF = factor de recuperación de capital

C<sub>i</sub> = coste total de inversión (€)

P = Potencia para dar presión al agua a entrada subunidad (kW)

O<sub>t</sub> = Tiempo de funcionamiento anual (h año<sup>-1</sup>)

Q<sub>os</sub> = Caudal de entrada a la subunidad de riego (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

En<sub>c</sub> = Precio de la energía (€ kWh<sup>-1</sup>)

R<sub>g</sub> = Necesidades brutas de riego anual (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>)

P<sub>w</sub> = precio del agua (€ m<sup>-3</sup>)

R<sub>n</sub> = Necesidades netas de riego (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>)

E<sub>p</sub> = rendimiento del grupo de bombeo (≈ 0,65)

E<sub>a</sub> = eficiencia general de la aplicación E<sub>a</sub> = EU<sub>q</sub> Tr<sup>-1</sup> (decimal)

EU<sub>q</sub> = Uniformidad de emisión de los goteros EU<sub>q</sub> = q<sub>25</sub>/q<sub>a</sub>

q<sub>25</sub> = media del 25% de los emisores que menos descargan

q<sub>a</sub> = media del caudal descargo por todos los emisores

Tr = relación transpiración en periodo punta (adimensional, Tabla 2)

# METODOLOGIA

## Coeficientes de uniformidad del agua descargada por el sistema de riego.

### 1. Uniformidad de emisión (EU)

$$EU = \left( 1 - \frac{1,27 CV_{qmf}}{\sqrt{e}} \right) \frac{q_{mh}}{q_{ah}} 100$$

$CV_{qmf}$  = Coeficiente de variación del fabricante del aspersor;  $q_{mh}$  = caudal mínimo del emisor en la subunidad debido a la presión  
 $e$  = número de emisores por planta;  $q_{ah}$  = media de valores de caudal del emisor debido a variaciones en la presión

### 2. Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)

$$CU = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_a|}{q_a n} \right) 100$$

$n$  = número de aspersores en la subunidad ;  $q_i$  = descarga de cada aspersor en la subunidad  
 $q_a$  = descarga media de todos los aspersores.

### 3. Coeficiente de variación total del caudal en la subunidad ( $CV_q$ )

$$CV_q \cong \sqrt{CV_{qmf}^2 + x^2 CV_h^2}$$

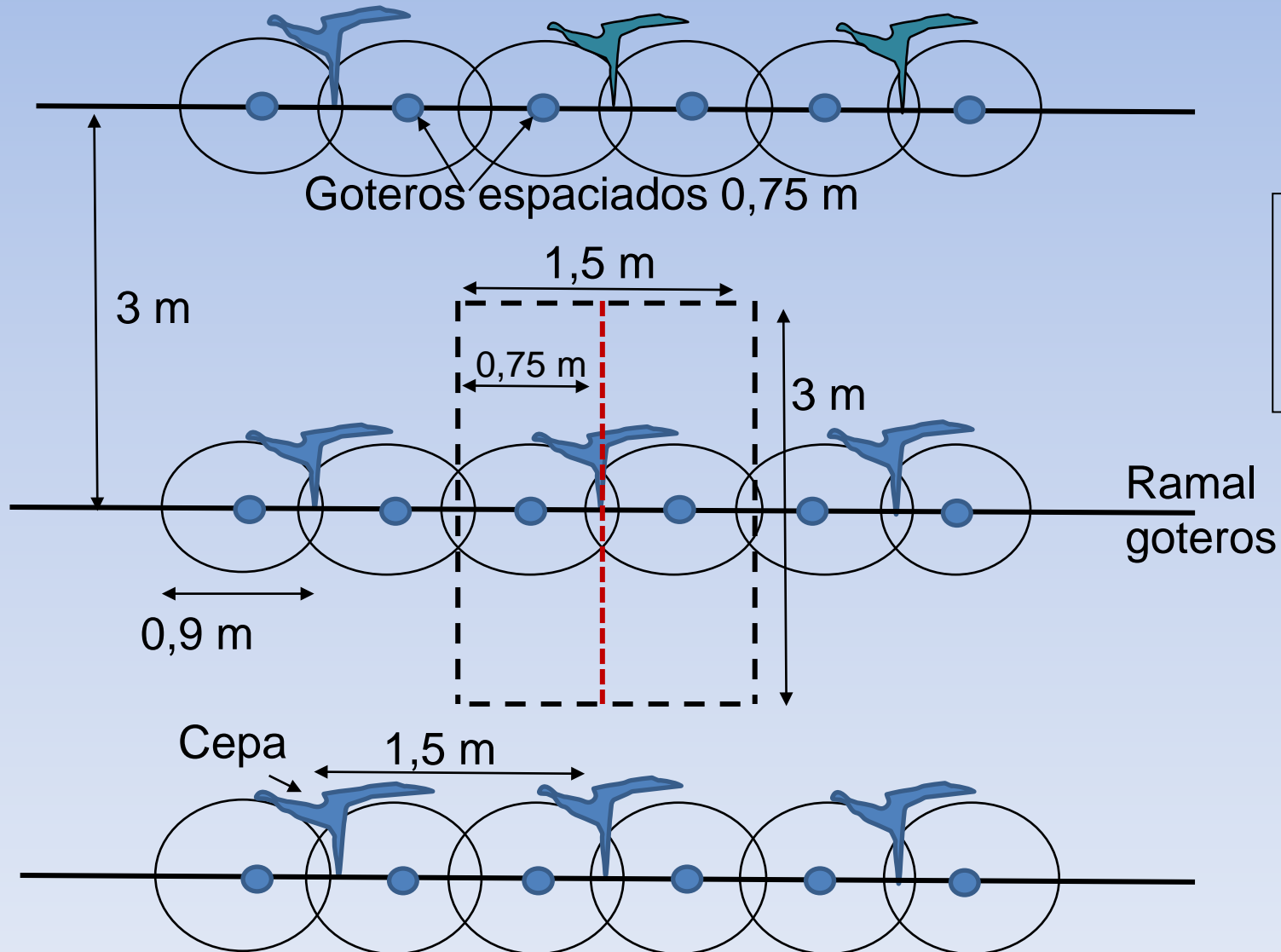
$CV_h$  = coeficiente de variación de presión;  $x$  = exponente de emisión del aspersor

# RESULTADOS



# Ejemplo de PRESUD para una subunidad de goteo en viña

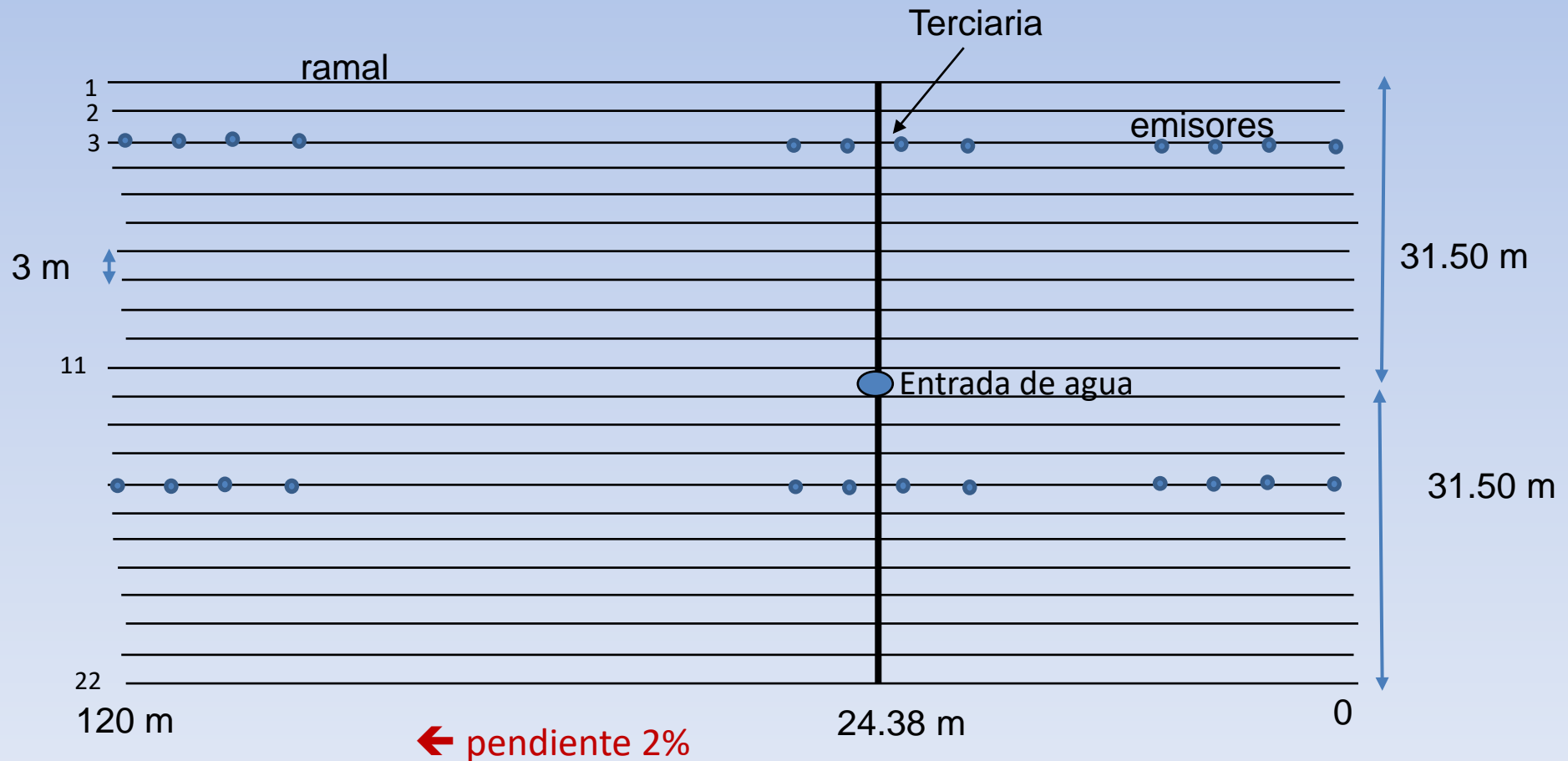
Ejemplo de 0.76 ha (120 m x 63m) de viñedo a 3m x 1,5m (22 filas de plantas, de 120 m) usando emisores de  $q_a = 2 \text{ L h}^{-1}$ , trabajando a una presión de 10 m



Área por planta:  $3 \times 1,5 = 4,5 \text{ m}^2$   
Área por gótero =  $3 \times 0,75 = 2,25 \text{ m}^2$   
Diámetro del bulbo mojado = 0,9 m  
Área mojada por gótero =  $0,7 \text{ m}^2$

# Ejemplo de PRESUD para diseño de una subunidad de riego por goteo

Ejemplo de 0.76 ha (120 m x 63m) de viñedo a 3m x 1,5m (22 líneas de planta, 120 m) usando emisores de  $q_a = 2 \text{ L h}^{-1}$ , trabajando a una presión de 10 m



# Ejemplo de PRESUD para una subunidad de goteo en viña

Ejemplo de 0.76 ha (120 m x 63m) de viñedo a 3m x 1,5m (22 filas de plantas, de 120 m) usando emisores de  $q_a = 2 \text{ L h}^{-1}$ , trabajando a una presión de 10 m

## DATOS usados

Pendiente en terciaria	0 %	Entrada terciaria	Entre dos ramales	Longitud de ramal	120 m
Pendiente en lateral	2%	Entrada ramal	Entre dos emisores	Necsidades netas de riego del cultivo	1500 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>
Entrada en terciaria	Punto intermedio	Distancia entre lineas de plantas	3 m	Relación de transpiration	Tr = 1
Entrada en lateral	Punto intermedio	Coeficiente $CV_{qmf}$	5 %	Rendimiento del grupo de bombeo	65 %
Exponente de emisión (x)	0.5	Distancia desde la entrada al 1º ramal	0	Coste del agua	0.1 € m <sup>-3</sup>
Presión de trabajo	10 m	Distancia desde la entrada al 1º emisor	0	Precio del ramal	0.13 € m <sup>-1</sup>
Caudal del emisor	2 L h <sup>-1</sup>	Espaciamiento entre emisores	0.75 m	Precio de la terciaria	0.48 € m <sup>-1</sup>
Longitud equivalente por singularidad	emisor =0.15m ramal = 0,18m	Espaciamiento entre plantas	1.5 m	Precio de la energía	0.1 € kWh <sup>-1</sup>



# Ejemplo de PRESUD para una subunidad de goteo en viña

Ejemplo de 0.76 ha (120 m x 63m) de viñedo a 3m x 1,5m (22 filas de plantas, de 120 m) usando emisores de  $q_a = 2 \text{ L h}^{-1}$ , trabajando a una presión de 10 m

Subunidades regulares de goteo. Versión 1.5 2017\_12\_04

Comenzar Valores por defecto

**Datos de tuberías**

Pendiente terciaria(%) 0

Pendiente ramal(%) 2

**Alimentación terciaria1**

☒ Punto intermedio

☐ Punto extremo

**Alimentación terciaria2**

☐ Conexión del ramal

☒ Entre dos ramales

☐ Punto teórico

☐ Definir longitud

Tramo ascendente(m)

**Alimentación ramales1**

☒ Punto intermedio

☐ Punto extremo

**Alimentación ramales2**

☒ Entre dos emisores

☐ Punto teórico

☐ Definir longitud

Tramo ascendente(m)

Coef. emisor (x) 0.5

Presión de trabajo emisor(m) 10

Caudal nominal (l/h) 2

Coeficiente K 0.63246

Long. equivalente (m)

Emisor 0.15

Ramal 0.18

**Datos del cultivo**

Separación filas de cultivo(m) 3

CVqm (fabricante) (%) 5

Número de filas de cultivo 22

S0(m) 0

L0(m) 0

Separación goteros(m) 0.75

Separación plantas(m) 1.5

**Datos de costes**

Rendimiento bomba(%) 65

Precio agua (€/m3) 0.1

Precio ramal (€/m) 0.13

Precio terciaria (€/m) 0.48

Precio energía (€/Kwh) 0.1

**Regulación**

☒ Predim.

☐ SI

Presión (m)

1 m 0.1 m

**RESULTADOS**

CU(%)	98.96	Long.terciaria descendente (m)	31.5
UE(%)	93.83	Presión origen terciaria (m)	10.49
CVq(%)	2.33	Caudal total (l/h)	7085
Long. ramal ascendente (m)	17.63	Caudal medio emisores (l/h)	2
Long. ramal descendente (m)	102.38	Dif. caudales emisores(%)	5.95
Long.terciaria ascendente (m)	31.5	Dif.presión subunidad(%)	12.05
Superficie regada (ha)	0.76	Volumen aplicado(m3/ha)	1599

**Costes (€/ha año)**

Inversión	Agua	Energía	Total
53.4	159.86	7.03	220.3

**Ramal medio**

	Ascendente	Descendente
Pmedia (m)	9.97	10
Pmínima (m)	9.76	9.75

**Diámetro terciaria**

- \*PE-32(28)PN4
- \*PE-40(35.3)PN4
- \*PE-50(44)PN4
- \*PE-63(55.4)PN4
- \*PE-75(66)PN4
- \*PE-90(79.2)PN4
- \*PVC-40(37)PN6
- \*PVC-50(46.8)PN6
- \*PVC-63(59)PN6
- \*PVC-75(70.4)PN6
- \*PVC-90(84.4)PN6
- \*PVC-110(104.6)PN6

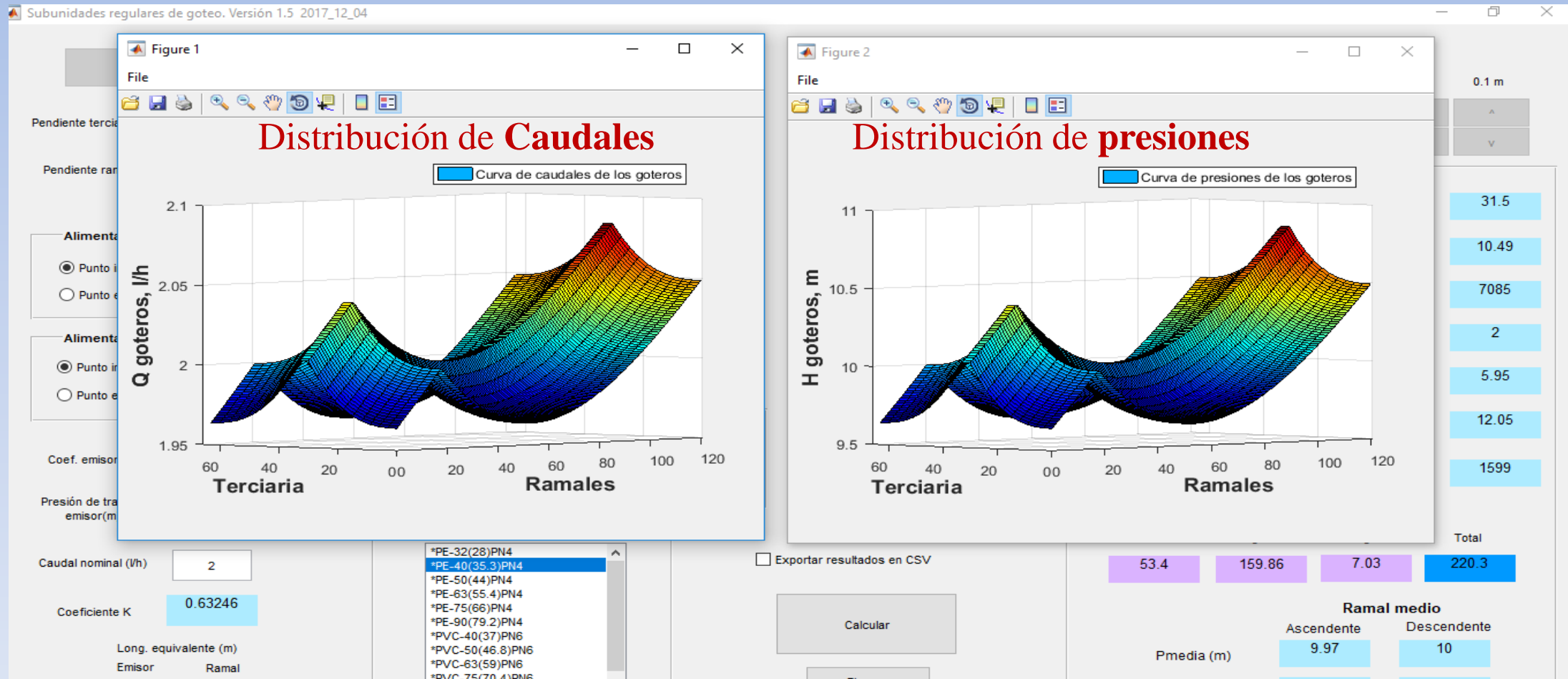
☐ Exportar resultados en CSV

Calcular

Figuras

# Ejemplo de PRESUD para una subunidad de goteo en viña

Ejemplo de 0.76 ha (120 m x 63m) de viñedo a 3m x 1,5m (22 filas de plantas, de 120 m) usando emisores de  $q_a = 2 \text{ L h}^{-1}$ , trabajando a una presión de 10 mm, y una pendiente en el lateral del 2 % y 0 % en la terciaria



# Ejemplo de PRESUD para una subunidad de goteo en viña

Ejemplo de 0.76 ha (120 m x 63m) de viñedo a 3m x 1,5m (22 filas de plantas, de 120 m) usando emisores de  $q_a = 2 \text{ L h}^{-1}$ , trabajando a una presión de 10 mm, y una pendiente en el lateral del 2 % y 0 % en la terciaria

CU	98.96 %	Longitud de terciaria descendente	31.50 m
UE	93.83%	Presión a la entrada de la subunidad	14.9 m
CV <sub>q</sub>	2.33 %	Caudal total	7085 L h <sup>-1</sup>
Longitud de ramal ascendente	17.63 m	Descarga media del emisor	2 L h <sup>-1</sup>
Longitud de ramal descendente	102.38 m	Maxima variación de caudal en la subunidad	5.95%
Longitud de terciaria ascendente	31.50 m	Maxima variación de presión en la subunidad	12.05 %
Área regada	0.76 ha	Volumen total aplicado	1599 m <sup>-3</sup> ha <sup>-1</sup>



# Ejemplo de PRESUD para una subunidad de goteo en viña

Ejemplo de 0.76 ha (120 m x 63m) de viñedo a 3m x 1,5m (22 filas de plantas, de 120 m) usando emisores de  $q_a = 4 \text{ L h}^{-1}$ , trabajando a una presión de 10 mm, y una pendiente en el lateral del 2 % y 0 % en la terciaria

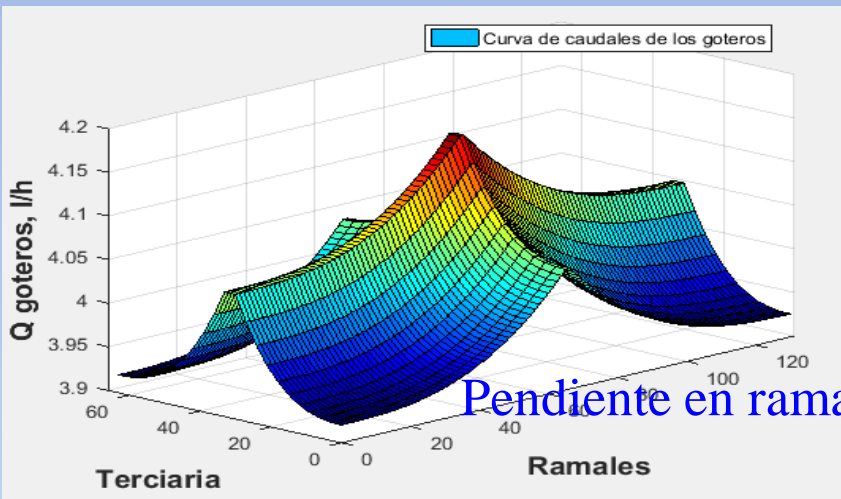
## RESULTADOS adicionales

<b>COSTES TOTALES en la subunidad de riego</b>	<b>(€ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b>
Inversión	53.40
Agua	159.86
Energía	7.03
<b>TOTAL</b>	<b>220.30</b>

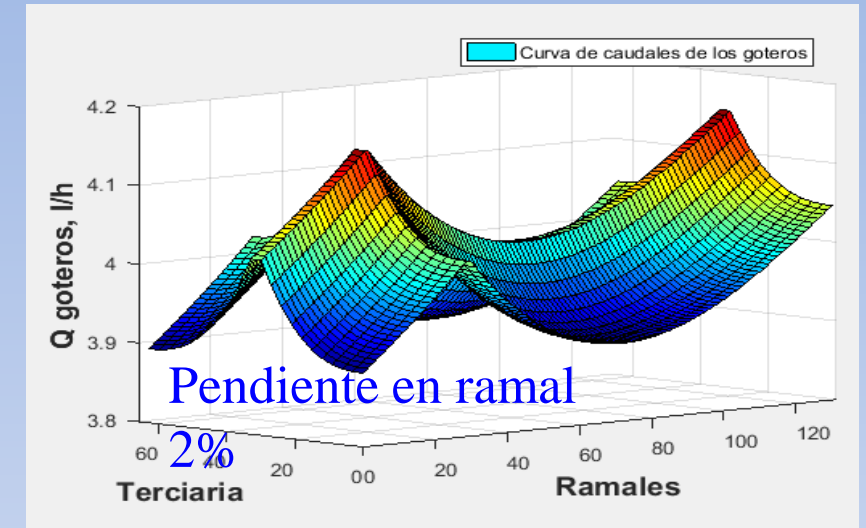
	<b>Condiciones de trabajo del ramal medio</b>	
	Ramal ascendente	Ramal descendente
Presión media (m)	9.97	10
Presión mínima (m)	9.76	9.75

Ejemplo de 0.76 ha (120 m x 63m) de viñedo a 3m x 1,5m (22 filas de plantas, de 120 m) usando emisores de  $q_a = 2 \text{ L h}^{-1}$ , trabajando a una presión de 10 mm, y distintas pendientes en el lateral y 0 % en la terciaria

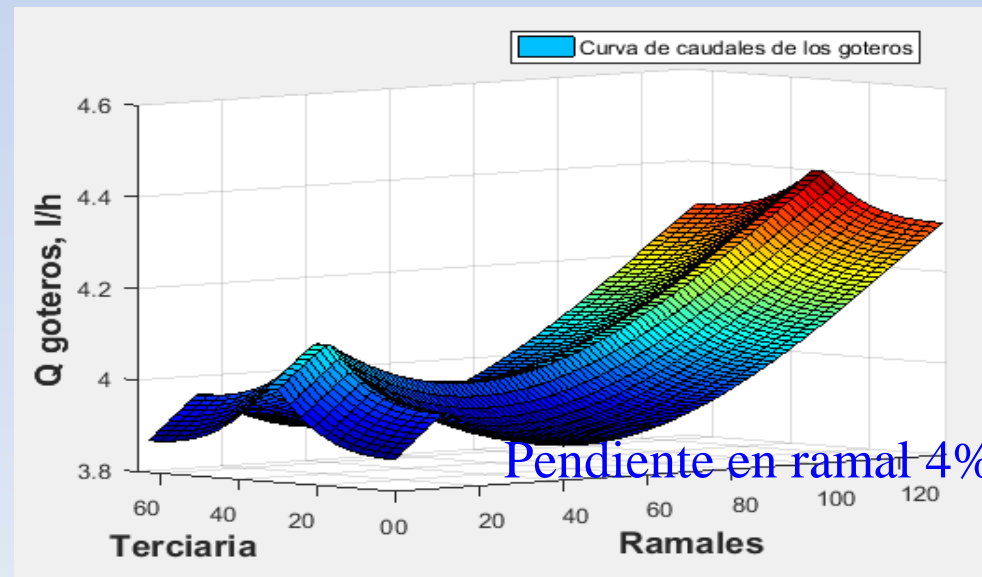
## Distribución de Caudales



CU %	99.31
UE %	94.44
$CV_q$ %	2.27
$C_T$ (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	219.3



CU %	98.96
UE %	93.83
$CV_q$ %	2.33
$C_T$ (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	220.3



CU %	96.54
UE %	91.09
$CV_q$ %	3.00
$C_T$ (€ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	224.78

# RESULTADOS DE PRESUD

Riego por goteo (Carrión et al. 2013)

Área de la subunid. (ha)	Longitud de ramal (m)	Longitud de terciaria (m)				C <sub>i</sub> (€ ha <sup>-1</sup> A <sup>-1</sup> )	H <sub>0</sub> (m)	EU (%)	Δq (%)	Δh (%)
	Diámetro de ramal (mm)	Diámetro de terciaria (mm)								
	16	50	63	75	90					
0.32	80	40				214,1	10.4	92.6	2.9	5.9
0.50	91		55			212,9	10.4	92.4	5.3	10.7
0.75	94		80			218,9	10.8	91.9	5.3	10.8
1.00	110			90		220,1	10.8	91.7	5.62	11.3
1.25	139			90		218,3	11.2	91.2	8.39	17.0
1.50	136				110	225,8	11.0	90.9	7.3	14.8
1.75	146				120	225,0	11.3	90.7	9.0	18.4



Área de la subunud. (ha)	Longitud de ramal (m)	Longitud de terciaria (m)					C <sub>i</sub> (€ ha <sup>-1</sup> Y <sup>-1</sup> )	H <sub>0</sub> (m)	EU (%)	Δq (%)	Δh (%)
	Diámetro de ramal (mm)	Diámetro de twerciaria (mm)									
	16	40	50	63	75	90					
0.5	111	45					60,2	10.7	92.7	4.3	8.7
1.25	104		120				63,8	11.2	92.0	7.7	15.6
1.75	130			135			66,6	11.2	91.8	8.0	16.1
2.25	150			150			64,9	11.9	91.3	11.9	24.4
2.75	158				174		68,7	11.7	91.2	10.9	22.2
3.25	175				186		67,5	12.3	90.6	14.6	30.0
3.75	187					201	72,5	12.2	90.4	13.8	28.3





# Conclusiones



# CONCLUSIONES

- El diseño más interesante de las subunidades para cultivos de hortalizas es utilizar un **bajo  $q_a$**
- El criterio de limitar  **$\Delta q < 10\%$** , considerando  **$EU = 90\%$** , ampliamente utilizado al diseñar una subunidad de riego por goteo, no siempre es el valor más conveniente desde un punto de vista económico, y **la herramienta PRESUD desarrollada obtiene mejores soluciones.**