

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

Manual PRESUD aspersión fija



Manual PRESUD de riego por aspersión fija

Diseño de subunidades de riego de
mínimo coste total, con adecuado funcionamiento.

J.M. Tarjuelo, M.A. Moreno

OBJECTIVO

Se ha desarrollado en Matlab un software llamado PRESUD (PREssurized SUBunit Design) que permite identificar el diseño de subunidades rectangulares de riego por aspersión fija 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.

METODOLOGIA



Diagrama de un sistema de riego por gravedad en un terreno con pendiente transversal. Se muestra una tubería secundaria que se ramifica en laterales con emisores. Se definen las alturas H_m (manométrica), H_a (de aplicación) y H_n (de salida). Se indica la pérdida de carga por fricción (h_f) y la pérdida de carga por salida (h_n). Se muestra un regulador de presión en la tubería secundaria.

Regulador de Presión

Tubería Secundaria

Tubería Terciaria

Laterales con Emisores

H_m

H_a

H_n

h_a

h_n

q_a

q_n

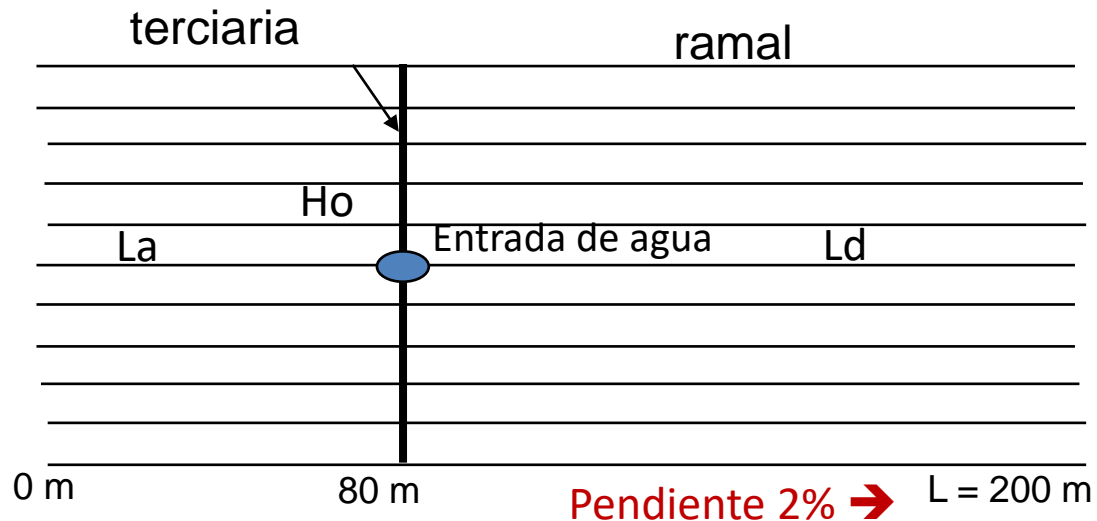
$\Delta H_s = H_m - (h_n)_s$

METODOLOGIA

Identificación del punto de alimentación intermedio en ramales y terciaria

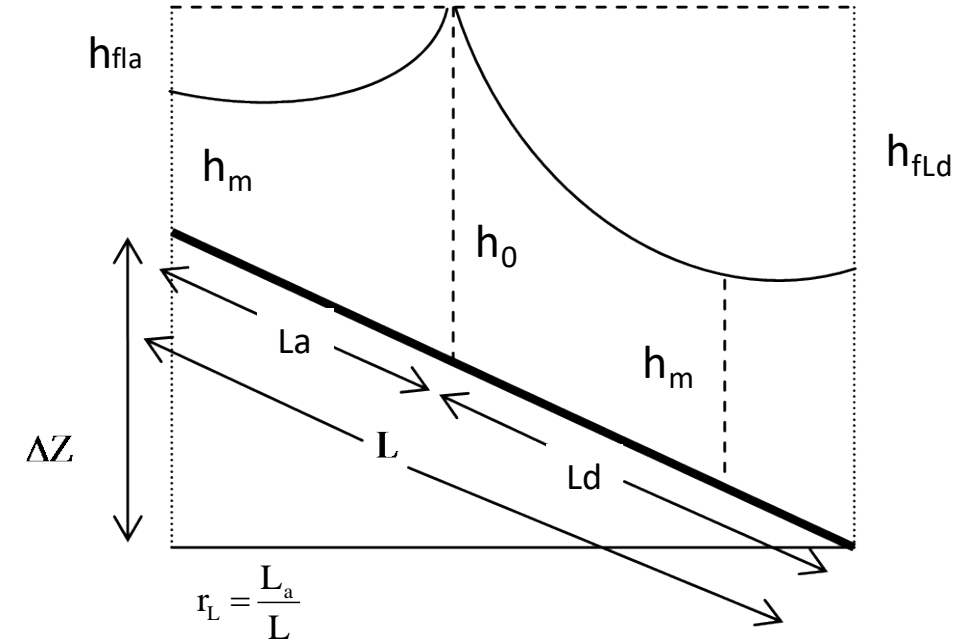
Ecuación de descarga del aspersor $q_e = K h_e^x$

q_e = caudal; K = coeficiente de descarga;
 x = exponente de descarga; h_e = presión en el aspersor.



Ecuación para calcular L_a

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



S_0 = pendiente en el ramal

$m = 1.8$ en la Ecu. de Veronese Datey (pérdidas de carga en PVC)

q_u = caudal por unidad de longitud

L = longitud total del ramal 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		

METODOLOGIA

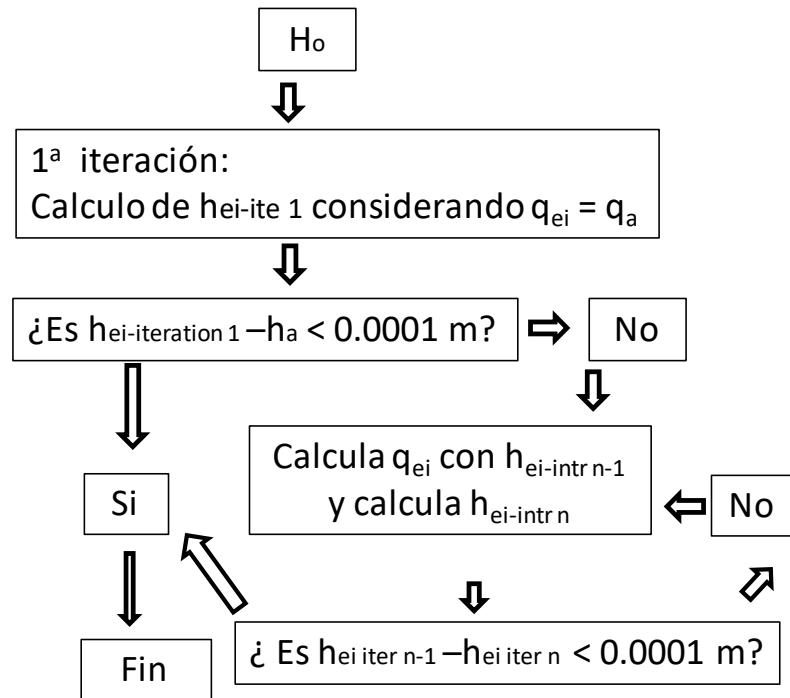
El procedimiento utiliza las siguientes etapas de cálculo:

- **Etapa 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 aspersores 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)
- **Etapa 2.** Determinación de la presión (h_{ei}) y la descarga (q_{ei}) de cada aspersor 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 aspersor entre dos iteraciones consecutivas es inferior a 0,0001 m.
- **Etapa 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 $(q_{ei\ med} - q_a) < 0.001\ L\ h^{-1}$.
- **Etapa 4.** Cálculo de: CUd, UD, UE, CVq, CT, Δq (diferencia de caudales) e Δh (diferencia de presiones) extremas en los aspersores de la subunidad de riego

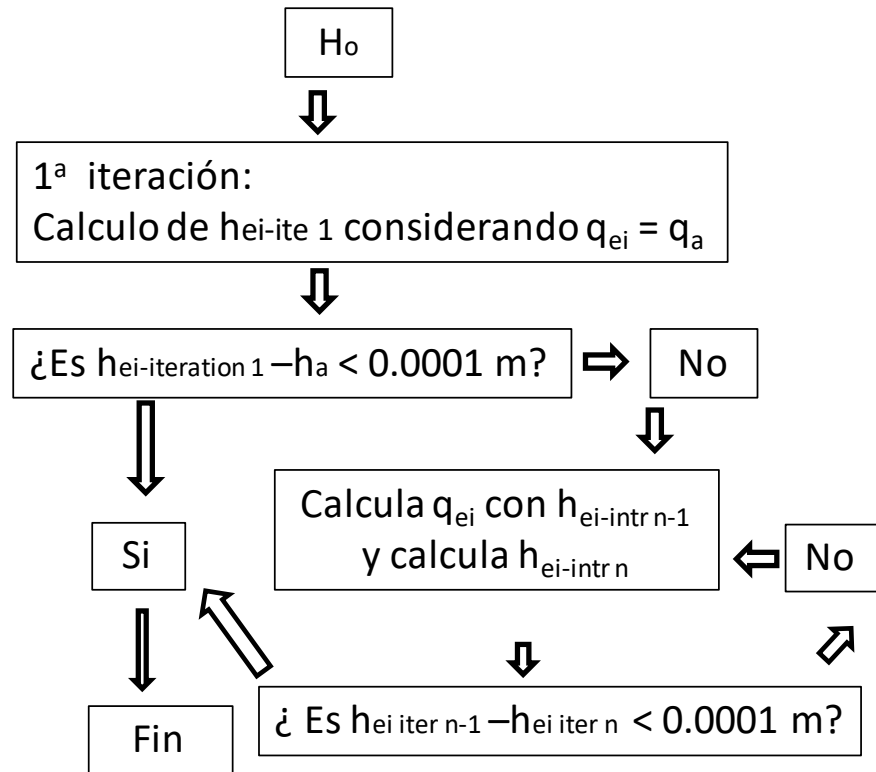
Diagrama del proceso de cálculo de la herramienta PRESUD

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); Δq ; Δh ; 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

$$C_w = R_g P_w$$

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

$$E_a = EDa = (100 + (606 - 24.9 \cdot a + 0.349 \cdot a^2 - 0.00186 \cdot a^3) \cdot (1 - CUs/100)) / 100$$

Ca = anualidad de inversión por unidad de área (€ ha⁻¹ year⁻¹)

Ce = anualidad de energía por unidad de área (€ ha⁻¹ year⁻¹)

Cw = Coste del agua de riego por unidad de área (€ ha⁻¹ year⁻¹)

Cm = Coste de mantenimiento (5% de Ca)

A = anualidad de inversión (€ año⁻¹)

S = área regada (ha)

CRF = factor de recuperación de capital

C_i = coste total de inversión (€)

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

O_t = Tiempo de funcionamiento anual (h año⁻¹)

Q_{0s} = Caudal de entrada a la subunidad de riego (m³ s⁻¹)

En_c = Precio de la energía (€ kWh⁻¹)

Rg = Necesidades brutas de riego anual (m³ ha⁻¹ year⁻¹)

Pw = precio del agua (€ m⁻³)

Rn = Necesidades netas de riego (m³ ha⁻¹ year⁻¹)

Ep = rendimiento del grupo de bombeo (≈ 0,65)

Ea = eficiencia general de la aplicación Ea= EDa 0,92

a= Proportion of properly irrigated area (%)

CUs= Uniformity coefficient of water in the soil (%)

METODOLOGIA

Tabla 1. Precios medios de diferentes fabricantes y distribuidores en España

Concepto	Diámetro externo (intern) (mm)	Precio (€ m ⁻¹)
Aspersor		10 €/unit
Tubo porta- aspersor		0.30
Ramal PVC 0.6 MPa (mm)	50 (46.4)	0.65
	63 (59.2)	0.97
	75 (70.6)	1.34
Tubería terciaria PVC 0.6 MPa (mm)	140 (131.8)	3.52
	160 (150.6)	4.45
	180 (168.4)	5.63
	200 (188.2)	6.78
Collarín		0.6 €/unit

METODOLOGIA

Tabla 2. Resumen de los parámetros de referencia considerados en el estudio

Parámetro	Valor para condiciones de referencias
Pendiente del ramal (S_{0l})	0%
Pendiente de la tubería terciaria (S_{0m})	0%
Exponente de descarga del aspersor (x)	0.5
Coeficiente de variación de fabricación del aspersor CV_{qm}	0.03
Diámetro del ramal D_l	50 (46.4 mm) PVC 0.6 MPa
Nº de ramales en la subunidad	12
Precio del agua (P_w) (€ m^{-3})	0.10
Precio de la energía (En_c) (€ kWh^{-1})	0.10
Necesidades netas anuales del cultivo (N_n) (mm Año^{-1})	650
Marco de riego ($m \times m$)	18 x 18 y 15 x 15
Presión de trabajo (kPa)	300 y 350

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) y Uniformidad de distribución (UD)

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

$$UD = 100 q_{25}/q_a$$

n = número de aspersores en la subunidad ; q_i = descarga de cada aspersor en la subunidad

q_a = descarga media de todos los aspersores; q_{25} = descarga media del 25% de los aspersores de menor descarga

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

METODOLOGIA

Tabla 3. Valores de los diferentes parámetros relacionados con el riego por aspersión que pueden ser considerados para las condiciones de Castilla-La Mancha (Spain)

Marco de riego (m x m)	Presión (kPa)	CUC (%)	a (%)	ED _a (decimal)	Pef (decimal)	Ea (decimal)	ARa (mm h ⁻¹)	Diámetro de boquillas (mm)
18 x 18	300	85	80	0.84	0.92	0.77	5.90	4,8+2.4
	350	87	80	0.86	0.92	0.79	6.33	4,8+2.4
	350	87	80	0.86	0.92	0.79	7.30	5.2+2.4
15 x 15	300	86	80	0.85	0.92	0.78	6.33	4.0+2.04
	300	87	80	0.86	0.92	0.79	7.30	4,4+2.4
	350	90	80	0.89	0.92	0.82	8.00	4,4+2.4

Ejemplo de PRESUD para una subunidad de aspersión en cebolla

Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m , con Pms= 6,5 mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%

DATOS usados

Pendiente en terciaria	0 %	Entrada terciaria	Entre dos ramales	Uniformidad de aplicación	87 %
Pendiente en lateral	3%	Entrada ramal	Entre dos emisores	Area adecuadamente regada	80%
Entrada en terciaria	Punto intermedio	Distancia entre ramales	18 m	Rendimiento del grupo de bombeo	65 %
Entrada en lateral	Punto intermedio	Distancia entre aspersores	18 m	Coste del agua	0.1 € m ⁻³
Exponente de emisión (x) y CVgmf	X= 0.5 CVgmf = 5%	Distancia desde la entrada al 1º ramal	0	Precio del ramal	0.65 € m ⁻¹
Presión de trabajo	35 m	Distancia desde la entrada al 1º emisor	0	Precio de la terciaria	2,74 € m ⁻¹
Pluviometría (Pms)	6,5 mm h ⁻¹	Altura del aspersor	2 m	Precio de la energía	0.1 € kWh ⁻¹
Perdidas de carga singulares	15% de las de rozamiento	Nº de aspersores por ramal	14 m	Precio del aspersor	10 € ud ⁻¹
		Necesidades netas de riego del cultivo	5500 m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹	Precio del collarín	1,2 € ud ⁻¹

RESULTADOS



Ejemplo de PRESUD para una subunidad de aspersión en cebolla

Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con Pms= 6,5 mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%

Comenzar

Valores por defecto

Pendiente terciaria(%)

0

Pendiente ramal(%)

3

Alimentación terciaria1

☒ Punto intermedio

☐ Punto extremo

Alimentación terciaria2

☐ Pinchado en ramal

☒ Entre dos ramales

☐ Punto teórico

☐ Definir longitud

Tramo ascendente(m)

Alimentación ramales1

☒ Punto intermedio

☐ Punto extremo

Alimentación ramales2

☐ Pinchado en emisor

☒ Entre dos emisores

☐ Punto teórico

☐ Definir longitud

Tramo ascendente(m)

Datos de tuberías

Separación filas de aspersores(m)

18

CVqm (fabricante) (%)

3

Número de filas de aspersores

10

S0(m)

0

L0(m)

0

Separación aspersores (m)

18

Altura aspersores (m)

2

Nº de aspersores en el ramal

14

☐ Exportar resultados en CSV

Diámetro terciaria

☐ PVC40(37)PN6

☒ PVC125(118.8)PN6

☐ PVC50(46.8)PN6

☐ PVC140(133)PN6

☐ PVC63(59)PN6

☐ PVC160(152)PN6

☐ PVC75(70.4)PN6

☐ PVC180(171.2)PN6

☐ PVC90(84.4)PN6

☐ PVC200(190.2)PN6

☐ PVC110(104.6)PN6

☐ PVC250(237.6)PN6

☐ PVC315(299.6)PN6

Diámetro ramal

☐ PVC40(37)PN6

☒ PVC50(46.8)PN6

☐ PVC63(59)PN6

☐ PVC75(70.4)PN6

☐ PVC90(84.4)PN6

☐ PVC110(104.6)PN6

☐ PVC125(118.8)PN6

Datos del cultivo

Necesidades netas (m3/ha)

5500

CUD (%)

87

Area bien regada (%)

80

Emisores por planta

2

Datos de costes

Rendimiento motor-bomba(%)

65

Precio agua (€/m3)

0.1

Precio ramal (€/m)

0.65

Precio terciaria (€/m)

2.74

Precio energía (€/kWh)

0.1

Precio aspersor (€/ud)

10

Precio caña y collarín (€/ud)

1.2

Recalcular

Regulación

☒ Predim.

☐ SI

Presión (m)

(1m)

^

v

(0.1m)

^

v

RESULTADOS

Resultados

CUD(%)

97.93

UD(%)

97.15

UE(%)

92.76

CVq(%)

3.26

Long. ramal ascendente (m)

99

Long. ramal descendente (m)

135

Long.terciaria ascendente (m)

81

Long.terciaria descendente (m)

81

Vol. aplicado (m3/ha)

6920

Presión origen terciaria (m)

44.16

Caudal total (Vs)

81.94

Caudal medio emisores (Vh)

2107

Pluviometría media(mm/h)

6.5

Dif. caudales aspersores (%)

11.06

Dif.presión subunidad(%)

22.29

Superficie regada (ha)

4.536

Nº de aspersores

140

Costes (€/ha año)

Inversión

84.2

Agua

692.04

Energía

128.12

Total

904.36

Ramal medio

Ascendente

35.19

Descendente

35.47

Pmedia(m)

32.84

Pminima(m)

34.35

Datos del aspersor

Coef. aspersor (x)

0.5

Presión de trabajo aspersor (m)

35

pluviometría (mm/h)

6.5

k

355.979

q aspersor (Vh)

2106

Perd. de carga singulares(%)

15

Calcular

Figuras

The PRIMA programme is supported under Horizon 2020, the European Union's Framework Programme for Research and Innovation

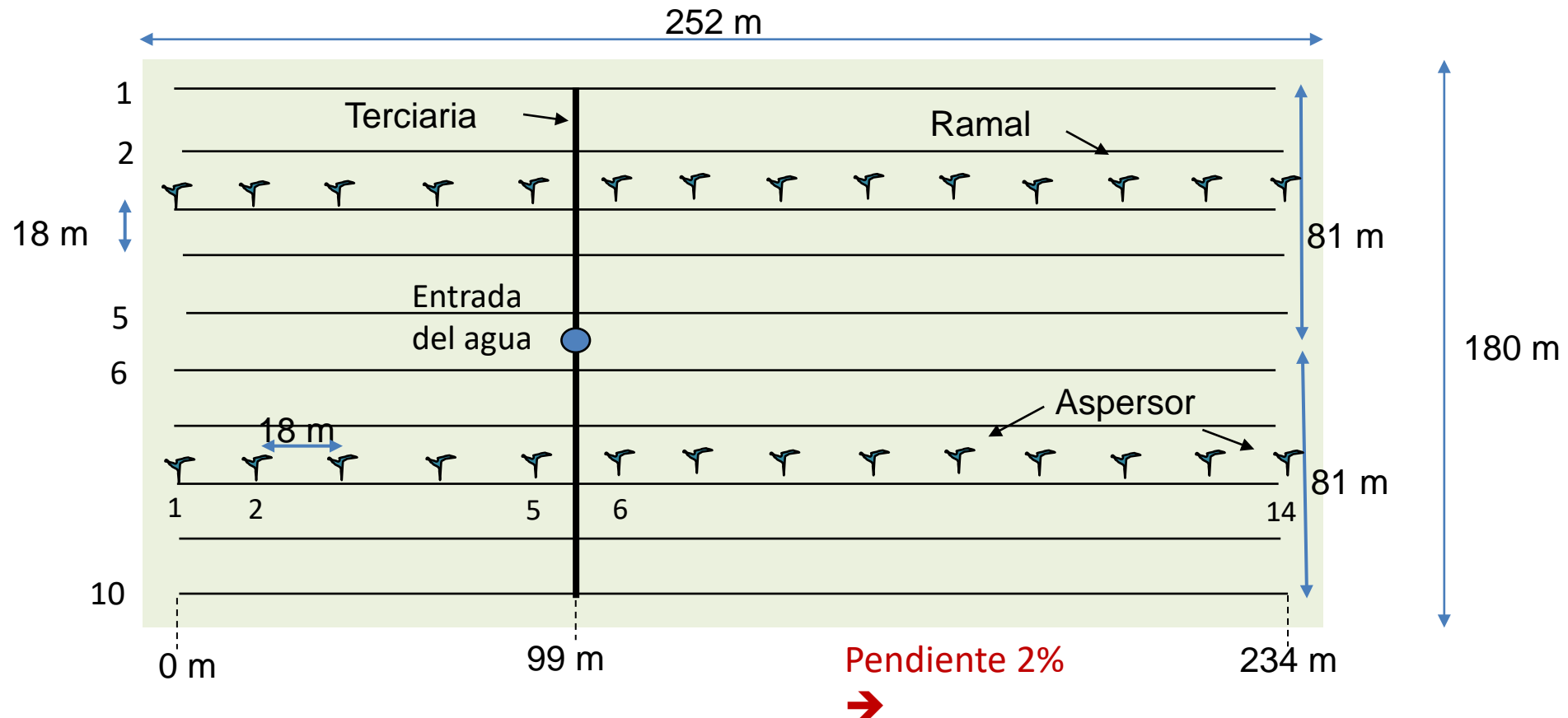
SUPR MED

PRIMA
IN THE MEDITERRANEAN AREA

Ejemplo de PRESUD para una subunidad de aspersión en cebolla

Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m , con $P_{ms} = 6,5$ mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%

RESULTADOS



Ejemplo de PRESUD para una subunidad de aspersión en cebolla

Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m , con Pms= 6,5 mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%

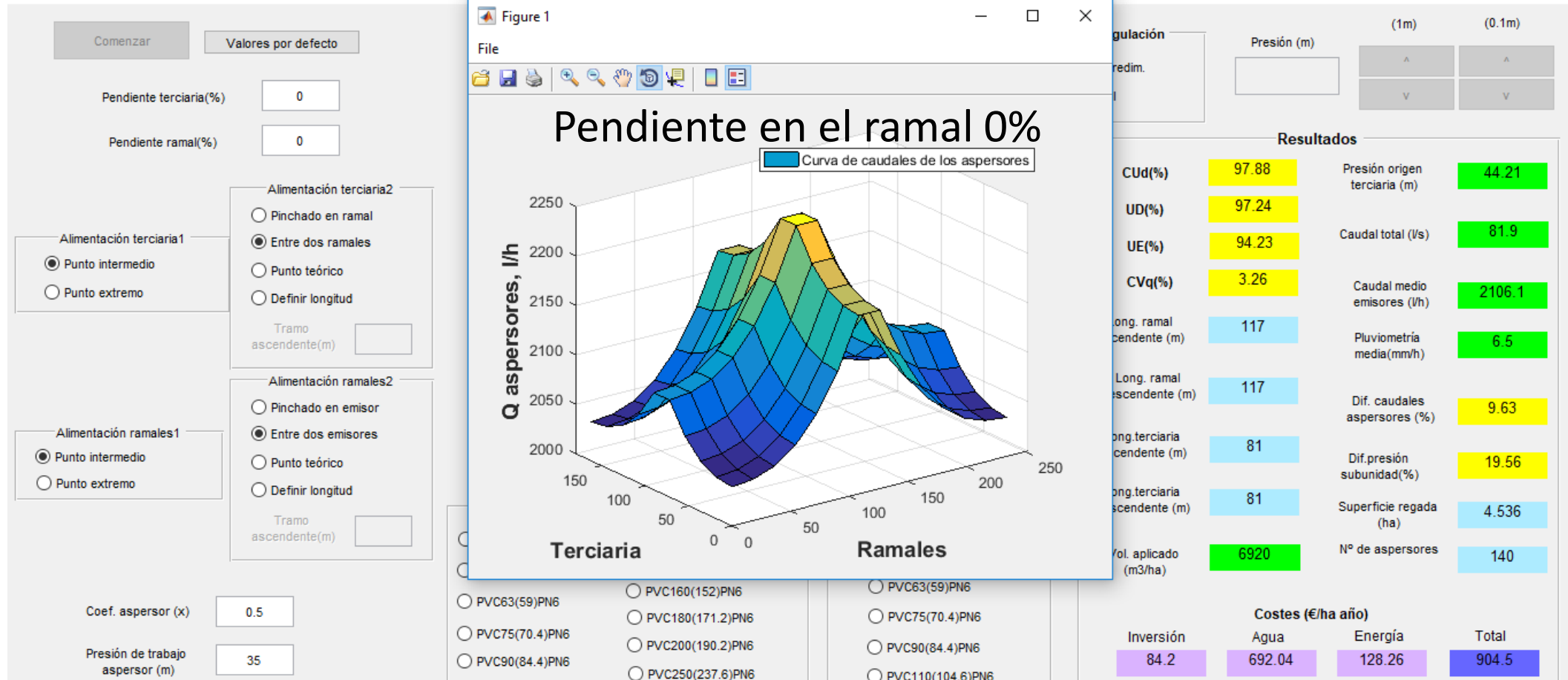
RESULTADOS

CUD	97.93 %	Presión entrada de la subunidad	44.16 m
UD	97.15%	Caudal entrada de la subunidad	81.94 L s ⁻¹
EU	92.76	Caudal medio descargado por asperoser	2107 L h ⁻¹
CV _q	3.26 %	Pluviometría media del sistema	6.6 mm h ⁻¹
Longitud del tramo ascendente del ramal	99 m	Maxima diferecnia de caudal descargado por los asperores en la subunidad	11.06 %
Longitud sel tramo descendente del ramal	135 m	Maxima diferencia de presión en los aspersores de la subunidad	22.29 %
Tramo ascendente terciaria	81 m	Área regada	4.54 ha
Tramo descendente terciaria	81 m	Nº de aspersores en la subunidad	140
Volumen de riego aplicado	6900	Coste total (CT)	904.36 € ha ⁻¹

Ejemplo de PRESUD para el diseño de una subunidad de riego por aspersión

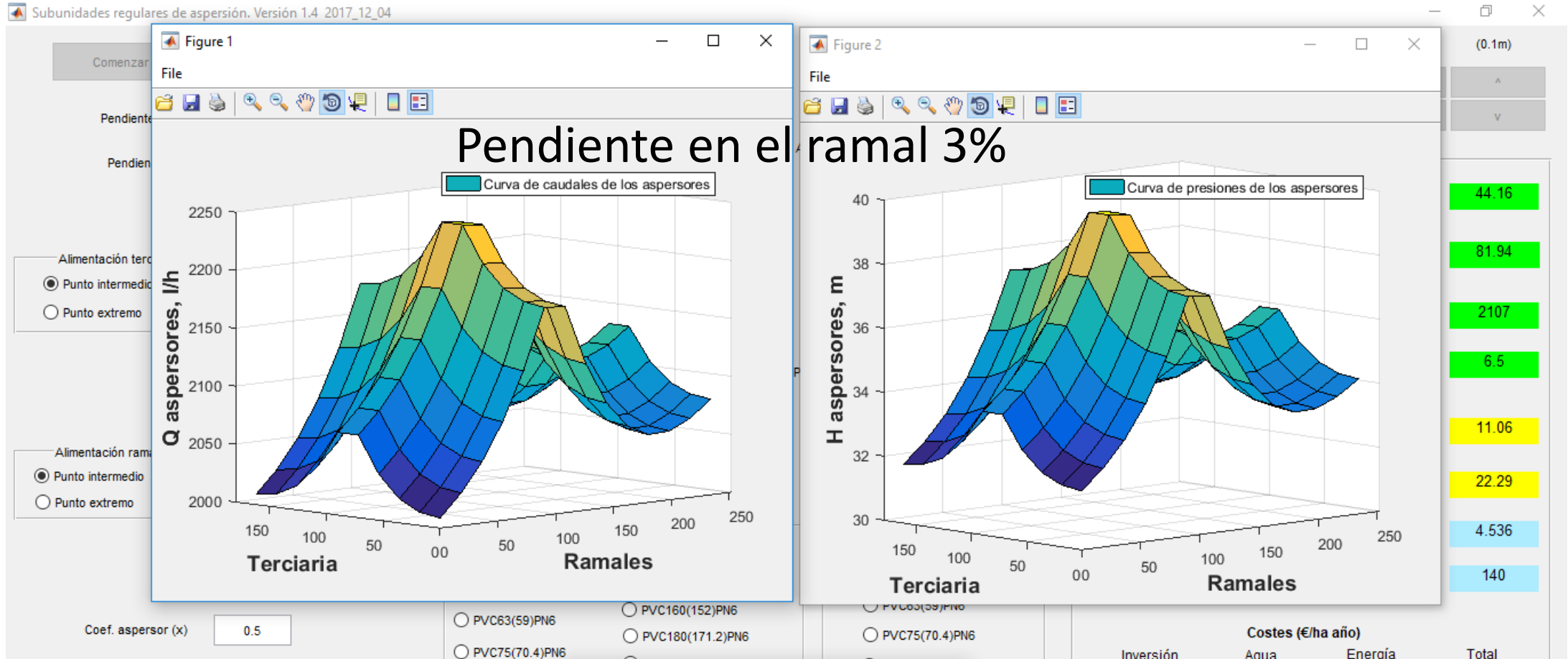
Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con $P_{ms} = 6,5$ mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%

Subunidades regulares de aspersión. Versión 1.4 2017_12_04



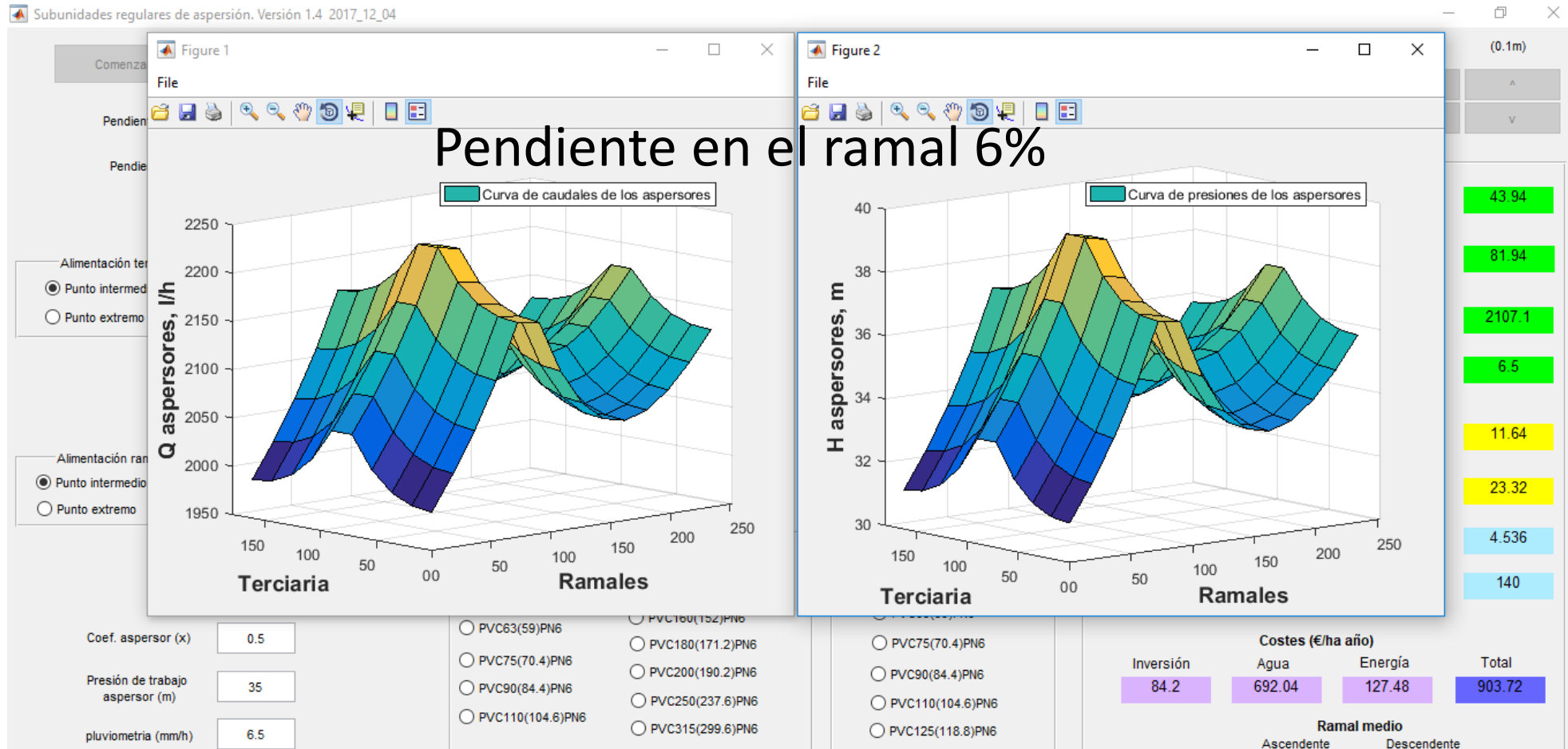
Ejemplo de PRESUD para una subunidad de aspersión en cebolla

Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con $P_{ms} = 6,5$ mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%

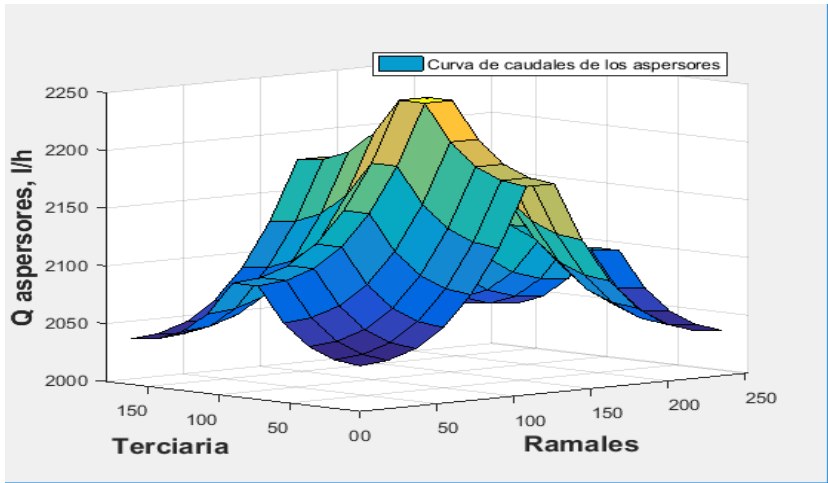


Ejemplo de PRESUD para el diseño de una subunidad de riego por aspersión

Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con $P_{ms} = 6,5$ mm/h, pendiente del lateral de 6% y de la terciaria del 0%



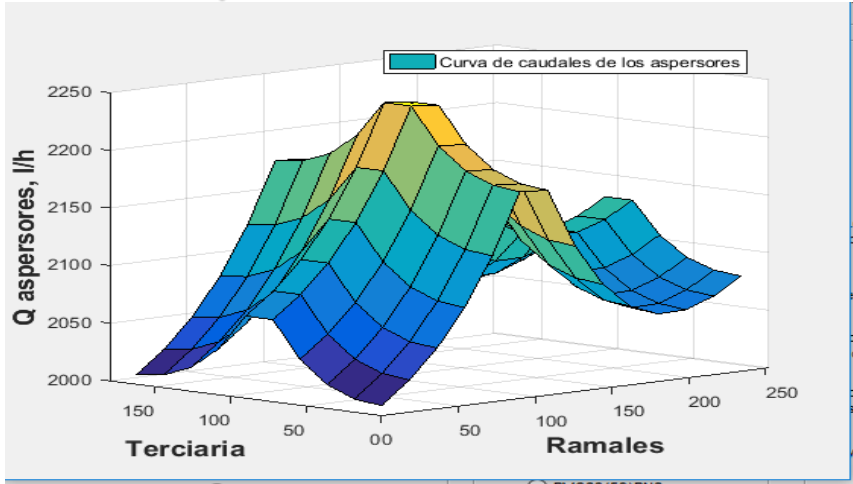
Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral, a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m , con Pms= 6,5 mm/h, pendiente de la terciaria del 0% y diferentes pendientes en el ramal



Pendiente en ramal 0%

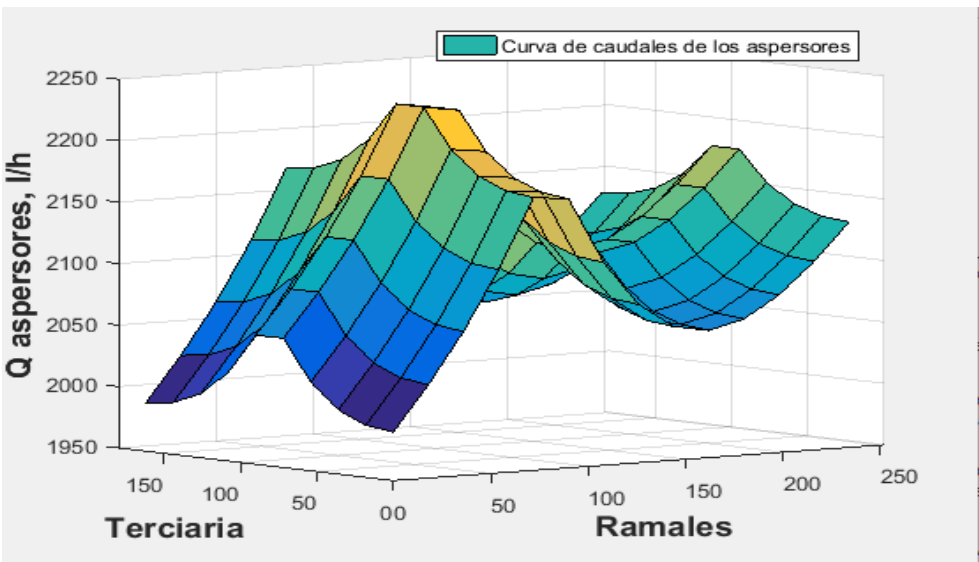
CU %	97.9
UE %	94.2
CV _q %	3.3
C _T (€ ha ⁻¹ year ⁻¹)	904.5

Distribución de caudales



Pendiente en ramal 3%

CU %	97.9
UE %	92.8
CV _q %	3.3
C _T (€ ha ⁻¹ year ⁻¹)	904.4



Pendiente en ramal 6%

CU %	97.9
UE %	91.9
CV _q %	3.3
C _T (€ ha ⁻¹ year ⁻¹)	903.7

Resultados para 18m x 18 m

Área Subunidad (ha)	Longitud de ramal(m)	Longitud de terciaria (m)		C_a (€ ha ⁻¹ Y ⁻¹)	H_0 (m)	EU (%)	Δq (%)	Δh (%)
	Diámetro de ramal(mm)	Diámetro terciaria (mm)						
	50 (46.4)	140 (131.8)	160 (150.6)					
Marco de riego 18m x 18m, $h_a = 300$ kPa y $AR_a = 5.9$ mm h ⁻¹								
1.56	198	54		86.4	35	95.9	4.2	8.4
2.33	198	90		87.8	35.1	95.9	4.4	8.8
3.11	198	126		88.6	35.4	95.7	4.7	9.5
3.89	198	162		89.0	35.8	95.5	5.4	10.8
4.67	198	198		89.3	36.3	95.3	6.3	12.8
5.44	198	234		89.5	37.1	94.9	7.7	15.5
6.22	198		270	94.0	36.6	95.1	6.9	14.0
7.00	198		306	94.2	37.2	94.8	8.1	16.4
7.78	198		342	94.3	38.0	94.4	9.5	19.4
Marco de riego 18m x 18m, $h_a = 350$ kPa and $AR_a = 6.3$ mm h ⁻¹								
1.56	198	54		86.4	40.4	96.0	4.1	8.2
2.33	198	90		87.8	40.5	95.9	4.2	8.5
3.11	198	126		88.6	40.8	95.8	4.6	9.3
3.89	198	162		89.0	41.2	95.6	5.2	10.5
4.67	198	198		89.3	41.8	95.3	6.2	12.5
5.44	198	234		89.5	42.7	95.0	7.5	15.1
6.22	198		270	94.0	42.1	95.2	6.7	13.6
7.00	198		306	94.2	42.8	94.8	7.9	16.0
7.78	198		342	94.3	43.7	94.4	9.3	18.9

Resultados para marco 15m x 15m (Carrión et al. 2013)

Área Subunidad (ha)	Longitud ramal (m)	Longitud terciaria (m)		C_T (€ ha ⁻¹ Y ⁻¹)	H_0 (m)	EU (%)	Δq (%)	Δh (%)
	Diámetro ramal (mm)	Diámetro externo (interno) terciaria (mm)						
	50 (46.4)	140 (131.8)	160 (150.6)					
Marco de riego 15m x 15m, $h_a = 350$ kPa and $AR_a = 8.0$ mm h ⁻¹								
1,26	195	45		110.9	40.3	95.9	4.3	8.6
1,89	195	75		112.4	40.5	95.9	4.4	8.9
2,52	195	105		113.2	40.7	95.8	4.7	9.6
3,15	195	135		113.6	41.1	95.6	5.3	10.7
3,78	195	165		113.9	41.6	95.4	6.1	12.3
4,41	195		195	114.1	42.3	95.5	7.3	14.8
5,04	195		225	114.3	41.9	95.3	6.6	13.3
5,67	195		255	114.4	42.5	95.0	7.6	15.4
6,3	195		285	114.5	43.3	94.6	8.8	17.9