

**11-Calcula para tu localidad la certeza de que la temperatura mínima no sea inferior a -13°C en un periodo de 20 años.**

En Belmez tenemos datos desde 1 Enero de 2001 a 31 de Diciembre de 2013 (13 años). La temperatura mínima más baja ocurre durante el período otoño-invierno así que vamos a buscar la temperatura más baja desde el 1 de Septiembre al 1 de Mayo, por lo que sólo tendremos 12 años. Los datos aparecen en la Tabla siguiente:

campana	Min T (°C)
2001/2002	-5
2002/2003	-5.5
2003/2004	-4.5
2004/2005	-8.7
2005/2006	-4.3
2006/2007	-3.6
2007/2008	-6.6
2008/2009	-6.5
2009/2010	-6.9
2010/2011	-5.4
2011/2012	-8.9
2012/2013	-3.9
Media	-5.82
Desv. típica	1.75

La certeza se calcula con la ec. 29.6:

$$C = \left\{ \exp \left[ -\exp \left( \frac{T_c - \beta}{\alpha} \right) \right] \right\}^{n_d}$$

donde  $\alpha = \sigma / 1.283 = 1.36^\circ\text{C}$  y  $\beta = \mu + 0.577 \alpha = -5.82 + 0.577 \cdot 1.36 = -5.03^\circ\text{C}$

$$C = \left\{ \exp \left[ -\exp \left( \frac{-13 - (-5.03)}{1.36} \right) \right] \right\}^{20} = 0.94$$

**12-Calcula para tu localidad la fecha más temprana de helada en el otoño con una probabilidad del 5% (la helada más temprana en 20 años).**

En la Tabla siguiente se muestran las fechas de la primera helada del otoño (expresada en días desde el 1 de Septiembre) para Belmez. La media y la desviación típica se indican en la parte inferior.

AÑO	Primera helada de otoño Días desde 1 Septiembre
2001	72
2002	79
2003	93
2004	78
2005	67
2006	105
2007	75
2008	76
2009	85
2010	94
2011	90
2012	92
2013	78
Media	83.38
Desviación típica	10.77

Ahora usamos la ec.. 29.3 de Villalobos y Fereres (2017):

$$P(\text{antes de } t) = P_y \cdot P \left[ z < \frac{t - m_{FF}}{S_{FF}} \right]$$

Como hay heladas todos los años  $P_y=1$ . Resolvemos entonces la ecuación:

$$0.05 = P \left[ z < \frac{t - m_{FF}}{S_{FF}} \right]$$

La probabilidad es calculada usando:  $P(z \leq x) = 0.5 \left( 1 \pm \sqrt{1 - \exp\left(\frac{-2x^2}{\pi}\right)} \right)$

Tomamos la raíz negativa porque  $x < 0$ . Deducimos entonces  $x = -1.615$

Como  $x = (t - m_{FF}) / S_{FF}$  deducimos  $t = 66$  días desde 1 Septiembre, que es el 5 de Noviembre.

**13-Calcula para tu localidad la ET máxima que debe usarse para diseñar el sistema de riego. Ten en cuenta que la rotación podría incluir cultivos de verano como maíz o algodón.**

La  $ET_0$  máxima en nuestra localidad (Belmez) ocurre en Julio (7.7 mm/d). En ese mes los cultivos de verano ya han alcanzado cobertura máxima por lo que la expansión ya no limita la productividad. En este caso adoptamos  $AD=0.67$  para esos cultivos.

En un suelo de textura media tomamos  $PAW=120$  mm/m. La profundidad radical máxima se ve limitada por la profundidad del suelo (1 m). Por lo tanto el SWD crítico será:

$$SWD_c = 0.67 \times 120 \times 1 = 80 \text{ mm}$$

Esta cantidad debería ser la dosis típica de riego. Por otra parte el  $K_c$  máximo es 1.2 para cultivos de verano, cuando  $ET_0=7.7$  mm/d, por lo que la  $ET =9.2$  mm/d.

El clima de nuestra localidad es semi-árido (clima tipo 1 en sección 10.6 de Villalobos y Fereres, 2017) por lo que  $C=1.21$ .

Por tanto

$$\frac{ET_{75}}{ET_{avg}} = C - 0.06 (C - 1) \sqrt{I_a} = 1.21 - 0.06 (1.21 - 1) \sqrt{80} = 1.097$$

Y resultad:

$$ET_{75} = 1.097 ET_{avg} = 10.1 \text{ mm/d}$$

**14-Calcula para tu localidad la ET de un cultivo de tomate en Mayo con cobertura completa y dentro de un invernadero con cubierta de polietileno (transmisividad para radiación solar 0.7).**

Calculamos primero la ET de referencia dentro del invernadero:

$$ET_0 = \frac{1}{2.45} 0.68 \frac{\Delta}{\Delta+\gamma} R_{si}$$

Donde  $R_{si}$  ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) es la radiación solar dentro del invernadero, que puede ser estimada en función de la radiación solar medida fuera si la transmisividad de la cubierta ( $\tau_{gc}$ ) es conocida ( $R_{si} = \tau_{gc} R_s$ ). En Belmez en Mayo tenemos un promedio de  $R_s = 24.9 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$  por lo que

$$R_{si} = 0.7 \times R_s = 17.4 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$$

La temperatura media en Mayo es  $17.3^\circ\text{C}$  por lo que  $\Delta = 0.12 \text{ kPa/K}$ . Por tanto:

$$ET_0 = \frac{1}{2.45} 0.68 \frac{0.12}{0.12+0.067} 17.4 = 3.1 \text{ mm/d}$$

El tomate al aire libre tiene  $K_c$  máximo de 1.2. En un invernadero el coeficiente de cultivo aumenta un 10-20% por lo que adoptamos un incremento del 15% y entonces

$$K_c = 1.2 \times 1.15 = 1.38.$$

Por último:

$$ET = ET_0 K_c = 3.1 \times 1.38 = 4.3 \text{ mm/d}$$

**15-Calcula en tu localidad cuál sería la temperatura máxima dentro de un invernadero de polietileno (transmisividad para radiación solar 0.7). El invernadero tiene una altura de 3 m y esta ocupado por un cultivo de tomate con cobertura completa. El aire se renueva 25 veces por hora.**

Usaremos la ec.. 28.12 de Villalobos y Fereres (2017):

$$T_{in} - T_{out} = \frac{(1 - k_L) \Delta + \gamma}{\Delta + \gamma} \frac{3600}{\rho C_p} \frac{k_{RN} R_{Si}}{h_g RR}$$

La temperatura máxima en Mayo es 24.9°C y la radiación solar en días despejados es 29.8 MJ/m<sup>2</sup>/d. La radiación solar diaria en el interior será:

$$R_{s\ in} = 0.7 \times R_s = 20.86 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$$

La radiación solar a la hora en que ocurre la temperatura máxima será (ec. 28.8, Villalobos y Fereres, 2016):

$$R_{sx\ in} = 0.84 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{10^6 R_{s\ in}}{3600 N} = 0.84 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{10^6 \cdot 20.86}{3600 \cdot 14.1} = 542 \text{ W/m}^2$$

Con una temperatura de 24.9°C,  $\Delta=0.19 \text{ kPa/K}$

Como la presión de vapor en Mayo es 0.89 kPa y con una temperatura de 24.9°C,  $\rho C_p = 1207 \text{ J/m}^3/\text{K}$

$$k_{RN}=0.7, k_L=1$$

$$T_{in} - T_{out} = \frac{0.067}{0.19 + 0.067} \frac{3600}{1207} \frac{0.7 \cdot 542}{3 \cdot 25} = 3.9 \text{ K}$$

Por lo que la temperatura máxima dentro del invernadero será:

$$T_{in} = 3.9 + 24.9 = 28.8 \text{ °C}$$

**16-Calcula la Necesidad de Lavado óptima (para maximizar la productividad del agua de riego) para los dos cultivos.**

Usaremos la ec. 22.13 de Villalobos y Fereres (2017):

$$LR_{opt} = \sqrt{\frac{0.2 B' EC_w}{1 + B'(EC_{eu} - 0.2 EC_w)}}$$

Que es válida cuando  $LR_{opt}$  es menor que la LR para la que se alcanza el máximo rendimiento:

$$\frac{1}{5 \frac{EC_{eu}}{EC_w} - 1}$$

Donde  $B' = B_s/100$ .

a) Puerro.

La Tabla 22.1 no incluye el puerro. Adoptaremos los parámetros de una especie próxima, la cebolla. El umbral de  $EC_e$  es 1.2 dS/m y la pendiente es  $B_s = 16.1 \text{ \%}/(\text{dS/m})$ , por lo que  $B' = 0.161$ .

La LR a la que se alcanza el máximo rendimiento es  $\frac{1}{5 \frac{1.2}{1.5} - 1} = 0.33$

$$LR_{opt} = \sqrt{\frac{0.2 \cdot 0.161 \cdot 1.5}{1 + 0.161 (1.2 - 0.2 \cdot 1.5)}} = 0.20$$

Que es el óptimo correcto ya que es menor que 0.33.

b) Pimiento.

Según el Apéndice 22.1 el umbral de  $EC_e$  es 1.5 dS/m y la pendiente es  $B_s = 14 \text{ \%}/(\text{dS/m})$  ( $B' = 0.14$ ).

La LR a la que se alcanza el máximo rendimiento es  $\frac{1}{5 \frac{1.5}{1.5} - 1} = 0.25$

$$LR_{opt} = \sqrt{\frac{0.2 \cdot 0.14 \cdot 1.5}{1 + 0.14 (1.5 - 0.2 \cdot 1.5)}} = 0.19$$

Que es el óptimo correcto ya que es menor que 0.25.

**17-Si se establece un cortavientos con dirección Este-Oeste altura de 3 m en tu localidad, ¿Cuál será la anchura de la sombra al mediodía solar del 21 de Diciembre y del 21 de Junio?**

Nuestra localidad es Belmez (España) que tiene latitud  $38.27^{\circ}\text{N}$ .

El ángulo cenital viene dado por:

$$\cos \theta = \sin \lambda_s \sin \delta_s + \cos \lambda_s \cos \delta_s \cos h_a$$

El 21 de Diciembre la declinación solar es  $-23.45^{\circ}$  por lo que al mediodía solar ( $h_a=0$ ):

$$\cos \theta = \sin(38.27) \sin(-23.45) + \cos(38.27) \cos(-23.45) = 0.47$$

Por tanto  $\theta=1.08$  rad ( $61.7^{\circ}$ ).

El ancho de la sombra será  $3 \times \text{tg}(61.7)=5.58$  m

El 21 de Junio la declinación solar es  $23.45^{\circ}$  por lo que al mediodía solar ( $h_a=0$ ):

$$\cos \theta = \sin(38.27) \sin(23.45) + \cos(38.27) \cos(23.45) = 0.97$$

Por tanto  $\theta=0.26$  rad ( $14.8^{\circ}$ ).

El ancho de la sombra será  $3 \times \text{tg}(14.8)=0.79$  m

Se podría haber calculado de forma más sencilla teniendo en cuenta que al mediodía solar:

$$\cos \theta = \cos(\lambda_s - \delta_s) \quad \text{por lo que } \theta = \lambda_s - \delta_s$$

21 Diciembre,  $\delta_s = -23.45^{\circ}$  por lo que  $\theta = 38.27 + 23.45 = 61.7^{\circ}$

21 Junio,  $\delta_s = 23.45^{\circ}$  por lo que  $\theta = 38.27 - 23.45 = 14.8^{\circ}$

**18-Calcula las exportaciones de azufre de tu rotación. Modifica el programa de fertilización para compensar esas exportaciones. Asume que el rendimiento medio de tus cultivos es el 80% del valor calculado en 3c.**

Exportaciones de azufre:

Puerro

$$\text{Rendimiento} = 0.8 \times 819 \text{ g m}^{-2} = 655 \text{ g m}^{-2} = 6550 \text{ kg ha}^{-1}$$

Buscamos entonces la concentración de S en puerro

([http://www.uco.es/fitotecnia/contents/sulfur\\_concentration.pdf](http://www.uco.es/fitotecnia/contents/sulfur_concentration.pdf)) : 0.8% S

Por lo que el S exportado será:

$$\text{S} : 6550 \text{ kg ha}^{-1} \times 0.008 \text{ kg S/kg materia seca} = 52.4 \text{ kg S ha}^{-1}$$

Pimiento

$$\text{Rendimiento} = 0.8 \times 797 \text{ g m}^{-2} = 637.6 \text{ g m}^{-2} = 6376 \text{ kg ha}^{-1}$$

Buscamos entonces la concentración de S en pimiento

([http://www.uco.es/fitotecnia/contents/sulfur\\_concentration.pdf](http://www.uco.es/fitotecnia/contents/sulfur_concentration.pdf)) : 0.24% S

Por lo que el S exportado será:

$$\text{S} : 6376 \text{ kg ha}^{-1} \times 0.0024 \text{ kg S/kg dm} = 15.3 \text{ kg S ha}^{-1}$$

La exportación media de S de la rotación será 33.9 kg S/ha/año.

En la sección 4 hemos calculado el programa de fertilización con P y K de la rotación:

82.5 kg superfosfato triple/ha/año y 222.5 kg cloruro potásico /ha/año.

Para compensar las exportaciones de S tenemos varias alternativas:

a) usar superfosfato en lugar de superfosfato triple.



$$82.5 \text{ kg ST} \times 0.2 \text{ kg P/kg ST} = 16.5 \text{ kg P}$$

$$16.5 \text{ kg P} / 0.08 \text{ kg P/kg superfosfato} = 206 \text{ kg superfosfato}$$

$$206 \text{ kg superfosfato} \times 0.12 \text{ kg S/kg superfosfato} = 24.75 \text{ kg S}$$

b) usar sulfato potásico en lugar de cloruro potásico

$$222.5 \text{ kg cloruro potásico} \times 0.5 \text{ kg K/kg cloruro potásico} = 111.3 \text{ kg K}$$

$$111.3 \text{ kg K} / .415 \text{ kg K/kg sulfato potásico} = 268 \text{ kg sulfato potásico}$$

$$268 \text{ kg sulfato potásico} \times 0.17 \text{ kg S/kg sulfato potásico} = 45.6 \text{ kg S}$$

c) usar sulfato amónico (21%N, 24%S) o nitrosulfato amónico (26% N,12%S) en lugar de urea.

Necesitamos 138 kg N/ha /año (sección 4.3).

$$\text{sulfato amónico } 138 \text{ kg N/ha} / 0.21 \text{ kg N/kg sulfato amónico} = 657 \text{ kg sulfato amónico /ha}$$

$$657 \text{ kg sulfato amónico /ha} \times 0.24 \text{ kg S/kg sulfato amónico} = 158 \text{ kg S/ha}$$

nitrosulfato amónico

$$138 \text{ kg N/ha} / 0.26 \text{ kg N/kg nitrosulfato amónico} = 531 \text{ kg nitrosulfato amónico /ha}$$

$$531 \text{ kg nitrosulfato amónico /ha} \times 0.12 \text{ kg S/kg nitrosulfato amónico} = 64 \text{ kg S/ha}$$

Comparando las distintas alternativas vemos que la opción b (sulfato potásico) es el que se ajusta más al objetivo de compensar las exportaciones de S.

**19-Calcula la transpiración de un ciprés aislado con altura de copa 6 m y anchura de copa 1 m en tu localidad durante el mes de Julio.**

En Belmez durante Julio la  $ET_0$  media es 7.7 mm/d. Asumimos que la copa es un esferoide con longitud vertical  $h=6$  m y radio horizontal 0.5 m. Primero calculamos el área proyectada por la copa para 1 rad:

$$PEA_1 = \pi r^2 \left( a_p + b_p \frac{h}{r} \right) = \pi 0.5^2 \left( 0.3 + 0.35 \frac{6}{0.5} \right) = 3.53 m^2$$

Para esferoides  $a_p=0.3$ ,  $b_p=0.35$ . Ahora calculamos la fracción de radiación interceptada (no transmitida) con las ecuaciones 3.25 y 3.26. Asumimos densidad de área foliar  $2 m^2/m^3$  (medio-alto). Como es un esferoide:  $c_p=0.64$ ,  $d_p=0.026$

$$c_1 = 1 - t_{c1} = 1 - \exp[-c_p A + d_p A^2] = 1 - \exp[-0.64 \cdot 0.667 + 0.026 \cdot 0.667^2] \\ = 0.34$$

$$A = \frac{\mu \pi r^3 h}{2 PEA_1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.5^3 \cdot 6}{2 \cdot 3.53} = 0.667$$

La radiación solar media en Julio es  $29.9 MJ/m^2/d$  y la radiación extraterrestre media es  $40.4 MJ/m^2/d$ , por lo que:

$$\alpha' = 2 \frac{R_s}{R_A} - 0.5 = 2 \frac{29.9}{40.4} - 0.5 = 0.98$$

La duración del día es 14.3 horas, por lo que:

$$RR_i = c_1 PEA_1 \left[ 1 - \alpha' + \alpha' \left( 1.84 - \frac{0.75 R_A}{3.6 N_s} \right) \right] \\ = 0.34 \cdot 3.53 \left[ 1 - 0.98 + 0.98 \left( 1.84 - \frac{0.75 \cdot 40.4}{3.6 \cdot 14.3} \right) \right] = 1.50 m^2$$

$$E_{p \text{ tree}} = RR_i K_{tf} ET_0 = 1.50 \cdot 1.1 \cdot 7.7 = 12.7 L \text{ dia}^{-1}$$

Hemos tomado  $K_{tf}=1.1$ , que es el valor de olivo (Tabla 9.1), ya que los cipreses también se adaptan bien a condiciones mediterráneas.

**20-Calcula la eficiencia óptima de riego en la campaña 2012/2013 para tus cultivos considerando precios del agua de 0.05 €/m<sup>3</sup> o 0.50 €/m<sup>3</sup>. Asume que el rendimiento medio de tus cultivos con buen suministro de agua es el 80% de los valores calculados en 3c. El coeficiente de uniformidad del riego es 0.80. Asume que la evaporación desde el suelo es el 25% de la ET.**

Después de buscar precios de los productos percibidos por el agricultor encontramos valores de 0.25 €/kg para pimiento y 0.255 €/kg para puerro. Usando los valores de contenido de materia seca (Apéndice 24.1) podemos calcular los precios por kg de materia seca de producto:

$$0.255 / 0.17 = 1.5 \text{ €/kg (puerro)} \quad 0.25 / 0.125 = 2 \text{ €/kg (pimiento)}$$

Rendimientos máximos (materia seca):

$$\text{Rendimiento} = 0.8 \times 819 \text{ g m}^{-2} = 655 \text{ g m}^{-2} = 6550 \text{ kg ha}^{-1} \text{ (puerro)}$$

$$\text{Rendimiento} = 0.8 \times 797 \text{ g m}^{-2} = 637.6 \text{ g m}^{-2} = 6376 \text{ kg ha}^{-1} \text{ (pimiento)}$$

En la sección 5 hemos calculado la ET de los dos cultivos. Los valores estacionales son 398 mm (puerro) y 619 mm (pimiento). Deducimos entonces  $E_s = 0.25 \text{ ET} = 99.5 \text{ mm}$  (puerro) o 155 mm (pimiento). Aplicamos ahora la ecuación 21.9 (capítulo 21):

$$\frac{IWR_n}{I_{opt}} = \sqrt{\frac{10 Q_I (ET - E_s) 8 (1 - U_{cc})}{P_H Y_x} + (2 U_{cc} - 1)^2}$$

Para puerro, y  $Q_I = 0.05 \text{ €/m}^3$

$$\frac{IWR_n}{I_{opt}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 0.05 (398 - 99.5) 8 (1 - 0.80)}{1.5 \cdot 6500} + (2 \cdot 0.8 - 1)^2} = 0.62$$

Para puerro, y  $Q_I = 0.5 \text{ €/m}^3$ ,  $IWR_n/I_{opt} = 0.78$ .

Para pimiento y  $Q_I = 0.05 \text{ €/m}^3$ ,  $IWR_n/I_{opt} = 0.62$ .

Para pimiento y  $Q_I = 0.5 \text{ €/m}^3$ ,  $IWR_n/I_{opt} = 0.81$ .

En la sección 5 hemos calculado la necesidad neta de riego para puerro (116 mm) y pimiento (504 mm) en la campaña 2012/2013. De acuerdo con nuestros cálculos con agua barata deberíamos aplicar una dosis bruta de 192 mm al puerro y 813 mm a pimiento. Con agua cara las dosis brutas serían 153 (puerro) y 622 mm (pimiento).

**21- En la Tabla de más abajo se indican los precios de distintos fertilizantes. A) Calcula la mejor combinación de fertilizantes para tu rotación asumiendo que en fondo se aplica aproximadamente el 30% del N y todo el P y el K. B) Repite los cálculos si quieres compensar las exportaciones de azufre.**

	precio €/t
Superfosfato	264
Sulfato amónico	289
Cloruro potásico	359
Urea	378
Superfosfato triple (TSP)	403
Fosfato monoamónico (MAP)	481
Fosfato diamónico (DAP)	485
Sulfato potásico	988
Nitrato potásico	999

En la sección 18 hemos calculado una exportación media de S de 33.9 kg S/ha/año. En la sección 5 hemos estimado las necesidades medias de P y K (16.5 kg P/ha/año, 111 kg K/ha/año). La necesidades de N-fertilizante son 130 kg N/ha (puerro) y 145 kg N/ha (pimiento).

A) En general la opción más económica se consigue con fertilizantes simples. Sin embargo, para P, el DAP es competitivo con el TSP, ya que incluye también N. Esto se muestraIn general the most economic option is based on straight fertilizers. For P, however, DAP is competitive with TSP, as it includes also some N. Esto se muestra en la Tabla siguiente:

Opción		Aplicado (kg/ha)	precio	coste (€/ha)	total (€/ha)
1	Fosfato diamónico (DAP)	82.5	545	45	
1	Urea	266.6	425	113	
1	Cloruro potásico	222.0	403	89	248
2	Superfosfato triple (TSP)	82.5	453	37	
2	Urea	298.9	425	127	
2	Cloruro potásico	222.0	403	89	254

B) Considerando la exportación de azufre

En la Tabla siguiente se muestran diferentes combinaciones de 3-4 fertilizantes. La más cara es la que incluye el sulfato potásico (opción 3). La más barata incluye sulfato amónico, DAP, urea y cloruro potásico. En este caso toda la urea se aplicaría en cobertera y el resto se aplicaría en fondo. Nótese que usar DAP (opción 4) es ligeramente mejor que usar TSP (opción 2).

Opción		Aplicado (kg/ha)	precio	coste (€/ha)	total (€/ha)
1	Superfosfato	282.5	297	84	
1	Urea	298.9	425	127	
1	Cloruro potásico	222.0	403	89	300
2	Sulfato amónico	141.3	325	46	
2	Urea	234.4	425	100	
2	Cloruro potásico	222.0	403	89	
2	Superfosfato triple (TSP)	82.5	453	37	272
3	Sulfato potásico	199.4	1110	221	
3	Cloruro potásico	56.0	403	23	
3	Urea	298.9	425	127	
3	Superfosfato triple (TSP)	82.5	453	37	408
4	Sulfato amónico	141.3	325	46	
4	Fosfato diamónico (DAP)	82.5	545	45	
4	Urea	202.1	425	86	
4	Cloruro potásico	222.0	403	89	266

**22-El coste del bombeo para riego (energía + amortización) es 0.10 €/m<sup>3</sup>. Te han hecho dos ofertas de agua de riego. El agua A tiene EC<sub>w</sub>=1 dS/m y precio 0.10 €/m<sup>3</sup>. El agua B tiene EC<sub>w</sub>=1.5 dS/m y precio 0.05 €/m<sup>3</sup>. Elige la mejor opción para tus cultivos. Select the best option for your crops. Asume que el rendimiento medio de tus cultivos con buen suministro de agua es el 80% de los valores calculados en 3c.**

Después de buscar precios de los productos percibidos por el agricultor encontramos valores de 0.25 €/kg para pimiento y 0.255 €/kg para puerro. Usando los valores de contenido de materia seca (Apéndice 24.1) podemos calcular los precios por kg de materia seca de producto:

$$0.255 / 0.17 = 1.5 \text{ €/kg (puerro)} \qquad 0.25 / 0.125 = 2 \text{ €/kg (pimiento)}$$

Rendimientos máximos (materia seca):

$$\text{Rendimiento} = 0.8 \times 819 \text{ g m}^{-2} = 655 \text{ g m}^{-2} = 6550 \text{ kg ha}^{-1} \text{ (puerro)}$$

$$\text{Rendimiento} = 0.8 \times 797 \text{ g m}^{-2} = 637.6 \text{ g m}^{-2} = 6376 \text{ kg ha}^{-1} \text{ (pimiento)}$$

Tenemos que maximizar la siguiente función:

$$f(I) = PP Y_x \left\{ 1 - B' \left[ EC_w \frac{2I - IWR_n}{5(I - IWR_n)} - EC_{eu} \right] \right\} - qI$$

Donde B'=B<sub>s</sub>/100, PP es el precio de venta del producto (€/kg), Y<sub>x</sub> es el rendimiento máximo (kg/ha), I es riego aplicado (m<sup>3</sup>/ha), IWR<sub>n</sub> es necesidad neta de agua (m<sup>3</sup>/ha), q es el precio del agua de riego (€/m<sup>3</sup>). La función se maximiza cuando:

$$I_{opt} = IWR_n + \sqrt{\frac{PP \cdot Y_x \cdot B' \cdot EC_w \cdot IWR_n}{5q}} < \frac{IWR_n \left( 5 \frac{EC_{eu}}{EC_w} - 1 \right)}{5 \frac{EC_{eu}}{EC_w} - 2}$$

Como indica la desigualdad la solución es válida cuando I está por debajo del valor al que se alcanza el rendimiento máximo. Ahora, aplicando la ecuación obtenemos los siguientes resultados:

Agua	EC <sub>w</sub>	Precio+coste	Cultivo	I <sub>opt</sub>	f max
	dS/m	€/m <sup>3</sup>		m <sup>3</sup> /ha	€/ha
A	1.5	0.15	Puerro	3068	9945
A	1.5	0.15	Pimiento	9282	12330
B	1	0.2	Puerro	2509	10234
B	1	0.2	Pimiento	8040	12507

Para ambos cultivos conseguimos un beneficio mayor usando el agua B.

**23-Calcula la frecuencia de días con condiciones adecuadas para aplicar productos fitosanitarios en tu localidad.**

**Considera que la velocidad  $v$  del viento media durante el período diurno se puede calcular como:**

$$U_d = \frac{2}{N/24 + 1} U_{avg}$$

**Donde  $U_{avg}$  es la velocidad media diaria (24-h) y N es la duración del día (horas).**

En el apartado 31.4 (Villalobos y Fereres, 2017) se indica que no deben aplicarse productos sanitarios cuando haya precipitación, cuando la velocidad del viento exceda de 2.5 m/s o cuando la temperatura sea superior a 32-35°C. Para los cálculos vamos a considerar como días no adecuados aquellos en los que haya precipitación, o con velocidad de viento en el período diurno mayor a 2.5 m/s o cuando la temperatura máxima exceda los 35°C.

Realizamos los cálculos para nuestra localidad (Belmez) con Excel 2007 y obtenemos las siguientes frecuencias mensuales de días con condiciones favorables para los tratamientos fitosanitarios.

Mes	Frecuencia
1	0.24
2	0.27
3	0.28
4	0.34
5	0.46
6	0.40
7	0.16
8	0.21
9	0.48
10	0.40
11	0.28
12	0.23

## 24-Calcula el Índice de Lixiviación en tu localidad

El LI se calcula como el producto del Índice de Percolación (PI) y el Índice Estacional (SI) (Villalobos y Fereres, 2017):

$$LI = PI \cdot SI$$

El Índice de Percolación se calcula como:

$$PI = \frac{(P - 10160/CN' + 101.6)^2}{P + 15240/CN' - 152.4} \quad \text{si } P - 10160/CN' + 101.6 > 0$$

Donde P es la precipitación anual (mm) y CN' es un número de curva modificado con valores de 28, 21, 17 y 15 para los grupos hidrológicos A, B, C and D, respectivamente (capítulo 8). Si la condición no se cumple entonces PI=0.

Nuestro suelo es de textura media por lo que el grupo hidrológico es B y CN'=21. En nuestra localidad (Belmez) la precipitación anual media es 533 mm. Por tanto:

$$PI = \frac{(533 - 10160/21 + 101.6)^2}{533 + 15240/21 - 152.4} = 20.55 \text{ mm}$$

El Índice Estacional representa la concentración de la lluvia durante el período de invierno:

$$SI = \left( \frac{2 P_w}{P} \right)^{1/3}$$

Donde P<sub>w</sub> es la precipitación total (mm) durante otoño e invierno (1 Octubre-31 Marzo en latitudes norte). En Belmez P<sub>w</sub>=376.6 mm. Por lo tanto:

$$SI = \left( \frac{2 \cdot 376.6}{533} \right)^{1/3} = 1.12$$

Y entonces LI = PI x SI = 20.55 x 1.12 = 23 mm, que es un valor bajo.



**25-Calcula la erosión del suelo de tu rotación. Asume que la pendiente es 2% y que la longitud de la pendiente es 100 m. Las labores se realizan en la dirección de la pendiente. Ten en cuenta que en Andalucía la erosividad de la lluvia se puede calcular como**

$$R_1 = 1.26 \Sigma(P_i^2/P) - 25$$

**(Villalobos and Testi, no publicado)**

**donde  $P_i$  es la precipitación mensual media del mes  $i$  y  $P$  es la precipitación total anual.**

En Belmez  $\Sigma(P_i^2/P)=58.2$  por lo que  $R_1=48$

En la Tabla 18.1 (Villalobos y Fereres, 2017) aparecen los valores de  $K_1$ . Para un suelo franco arenoso con baja materia orgánica  $K_1=0.31$ .

Con pendiente 2%  $NT=0.3$  (Table 18.1) por lo que:

$$L_1 S_1 = [0.065 + 0.0456 p_t + 0.006541 p_t^2] (1_t/22.1)^{NT} = 0.29$$

En la Tabla 18.1 también encontramos el valor de  $C_1$ . Para laboreo con vertedera encontramos valores entre 0.35 y 0.39. Tomamos el valor medio 0.37. Por último con laboreo en la dirección de la pendiente  $P_1=1$  (Tabla 18.1).

La erosión de suelo será entonces:

$$SLE = R_1 K_1 L_1 S_1 C_1 P_1 = 48 \times 0.31 \times 0.29 \times 0.37 \times 1.0 = 1.6 \text{ t/ha/ año}$$

De acuerdo con la Tabla 18.2 este valor de erosión entra en la categoría de muy baja (tolerable).

**26-Calcula la escorrentía superficial para el primer día con una precipitación mayor de 30 mm en tu localidad empezando desde el primer año de datos meteorológicos disponibles. Considera por separado los dos cultivos de tu rotación. Asume que el suelo tiene un alto contenido de agua cuando ocurre ese evento.**

Nuestro suelo es de textura media por lo que asumimos que el grupo hidrológico es B.

En nuestra localidad, Belmez, el 11 de Enero de 2001 ocurrió una precipitación de 51.8 mm. Tenemos dos cultivos, puerro y pimiento.

a) Puerro.

Cuando ocurre la precipitación el cultivo se encuentra en el campo por lo que la condición hidrológica es buena. En la Tabla 8.2 tomamos cultivo en líneas rectas para suelo del grupo hidrológico B con buenas condiciones hidrológicas por lo que  $CN_2=78$ . Como el suelo está muy húmedo tenemos que calcular  $CN_3$ :

$$CN = CN_3 = CN_2 e^{0.00673 (100 - CN_2)} = 78 e^{0.00673 (100 - 78)} = 90$$

Calculamos SMX:

$$SMX = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) = 254 \left( \frac{100}{90} - 1 \right) = 28.2$$

Como 0.2 SMX es menor que la lluvia, habrá escorrentía:

$$SR = \frac{(P - 0.2 SMX)^2}{P + 0.8 SMX} = 28.6 \text{ mm}$$

b) Pimiento.

Cuando ocurre la precipitación el cultivo no se encuentra aún en el campo En la Tabla 8.2 tomamos suelo desnudo para suelo del grupo hidrológico B por lo que  $CN_2=86$ . Como el suelo está muy húmedo tenemos que calcular  $CN_3$ :

$$CN_3 = 86 e^{0.00673 (100 - 86)} = 94$$

Calculamos SMX:

$$SMX = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) = 254 \left( \frac{100}{94} - 1 \right) = 16.2 \text{ mm}$$

Como 0.2 SMX es menor que la lluvia, habrá escorrentía:

$$SR = \frac{(P - 0.2 SMX)^2}{P + 0.8 SMX} = 36.4 \text{ mm}$$