

ÍNDICE

1.- Introducción

En este trabajo elaboraremos las necesidades hídricas de una rotación de dos años compuesta por los siguientes cultivos: Cebolla, cardo, y pimiento.

Los datos referentes a precipitaciones y temperaturas, proceden de una estación meteorológica manual, de la que se disponen datos desde 1920 hasta 2001. Para el resto de los datos climáticos utilizamos la estación automática de riegos de Navarra de la que se tienen datos desde 1992 hasta 1998. La serie de datos no es tan larga como la anterior, pero no se disponen de estos datos en la estación manual, y en la estación automática del Instituto Nacional de Meteorología había campos para los que no existían medidas. Aun así hay que señalar que en el caso de los campos de irradiación y dirección del viento existen días en los que se dan muchos fallos.

El esquema de la rotación es el siguiente:

Las coordenadas son las siguientes:

Latitud	Longitud	Altitud	UTM X	UTM Y
42° 21' 58" N	1° 38' 08"	310	578235	4690609

La rotación se va a realizar en una parcela situada en el municipio de Sartaguda, situado en la ribera alta de Navarra.



2.- Datos climáticos de Sartaguda

Las principales características del clima de esta zona regable según los datos disponibles son:

- La zona de estudio se caracteriza por su clima estepario semicálido (Papadakis).
- El mes más cálido es julio, con una temperatura media de 22 °C, y el más frío es enero con 5 °C y una temperatura media de mínimas de 1,5 °C.
- La temperatura media anual es de 13 °C, y en los meses estivales se alcanzan temperaturas máximas absolutas de 43 °C.
- El periodo con riesgo de heladas se extiende de finales de octubre hasta mediados de abril.
- La precipitación media anual es de 477 mm. Las estaciones más lluviosas son la primavera y el otoño con 135 y 129 mm. respectivamente.
- La evapotranspiración de referencia es de 742 mm. al año. En el periodo de mayo a septiembre es de 538 mm. (73%), y el mes punta es julio con 136 mm

3.- Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto)

3.1.– Método de Blaney –Criddle

Este método se utiliza cuando solo se disponen de datos de temperatura, nosotros calcularemos ETo con este método porque la serie de datos mas larga que tenemos es la de temperatura.

La ecuación de Blaney –Criddle calcula el factor de uso consuntivo (f), el cual precise la evapotranspiración basándose en datos de temperatura y porcentaje de horas diurnas.

$$f = p (0.46 T + 8.13)$$

- f.– Factor de uso consuntivo.
- T.– Promedio de temperaturas máximas y mínimas diarias (°C).
- p.– Porcentaje diario medio de horas diurnas anuales.

Con este factor y teniendo en cuenta la velocidad del viento, la humedad relativa, y el término n/N, y utilizando la figura 1 de la página 16 de la FAO calculamos la Eto. Los resultados son:

3.2.– Método de Penman

Utilizamos este método porque disponemos de los datos de temperatura humedad viento, y radiación; aunque hay que tener en cuenta que la serie de datos de la que se dispone no es tan larga como la que tenemos para temperaturas. Por eso calculamos la Eto con los dos métodos, así veremos luego cual de los dos se ajusta mejor.

La fórmula de la ecuación utilizada por el método de Penman es:

$$ETo = c * (\text{término de radiación} + \text{término aerodinámico}).$$

- Término de la radiación = $W * R_n$
- Término aerodinámico = $(1 - W) * f (u) * (e_a - e_d)$
- ETo.– Evapotranspiración (mm / día).
- W.– Factor de ponderación
- R_n .– radiación neta (mm / día)
- $f (u)$.– función de viento.
- $(e_a - e_d)$.– Presión de saturación de vapor media del aire menos la presión real de vapor media del aire (mbar).

3.2.1.– Término de la radiación

Primero calculamos el índice de ponderación (W), que nos va a relacionar la temperatura, la altitud, y la radiación recibida en la superficie de la tierra (Rs).

Los valores de W se obtienen del cuadro 11 de la página 44 interpolando los valores de temperatura y altitud.

	Tª media (° C)	W (500 m)	W (0 m)	W (310 m)	
Enero	5,38	0,5007	0,4807	0.493	
Febrero	6,96	0,5244	0,5044	0.517	
Marzo		9,79	0,5668	0,5468	0.559
Abril	12,13	0,6013	0,5819	0.594	

Mayo	15,87	0,648	0,638	0.644
Junio	19,65	0,6947	0,6765	0.688
Julio	22,41	0,7241	0,7141	0.720
Agosto	21,97	0,7197	0,7095	0.716
Septiembre	18,89	0,6833	0,6734	0.680
Octubre	14,12	0,6218	0,6118	0.618
Noviembre	8,88	0,5532	0,5332	0.546
Diciembre	6,08	0,5112	0,4912	0.504

Ahora calcularemos la radiación neta, para lo cual necesitamos saber la radiación que entra y la que sale. Es decir, la radiación neta de onda corta, y la radiación neta de onda larga.

Radiación neta de onda corta

Para calcular la radiación neta de onda corta (R_{ns}) hay que tener en cuenta la reflexión de la superficie de cultivo (ρ), y la radiación extraterrestre (R_a):

$$R_s = (0.25 + 0.5 * n / N) * R_a$$

$$R_{ns} = (1 - \rho) * R_s$$

- n.- horas de sol al mes / n° de días, (horas).
- N.- horas / día, (horas).
- R_a .- radiación extraterrestre, (mm/ día)
- R_s .- Radiación solar, (mm/ día).
- ρ .- Reflexión, su valor es del 25 %.
- R_{ns} .- Radiación neta de onda corta, (mm/ día).

n

N

n/N

R_a

(mm /día)

R_s

R_{ns}

Enero

6,6

9,38

0,704

5,79

3,48

2,61

Febrero

6,63

10,58

0,627

8,01

4,51

3,38

Marzo

6,84

11,91

0,574

10,93

5,87

4,40

Abril

7,02

13,4

0,524

14,37

7,36

5,52

Mayo**Junio**

6,18

14,6

0,423

16,81

7,76

5,82

6,34

15,24

0,416

17,28

7,91

5,94

Julio

6,17

14,95

0,413

16,68

7,61

5,71

Agosto

5,75

13,92

0,413

14,95

6,83

5,12

Septiembre

5,605

12,85

0,436

12,45

5,83

4,37

Octubre

5,298

11,08

0,478

9,03

4,42

3,31

Noviembre

5,2093

9,78

0,533

6,32

3,26

2,45

Diciembre

5,859

9,06

0,647

5,11

2,93

2,20

Radiación neta de onda larga

Es la diferencia que existe entre la radiación de onda larga saliente y la entrante. Esta radiación depende de la presión saturada de vapor, de la presión de vapor, y de la relación n/N .

	f (t)	ea	HR	ed (mbar)	f (ed)	f (n/N)	Rnl
Enero	11,91	8,97	79,09	7,09	0,235	0,783	2,191
Febrero	12,2	9,98	83,25	8,31	0,217	0,712	1,885
Marzo	12,67	12,13	66,90	8,12	0,219	0,643	1,784
Abril	13,13	14,13	64,86	9,17	0,208	0,574	1,568
Mayo	13,78	18,04	64,96	11,72	0,191	0,483	1,271
Junio	14,37	22,91	62,43	14,30	0,177	0,476	1,211
Julio	15,08	26,69	62,43	16,66	0,157	0,473	1,120
Agosto	15	26,36	64,23	16,93	0,155	0,473	1,100
Septiembre	14,38	21,85	67,14	14,67	0,173	0,496	1,234
Octubre	13,52	16,21	73,84	11,97	0,19	0,532	1,367
Noviembre	12,53	11,4	77,57	8,84	0,212	0,543	1,442
Diciembre	12,016	9,45	82,81	7,83	0,221	0,728	1,933

- $f(t)$.– Corrección de la t^a . Cuadro 15 página 47.
 - ea .– Presión saturante del vapor en mbar, a t^a media del aire. Cuadro 7 página 40.
 - HR .– humedad relativa %.
 - ed .– Presión de vapor en mbar. , mbar.
 - $f(ed)$.– Corrección para la presión de vapor. Cuadro 16 página 47.
 - $f(n/N)$.– Corrección para n/N . Cuadro 17 página 47.
 - Rnl .– Radiación neta de onda larga, mm/ día.
-
- $Rnl = f(t) * f(ed) * f(n/N)$.

Radiación neta

Luego la radiación neta es la diferencia entre la radiación solar de onda corta y la radiación solar de onda larga. $Rn = Rns - Rnl$

	Rns	Rnl	Rn	W * Rn
Enero	2,61	2,191	0,422	0,208
Febrero	3,38	1,885	1,499	0,775
Marzo	4,40	1,784	2,619	1,465
Abril	5,52	1,568	3,950	2,346
Mayo	5,82	1,271	4,549	2,930

Junio	5,94	1,211	4,725	3,250
Julio	5,71	1,120	4,589	3,306
Agosto	5,12	1,100	4,019	2,877
Septiembre	4,37	1,234	3,137	2,132
Octubre	3,31	1,367	1,946	1,202
Noviembre	2,45	1,442	1,005	0,548
Diciembre	2,20	1,933	0,264	0,133

Rns.– Radiación solar neta de onda corta, (mm / día).

Rnl.– Radiación solar neta de onda larga, (mm / día).

Rn.– Radiación neta, (mm / día).

W * Rn.– Término de la radiación, (mm / día).

W.– factor de ponderación de la radiación. Cuadro 11 página 44.

3.2.2.– *Término aerodinámico*

	ea – ed	U2	f (U)	W	T aerodin.
Enero	1,88	2,612	0,277	0,493	0,507
Febrero	1,67	2,297	0,276	0,517	0,483
Marzo	4,01	0,367	0,271	0,559	0,441
Abril	4,96	2,728	0,277	0,594	0,406
Mayo	6,32	2,584	0,277	0,644	0,356
Junio	8,61	2,434	0,277	0,688	0,312
Julio	10,03	2,349	0,276	0,720	0,280
Agosto	9,43	2,134	0,276	0,716	0,284
Septiembre	7,18	1,949	0,275	0,680	0,320
Octubre	4,24	2,156	0,276	0,618	0,382
Noviembre	2,56	1,968	0,275	0,546	0,454
Diciembre	1,62	2,174	0,276	0,504	0,496

ea – ed.– Déficit de presión de saturación de vapor.

U2.– velocidad del viento (m/s).

f (U2).– función de viento. Cuadro 9 página 43.

(1 – W).– factor de ponderación para el viento y la humedad.

W.– factor de ponderación para la radiación, cuadro 11 página 44.

3.2.3.– *Cálculo del factor de corrección c*

Este factor corrige la diferencia que existe entre la ETo real y la que se calcula en las condiciones estándar.

	Rs	Vdía/Vnoche	HRmax	C	C	
Enero	3,48	1,3	94,09	0,903	1	
Febrero	4,51	1,3	98,25	0,947	1	
Marzo	5,87	1,3	81,90	0,925	1	
Abril	7,36	1,3	79,86	0,951	1	
Mayo	7,76	1,3	79,96	0,959	1	
Junio	7,91	1,3	77,43	0,969	1	
Julio	7,61	1,3	77,43	0,984	1	
Agosto		6,83	1,3	79,23	0,934	1
Septiembre	5,83	1,3	82,14	0,937	1	
Octubre	4,42	1,3	88,84	0,95	1	
Noviembre	3,26	1,3	92,57	0,943	1	
Diciembre	2,93	1,3	97,81	0,876	1	

HR máx.- Es la humedad relativa media, más un 15 %.

V día / V noche.- Tomamos el valor de 1.3 ya que es la media entre 1 y 1.5, valores típicos de las zonas de interior.

c.- Cuadro 17.a, página 48. Finalmente tomamos el valor de C como 1 ya que varia entre 0.95 y 1.05. Además en las zonas de interior apenas si existe diferencia entre los valores de viento del día y de la noche.

3.2.4.- Cálculo ETo

	W*Rn	Taero	C	Eto/día	Eto/mes	
Enero	0,208	0,263	1	0,471	14,615	
Febrero	0,775	0,223	1	0,998	27,941	
Marzo	1,465	0,480	1	1,944	60,271	
Abril	2,346	0,559	1	2,905	87,152	
Mayo	2,930	0,623	1	3,553	110,154	
Junio	3,250	0,743	1	3,993	119,792	
Julio		3,306	0,775	1	4,081	126,499
Agosto	2,877	0,739	1	3,616	112,093	
Septiembre	2,132	0,633	1	2,765	82,951	
Octubre	1,202	0,447	1	1,649	51,128	
Noviembre	0,548	0,320	1	0,868	26,048	
Diciembre	0,133	0,222	1	0,355	11,018	

Para realizar los cálculos del resto del balance utilizamos la ETo obtenida con el método de Penman, ya que los valores que se obtienen se aproximan más a la realidad. Además en el libro de la FAO aconseja que en el caso de disponer de los datos de temperatura, humedad, viento y horas de insolación, se utilice el método de Penman modificado para calcular ETo.

4.- Cálculo de los coeficientes de cultivo

Los coeficientes de cultivo relacionan la ETo con la evapotranspiración del cultivo. Representan la evapotranspiración de un cultivo en condiciones y rendimientos óptimos.

	Nº de días de lluvia	Frecuencia de lluvias	ETo (media)
Enero	13	2,38	0,471
Febrero	7	4,00	0,998
Marzo	5	6,20	1,944
Abril	8	3,75	2,905
Mayo	13	2,38	3,553
Junio	8	3,75	3,993
Julio	5	6,20	4,081
Agosto	7	4,43	3,616
Septiembre	6	5,00	2,765
Octubre	11	2,82	1,649
Noviembre	10	3	0,868
Diciembre	14	2,21	0,355

4.1.- Cebolla

Fase	Duración de la fase (días)	Fecha	Kc	ETo (mm /día)	Etc (mm /día)	Meses
I (inicial)	20	1/11 – 20/11	1.05	0.868	15.76	Noviembre
II (desarrollo)	35	21/11–25/12	1.015	0.355	25.1	Diciembre
III (mediados)	110	26/12 – 10/4	1	0.471	14.62	Enero
				0.998	27.94	Febrero
				1.944	60.3	Marzo
				2.905	84.12	Abril
IV (final)	45	11/ 4 – 25/ 5	0.775	3.553	68.85	Mayo

Kc1.– Figura 8 página 66.

Kc3.– Cuadro 22 página 68.

Kc4.– Cuadro 22 página 68.

HRmin= 54.21 %

4.2.– Barbecho

Meses	Kc	ETo (mm /día)	Etc (mm /día)
Junio	0.81	3.993	97.02

4.3.– Cardo

Fase	Duración de la fase (días)	Fecha	Kc	ETo (mm /día)	Etc (mm /día)	Meses
I (inicial)	43	1/ 7 – 12 /8	0.55	4.081	69.574	Julio
II (desarrollo)	79	13/8 – 31/9	0.76	3.616	79.146	Agosto
				2.765	63.043	Septiembre
				1.649	38.857	Noviembre
III (mediados)	92	1/11 – 31/1	0.97	0.868	25.267	Diciembre
				0.355	10.687	Enero
				0.471	14.176	Febrero

Kc1.– Figura 8 página 66.

Kc3.– Cuadro 22 página 67.

Kc4.– Cuadro 22 página 67.

HRmin = 53.79 %

4.4.– Barbecho

Meses	Kc	ETo (mm /día)	Etc (mm /día)
Febrero	0.92	0.998	25.706
Marzo	0.7	1.944	42.190
Abril	0.85	2.905	74.07

4.5.– Pimiento

Fase	Duración de la fase (días)	Fecha	Kc	ETo (mm /día)	Etc (mm /día)	Meses
I (inicial)	30	1/5 – 30 / 5	0.87	3.553	92.742	Mayo
II (desarrollo)	35	31/ 5 – 4 /6	0.65	3.993	113.803	Junio
III (mediados)	40	5/ 7 – 13/ 8	1	4.081	121.269	Julio
IV (final)	20	14/ 8 – 2/ 9	0.82	3.616	106.419	Agosto

Kc1.– Figura 8 página 66.

Kc3.– Cuadro 22 página 68.

Kc4.– Cuadro 22 página 68.

HRmin = 43.03 %

4.6.– Barbecho

Meses	Kc	ETo (mm /día)	Etc (mm /día)
Septiembre	0.6	2.765	49.771
Octubre	1	1.649	51.128

5.– NAP y NAP crítico

El suelo es franco limoso y la humedad del suelo a capacidad de campo es de 25%. Página 97.

5.1.– Pimiento

Los niveles de agotamiento de agua salen del cuadro 36 de la página 115.

NAP crítico: 0,5 atm ! 19% vol. agua

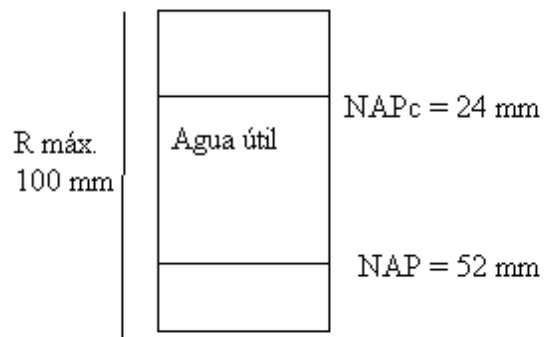
NAP normal: 1,5 atm ! 12% vol. agua

Profundidad de las raíces (mínima): 40 cm. Cuadro 33 página 102.

NAP crítico = $10 \text{ dm} \times 10 \text{ dm} \times 4 \text{ dm} \times (0,25 - 0,19) = 24 \text{ mm}$

NAP normal = $10 \text{ dm} \times 10 \text{ dm} \times 4 \text{ dm} \times (0,25 - 0,12) = 52 \text{ mm}$

Reserva máxima = $10 \text{ dm} \times 10 \text{ dm} \times 4 \text{ dm} \times 0,25 = 100 \text{ mm}$



5.2.- Cebolla

NAP crítico: 0,4 atm ! 21% vol. agua

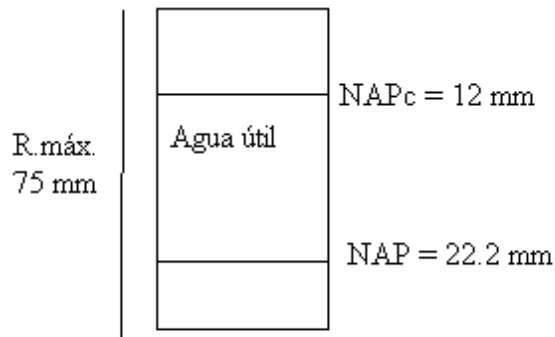
NAP normal : 0,7 atm ! 17,6%

Profundidad de las raíces (mínima): 30 cm

NAP crítico = $10 \text{ dm} \times 10 \text{ dm} \times 3 \text{ dm} \times (0,25 - 0,21) = 12 \text{ mm}$

NAP normal = $10 \text{ dm} \times 10 \text{ dm} \times 4 \text{ dm} \times (0,25 - 0,176) = 22,2 \text{ mm}$

Reserva máxima = $10 \text{ dm} \times 10 \text{ dm} \times 3 \text{ dm} \times 0,25 = 75 \text{ mm}$



Los valores que obtenemos para el NAP crítico nos parecen que es un valor muy bajo. Pero dado que es un valor que procede de datos obtenidos en las tablas, hemos decidido dejarlo así en lugar de utilizar otro valor mayor, ya que no sabemos si el valor que podríamos haber utilizado es correcto o no.

5.3.- Cardo

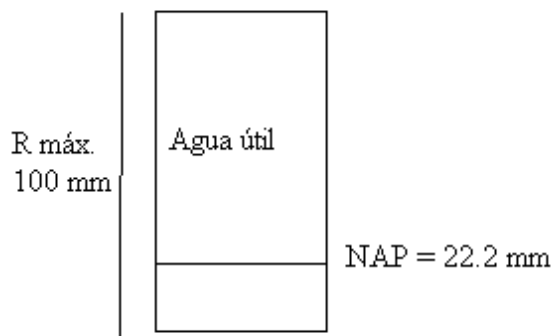
NAP crítico: No tiene

NAP normal: 0,7 atm ! 17,6% vol. agua

Profundidad de las raíces (mínima): 40 cm

NAP normal = $10 \text{ dm} \times 10 \text{ dm} \times 4 \text{ dm} \times (0,25 - 0,176) = 22,2 \text{ mm}$

Reserva máxima = $10 \text{ dm} \times 10 \text{ dm} \times 4 \text{ dm} \times 0,25 = 100 \text{ mm}$



6.- Balance hídrico

CEBOLLA
