

EJEMPLOS DE EJERCICIOS TODOS

TEMA 2

Datos del INM. Manejo de la información.

Ejemplo 2.1. Datos. 1. Con los datos del libro en excel (datosejemplo.xls)* se pide calcular. Para el año que se da (SOLO PARA UN AÑO COMO EJEMPLO)

VEA LA HOJA ADJUNTA datosejemplo.xls

Ejemplo 2.4. Histograma 1. Dados los datos se pide hacer el histograma de frecuencias de precipitaciones anuales. Compare el resultado con el obtenido en dicha página.

AÑO DATOS	AÑO
1970	573,1
1971	541,9
1972	595,8
1973	514,5
1974	562,1
1975	580,9
1976	584,3
1977	494,3
1978	494,1
1979	530,4
1980	367,3
1981	530,8
1982	475,9
1983	366,0
1984	523,9
1985	361,8
1986	564,9
1987	790,0
1988	435,8
1989	845,6
1990	477,6
1991	470,0
1992	369,6
1993	522,3
1994	355,9
1995	493,1
1996	865,8
1997	727,3
1998	468,0
1999	471,4
2000	608,6
2001	505,0
2002	661,6

Es necesario fijar rangos. En función de los rangos fijados se deben contabilizar el número de veces (años) que cayó una lluvia dentro de dicho rango. El número de rangos lo fijamos considerando el valor máximo que se produce y el mínimo y considerando rangos de intervalo (ancho) fijo, y un número de rangos entre 5 y 10 (es orientativo).

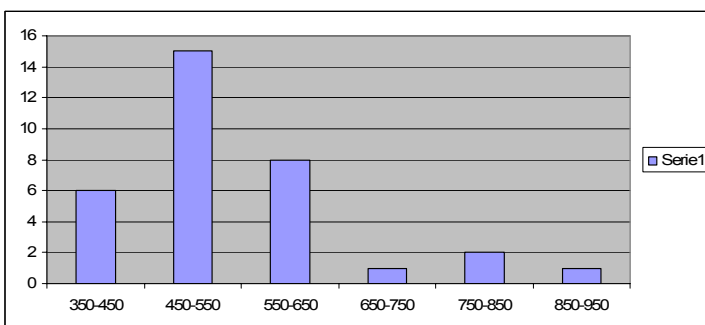
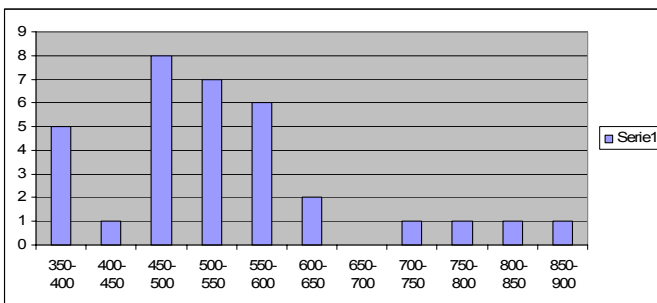
Así podríamos poner los rangos (con once, todos del mismo):

Rangos	
350-400	5
400-450	1
450-500	8
500-550	7
550-600	6
600-650	2
650-700	0
700-750	1
750-800	1
800-850	1
850-900	1

O con un menor niveles de rangos (seis):

Rangos	
350-450	6
450-550	15
550-650	8
650-750	1
750-850	2
850-950	1

Los resultados gráficos serían diferentes:



Percentiles: distribución empírica

Ejemplo 2.5. Per 1. Con los siguientes datos se quiere calcular los percentiles por el método de la distribución empírica. Calcule los percentiles 20 y 40.

102.2 96.3 377.7 119.9

221.1	32	153.8	199
261.9	58.7	160	209.8
270	60.4	171.9	142
138.3	83.5	172.1	148.5
13.5	289.4	183.6	269.4
18.1	299.9	197.9	
118	110.5	300.7	

Se deben ordenar los datos de precipitación en orden creciente, desde el menor hasta el mayor. Y asignar a cada valor de precipitación su probabilidad empírica en función del orden de situación del valor y del número de datos. Se deben asignar probabilidades a cada valor de precipitación según su orden aplicando la expresión $100 \cdot (i/(N+1))$ (i: número orden (primera columna) y N (número de datos)).

Así para los dos primeros valores y para los dos últimos tendremos:

<i>Nº orden</i>	<i>Precipitación</i>	<i>Probabilidad</i>
1 (primero)	13.5 mm	Prob ($X \leq 13.5$) = $i/(N+1) = 1/(30+1) = 0.03226$ (3.226 %)
2 (segundo)	18.1 mm	Prob ($X \leq 18.1$) = $i/(N+1) = 2/(30+1) = 0.06452$ (6.452 %)
...		
29 (vigésimo nono)	300,7 mm	Prob ($X \leq 300,7$) = $i/(N+1) = 29/(30+1) = 0.9354$ (93,55 %)
30 (trigésimo)	377,7 mm	Prob ($X \leq 377,7$) = $i/(N+1) = 30/(30+1) = 0.9677$ (96,77 %)

Los valores de precipitación ordenados desde el menor al mayor para los treinta años de la serie y los valores de probabilidad asignados son:

Nº orden	Prec (mm)	Prob %
1	13.5	3.226
2	18.1	6.452
3	32	9.677
4	58.7	12.9
5	60.4	16.13
6	83.5	19.35
7	96.3	22.58
8	102.2	25.81
9	110.5	29.03
10	118	32.26
11	119.9	35.48
12	138.3	38.71
13	142	41.94
14	148.5	45.16
15	153.8	48.39
16	160	51.61
17	171.9	54.84
18	172.1	58.06
19	183.6	61.29
20	197.9	64.52
21	199	67.74
22	209.8	70.97
23	221.1	74.19
24	261.9	77.42
25	269.4	80.65
26	270	83.87
27	289.4	87.1

28	299.9	90.32
29	300.7	93.55
30	377.7	96.77

El percentil 20 se obtiene por interpolación sabiendo que será un volumen de precipitación entre el valor que está en la posición sexta (19,35 %) y el valor que está en la posición séptima (22,58 %)

$$\begin{array}{l} P_{19.35} \quad 83.5 \\ P_{22.58} \quad 96.3 \end{array} \quad P_{20} = \quad 86.07$$

El percentil 40 se obtiene por interpolación sabiendo que será un volumen de precipitación entre el valor que está en la posición duodécima (38,71 %) y el valor que está en la posición decimotercera (41,94 %)

$$\begin{array}{l} P_{38.71} \quad 138.3 \\ P_{41.94} \quad 142 \end{array} \quad P_{40} = \quad 139.78$$

Si la interpolación le resulta difícil puede directamente poner la media:

$$\begin{array}{l} P_{19.35} \quad 83.5 \\ P_{22.58} \quad 96.3 \end{array} \quad P_{20} = (83,5+96,3)/2 = \quad 89,9$$

$$\begin{array}{l} P_{38.71} \quad 138.3 \\ P_{41.94} \quad 142 \end{array} \quad P_{40} = (138,3+142)/2 = \quad 140,15$$

Si usa los cuadros que se reflejan en los cuadros tipo para la realización de los trabajos se pone la media. Se rellenan todas las celdas desde el menor valor (primero) hasta el último (el mayor de todos), dejando las celdas de los percentiles en blanco. Al final se rellenan las celdas de los percentiles y mediana (P50) con la media del valor superior e inferior. Esto lo haremos mes a mes y para el año (trece veces). Para nuestro ejemplo.

	Mes	
1º	13.5	
2º	18.1	
3º	32,0	
4º	58.7	
5º	60.4	
6º	83.5	
P₂₀	89,9	MEDIA superior e inferior
7º	96.3	
8º	102.2	
9º	110.5	
10º	118,0	
11º	119.9	
12º	138.3	
P₄₀	140,0	MEDIA superior e inferior
13º	142,0	

14°	148.5	
15°	153.8	
P₅₀		MEDIA superior e inferiores
16°	160,0	
17°	171.9	
18°	172.1	
P₆₀		MEDIA superior e inferior
19°	183.6	
20°	197.9	
21°	199,0	
22°	209.8	
23°	221.1	
24°	261.9	
P₈₀		MEDIA superior e inferior
25°	269.4	
26°	270,0	
27°	289.4	
28°	299.9	
29°	300.7	
30°	377,7	

TEMA 3

Radiación solar. Insolación máxima. Cálculo de las horas de salida y puesta de Sol.

Ejemplo 3.1. Radiación solar

Ejemplo Rad.1. Se pide calcular, para un observatorio a una altitud de 700 metros situado a una latitud de 40,5 grados Norte. Calcule: para el día 15 de Enero

- A) la radiación solar global
- B) la radiación solar recibida en el suelo. Se supone que el albedo es de 0,23.
- C) pérdidas diarias de radiación de onda larga en un día sin nubes
- D) factor de nubosidad
- E) pérdidas diarias de radiación de onda larga
- F) radiación neta

Para los siguientes supuestos:

- 1) un día completamente despejado,
- 2) un día con 5 horas y 30 minutos de sol: y
- 3) un día cubierto.

Datos:

$$R_{\text{global}} = R_a \cdot (0,25 + 0,50 \cdot n/N)$$

Con los datos tenemos:

$$R_a = 14,71 \text{ MJ} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{día}^{-1}$$

$$\text{Albedo} = 23 \%$$

N = 9,6 horas. Número de horas de sol máximas al día 15 de Enero entre la Salida y Puesta del Sol.

$$e_d : \text{tensión de vapor [en kPa]} = 1.2 \text{ kPa} = 12 \text{ hPa}$$

σ : constante de Stefan-Boltzman: $\sigma = 4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{K}^{-4}$

$T_{\text{máx}}$ es la temperatura máxima en K = 300,15 K (273,15 + °C)

$T_{\text{mín}}$ es la temperatura mínima en K = 288,15 K

$R_{\text{bo}} = (0,34 - 0,14 \cdot e_d^{0,5}) \cdot \sigma \cdot [T_{\text{máx}}^4 + T_{\text{mín}}^4] / 2$

f = factor de nubosidad = $(0,1 + 0,9n/N)$

$R_b = f \cdot R_{\text{bo}}$

Radiación neta = $(1 - \text{albedo}) R_{\text{global}} - R_b$

Los cálculos se han hecho con Excel (si usted usa la calculadora no tiene que obtener los mismos decimales) Para un :

1) un día completamente despejado. Esto es para $n = N$.

Número de horas de Sol máximas (h/día)	9,58			
Horas de Sol media (h/día)	9,58			
Insolación n/N	1,000	MJ/m2-día	Cal/cm2-día	mm/día
Rad. solar extraterrestre (MJ/m2-día)	14,71	14,71	351,21	6,00
Rad. solar Rs (MJ/m2-día)	11,03	11,03	263,48	4,50
Rad. día despejado sin nubes Rso MJ/m2-día	11,23	11,23	268,33	4,59
Factor nubosidad f	1,0			
Tensión de vapor real kPa "ea"	2,08	2,08		
Emisividad neta $(a_1 + b_1 \cdot e_a^{0,5})$	0,138	0,14		
Albedo	0,230	0,23		
Radiación neta entrante Rns (solar) MJ/m2-día	8,49461	8,49	202,88	3,47
Radiación neta saliente Rnl (onda larga) MJ/m2-día	5,10256	5,10	121,87	2,08

2) un día con 5 horas y 30 minutos de sol. Esto es para $n = 5,50$ horas

Horas de Sol media (h/día)	5,5			
Número de horas de Sol máximas (h/día)	9,58			
Horas de Sol media (h/día)	5,5			
Insolación n/N	0,574	MJ/m2-día	Cal/cm2-día	mm/día
Rad. solar extraterrestre (MJ/m2-día)	14,71	14,71	351,21	6,00
Rad. solar Rs (MJ/m2-día)	7,90	7,90	188,66	3,22
Rad. día despejado sin nubes Rso MJ/m2-día	11,23	11,23	268,33	4,59
Factor nubosidad f	0,6			
Tensión de vapor real kPa "ea"	2,08	2,08		
Emisividad neta $(a_1 + b_1 \cdot e_a^{0,5})$	0,138	0,14		
Albedo	0,230	0,23		
Radiación neta entrante Rns (solar) MJ/m2-día	6,08244	6,08	145,27	2,48
Radiación neta saliente Rnl (onda larga) MJ/m2-día	3,13382	3,13	74,85	1,28

3) un día cubierto. Esto es para $n=0$.

Horas de Sol media (h/día)	0			
Número de horas de Sol máximas (h/día)	9,58			
Horas de Sol media (h/día)	0			
Insolación n/N	0,000	MJ/m2-día	Cal/cm2-día	mm/día
Rad. solar extraterrestre (MJ/m2-día)	14,71	14,71	351,21	6,00
Rad. solar Rs (MJ/m2-día)	3,68	3,68	87,80	1,50
Rad. día despejado sin nubes Rso MJ/m2-día	11,23	11,23	268,33	4,59
Factor nubosidad f	0,1			
Tensión de vapor real kPa "ea"	2,08	2,08		
Emisividad neta $(a_1 + b_1 \cdot e_a^{0,5})$	0,138	0,14		
Albedo	0,230	0,23		
Radiación neta entrante Rns (solar) MJ/m2-día	2,83075	2,83	67,61	1,16

Radiación neta saliente Rnl (onda larga)
MJ/m2·día

0,47988 0,48 11,46 0,20

USE la hoja RadiaciónSolar.xls

Cálculo de las horas de salida y puesta de Sol.

Ejemplo Rad.6. Sabiendo que la latitud es de 39,56 grados (Norte) y la longitud del Meridiano es de 3,7167 grados (oeste) se pide determinar la hora solar de salida y puesta de Sol del día 31 de enero (día del año 31 de 365, contando desde el 1 de enero). Se pide la solución sin considerar la ecuación del tiempo.

Datos:

$$w = \arccos(-\tan\phi \cdot \tan\delta)$$

$$\delta = (180/\pi) \cdot (0.006918 - 0.399912 \cdot \cos\Gamma + 0.070257 \cdot \sin\Gamma - 0.006758 \cdot \cos 2\Gamma + 0.000907 \cdot \sin 2\Gamma - 0.002697 \cdot \cos 3\Gamma + 0.00148 \cdot \sin 3\Gamma)$$

Longitud (grados) +W/-E	3,0000
Longitud (radianes) +W/-E	0,0524
Latitud (grados)	39,5600
Latitud (radianes)	0,6905
Día del año:	31
	0,52
Elevación relativa (metros)	0,00
Ecuación tiempo (min)	-13,00
Declinación (radianes)	-0,31
Declinación (grados)	-17,84
Ángulo horario (grados)	75,97
N (h/día)	14,03

Sería SALIDA $12 - (14,3/2) = 4,85$

PUESTA $12 + (14,3/2) = 19,15$

Ejemplo Rad 7. Se pide con los datos anteriores calcular la hora de salida y puesta de Sol aparentes. Una vez estimadas éstas se pide calcular dichas horas expresadas en horas UTC y en hora oficial (la hora oficial es la UTC más dos horas).

Datos:

$$w = \cos^{-1} [\sin(-0,833) - \sin\delta \cdot \sin\Phi] / [\cos\Phi \cdot \cos\delta]$$

$$\delta = (180/\pi) \cdot (0.006918 - 0.399912 \cdot \cos\Gamma + 0.070257 \cdot \sin\Gamma - 0.006758 \cdot \cos 2\Gamma + 0.000907 \cdot \sin 2\Gamma - 0.002697 \cdot \cos 3\Gamma + 0.00148 \cdot \sin 3\Gamma)$$

CALCULO DE LA HORA DE SALIDA Y PUESTA DE SOL APARENTES

Longitud (grados) +W/-E	3,0000
Longitud (radianes) +W/-E	0,0524
Latitud (grados)	39,5600
Latitud (radianes)	0,6905
Día del año:	31
	0,52
Elevación relativa (metros)	0,00
Ecuación tiempo (min)	-13,00

Declinación (radianes)	-0,31
Declinación (grados)	-17,84
Ángulo horario (grados)	75,97
Zona horaria (Hora oficial: UTC+(ZH))	1,0
Salida aparente del Sol (hora UTC)	7,35
Puesta aparente del Sol (hora UTC)	17,48
Salida aparente del Sol (Oficial)	8,35
Puesta aparente del Sol (Oficial)	18,48

Haga los cálculos. Tiene las hojas salidapuesta.xls y Nhorassolmáximas.xls

Ejemplo 3.2. Carta solar.

Ejemplo CS 1. Usando el programa que se encuentra en la página URL: solardat.uoregon.edu. UO Solar Radiation Monitoring Laboratory. Cree la carta solar para el observatorio de Cuatro Vientos (Madrid) Latitud 40,37N Longitud 3,78 W; hora UTC+2. (Si tiene dudas, vea instrucciones en el documento [instruccionescartasolar.doc](#))

INSTRUCCIONES para el uso de la página URL: solardat.uoregon.edu. UO Solar Radiation Monitoring Laboratory.

Step 1—Specify location MADRID Cuatro Vientos

Latitud 40,37 Longitud -3,78 Important: south latitude and west longitude are given in *negative* degrees. Minutes and seconds must be converted to decimal degrees; e.g., 30 min. = 0.5 deg.]

Step 2—Specify time zone En España (+1 verano) (+2 invierno)

Time zone UTC+2 h

Step 3—Choose data to be plotted

Plot dates 30 or 31 days apart, between solstices, December through June

Step 4—Set chart format parameters

Opcional

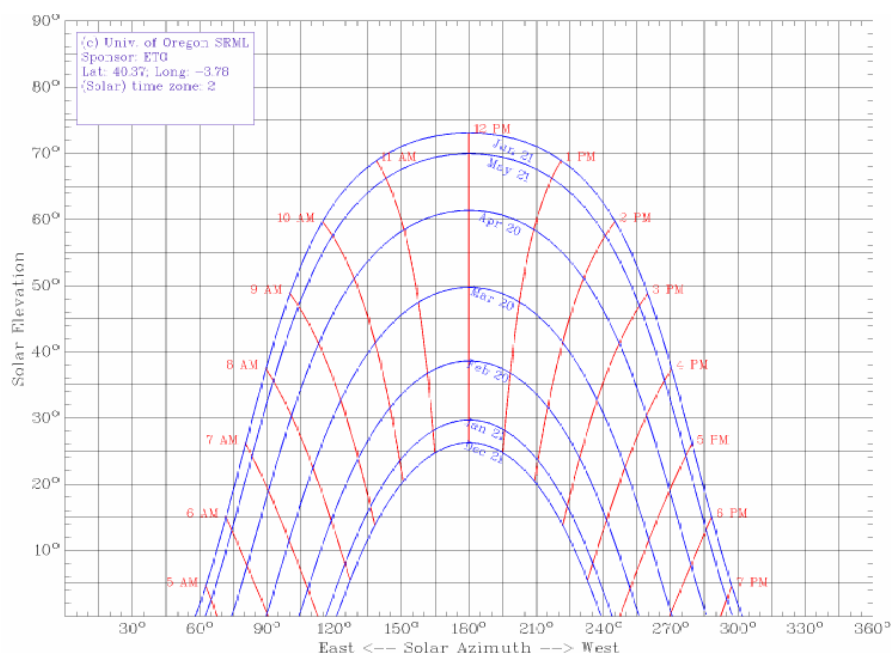
Step 5—Specify labeling options

Opcional

Step 6—Choose file format for chart

Pdf mejor

Step 7—Click the 'Create chart' button



Las equivalencias de los acimuts serían (si el S (sur) es el cero):

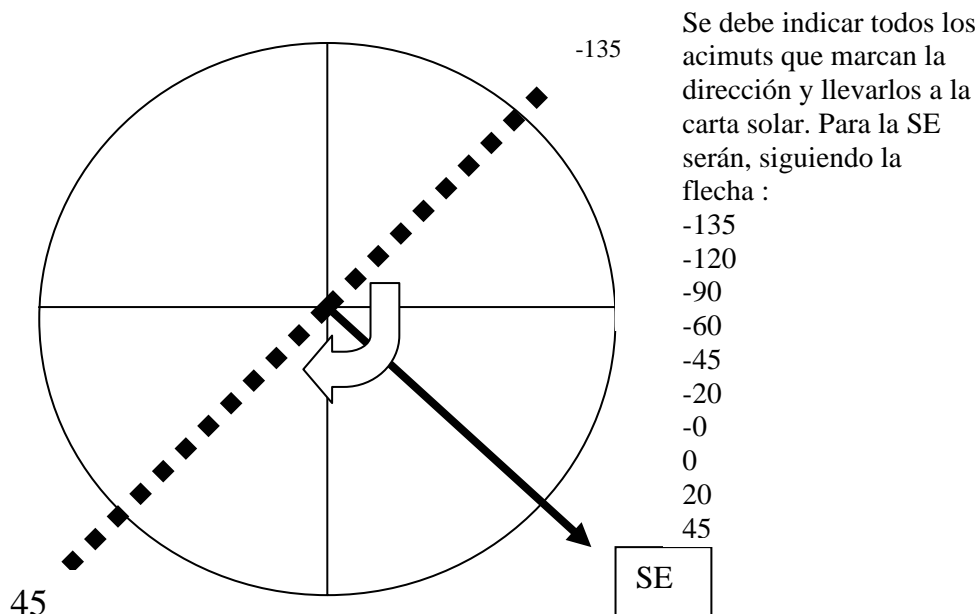
Este
160 → 0 ; 150 → -10; 120 → -40; 90 → -70; 60 → -100; 30 → -130

Oeste
160 → 0 ; 210 → 50; 240 → 80; 160 → 0; 270 → 110; 300 → 140

Ejemplo CS 1. Como sabemos una de las aplicaciones de la carta solar es conocer el número de horas de sol teóricas (con cielo despejado) que reciben las diferentes fachadas de un edificio (o laderas de una montaña) cuando no ocurre ninguna obstrucción. Para ello únicamente hay que considerar que el acimut en grados sexagesimales del eje X del diagrama expresa las diferentes orientaciones de la superficie. Así, la orientación sur vendría indicadas por los acimuts: S -90 → 0 → 90 .

Como ejercicio, se pide que se indiquen los acimut que delimitarían en una carta solar las orientaciones siguientes: SE . Luego indique en una carta solar las horas de Sol que se recibiría en una fachada orientada al Sureste (Latitud: 36 ° norte. Vale la solución gráfica mediante el uso de la carta solar)

La dirección sureste viene marcada por los acimuts:



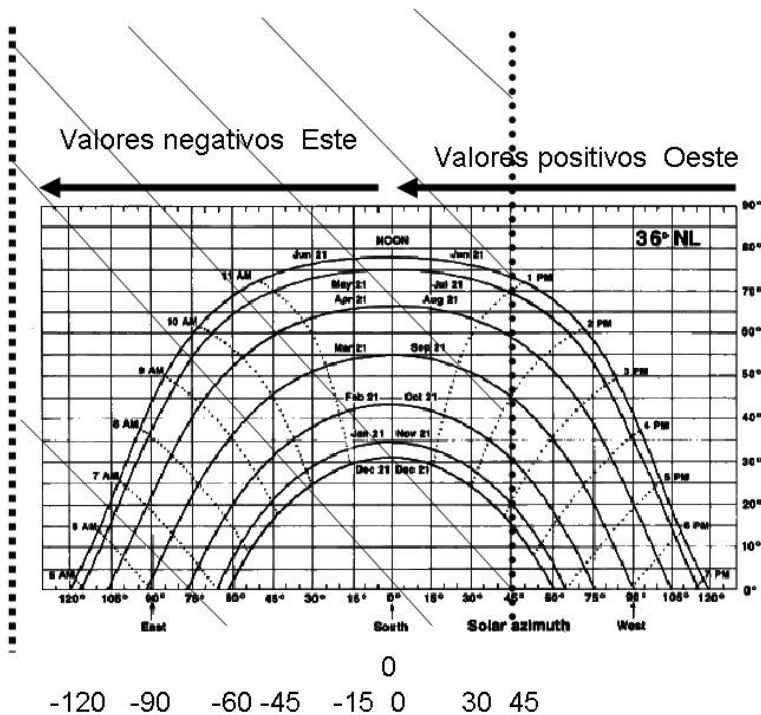
Los valores a barrer van desde el +45 al -135. Para no equivocarse use los signos negativos y ponga muchos valores intermedios. Si un valor queda fuera de la carta solar (eje X de la carta solar) no se preocupe no hay sol, no hay curva y no se considerará , da igual.

Los valores a considerar son:

45 → 30 → 15 → 0 → -15 → -30 → -45 → -60 → -90 → -105 → -120 → -135

En la carta solar llevamos esos valores. OJO, empezaremos por el -135 de este a oeste de izquierda a derecha.

-135 → -120 → -90 → -45 → -15 → 0 → 15 → 30 → 45



Se llevan los valores de los acimuts delimitados por la orientación al eje X. Ojo; coloque bien los valores positivos o negativos. Siempre se mide desde el cero (SUR).

Una vez puestos los valores dibuje dos líneas verticales en los extremos, el espacio entre líneas lo remarca, en esas fechas (curvas __) y a las horas delimitadas (curvas ...) en la carta solar dentro de la zona remarcada habrá SOL.

TEMA 5

Ejemplo 5.1. Horas frío. Integral Térmica.

Horas frío. Ejemplo HF 1. Estime el número de horas frío a partir de las temperaturas medias diarias en °C [Mota, 1957] con los siguientes datos:

Mes	(t_m °C)
ene	5.2
feb	7.5
mar	9.8
abr	11.7
may	15.6
jun	20.7
jul	24.5
ago	24.2
sep	20.2
oct	14.4
nov	9.0
dic	6.3
año	14.1

$$Y_{\text{noviembre}} = 485,1 - 28,5 \cdot (t_{m_{\text{noviembre}}}) = 228,6$$

$$Y_{\text{diciembre}} = 485,1 - 28,5 \cdot (t_{m_{\text{diciembre}}}) = 305,5$$

$$Y_{\text{enero}} = 485,1 - 28,5 \cdot (t_{m_{\text{enero}}}) = 336,9$$

$$Y_{\text{febrero}} = 485,1 - 28,5 \cdot (t_{m_{\text{febrero}}}) = 271,35$$

$$Y = \sum Y_i = 1142,3$$

Ejemplo HF 2. Con los datos de temperatura media (°C) de la estación anterior. Se pide estimar las horas frío mediante la correlación de Weimberger

Weimberger establece una correlación entre horas frío y la temperatura media de las medias de los meses de Diciembre y Enero.

Temp.: Temperatura media de las medias de Diciembre y Enero.

$$\text{Temp} = 0,5 \cdot (tm_{XII} + tm_I)$$

H: Horas frío según Weimberger.

Tenemos que usar el cuadro

Temp.	13.2	12.3	11.4	10.6	9.8	8.3	7.6	6.9	6.3
H	450	550	650	750	850	950	1050	1150	1350

Como : $0,5 \cdot (tm_{XII} + tm_I) = 5,75$. Lo único que podemos concluir es que el número de horas frío es superior a 1350 (no hay problemas). $H > 1350$ horas frío

Integral Térmica.

Ejemplo IT 1. Dados los datos siguientes de temperaturas medias mensuales en °C. Se pide determinar la integral térmica de una variedad de trigo que en los ensayos realizados se siembra el 28 de Octubre y se recoge el 8 de Julio. El cero de vegetación se toma 0 °C.

28-X al 8 VII

MES	(tm °C)	número días	tm x nº días
ENE	5,2	31	161,2
FEB	6,8	28	190,4
MAR	9,5	31	294,5
ABR	11,5	30	345
MAY	15,4	31	477,4
JUN	20,3	30	609
JUL	23,9	8	191,2
AGO	24,2		
SEP	20,2		
OCT	14,4	3	43,2
NOV	9	30	270
DIC	6,2	31	192,2
		SUMA	2774,1

Se supone que la temperatura media se da (ocurre) en todos los días del mes. Evidentemente es una aproximación con fines didácticos, lo que habría que hacer es hacerlo día a día desde el inicio (28 de Octubre) hasta el final del cultivo (8 de Julio), y sumando las temperaturas que ocurren por encima del cero de vegetación entre todos los días de esas dos fechas. Nosotros hacemos una primera aproximación.

TEMA 6

Ejemplo 6.1. Vientos dominantes

Ejemplo VienDom 1 Con los datos siguientes diga para el mes primero del ejemplo qué dirección es la más dominante. Consideraciones:

1. Se indican año a año y para los doce meses del año las direcciones dominantes, así podemos sacar para un determinado mes cuál es la que más se repite.

VIEDOM Viento dominante con % de ocurrencia y velocidad media

- * Los registros de datos tienen el siguiente formato:
- * 1-5 Indicativo de la estación
- * 6-9 Año
- * 11 en adelante Datos mensuales (9 posiciones para cada mes:ooo%%vuv)
 ooo: orientación %%: % de ocurrencia vuv: velocidad

Hay que leer cada valor en su posición. Así el primer dato del 1971 sería:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
 2 x x x 1 9 7 1 S W 1 2

Lo mejor sería llevarlo a Excel (abrir/fichero texto/asistente para importar texto paso 1/de ancho fijo/fijar las columnas adecuadamente según los datos que vamos a llevar a las columnas Excel)).

En primer lugar observamos que hay tres posiciones para la orientación. Tenemos que ver si aborda las ocho direcciones principales (como nuestro ejemplo) o las 16.

Extrayendo ya todos los datos, y considerando sólo el primer mes. La dirección dominante la de mayor frecuencia en nuestro mes es la de SW. Compruebe que es la de mayor valor en nuestro ejemplo 10.

2xxx	1971	SW		
2xxx	1972	NE		
2xxx	1973	NE		
2xxx	1974	NE		
2xxx	1975	SW	N	3
2xxx	1976	SW	NE	3
2xxx	1977	SW	E	0
2xxx	1978	NW	SE	1
2xxx	1979	SW	S	4
2xxx	1980	S	SW	10
2xxx	1981	SW	W	0
2xxx	1982	NW	NW	1
2xxx	1983	SE		
2xxx	1984	S		
2xxx	1985	SW		
2xxx	1986	N		
2xxx	1987	SW		
2xxx	1988	SW		
2xxx	1989	SW		
2xxx	1990	S		
2xxx	1991	N		
2xxx	1992	N		
2xxx	1993	S		
		DOMINANTE	SW	

Ejemplo 6.2. Confección Rosa de los vientos.

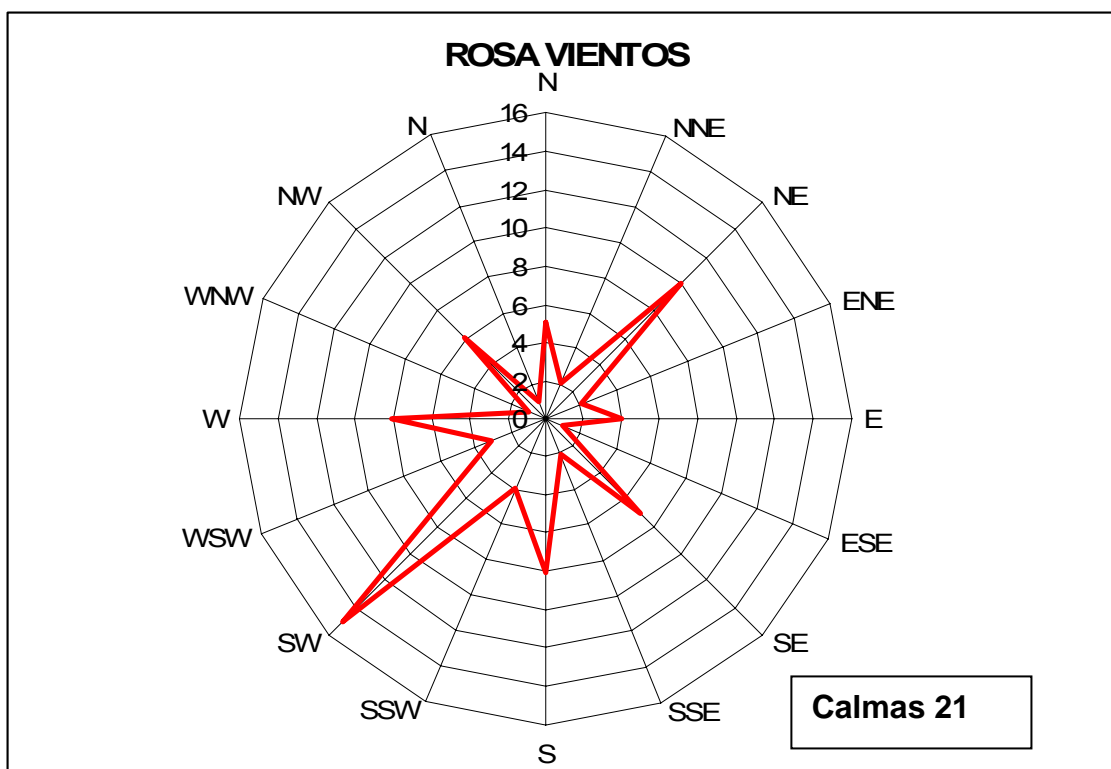
Ejemplo Rosa1 Con los datos adjuntos (Rosavientos) confeccione la rosa de los vientos para 16 rumbos. De los meses de enero .

Los datos que da el INM para Rosa de los Vientos son ya datos resumen que nos permiten realizar la Rosa de los Vientos de manera directa. Se aportan los datos de los doce meses. Normalmente se representan la rosas para los meses de Enero (invierno) y Julio (verano). La representación es sencilla, solo hay que llevar para cada una de las direcciones 8 (N NE E SE S SW W NW N) o 16 (N NNE NE ENE E ESE SE SSE S SSW SW WSW W WNW NW NN). [Elija siempre la que nos da como información el INM (los datos)]; los valores que aparecen como porcentajes para cada dirección directamente a escala, Se aconseja coger la mayor según el tamaño que queramos manejar y luego poner el resto a escala proporcional. Se suele poner en el centro en un círculo cuya circunferencia será el cero el valor de porcentaje de calma.

1. vaya al mes correspondiente. Por ejemplo: 1
2. trabaje con los porcentajes que aparecen en % (% de veces en que el viento viene de cada rumbo). El valor de velocidad no lo manejamos
3. puede poner en un círculo central las calmas.
4. a partir de la circunferencia exterior del círculo de calmas ponga el cero y para cada dirección y a escala traslade con trazos grueso los porcentajes.

24xx	'OBSERVATORIO'	043207W4200300750																
24xx	mes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NN	CAL	
24xx	%	1	5	2	10	2	4	1	7	2	8	4	15	3	8	1	6	1	21
24xx	V		8	13	10	7	4	6	5	9	9	13	16	19	17	14	9	4	
24xx	n		23																

En el ejemplo de abajo se dan la rosa de los vientos incompleta. Para cada dirección se colocaría el porcentaje anterior (si fueran con los datos de Palencia) y en el centro el porcentaje de calmas. También se puede representar sin el círculo central de calmas y se coloca el valor al lado. Así usando el Excel:



Ejemplo 6.3. Erosión eólica. WEQ.

Ejemplo EO 1. Calcule el factor climático para el observatorio de INM ...baseaérea. Datos:

Temperatura media °C = 18,7

Precipitación media anual = 196 mm

Velocidad del viento media anual = 2,18 m/s (a 9,1 metros de altura)

MES	tm °C	P mm	P corrected	v km/mes	v m/s	altura anemómetro	V m/s a 9.1	PE
1	4,8	21	21	7014	2,6187276	9	2,62286465	2,07717019
2	6,6	24	24	7689	3,17832341	9	3,18334451	2,15477745
3	9	28	28	7974	2,97715054	9	2,98185382	2,23808551
4	11,1	48	48	7855	3,0304784	9	3,03526593	3,66806333
5	15,3	48	48	7676	2,86589008	9	2,8704176	3,05163692
6	20,3	36	36	7590	2,92824074	9	2,93286676	1,84145087
7	24,3	12	12,7	8261	3,08430406	9	3,08917663	0,50863857
8	24	14	14	8607	3,21348566	9	3,21856231	0,57202686
9	19,9	32	32	6888	2,65740741	9	2,66160556	1,63793179
10	13,8	42	42	7485	2,79457885	9	2,79899371	2,79988908
11	8,8	34	34	6204	2,39351852	9	2,39729978	2,80631036
12	5,9	28	28	7774	2,90247909	9	2,90706441	2,66732549
0	13,6	367	367	91015	2,8870487	9	2,89160964	26,0233064
							sumaPE	26,02
							FACTOR C	13,8

El factor climático, C': el factor climático según el modelo planteado por Woodruff y Siddoway se cuantifica según la expresión:

$$C = 386 \cdot (V)^3 \cdot [PE \text{ index}]^{-2}$$

V: velocidad media del viento m/s corregida a una altura de 9,1 metros

PE index : índice precipitación-evaporación de Thornthwaite

$$PE \text{ index} = \sum_{I \text{ a XII}} 3,1606 \cdot (P/(1,8 \cdot T + 22))^{1,111}$$

P: precipitación media mensual en milímetros (Para P ≥ 12,7 mm)

T: temperatura media mensual en °C (Para T ≥ -1,7° C)

Hay una hoja excel: "calculoCwind.xls"

TEMA 7

Ejemplo 7.1. Precipitaciones máximas 24 horas. Gumbell. Ministerio Fomento. Precipitaciones en períodos inferiores a 24 h.

Ejemplo Prec. 1. Ejercicio 8.1. Con los datos de precipitaciones máximas diarias (INM) del observatorio de Rascafría, se pide calcular las precipitaciones máximas en 24 horas anuales para los períodos de retorno de 25, 50, 100 y 250 años.

- $P_{máx}^{25}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 25 años.
- $P_{máx}^{50}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 50 años.
- $P_{máx}^{100}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 100 años.
- $P_{máx}^{250}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 250 años.

La serie de precipitaciones máximas anuales son:

AÑO (mm/24h)	Pmáx.	AÑO (mm/24h)	Pmáx.	AÑO (mm/24h)	Pmáx.
1961	78.2	1971	41	1981	44.6
1962	78.3	1972	60.4	1982	40.6
1963	54.3	1973	33.7	1983	29.2
1964	38.4	1974	31.3	1984	44.4
1965	78.4	1975	58.6	1985	42.7
1966	64.8	1976	54.5	1986	52.3
1967	36.1	1977	45.4	1987	71.4
1968	48.6	1978	52.4	1988	40.4
1969	68.2	1979	54.3	1989	74.5
1970	44.4	1980	40.8	1990	65.5

Se necesita calcular la media y la desviación típica. Se recomienda usar la hoja de cálculo Excel o una calculadora (emplee la función estadística): Media = 52.25 Desviación típica (σ_{n-1}) = 14.668

Aplicando la expresión:

$$x = P_{máx}^T = media + k \cdot desviación\ típica = x_m + k \cdot \sigma_{n-1} = x_m + (y_T - y_n) \cdot \sigma_{n-1} / S_n \quad \text{Siendo: } k = (y_T - y_n) / S_n$$

El valor de y_T varía en función del período de retorno. Y los valores y_n y S_n del número de datos de la serie. Así para los treinta datos de la series ($n=30$) tenemos: $y_n = 0.53622$; $y, S_n = 1.11237$.

Obtenemos así el resultado:

	Período de retorno			T (años)
	25	50	100	250
y_T	3.1985	3.9019	4.6001	5.5195
k	2.3933	3.0257	3.6533	4.4797
$x = P_{máx}^T$	87.4	96.6	105.8	118.0

$P_{máx}^T$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de T años.

- $P_{máx}^{25}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 25 años = 87,4 mm/24 h
- $P_{máx}^{50}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 50 años = 96,6 mm/24 h
- $P_{máx}^{100}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 100 años = 105,8 mm/24 h
- $P_{máx}^{250}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 250 años = 127,1 mm/24 h

Ejemplo Prec. 2. Se desea estimar los valores de intensidades en 1, 6 y 12 horas, a partir de los valores de precipitaciones máximas en 24 horas del observatorio de Rascafría, y para los períodos de retorno de 25, 50, 100 y 500 años.

- $P_{\text{máx}}^{25}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 25 años = 90 mm/24 h
- $P_{\text{máx}}^{50}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 50 años = 100 mm/24 h
- $P_{\text{máx}}^{100}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 100 años = 109 mm/24 h
- $P_{\text{máx}}^{500}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 250 años = 132 mm/24 h

Solución:

$P_{\text{máx } 24 \text{ h}}^{25}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 25 años = 90 mm/24 h.
 En una hora será:

$$X_{24} = 90/24 \text{ mm/h} = 3,75 \text{ mm/h}$$

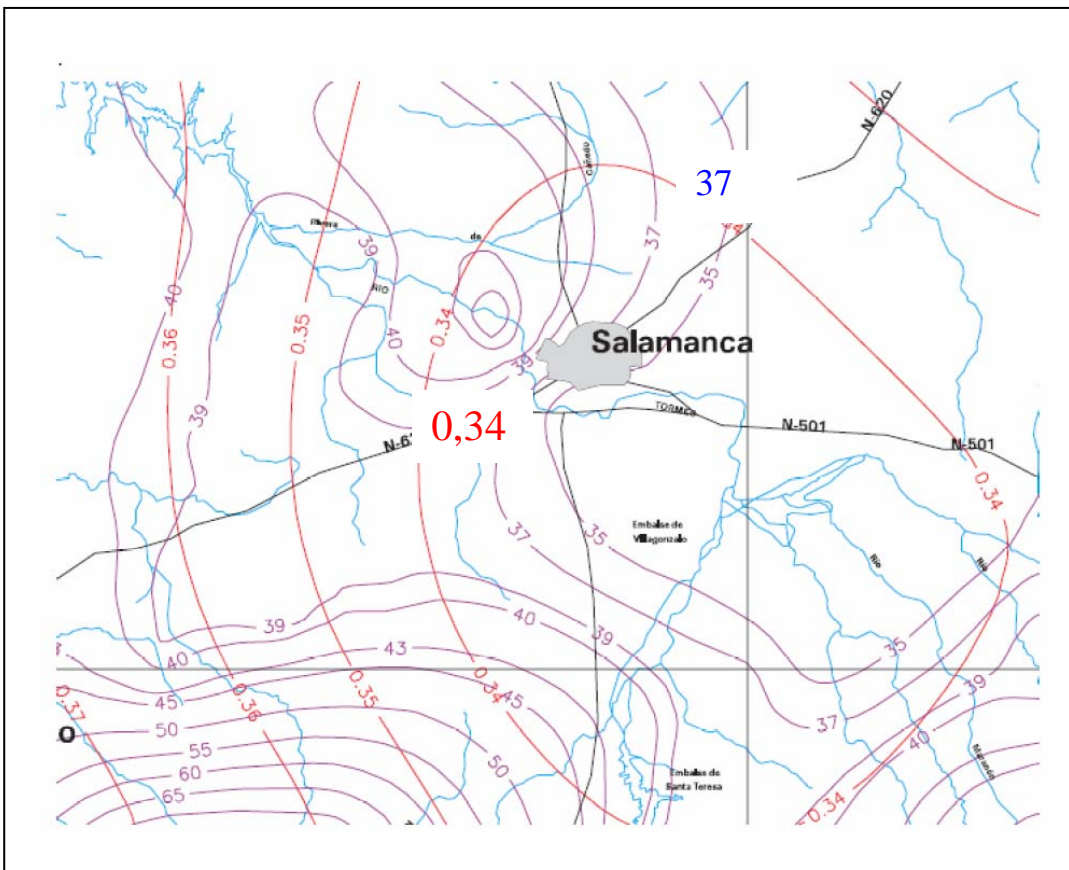
Como: $X_{24} = 0,60 \cdot X_{12} = 3,75 \text{ mm/h} \rightarrow X_{12} = 6,25 \text{ mm/h} \rightarrow P_{\text{máx } 12 \text{ h}}^{25} = 75 \text{ mm/12 h}$
 $X_{24} = 0,60 \cdot 0,58 \cdot X_6 = 3,75 \text{ mm/h} \rightarrow X_6 = 10,77 \text{ mm/h} \rightarrow P_{\text{máx } 6 \text{ h}}^{25} = 64,6 \text{ mm/6 h}$
 $X_{24} = 0,60 \cdot 0,58 \cdot 0,31 \cdot X_1 = 3,75 \text{ mm/h} \rightarrow X_1 = 34,76 \text{ mm/h} \rightarrow P_{\text{máx } 1 \text{ h}}^{25} = 34,8 \text{ mm/1 h}$

El resto de los resultados son:

T	Pmáx 24 h	P máx 12 h	P máx 6h	P máx 1 h
25	90	75	64,6	34,8
50	100	83	72	38
100	109	91	79	42
500	132	110	95	51

OJO, solo hay que aplicar las expresiones de Elías y Ruiz, teniendo cuidado con las unidades. Los valores vienen referidos a una hora. Esto es:
 es lo mismo 100 mm/24 h (100 milímetros caídos en 24 horas) que 4,166 mm/h (4,16 mm en cada hora ; que en 24 horas cayera dicha cantidad uniformemente serían 100 mm/24 horas). Los valores siempre vienen referidos en las expresiones vistas a una hora.)

Ejemplo Prec. 3. Consultando el Mapa del Ministerio de Fomento. Se desea estimar la precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 100 años, en Salamanca (Tomamos $P = 37$ y $C_v=0,34$).



C_v	2	5
0.30	0.935	1.1
0.31	0.932	1.1
0.32	0.929	1.2
0.33	0.927	1.2
0.34	0.924	1.2
0.35	0.921	1.2

Solución.

- El valor de la precipitación media en el mapa es de 37 (lo vemos en la línea AZUL). Así obtenemos $P = 37$ (mm/día)
- El valor del coeficiente de variación es de $C_v = 0,34$ (Línea ROJA)
- Usando la tabla: para $C_v = 0,34$ y $T = 100$ en la tabla se obtiene $K_{100} = 2,174$

$$\text{Así: } P_{\text{máx}}^{100} = K_{100} \cdot P = 2,174 \cdot 37 = 80,4 \text{ (mm/24 h)}$$

$P_{\text{máx}}^{100}$: precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 100 años = 121,4 mm/24 h

Ejemplo 7.2. Precipitación efectiva.

Ejemplo Pre 1 Dados los datos de las precipitaciones medias mensuales de su observatorio. Se quiere estimar la precipitación efectiva media mensual. Consulte el material de lectura y los datos de su observatorio.

Precipitación efectiva

No toda el agua de lluvia que cae sobre la superficie del suelo puede realmente ser utilizada por las plantas. Parte del agua de lluvia se infiltra a través de la superficie y parte fluye sobre el suelo en forma de escorrentía superficial. Cuando la lluvia cesa, parte del agua que se encuentra en la superficie del suelo se evapora directamente a la atmósfera, mientras que el resto se infiltra lentamente en el interior del suelo. Del total del agua que se infiltra, parte percola por debajo de la zona de raíces, mientras que el resto permanece almacenada en dicha zona y podría ser utilizada por las plantas.

El agua de lluvia evaporada, la de percolación profunda y la de escorrentía superficial no pueden ser utilizadas por el cultivo, o sea no son efectivas. A la porción restante, almacenada en la zona de raíces se le denomina precipitación efectiva.

En otras palabras, el término "precipitación efectiva" es utilizado para definir esa fracción de la lluvia que estará realmente disponible para satisfacer al menos parte de las necesidades de agua de las plantas. Este parámetro puede determinarse por experimentos o se estima por medio de ecuaciones empíricas (FAO, 1993), que para áreas con pendientes inferiores al 4-5% se tiene:

$$\begin{aligned} P_e &= 0.8 \times PP - 25 \quad \text{si } PP > 75 \text{ mm/mes} \\ P_e &= 0.6 \times PP - 10 \quad \text{si } PP < 75 \text{ mm/mes} \end{aligned}$$

Fuente: www.fao.org/Regional/LAmerica/prior/recrenat/pdf/capta/rev.pdf

Se ha aplicado a los siguientes datos el método expuesto. Se puede consultar la página Excel "precipitación efectiva.xls". Hay otros métodos en todos ellos el valor de la precipitación se disminuye (anula o queda igual) en función del volumen de precipitación caída.

AÑO	P	P efectiva
1980	5,7	0,00
1981	62,7	27,62
1982	70,2	32,12
1983	0,0	0,00

1984	21,8	3,08
1985	67,6	30,56
1986	49,8	19,88
1987	143,1	89,48
1988	50,8	20,48
1989	22,3	3,38
1990	44,4	16,64
1991	10,6	0,00
1992	8,8	0,00
1993	3,7	0,00
1994	51,1	20,66
1995	23,2	3,92
1996	249,2	174,36
1997	145,6	91,48
1998	73,7	34,22
1999	31,9	9,14
2000	25,9	5,54
2001	133,5	81,80
2002	86,8	44,44

TEMA 8

Ejemplo 8.1. EVAPOTRANSPIRACIONES

Se recomienda usar la hoja Excel “evapotranspiraciones.xls”

Ejemplo Evp. 1. Se pide calcular la ETr en el mes de Julio según el método de Hargreaves, en un observatorio cuya latitud es 40° 22' (40,36°). Se desea obtener el valor mm/día; mm/mes y en m³·ha⁻¹·mes⁻¹. Datos:

	<u>JULIO</u>
tm	24,6 °C
T	32,0 °C
t	17,2 °C
Ra	974,6 cal·cm ⁻² ·día ⁻¹ = 16,66 mm·día ⁻¹

Aplicando la formulación:

$$ET_{r\text{-julio}} = 0,0023 \cdot Ra \cdot (T-t)^{0,5} \cdot (tm+17,8)$$

ET : evapotranspiración del cultivo de referencia (césped) en mm/día

Ra : radiación solar extraterrestre expresada en equivalente de agua (mm/día)

T-t : diferencia entre la media mensual de temperaturas máximas y mínimas (°C)

tm : temperatura media del aire (°C)

$$ET_{r\text{-julio}} = 0,0023 \cdot 16,66 \cdot 3.847 \cdot 42.4 = 6,25 \text{ mm/día} = 194 \text{ mm/mes} = 1937 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$$

Para la conversión de unidades se tendrá en cuenta que:

$$1 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} = 4,185 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} = 0,04185 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} = 0,0171 \text{ mm/día}$$

$$1 \text{ mm/día} = 2,45 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} = 58,5 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$$

Ejemplo Eva. 2. . Se pide calcular la ETr media durante el mes de Abril, en mm/día, según la aproximación de Penman-Monteith (FAO 56) en una estación situada a una latitud de 9°20' N. Datos (Fuente: FAO 56). La temperatura media de los meses anterior y posterior es de 29,2 y 31,2 respectivamente.

$$T = 34,8 \text{ °C} \quad t = 25,6 \text{ °C} \quad tm = 30,2 \text{ °C} \quad N = 12,43 \text{ h/día}$$

$$HR = 64,5 \text{ \%} \quad U_2 = 2 \text{ m/s} \quad P = 1013 \text{ hPa} \quad n = 8,5 \text{ h/día}$$

$$Ra = 38,06 \text{ [MJ/m}^2\text{-día]}$$

Solución.

Aplicamos la formulación:

$$ETr = \Delta / (\Delta + \gamma^*) \cdot (1/\lambda_v \cdot \{Rn - G\}) + \gamma / (\Delta + \gamma^*) \cdot (900 \cdot U_2 / \{tm + 273\}) \cdot (e^o - ea) \text{ mm} \cdot (\text{día})^{-1}$$

$$ETr = \frac{[\Delta / (\Delta + \{\gamma \cdot [1 + 0,34 \cdot U_2]\})] \cdot [(1/\lambda_v \cdot \{Rn - G\})] + [\gamma / (\Delta + \{\gamma \cdot [1 + 0,34 \cdot U_2]\})] \cdot [(900 \cdot U_2) / \{tm + 273\}] \cdot [(e^o - ea)]}{1} \text{ mm} \cdot (\text{día})^{-1}$$

Δ : gradiente de presión de vapor a saturación, que se calcula como:

tm : temperatura media del aire = 30,2 °C

$$\Delta = (4098 / \{(tm + 237,3)^2\}) \cdot (0,6108 \cdot e^{[(17,27 \cdot tm) / (tm + 237,3)]}) = 0,246 \text{ kPa} \cdot \text{°C}^{-1}$$

γ^* : constante psicrométrica modificada que se define según la expresión:

$$\gamma^* = \gamma \cdot [1 + 0,336 \cdot U_2] = 0,1135 \text{ [kPa/°C]}$$

γ : constante psicrométrica sin modificar.

$$\gamma = [0,0016286 \cdot P_i] / [\lambda_v] = 0,0679 \text{ kPa} \cdot \text{°C}^{-1}$$

P_i : presión atmosférica media del mes "i" = 101,3 kPa

λ_v : calor latente de vaporización del agua para el mes

$$\lambda_v = 2,501 - (tm - 0,002361) = 2,42 \text{ [MJ} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

G: el flujo de energía provocado por el almacenamiento de calor en el suelo.

$$\text{Periodo mensual: } G = 0,07 \cdot (tm_{i+1} - tm_{i-1}) = 0,14 \text{ [MJ/m}^2\text{-día]}$$

Rn: radiación neta, diferencia entre la radiación neta entrante y la saliente:

$$Rn = [0,77 \cdot Ra \cdot (0,25 + 0,50 \cdot n/N)] - [1,35 \cdot \{R/R_{so}\} - 0,35] \cdot (0,34 - 0,14 \cdot e_a^{0,5}) \cdot \sigma \cdot [Tx^4 + Tn^4] / 2$$

$$\text{[MJ/m}^2\text{-día]}$$

$$Rn = (1 - \alpha) \cdot R - R_b = 14,267 \text{ [MJ/m}^2\text{-día}^{-1}\text{]}$$

$$(1 - \alpha) \cdot R = 0,77 \cdot Ra \cdot (0,25 + 0,50 \cdot n/N) = 17,347 \text{ [MJ} \cdot \text{m}^{-2}\text{-día}^{-1}\text{]}$$

$$Ra : \text{radiación global extraterrestre} = 38,06 \text{ [MJ} \cdot \text{m}^{-2}\text{-día}^{-1}\text{]}$$

$$n : \text{número de horas de sol efectivas} = 8,5 \text{ [h} \cdot \text{día}^{-1}\text{]}$$

$$N : \text{insolación máxima} = 12,43 \text{ [h} \cdot \text{día}^{-1}\text{]}$$

$$R = 22,528 \text{ [MJ} \cdot \text{m}^{-2}\text{-día}^{-1}\text{]}$$

R_b : radiación térmica (onda larga) perdida

$$R_{so} (\text{Radiación con } n=N) = 28,54$$

$$R_{bo} = (0,34 - 0,14 \cdot e_a^{0,5}) \cdot \sigma \cdot [Tx^4 + Tn^4] / 2 = 4,301$$

$$f = [1,35 \cdot \{R/R_{so}\} - 0,35] = 0,715$$

$$R_b = R_{bo} \cdot [1,35 \cdot \{R/R_{so}\} - 0,35] = R_{bo} \cdot f = 3,08 \text{ [MJ} \cdot \text{m}^{-2}\text{-día}^{-1}\text{]}$$

$$ea = HR \text{ media} / 100 \cdot [(e^o(t) + e^o(T)) / 2] = 2,85 \text{ kPa}$$

$$T = \text{temperaturas medias de máximas} = 34,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_x = T + 273,15 = 307,9 \text{ K}$$

$$t = \text{temperaturas medias de mínimas} = 25,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_n = t + 273,15 = 298,8 \text{ K}$$

$$U_2: \text{velocidad del viento a dos metros de altura} = 2 \text{ m/s}$$

$$(900 \cdot U_2) / \{t_m + 273\} = 5,936$$

$$e^\circ - e_a: \text{déficit de saturación de vapor} = 1,57 \text{ kPa}$$

$$e^\circ = 0,5 \cdot [e^\circ(T) + e^\circ(t)] = 4,42 \text{ kPa}$$

$$e_a = 2,85 \text{ kPa}$$

$$\Delta / (\Delta + \gamma \cdot [1 + 0,34 \cdot U_2]) \cdot (1 / \lambda_w \cdot \{R_n - G\}) = 3,99 \text{ mm/día}$$

$$[\gamma / (\Delta + \gamma \cdot [1 + 0,34 \cdot U_2])] \cdot (900 / \{t_m + 273\}) \cdot U_2 \cdot (e^\circ - e_a) = 1,76 \text{ mm} \cdot (\text{día})^{-1}$$

$$ET_r = 1 / (\Delta + \gamma \cdot [1 + 0,34 \cdot U_2]) \cdot \{ (1 / \lambda_w \cdot \Delta \{R_n - G\}) + \gamma \cdot (900 \cdot U_2 / \{t_m + 273\}) \cdot (e^\circ - e_a) \}$$

$$ET_r = 5,75 \text{ mm/día} = 172 \text{ mm/mes} = 1725 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{mes}$$

TEMA 9

Ejemplo 9.1. Balance hídrico

Ejemplo BH 1. Realice el siguiente balance hídrico con una reserva máxima de 100 mm.

Reserva
máxima 100

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P	16,40	18,50	24,40	28,70	43,10	35,90	18,00	22,00	38,80	30,40	21,90	28,30
ETP _{th}	14,00	20,00	38,00	50,00	88,00	122,00	151,00	141,00	91,00	56,00	26,00	15,00
P-ETP	2,40	-1,50	-13,60	-21,30	-44,90	-86,10	-133,00	-119,00	-52,20	-25,60	-4,10	13,30
R	15,70	14,20	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,30
VR	2,40	-1,50	-13,60	-0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,30
ETR	14,00	20,00	38,00	29,30	43,10	35,90	18,00	22,00	38,80	30,40	21,90	15,00
F	0,00	0,00	0,00	20,70	44,90	86,10	133,00	119,00	52,20	25,60	4,10	0,00
Ex	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

$$- R: \text{Reserva} \quad R_i = \begin{cases} R_{i-1} + (P_i - ET_i) & \text{si } 0 < R_{i-1} + (P_i - ET_i) < R_{\text{máx}} \\ R_{\text{máx}} & \text{si } R_{i-1} + (P_i - ET_i) > R_{\text{máx}} \\ 0 & \text{si } 0 > R_{i-1} + (P_i - ET_i) \end{cases}$$

$$- VR: \text{variación reserva} \quad VR_i = R_i - R_{i-1}$$

$$- ETR: \text{evapotranspiración} \quad \begin{cases} ETR_i = ET_i & \text{si } (P_i - ET_i) > 0 \\ ETR_i = P_i + |VR_i| & \text{si } (P_i - ET_i) \leq 0 \end{cases}$$

- F: falta de agua $F_i = ET_i - ETR_i$
- Ex: exceso de agua $Ex_i = [P_i - ET_i - VR_i]$ si $(P_i - ET_i) > 0$
 $Ex_i = 0$ si $(P_i - ET_i) \leq 0$

Puede emplear la hoja Excel ETP-balancehidrico.xls

Ejemplo 9.2. Humedad del suelo.

Ejemplo HS 1. Se desea estimar el nivel de déficit permisible (dosis de riego a emplear) en un suelo en cuyo espesor de riego la capacidad de retención de agua disponible es de 45 mm. Se toma un nivel de agotamiento permisible del 65 %.

Capacidad de Campo (cm/cm)=	0,3
Punto de Marchitamiento Permanente (cm/cm)=	0,15
Capacidad de Retención de Agua Disponible (m/m) =	0,150
CRAD Agua disponible (mm) =	45,0
Nivel de Agotamiento Permisible (%) =	65
Déficit Permisible (mm) =	29,3

Nivel de déficit permisible (dosis de riego a emplear) = $45 \cdot 65/100 = 29,3$ mm

Ejemplo HS 2. En un horizonte superficial con los datos que se indican a continuación, se pide calcular la capacidad de retención de agua disponible en cm/cm, y en m³/ha para todo el horizonte superficial.

Prof. cm	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Elem. gruesos > 2mm (% Vol.)	CO	Densidad aparente (g/cc)		Humedad % peso	
						Seco estufa	1/3 bar	CC	PMP
0-20	14,8	34,5	50,7	10	1,95	1,48	1,18	30	15

Nos dan ya

los valores de CC y PMP (obtenidos en laboratorio) así que los aplicamos de forma directa. No tenemos que aplicar ninguna ecuación de regresión:

$$CRAD = [(w_{1/3} - w_{15})/100] \cdot \rho_b(1/3) \cdot (1-f) \cdot 1/\rho_w \text{ [cm}^3 \text{ agua/ cm}^3 \text{ suelo]}$$

$$w_{1/3} = 30 \text{ [g agua/100·g suelo]}$$

$$w_{15} = 15 \text{ [g agua/100·g suelo]}$$

$$\rho_b(1/3) = \text{Densidad aparente (capacidad de campo)} = 1,18 \text{ [g de suelo/cm}^3 \text{ de suelo]}$$

$$\rho_w = \text{Densidad agua} = 1 \text{ [g /cm}^3 \text{]}$$

$$1-f = 1-(\%EG/100) = 0,9$$

$$CRAD = [(30-15)/100] \cdot 1,18 \cdot (0,9) \cdot 1/1 \text{ [cm}^3 \text{ agua/ cm}^3 \text{ suelo]} = 0,1593$$

$$\text{CRAD} = 0,1593 \quad [\text{cm}^3 \text{ agua/cm}^3 \text{ suelo}] = 0,1593 \quad \text{cm/cm}$$

Para un espesor de 20 cm:

$$\text{CRAD (total)} = 3,186 \text{ cm} = 31,86 \text{ mm} = 31,86 \text{ L/m}^2 = 318,6 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Recordamos que $1 \text{ mm} = 1 \text{ L/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$

Ejemplo HS 3 Se desea estimar los siguientes parámetros físicos en tres suelos en los que únicamente se conoce su clase textural:

	Densidad g/cm ³	Agua retenida -33 kPa cm ³ /cm ³	Agua retenida -1500 kPa cm ³ /cm ³
a) Franco arcillosa			
b) Franco arenosa			
c) Arcillo limosa			

Usamos cualquier tabla que nos de esa información. Por ejemplo:

Tabla. Valores medios de porosidad, densidad y humedades a capacidad de campo y punto de marchitez para diferentes texturas. Fuente: Rawls et al. 1992.

	Porosidad %	Densidad g/cm ³	Agua retenida -33 kPa cm ³ /cm ³	Agua retenida -1500 kPa cm ³ /cm ³
Arena	43.7	1.49	0,091	0,033
Arena franca	43.7	1.49	0,125	0,055
Franco arenosa	45.3	1.45	0,207	0,095
Franca	46.3	1.42	0,270	0,117
Franco limosa	50.1	1.32	0,330	0,133
Franco arcillo arenosa	39.8	1.6	0,255	0,148
Franco arcillosa	46.4	1.42	0,318	0,197
Franco arcillo limosa	47.1	1.4	0,366	0,208
Arcillo arenosa	43	1.51	0,339	0,239
Arcillo limosa	47.9	1.38	0,387	0,250
Arcilla	47.5	1.39	0,396	0,272

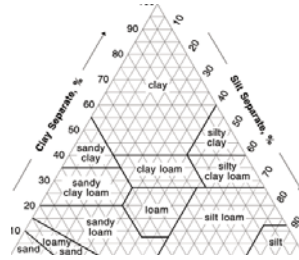
a) Franco arcillosa
b) Franco arenosa
c) Arcillo limosa

Así:

	Densidad g/cm ³	Agua retenida -33 kPa cm ³ /cm ³	Agua retenida -1500 kPa cm ³ /cm ³
Franco arenosa	1.45	0,207	0,095
Franco arcillosa	1.42	0,318	0,197
Arcillo limosa	1.38	0,387	0,250

NOTA: La textura es un concepto de la Ciencia del Suelo. Expresa en síntesis mediante una calificación la granulometría del suelo. La granulometría son los porcentajes de las partículas

del suelo clasificados según su tamaño (arena-limo-arcilla). Para más información visita la página web: (http://www.pedosphere.com/resources/bulkdensity/triangle_us.cfm)



Ejemplo HS 4. Se desea con los datos que se indican a continuación realizar una programación diaria (real) de riego del 22 de Junio al 4 de Julio. Datos:

- La capacidad de campo del suelo es de 70 mm
- El 21 de Junio el contenido de humedad del suelo está a capacidad de campo
- Caen dos precipitaciones efectivas de 14 mm (el 24 de Junio) y de 8 mm (el 4 de Julio).
- La CRAD es de 32,1 mm y el NAP es del 70 %

Solución:

$$\text{Dosis riego} = 32,1 \cdot 0,70 = 22,5$$

$$\text{Habrá que regar a partir de } 70 - 22,5 = 47,5 \text{ mm}$$

	21 VI	22 VI	23 VI	24 VI	25 VI	26 VI	27 VI	28 VI	29 VI	30 VI	1 VII	2 VII	3 VII	4 VII
Pe				14										8
Etc		4	3,9	1,6	3,4	5,3	4,3	4,8	4,4	5	7	6,2	5,3	4,3
Riego										22,5			22,5	
Hsuelo	70	66	62,1	70	66,5	61,3	57	52,1	47,8	65,3	53,2	47	69,3	70

El día 21 de Junio el suelo está a capacidad de campo. Lo que hacemos es día a día contabilizar como se mueve el agua en el suelo. Se considera que hay:

Pérdidas = evapotranspira

Aportes = llueve + riego

Así el día 22 de Junio se evapotranspira 4, y en el suelo queda $70 - 4 = 66$. El día 24 de Junio en el cómputo se adiciona la precipitación efectiva.

En el día 30 de Junio, tenemos que el día anterior teníamos en el suelo 47,8, y se pierden 5. Nos quedarían en el suelo ($47,8 - 5 = 42,8$); como quiera que según el planteamiento inicial la reserva del suelo no puede bajar de 47,5 (nivel de déficit permisible), lo que hacemos es un riego (aporte) con un volumen igual a la dosis de riego.

Ejemplo HS 5. El balance de agua aplicado en una finca cultivada de maíz se expone a continuación. Se desea calcular los parámetros (dotación y frecuencia de riegos y el calendario de riegos) que caracterizará un riego por aspersión (eficiencia del 65 %), sabiendo que los parámetros edáficos son:

Capacidad de campo 25 % (% en peso)

El suelo a finales del mes de Abril está a capacidad de campo.

Punto de marchitez 10% (porcentaje en peso)

Elementos gruesos Inapreciables (consideramos el 0%)

Densidad aparente 1,30 Mg/m³

Profundidad considerada 0,30 m

	O	N	D	E	F	M	A	My	Jn	Jl	A	S
P	75	65	64	50	60	56	39	29	29	0	1	24
ETc	-	-	-	-	-	-	-	37	112	256	220	72
Agua en el suelo							CC					
ETc-P								8	83	256	219	48

P: precipitación (mm)

ETc: evapotranspiración del maíz

Solución:

El ejemplo nos sirve para modelizar lo que habría que hacer en una planificación de regadío (anteproyecto o proyecto).

Humedad a capacidad de campo: $CC = (w_{1/3})/100 \cdot \rho_b(1/3) \cdot (1-f) \cdot 1/\rho_w$ [cm³ agua/ cm³ suelo]

$CC = (w_{1/3})/100 \cdot \rho_b(1/3) \cdot D_b(1/3) \cdot (1-f) \cdot 1/\rho_w$ [mm agua/mm suelo] · 300 mm

$CC = 25/100 \cdot 1,30 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 300 = 97,5$ mm

Humedad a punto de marchitez: $PMP = (w_{15})/100 \cdot \rho_b(1/3) \cdot (1-f) \cdot 1/\rho_w$ [cm³ agua/ cm³ suelo]

$PMP = (w_{15})/100 \cdot \rho_b(1/3) \cdot (1-f) \cdot 1/\rho_w$ [mm agua/ mm suelo] · 130 mm

$PMP = 10/100 \cdot 1,30 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 300 = 39,0$ mm

Capacidad de retención de Agua disponible = CRAD = CC - PMP

CRAD = 97,5 - 39 = 58,5 mm

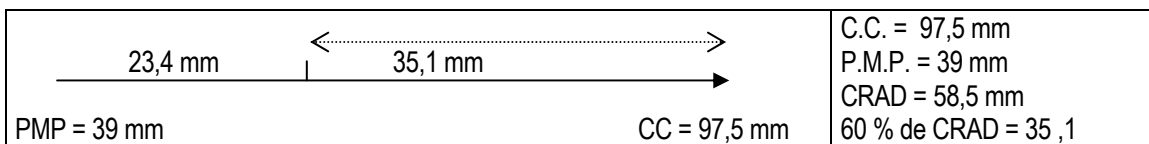
Como:

NAP = 60 %

Eficiencia del riego por aspersión: 0,65

Dotación de riegos neta: $D_{neta} = 58,5 \cdot 60/100 = 35,1$ mm

Dotación de riegos bruta: $D_{bruta} = 35,1/0,65 = 54$ mm



Cuando el nivel de agua de CRAD disminuye en 35,1 mm desde el valor de capacidad de campo hay que iniciar un nuevo riego. Así el nivel del agua en el suelo nunca bajará de 62,4 mm (39 + 23,4).

Según el enunciado el agua existente en el suelo en el mes de Abril es la capacidad de campo (97,5 mm). Y como la dosis neta de riego es igual a 35,1 mm, y el nivel de agotamiento mínimo permitido de agua en el suelo es de 62,4 mm. Obtenemos:

Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep

P-ETc		8	83	256	219	48
Agua en el suelo	97,5	89,5	76,7	66,4	93,1	80,2
Riego neto		0	70,2	245,7	245,7	35,1
Nº		0	2	7	7	1

Con mayor detalle, para los meses de junio y julio, tenemos:

Junio

Número de Riegos = 2

Dosis de riego = $2 \cdot 35,1 = 70,2$

Agua en Junio = $(89,5 \text{ {Reserva Mayo}} + 70,2 \text{ {Riego}}) - 83 \text{ {P-ETc}} = 76,7$

Y el agua en el suelo es mayor que el nivel de agotamiento permitido: $76,7 > 62,4 \text{ mm}$

Dosis de riego bruta = $2 \cdot 54 = 108 \text{ mm}$

Julio

Número de Riegos = 7

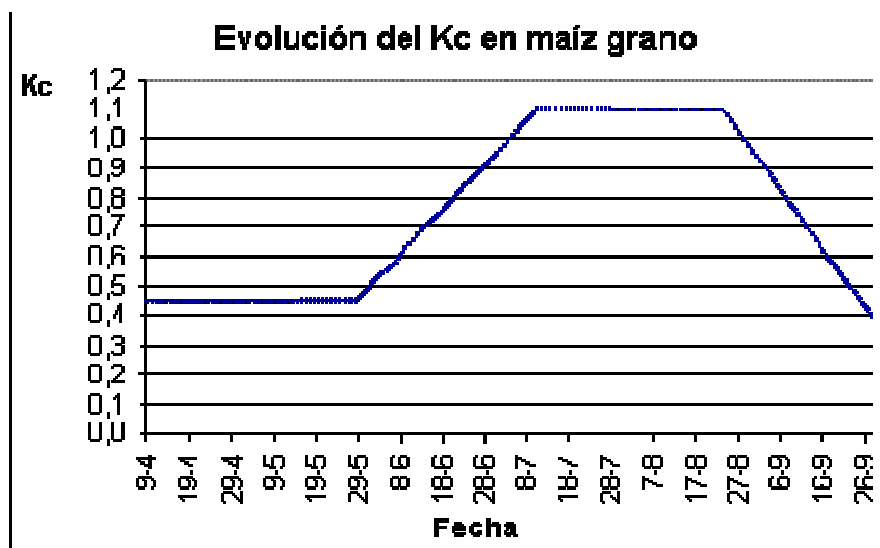
Dosis de riego = $7 \cdot 35,1 = 245,7 \text{ mm}$

Agua en Junio = $(76,7 \text{ {Reserva Junio}} + 245,7 \text{ {Riego}}) - 256 \text{ {P-ETc}} = 66,4$

Dosis de riego bruta = $7 \cdot 54 = 378 \text{ mm}$

Ejemplo 9.3.. Coeficiente de cultivo. Evapotranspiración del cultivo.

Ejemplo Etc 1. Dada la siguiente información, se desea calcular la evapotranspiración del cultivo en la quincena del 1 al 15 de Julio del 2006. Para el cultivo del maíz en Toledo se adjunta la evolución del valor de Kc.



1. Estime el valor de Kc: del 15 de julio al 31 de julio el valor de Kc según el gráfico es de 1,1
2. Se calculan los valores de Eto (evapotranspiración de referencia estimada según Penman-Montheith FAO56) para esos 15 días (en nuestro ejemplo ya nos lo dan).
2. El valor de Etc (evapotranspiración del cultivo) para esos 15 días (ET del cultivo) se calcula mediante el producto: $Etc = Eto \cdot Kc$

	Eto	Kc	ETc
15-jul-08	6,09	1,10	6,70
16-jul-08	6,09	1,10	6,70
17-jul-08	6,09	1,10	6,69
18-jul-08	6,08	1,10	6,69
19-jul-08	6,08	1,10	6,69
20-jul-08	6,07	1,10	6,68
21-jul-08	6,07	1,10	6,67
22-jul-08	6,06	1,10	6,66
23-jul-08	6,05	1,10	6,65
24-jul-08	6,04	1,10	6,64
25-jul-08	6,03	1,10	6,63
26-jul-08	6,01	1,10	6,61
27-jul-08	6,00	1,10	6,60
28-jul-08	5,98	1,10	6,58
29-jul-08	5,97	1,10	6,56
30-jul-08	5,95	1,10	6,54
31-jul-08	5,93	1,10	6,52