

NECESIDADES DE RIEGO DE LOS CULTIVOS



Pedro Jesús Alcobendas Cobo. Área de Ingeniería Agroforestal

Marta María Moreno Valencia. Área de Producción Vegetal

1. Necesidades hídricas de los cultivos.
Evapotranspiración.
2. Necesidades de riego.
3. Programación de riegos basada en medidas del estado hídrico del cultivo.
4. Riego deficitario controlado



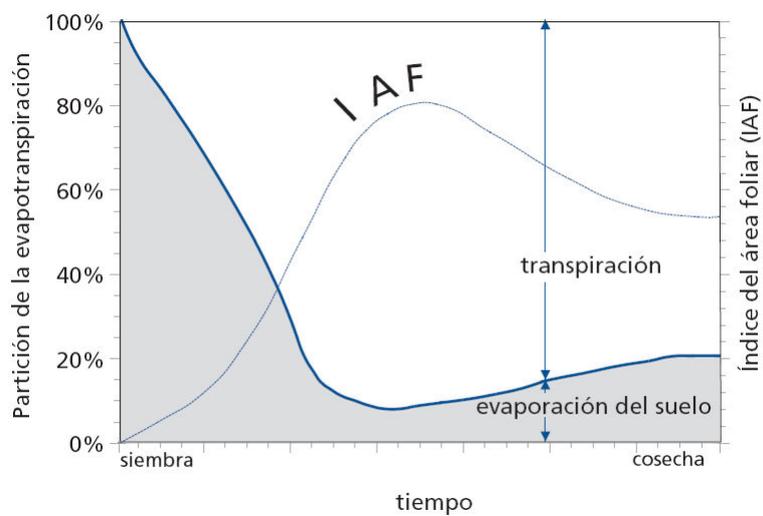
1. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS

EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET)

- ❖ **Concepto:** “Pérdida de agua bajo forma de vapor desde un suelo con cubierta vegetal a través de la evaporación y de la transpiración durante un intervalo de tiempo determinado” (Perrier, 1984).
- ❖ **Significado real:** consumo hídrico de las especies vegetales.
- ❖ **Componentes:** evaporación (suelo) y transpiración (cubierta vegetal).
- ❖ **Unidades:** l/m² y día (=mm/día)

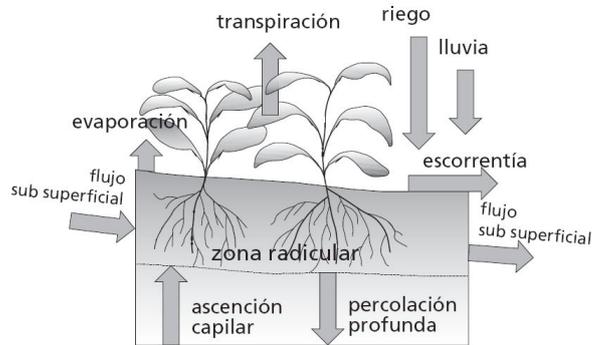


❖ **Importancia relativa de los dos componentes (E y T):**



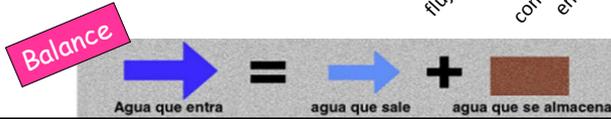
Cálculo de las necesidades de agua

Balance de agua en el suelo de la zona radicular



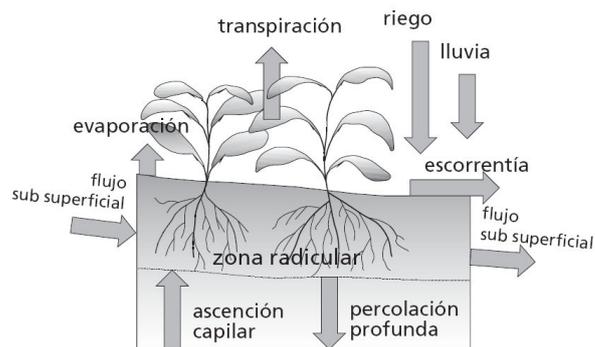
$$ET = I + P - RO - DP + CR \pm \Delta SF \pm \Delta SF$$

Riego
Precipitación
Escorrentía
Percolación profunda
Capilaridad
Variación en el flujo horizontal
Variación en el contenido de agua en el suelo



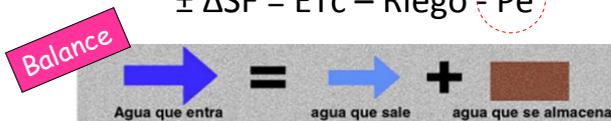
Cálculo de las necesidades de agua

Balance de agua en el suelo de la zona radicular

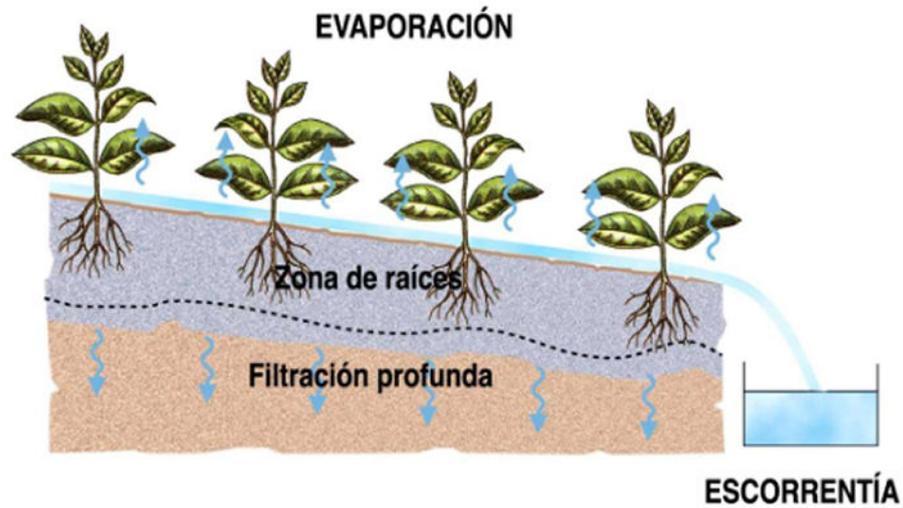


$$ET = \text{Riego} + \text{Precipitación efectiva} \pm \Delta SF$$

$$\pm \Delta SF = ET_c - \text{Riego} - Pe$$



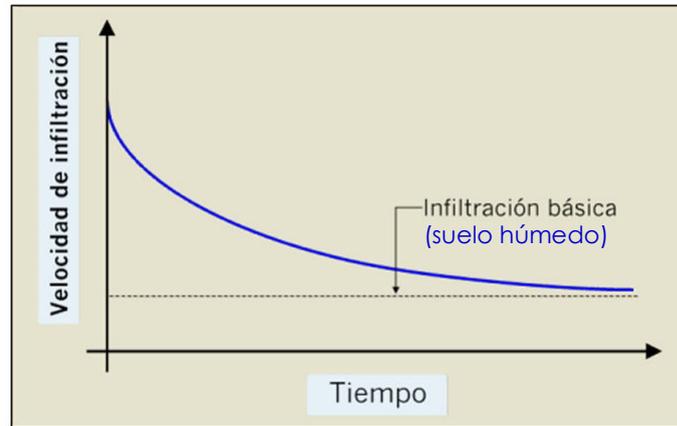
PÉRDIDAS DE AGUA EN EL SUELO



Para que no se produzca escorrentía, la lluvia media del sistema (pluviometría) debe ser menor que la velocidad de infiltración



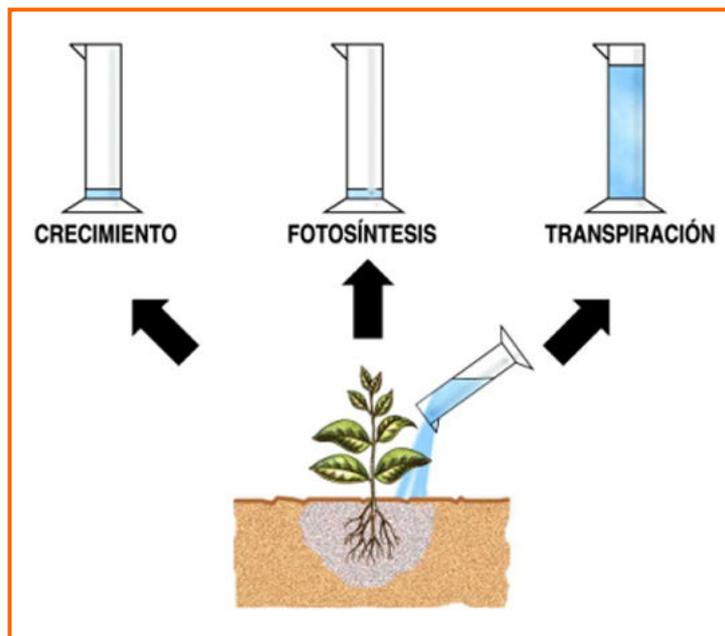
INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO



La velocidad de infiltración disminuye con el tiempo, conforme el suelo aumenta su humedad

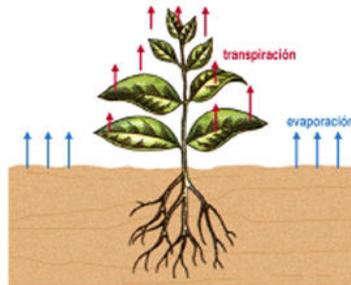


USO DEL AGUA POR LA PLANTA



NECESIDADES DE AGUA

ET = EVAPOTRANSPIRACIÓN



Evaporación desde el suelo (E)

Transpiración de la planta (T)

EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET)



CONSUMO DE AGUA POR EL CULTIVO

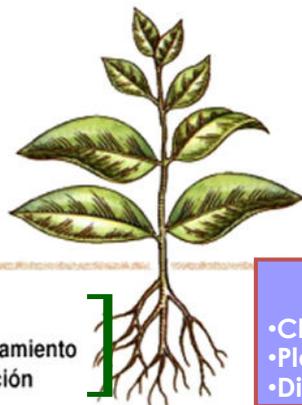
CLIMATOLOGÍA

- Radiación
- Humedad
- Temperatura
- Viento



PLANTA

- Tipo de cultivo
- Estado de desarrollo



SUELO

- Almacenamiento
- Distribución

La ET de un cultivo depende de:

- Clima
- Planta
- Disponibilidad de agua en el suelo

Evolución en el cálculo de ETc

- A lo largo de la historia se han hecho muchos esfuerzos para la determinación de la ETc.
- Importantes avances en los últimos 25 años.
- Cuaderno [nº 24 de FAO](#) “Las necesidades de agua de los cultivos” (1977).
- Cuaderno [nº 46 de FAO](#) “CROPWAT” (1992). Se sigue recomendando el manual 24. Muy utilizado (método Penman Monteith).
- [Cuaderno nº 56 de FAO](#) (2006). Se hace mas énfasis en el cálculo de Kc.



¿Cómo se calculan las **necesidades hídricas** (evapotranspiración, ETc) de los cultivos?

- Se utiliza el procedimiento de la FAO

ETc = Evapotranspiración de referencia x Coefficiente de cultivo

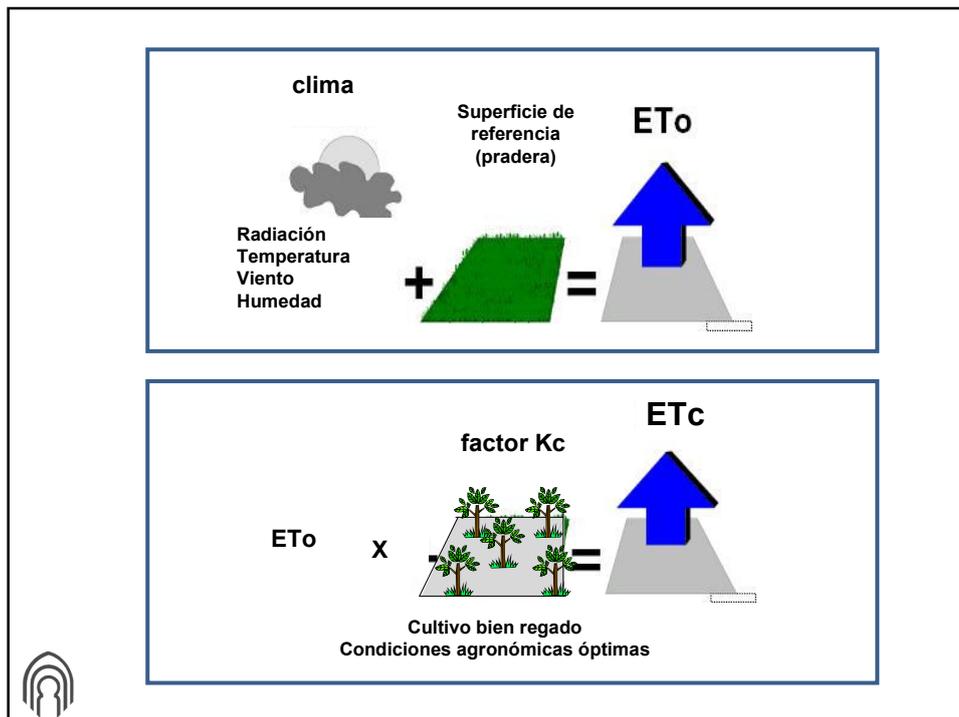
↓
ETo

Depende del clima

↓
Kc

Depende del cultivo
y de su fenología





Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_0)

La ET_0 se define como el consumo de agua de:

- Hierba corta de 8 a 15 cm de altura
- Cultivada en un campo extenso
- En crecimiento activo y sana
- Sombreado totalmente el suelo
- Bien provista de agua

Calculada en función de variables climáticas
(T^a , HR, radiación, insolación, viento, evaporación)



Datos climáticos requeridos por los distintos métodos de FAO para el cálculo de la ETo:

	Tª	HR	Viento	Insolación	Radiación	Evaporación	Condiciones locales
Penman-Monteith (1992)	1	1	1	1	3	-	2
Evaporímetro clase A	-	2	2	-	-	1	1
Hargreaves (1989)	1	2	2	2	-	-	2
Blaney-Criddle (1977)	1	2	2	2	-	-	2

(1): datos medidos; (2): datos estimados; (3) datos no indispensables pero convenientes.

Cálculo de ETo

•Penman-Montheith

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_N - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Incorpora un componente **energético** (radiación) y un componente **aerodinámico** (viento y humedad del aire).

ETo evapotranspiración de referencia (mm/día)
Rn radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/ m² y día)
Ra radiación extraterrestre (mm/día)
G flujo del calor de suelo (MJ/ m² y día)
T temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u₂ velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)
e_s presión de vapor de saturación (kPa)
e_a presión real de vapor (kPa)
e_s - e_a déficit de presión de vapor (kPa)
Δ pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)
γ constante psicrométrica (kPa/°C)



Cálculo de ETo

•Evaporímetro

$$ET_0 = E_{pan} K_p$$

ETo evapotranspiración de referencia (mm/día)
Kp: coeficiente de cubeta
E = Evaporación (mm/día)



Cálculo de ETo

•Evaporímetro

$$ETo = E_{pan} Kp$$

Coeficientes Kp para cubetas de Clase A (Doorenbos y Pruitt, 1977)

Cubeta Clase A	Caso 1 Cubeta rodeada de cubierta verde baja			Caso 2 Cubeta con barbecho de secano				
	Baja <40	Media 40-70	Alta >70	Baja <40	Media 40-70	Alta >70		
Humedad relativa media (%)								
Vientos km/día	Distancia a barlovento a la cual cambia la cobertura (m)			Distancia a barlovento a la cual cambia la cobertura (m)				
Débiles < 175	1	.55	.65	.75	1	.70	.80	.85
	10	.65	.75	.85	10	.60	.70	.80
	100	.70	.80	.85	100	.55	.65	.75
	1000	.75	.85	.85	1000	.50	.60	.70
Moderados 175 - 425	1	.50	.60	.65	1	.65	.75	.80
	10	.60	.70	.75	10	.55	.65	.70
	100	.65	.75	.80	100	.50	.60	.65
	1000	.70	.80	.80	1000	.45	.55	.60
Fuertes 425 700	1	.45	.50	.60	1	.60	.65	.70
	10	.55	.60	.65	10	.50	.55	.65
	100	.60	.65	.70	100	.45	.50	.60
	1000	.65	.70	.75	1000	.40	.45	.55
Muy fuertes > 700	1	.40	.45	.50	1	.50	.60	.65
	10	.45	.55	.60	10	.45	.50	.55
	100	.50	.60	.65	100	.40	.45	.50
	1000	.55	.60	.55	1000	.35	.40	.45



Cálculo de ETo

•Hargreaves

$$ETo = 9.388 \cdot 10^{-4} Ra (t_{med} + 17.8)(t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

ETo evapotranspiración de referencia (mm/día)

Ra= radiación extraterrestre en equivalentes de evaporación (mm/día) (tabulado)

T= temperatura media diaria o temperatura media de las medias del período que se considere.

Tmax= temperatura máxima diaria o temperatura media de máximas del período.

Tmin=temperatura mínima diaria o temperatura media de mínimas del período.

•Priestley-Taylor

•Blaney-Criddle





Cálculo de ETo

<http://www.mapa.es/siar/Informacion.asp>

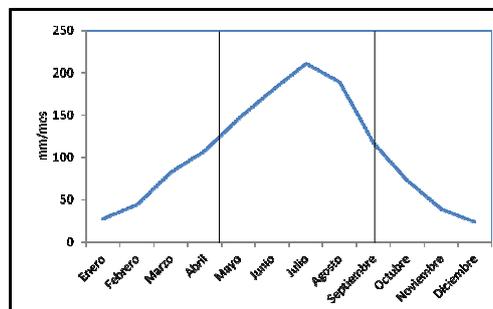
<http://crea.uclm.es/siar/index.php>



Valores de ETo

Datos de la estación de Ciudad Real, 2005-2010

	mm/mes	mm/día
Enero	28,0	0,9
Febrero	43,9	1,6
Marzo	82,4	2,7
Abril	107,7	3,6
Mayo	145,7	4,7
Junio	179,3	6,0
Julio	210,8	6,8
Agosto	189,4	6,1
Septiembre	116,7	3,9
Octubre	73,2	2,4
Noviembre	39,3	1,3
Diciembre	24,1	0,8



1240,4

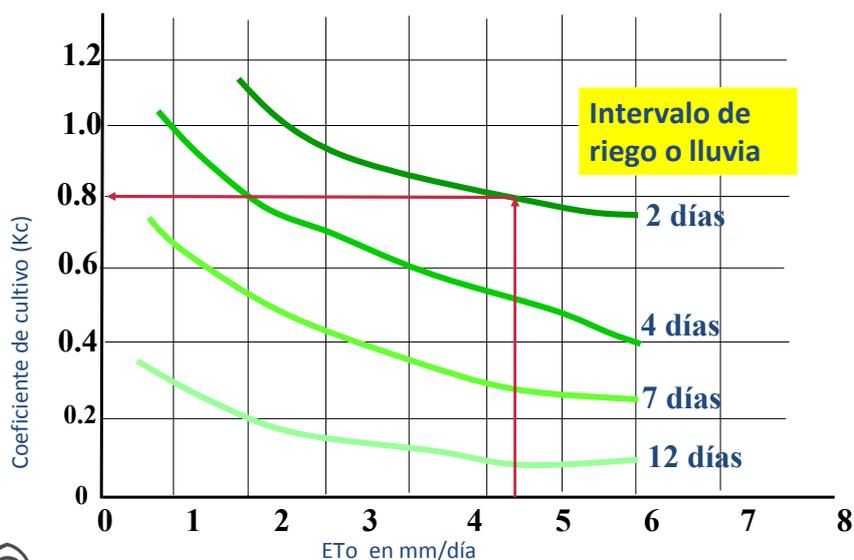
Coeficiente de cultivo Kc

Depende del tipo de cultivo, estado fenológico, condiciones específicas del cultivo y condiciones climáticas locales

- El ciclo del cultivo se divide en 4 fases:
 - 1. Fase inicial. Desde siembra al 10% de suelo sombreado (SS)
 - 2. Fase de desarrollo. Hasta el 70-80% de SS
 - 3. Fase de mediados. Hasta comienzo de la senescencia de las hojas
 - 4. Fase de finales. Hasta la maduración o recolección.
- Se determina la duración de las 4 fases a partir de información local.



¿Cómo se determina el Kc en la fase inicial?



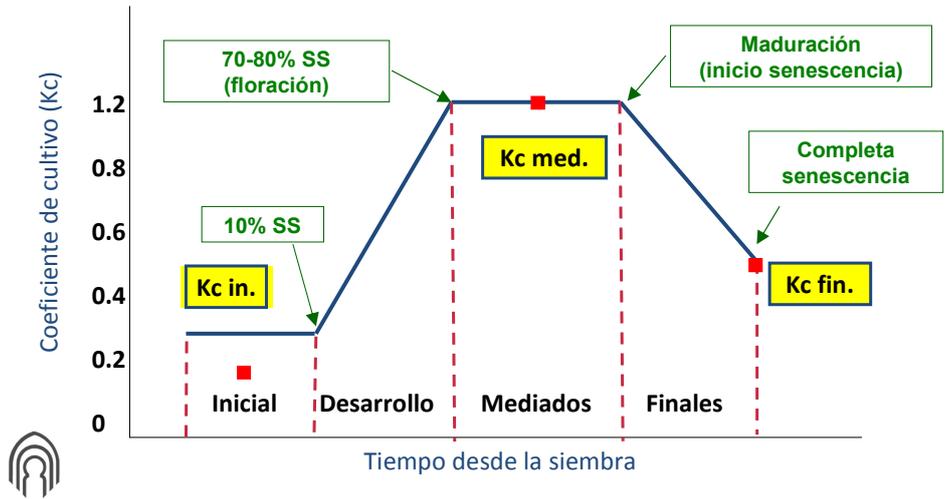
Faci (2008)



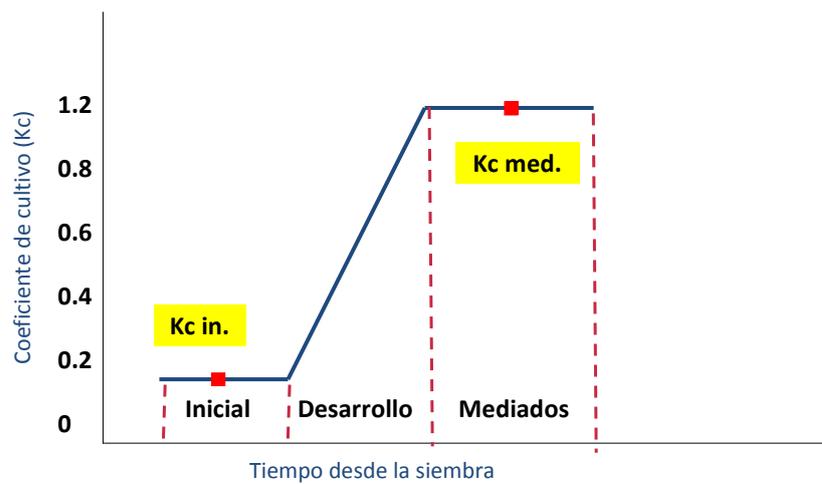
Curva de Kc para cultivos herbáceos

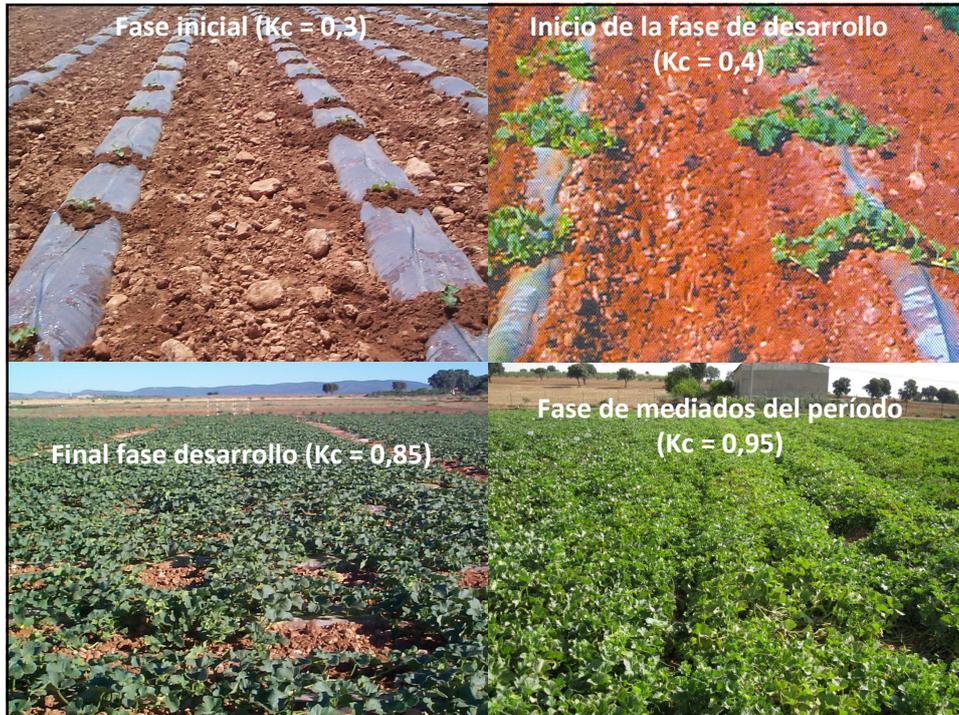
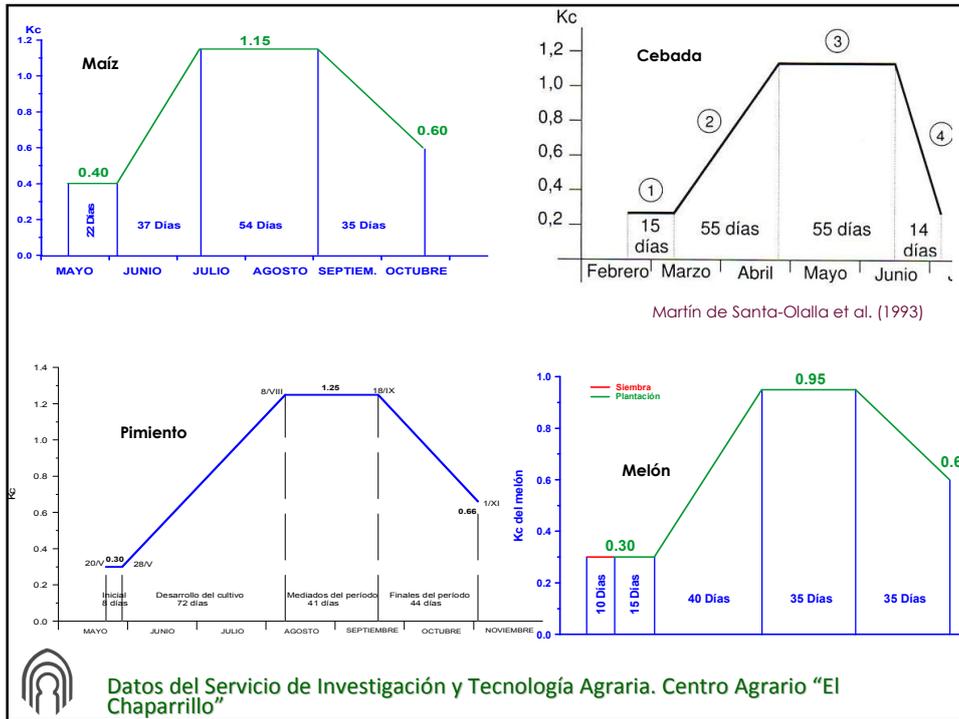
Se construye a partir de:

- 1) la duración de las 4 fases y
- 2) valores tabulados de los Kc indicados

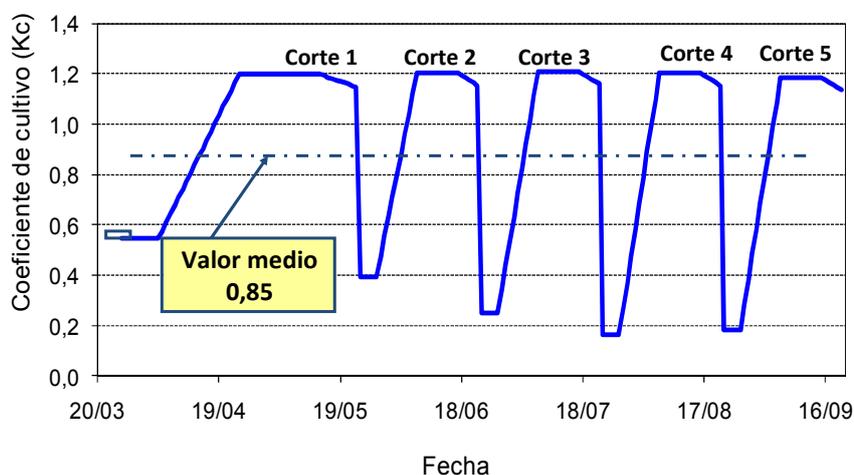


Curva de Kc para cultivos hortícolas cosechados en verde





Ejemplo de Kc en cultivo de alfalfa



Faci (2008)

Valores de Kc tabulados:

Valores de Kc en las distintas fases de desarrollo para diversos cultivos. (Villalobos et al., 2002, adaptado de Doorenbos y Pruitt, 1977, y Allen et al., 1998). Los valores de porcentaje se refieren a suelo cubierto para frutales. En algunos cultivos (p.ej. guisante), el Kc final depende mucho de su aprovechamiento (fresco o seco), lo que explica el amplio intervalo indicado.

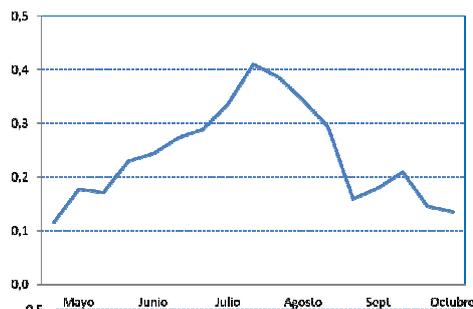
Cultivo	Kc _{ini}	Kc _{med}	Kc _{fin}	Cultivo	Kc _{ini}	Kc _{med}	Kc _{fin}
Avena	0.3	1.15-1.25	0.20-0.25	Lenteja	0.4	1.10-1.25	0.25-0.30
Cebada	0.3	1.15-1.25	0.20-0.25	Soja	0.4	1.15-1.25	0.45-0.50
Centeno	0.3	1.15-1.25	0.20-0.25	Algodón	0.35	1.15-1.25	0.50-0.70
Maíz dulce	0.3	1.15-1.25	1.00-1.05	Girasol	0.35	1.15-1.25	0.35-0.40
Maíz grano	0.3	1.15-1.25	0.35-0.60	Remolacha azucarera	0.35	1.15-1.25	0.70-0.90
Sorgo	0.3	1.10-1.15	0.50-0.55	Alfalfa	0.40	0.95-1.00	
Trigo	0.3	1.15-1.25	0.20-0.25	Pradera golf	0.80	0.85-0.95	
Ajo	0.7	1.10-1.20	0.70-1.00	Caña de azúcar	0.40	1.25-1.35	0.75-0.80
Cebolla	0.7	1.05-1.10	0.70-1.05	Platanera	0.50	1.25-1.35	1.10
Col	0.7	1.05-1.10	0.90-0.95	Aguacate	0.60	0.85-0.90	0.70-0.75
Lechuga	0.7	1.00-1.05	0.90-1.00	Almendro	0.40	0.90	0.65
Melón	0.5	1.05-1.10	0.70-0.75	Cítricos 20%	0.50	0.45	0.55
Patata	0.5	1.15-1.25	0.70-0.75	Cítricos 50%	0.65	0.60	0.55
Calabacín	0.5	0.95-1.00	0.70-0.80	Cítricos 70%	0.70	0.65	0.70

Duración de cada fase del ciclo:

Valores indicativos para la duración (días) de las 4 fases para el cálculo de Kc por el método FAO para diversos cultivos. Esta Tabla debe emplearse con precaución, ya que la duración real de las fases varía mucho dependiendo de la zona, del cultivar y de las condiciones climáticas del año. (Villalobos et al., 2002, adaptado de Allen et al., 1998).

Cultivo	Siembra	Duraciones	Total
Cereales invierno	Nov.-Diciembre	20-60-70-30	180
Cereales primavera	Marzo-Abril	20-30-60-40	150
Maíz	Marzo-Abril	30-40-50-30	150
Sorgo	Abril-Mayo	20-35-40-30	130
Apio	Abril	25-40-45-15	125
Berenjena	Mayo-Junio	30-45-40-25	140
Calabaza	Mayo-Junio	25-35-35-25	120
Calabacín	Mayo	25-35-25-15	100
Cebolla	Octubre	20-35-110-45	210
Cebolla	Abril	15-25-70-40	150
Col	Oct.-Noviembre	30-35-90-40	195
Espárragos	Febrero	90-30-200-45	365
Espinaca	Sept.-Octubre	20-20-25-5	70
Lechuga	Oct.-Noviembre	25-35-30-10	100
Lechuga	Abril	20-30-15-10	75
Melón	Marzo	30-30-50-30	140
Patata	Abril	30-35-50-30	145

Kc en vid



Kc en olivo

Mes	Kc
Enero	0,50
Febrero	0,50
Marzo	0,65
Abril	0,65
Mayo	0,65
Junio	0,60
Julio	0,60
Agosto	0,60
Sept.	0,60
Oct.	0,65
Nov.	0,65
Dic.	0,50



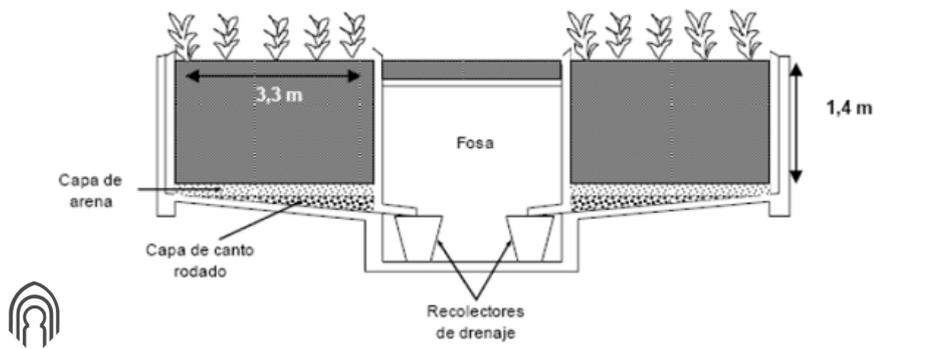
Mayo Junio Julio Agosto Septiembre Octubre

Medidas directas de ETo y ETc con lisímetros

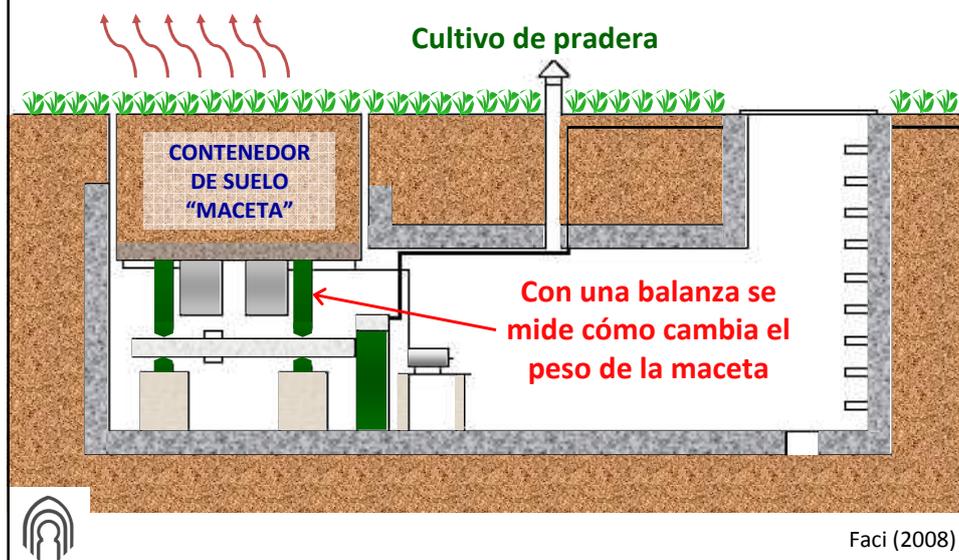
Permiten:

- Validar métodos de cálculo de ETo
- Obtener de forma experimental los valores de Kc

Lisímetro de drenaje



Lisímetro de pesada





2. NECESIDADES DE RIEGO DE LOS CULTIVOS

PROGRAMACIÓN DE RIEGOS

Necesidades netas de riego (N_{nr}) = $ET_c - P_e$

P_e : precipitación eficaz o efectiva

En riego localizado se corrige ET_c para considerar el efecto de la localización y las condiciones locales



Necesidades de agua en RLAF



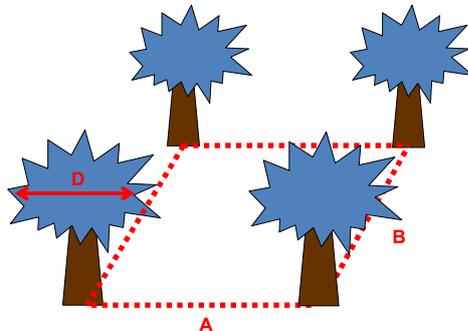
El riego se diseña para el máximo valor mensual de N_n



COEFICIENTES CORRECTORES EN RIEGO LOCALIZADO

K_L Corrección por el EFECTO DE LOCALIZACIÓN

(ÁREA SOMBREADA, K_s)



$$A = \frac{\text{Área sombreada}}{\text{Marco}} = \frac{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}{A \cdot B}$$

En **CULTIVOS HERBÁCEOS** se estima, siendo $A \leq 75-80\%$ ($A \approx 50-60\%$)



Aljibury et al.	$K_L = 1.34 \cdot A$
Decroix	$K_L = 0.1 + A$
Hoare et al.	$K_L = A + 0.5 \cdot (1-A)$
Keller	$K_L = A + 0.15 \cdot (1-A)$

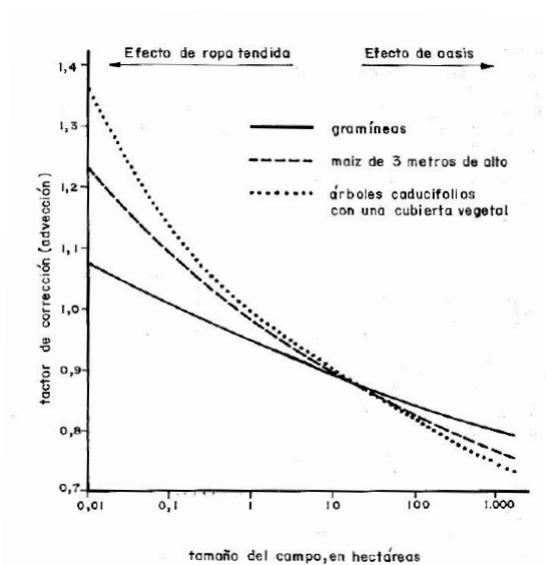
Se desprecian los valores extremos y se hace la media de los centrales

K_a Corrección por ADVENCION **Es mayorante, ya que se trabaja con temporales**
K_a = 1.15-1.20 (Hernández Abreu)

K_r Corrección por ADVENCION

Depende de la superficie puesta en regadío (FAO)

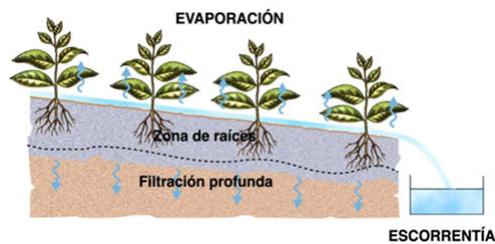
K_r Corrección por ADVENCION



PRECIPITACION EFICAZ

La **precipitación efectiva o eficaz** es la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua del cultivo; quedan por tanto excluidas:

- La infiltración profunda
- La escorrentía superficial
- La evaporación de la superficie del suelo.



Factores que influyen en la proporción de lluvia eficaz

Factor	Características relevantes
Lluvia	Cantidad, intensidad, frecuencia, distribución en toda la parcela
Otros parámetros meteorológicos	Temperatura, radiación, humedad relativa, velocidad del viento
Terreno	Topografía, pendiente, uso del suelo
Suelo	Profundidad, textura, estructura, densidad, contenido en materia orgánica;
Agua del suelo	Cantidad, materias en suspensión, viscosidad, temperatura, sales disueltas
Gestión del suelo	Tipo de laboreo, grado de nivelación, tipo de terreno (terrazas, caballones, etc),
Cultivos	Tipo de cultivo, profundidad del sistema radicular grado de cobertura del suelo, estadio del cultivo, etc,



Métodos de cálculo de lluvia eficaz

FAO

- $Pe = 0.6 Pt - 10$ para $Pt < 75$ mm
- $Pe = 0.8 Pt - 25$ para $Pt > 75$ mm

Porcentaje fijo

- $Pe = a \cdot Pt$ $a = (0.7, 0.9)$

USDA SCS (P)

- $Pe = Pt (125 - 0,2 Pt/125)$ para $Pt < 250$ mm
- $Pe = 125 + 0,1 Pt$ para $Pt > 250$ mm



Métodos de cálculo de lluvia eficaz

USDA SCS (P, ET)

$$P_e = (1,25247 \cdot P_t^{0,82416} - 2,93522) \cdot 10^{0,00095U} \cdot f$$

siendo: Pe = Precipitación efectiva mensual (mm).

Pt = Precipitación total mensual (mm).

U = Uso consuntivo medio mensual

$$f = 0.531747 + 0.011621 \cdot \Delta_s - 8.9 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta_s^2 + 23 \cdot 10^{-7} \cdot \Delta_s^3$$

siendo

Δ_s = dosis de riego neta (mm).



Métodos de cálculo de lluvia eficaz

USDA SCS (P, ET)

Lluvia efectiva media mensual y su relación con la ETc mensual media y las lluvias mensuales medias

Lluvia media mensual	Consumo medio mensual													
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
	Lluvia efectiva media mensual (mm)													
12.5	7.5	8.0	8.7	9.0	9.2	10.0	10.5	11.2	11.7	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
25.0	15.0	16.2	17.5	18.0	18.5	19.7	20.5	22.0	24.5	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
37.5	22.5	24.0	26.2	27.5	28.2	29.2	30.5	33.0	36.2	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5
50.0	25	32.2	34.5	35.7	36.7	39.0	40.5	43.7	47.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
62.5	at 41.7	39.7	42.5	44.5	46.0	48.5	50.5	53.7	57.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
75.0		46.2	49.7	52.7	55.0	57.5	60.2	63.7	67.5	73.7	75.0	75.0	75.0	75.0
87.5		50.0	56.7	60.2	63.7	66.0	69.7	73.7	77.7	84.5	87.5	87.5	87.5	87.5
100.0		at 80.7	63.7	67.7	72.0	74.2	78.7	83.0	87.7	95.0	100	100	100	100
112.5			70.5	75.0	80.2	82.5	87.2	92.7	98.0	105	111	112	112	112
125.0			75.0	81.5	87.7	90.5	95.7	102	108	115	121	125	125	125
137.5			at 122	88.7	95.2	98.7	104	111	118	126	132	137	137	137
150.0				95.2	102	106	112	120	127	136	143	150	150	150
162.5				100	109	113	120	128	135	145	153	160	162	162
175.0				at 160	115	120	127	135	143	154	164	170	175	175
187.5					121	126	134	142	151	161	170	179	185	187
200.0					125	133	140	148	158	168	178	188	196	200
225					at 197	144	151	160	171	182				
250						150	161	170	183	194				
275						at 240	171	181	194	205				
300							175	190	203	215				
325							at 287	198	213	224				
350								200	220	232				
375								at 331	225	240				
400									at 372	247				
425										250				
450										at 412				

Métodos de cálculo de lluvia eficaz

USDA SCS (P, ET)

Factor de corrección cuando el agua almacenada en el suelo en el momento del riego es mayor o menor de 75 mm

d mm	factor	d mm	factor	d mm	factor
10.00	0.620	31.25	0.818	70.00	0.990
12.50	0.650	32.50	0.826	75.00	1.000
15.00	0.676	35.00	0.842	80.00	1.004
17.50	0.703	37.50	0.360	85.00	1.008
18.75	0.720	40.00	0.876	90.00	1.012
20.00	0.728	45.00	0.905	95.00	1.016
22.50	0.749	50.00	0.930	100.00	1.020
25.00	0.770	55.00	0.947	125.00	1.040
27.50	0.790	60.00	0.963	150.00	1.060
30.00	0.808	65.00	0.977	175.00	1.070



Métodos de cálculo de lluvia eficaz

EJEMPLO

Lluvia mensual media de 100 mm, ETc 150 mm, y contenido de agua en el suelo 125 mm.

SEGUN FAO:

- $Pe = 0.8 Pt - 25$ para $Pt > 75$ mm = 55 mm

METODO USDA:

Métodos de cálculo de lluvia eficaz

USDA SCS (P, ET)

EJEMPLO

Lluvia efectiva media mensual y su relación con la ETc mensual media y las lluvias mensuales medias

Lluvia media mensual	Consumo medio mensual													
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
	Lluvia efectiva media mensual (mm)													
12.5	7.5	8.0	8.7	9.0	9.2	10.0	10.5	11.2	11.7	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
25.0	15.0	16.2	17.5	18.0	18.5	19.7	20.5	22.0	24.5	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
37.5	22.5	24.0	26.2	27.5	28.2	29.2	30.5	33.0	36.2	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5
50.0	25	32.2	34.5	35.7	36.7	39.0	40.5	43.7	47.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
62.5	at 41.7	39.7	42.5	44.5	46.0	48.5	50.5	53.7	57.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
75.0		46.2	49.7	52.7	55.0	57.5	60.2	63.7	67.5	73.7	75.0	75.0	75.0	75.0
87.5		50.0	56.7	60.2	63.7	66.0	69.7	73.7	77.7	84.5	87.5	87.5	87.5	87.5
100.0		at 60.7	63.7	67.7	72.0	74.2	78.7	83.0	87.7	95.0	100	100	100	100
112.5			70.5	75.0	80.2	82.5	87.2	92.7	98.0	105	111	112	112	112
125.0			75.0	81.5	87.7	90.5	95.7	102	108	115	121	125	125	125
137.5			at 122	88.7	95.2	98.7	104	111	118	126	132	137	137	137
150.0				95.2	102	106	112	120	127	136	143	150	150	150
162.5				100	109	113	120	128	135	145	153	160	162	162
175.0				at 160	115	120	127	135	143	154	164	170	175	175
187.5					121	126	134	142	151	161	170	179	185	187
200.0					125	133	140	148	158	168	178	188	196	200
225					at 197	144	151	160	171	182				
250						150	161	170	183	194				
275						at 240	171	181	194	205				
300							175	190	203	215				
325							at 287	198	213	224				
350								200	220	232				
375								at 331	225	240				
400									at 372	247				
425										250				
450										at 412				

Métodos de cálculo de lluvia eficaz

EJEMPLO

USDA SCS (P, ET)

Factor de corrección cuando el agua almacenada en el suelo en el momento del riego es mayor o menor de 75 mm

d mm	factor	d mm	factor	d mm	factor
10.00	0.620	31.25	0.818	70.00	0.990
12.50	0.650	32.50	0.826	75.00	1.000
15.00	0.676	35.00	0.842	80.00	1.004
17.50	0.703	37.50	0.360	85.00	1.008
18.75	0.720	40.00	0.876	90.00	1.012
20.00	0.728	45.00	0.905	95.00	1.016
22.50	0.749	50.00	0.930	100.00	1.020
25.00	0.770	55.00	0.947	125.00	1.040
27.50	0.790	60.00	0.963	150.00	1.060
30.00	0.808	65.00	0.977	175.00	1.070



Métodos de cálculo de lluvia eficaz

EJEMPLO

Lluvia mensual media de 100 mm, ETc 150 mm, y contenido de agua en el suelo 125 mm.

SEGUN FAO:

- $Pe = 0.8 Pt - 25$ para $Pt > 75$ mm = 55 mm

METODO USDA:

- $Pe = 74,2 \times 1,04 = 77,16$ mm



Necesidades netas de riego (N_{nr}) = $E_{tc} - P_e$

• Necesidades brutas (N_b)

En riego por aspersión

$$N_b = \frac{N_n}{E_a(1-LR)}$$

En riego localizado

$$N_b = \frac{N_n}{CU(1-K)}$$

K: Coeficiente para el lavado: Es el MAYOR valor entre:

$$\begin{cases} K = 1 - E_a & \text{(Eficiencia de la aplicación)} \\ K = LR & \text{(Necesidades de lavado)} \end{cases}$$



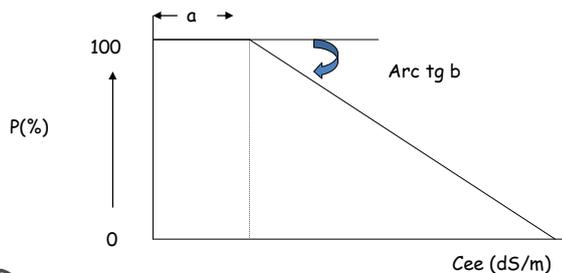
RELACION SALINDAD-PRODUCCIÓN

Maas-Hoffman:

Entre la salinidad del suelo y la producción de los cultivos existe una relación lineal, que se puede expresar de la siguiente manera:

$$P = 100 - b(C_{ee} - a) < 100$$

Sensibilidad
Resistencia



P = producción del cultivo respecto al máximo.

C_{ee} . Salinidad del suelo (mmhos/cm, dS/m)

a y b constantes de cultivo



RELACION SALINDAD-PRODUCCIÓN

Valores encontrados por Maas.Hoffman en distintos cultivos

Cultivo	a	b	Valores de CE_p (mmhos/cm) para una F (%) de:				
			100	90	75	50	0
CULTIVOS EXTENSIVOS							
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	8,0	5,00	8,0	10,0	13,0	18,0	28,0
Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>)	7,7	5,38	7,7	9,6	13,0	17,0	27,0
Remolacha azucarera (<i>Beta vulgaris</i>)	7,0	6,25	7,0	8,7	11,0	15,0	24,0
Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	6,0	7,14	6,0	7,4	9,5	13,0	20,0
Canamo (<i>Carthamus tinctorius</i>)	5,3	10,87	5,3	6,2	7,6	9,9	14,5
Soja (<i>Glycine max</i>)	5,0	20,00	5,0	5,5	6,2	7,5	10,0
Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	4,0	7,14	4,0	5,1	7,2	11,0	18,0
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	3,0	11,90	3,0	3,8	5,1	7,2	11,5
Sesbania (<i>Sesbania exaltata</i>)	2,3	7,04	2,3	3,7	5,9	9,4	16,5
Cacahuete (<i>Arachis hypogaea</i>)	3,2	29,41	3,2	3,5	4,1	4,9	6,5
Habes (<i>Vicia faba</i>)	1,6	9,62	1,6	2,6	4,2	6,8	12,0
Maiz (<i>Zea mays</i>)	1,7	11,90	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
Lino (<i>Linum usitatissimum</i>)	1,7	11,90	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
HORTALIZAS							
Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)	4,0	8,93	4,0	5,1	6,8	9,6	15,0
Brsculi (<i>Brassica oleracea botrytis</i>)	2,8	9,26	2,8	3,9	5,5	8,2	13,5
Melón (<i>Cucumis melo</i>)	2,2	7,25	2,2	3,6	5,7	9,1	16,0
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	2,5	9,80	2,5	3,5	5,0	7,6	12,5
Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)	2,0	7,58	2,0	3,3	5,3	8,6	15,0
Peperino (<i>Cucurbitis sativus</i>)	2,5	13,16	2,5	3,3	4,4	6,3	10,0
Col (<i>Brassica oleracea</i>)	1,8	9,62	1,8	2,8	4,4	7,0	12,0
Maiz dulce (<i>Zea mays</i>)	1,7	11,90	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
Patata (<i>Solanum tuberosum</i>)	1,7	11,90	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
Boniato (<i>Ipomoea batatas</i>)	1,5	11,11	1,5	2,4	3,8	6,0	10,5
Pimiento (<i>Capsicum annuum</i>)	1,5	13,89	1,5	2,2	3,3	5,1	8,5
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	1,3	12,82	1,3	2,1	3,2	5,2	9,0
Rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	1,2	13,16	1,2	2,0	3,1	5,0	9,0
Cebolla (<i>Allium cepa</i>)	1,2	16,13	1,2	1,8	2,8	4,3	7,5
Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	1,0	13,89	1,0	1,7	2,8	4,6	8,0
Judías (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1,0	19,23	1,0	1,5	2,3	3,6	6,5



RELACION SALINDAD-PRODUCCIÓN

Valores encontrados por Maas.Hoffman en distintos cultivos

Cultivo	a	b	Valores de CE_p (mmhos/cm) para una F (%) de:				
			100	90	75	50	0
FRUTALES							
Palmera datilera (<i>Phoenix dactylifera</i>)	4,0	4,50	4,0	6,8	10,9	17,9	32,0
Granado (<i>Punica granatum</i>)	2,7	8,77	2,7	3,8	5,5	8,4	14,0
Higuera (<i>Ficus carica</i>)							
Olivio (<i>Olea europaea</i>)	1,5	9,62	1,5	2,5	4,1	6,7	12,0
Vid (<i>Vitis spp</i>)	1,8	16,13	1,8	2,4	3,4	4,9	8,0
Peral (<i>Pyrus communis</i>)	1,7	16,13	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0
Manzano (<i>Malus sylvestris</i>)							
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	1,7	16,13	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0
Limonero (<i>Citrus limón</i>)	1,7	20,83	1,7	2,2	2,9	4,1	6,5
Nogai (<i>Juglans regia</i>)							
Melocotonero (<i>Prunus persica</i>)	1,5	17,86	1,5	2,1	2,9	4,3	7,0
Ciruelo (<i>Prunus domestica</i>)	1,5	19,23	1,5	2,0	2,8	4,1	7,0
Albaricoquero (<i>Pyrus armeniaca</i>)	1,6	23,81	1,6	2,0	2,6	3,7	6,0
Zarzamora (<i>Rubus spp</i>)	1,5	21,74	1,5	2,0	2,6	3,8	6,0
Aguaicate (<i>Persea americana</i>)	1,3	20,83	1,3	1,8	2,5	3,7	6,0
Frambuesa (<i>Rubus idoeus</i>)	1,0	22,73	1,0	1,4	2,1	3,2	5,5
Fresa (<i>Fragaria spp.</i>)	1,0	33,33	1,0	1,3	1,8	2,5	4,0



RIEGO POR ASPERSION

- Necesidades de lavado (LR)

$$LR = \frac{CE_i}{(5 CE_e - CE_i) f}$$

- ✓ CE_i : Conductividad eléctrica del agua de riego
 - ✓ CE_e : Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo que tolera una determinada reducción de cosecha
 - ✓ f : eficiencia del lavado
- | |
|------------------------------------|
| 100% Suelos arenosos ($f=1$) |
| 30% Suelos arcillosos ($f=0,30$) |
| 85% Resto de suelos ($f=0,85$) |



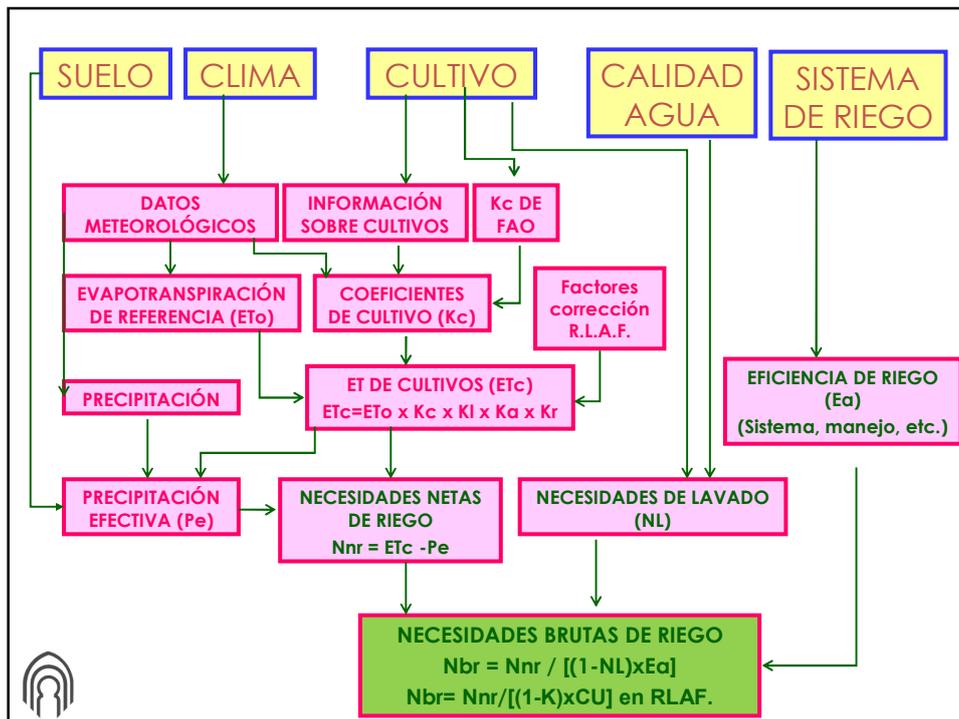
RIEGO LOCALIZADO

- Necesidades de lavado (LR)

$$LR = \frac{CE_i}{2 \text{ Max } CE_e}$$

- ✓ CE_i : Conductividad eléctrica del agua de riego
- ✓ $\text{Max } CE_e$: Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo que se impone como objetivo a conseguir con el lavado





• Efectos negativos del déficit de riego en los cultivos:

- Afecta negativamente al desarrollo del cultivo.
- Reduce la cosecha final.
- Los frutos son de menor tamaño.
- Disminuye la calidad de la cosecha.



- Efectos negativos del riego excesivo en los cultivos:

- Riesgo de asfixia radicular.
- Disminuye la producción comercial (mayor incidencia de enfermedades criptogámicas).
- Disminuye la calidad de la cosecha (contenido en azúcar y proteínas de los frutos, peor extractabilidad de los componentes)



Infeción por hongos



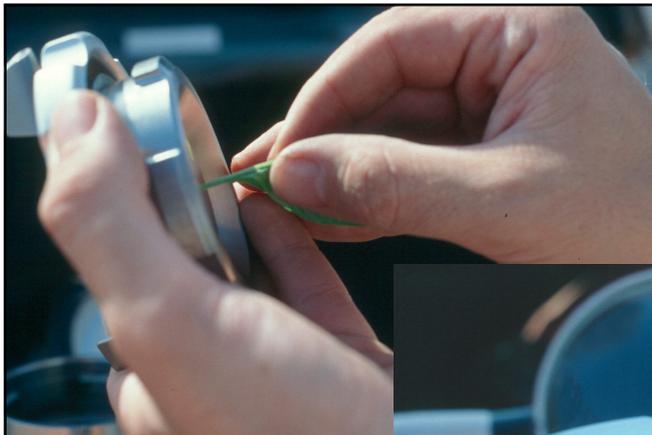
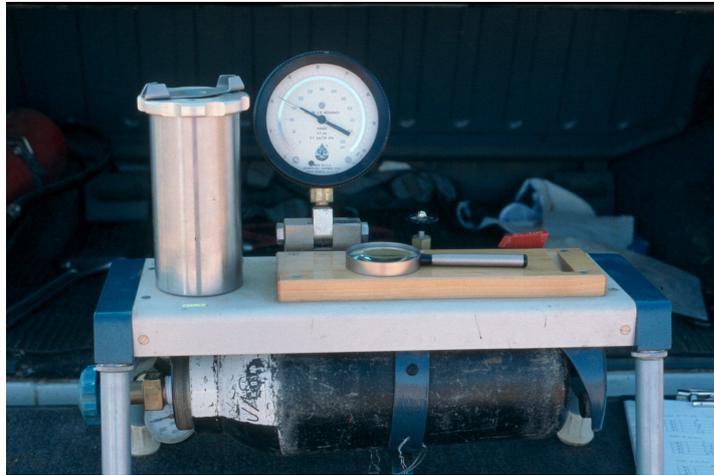
3. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS BASADA EN MEDIDAS DEL ESTADO HÍDRICO DEL CULTIVO

Las medidas en el propio cultivo son poco utilizadas en cultivos extensivos.

- Potencial hídrico en hoja.
- Variación del diámetro del tronco.
- Medida del flujo de savia.
- Temperatura de la cubierta vegetal.
- Medida de la conductancia estomática.



- Medida del potencial con cámara de presión o bomba de Schölander



- Mide la presión a la que la savia se encuentra en la planta.
- Cuanto mayor es el estrés hídrico, mayor será la presión.

- **Sensores de variación del diámetro del tronco (dendrómetro):**



- El diámetro del tronco de los árboles experimenta un crecimiento diario y sufre contracciones y dilataciones.
- El máximo se produce por la mañana temprano y el mínimo por la tarde.
- Las variaciones del diámetro indican el estado hídrico del frutal (envían una señal en continuo que se puede utilizar para la programación del riego).



- **Sensores de medición del flujo de savia:**



- Determinan la velocidad en el flujo de la savia.
- Con déficit hídrico, el flujo de savia disminuye.



- Temperatura de la cubierta vegetal:



Termómetro de infrarrojos

- Miden la radiación que emite la superficie

Termómetro de hoja.

Altas T° de la planta indican condiciones de estrés hídrico, ya que cierra los estomas para impedir la pérdida de agua y, por tanto, se reduce la transpiración (mecanismo de refrigeración)



- Medida de la conductancia estomática (porómetro):



- Con esta técnica se relaciona el nivel de apertura de los estomas con la disponibilidad de agua en las plantas.
- En general son instrumentos relativamente costosos pero rápidos y eficientes.
- La apertura estomática es una respuesta fisiológica altamente sensible a cualquier pequeña modificación en la disponibilidad de agua en el suelo (los estomas se cierran con estrés hídrico, disminuyendo la conductancia y aumentando la resistencia estomática).

