

**ANEJO IX**  
**DISEÑO AGRONÓMICO**



**a) Necesidades netas:**

$$Nn = Eto \cdot Kc \cdot Kl \cdot Ka \cdot Kr$$

Siendo:

**Eto:** factor mensual de consumo por las plantas en mm/mes.

**Kc:** coeficiente de cultivo. Para cada cultivo varía en función de su fenología.

**Kl:** coeficiente de corrección por efecto de la localización. Para el cálculo de este coeficiente se tomará un valor medio de sombreamiento del cultivo para cada mes, desde el 15% en el mes de mayo hasta el 60% en el mes de agosto.

**Ka:** corrección por variaciones climáticas locales.

**Kr:** corrección por advención.

**- Cálculo de la Eto**

Para el cálculo de este factor se han tomado los factores mensuales de consumo según Blaney y Criddle dados para Ciudad Real.

Tabla IX.1  
“Factores mensuales de consumo según Blaney y Criddle dados para Ciudad Real”

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octub	Nov	Dic
Eto(mm/mes)	72	76	105	123	155	177	199	185	147	116	83	72

Fuente: López García, L. y López Perales, J. A. (2.000), “Prontuario de Hidráulica e Ingeniería del Riego”

**- Cálculo de Kc**

El Kc varía, para un mismo cultivo, en función de su fenología. En el caso del maíz su valor va a oscilar a lo largo del ciclo, adquiriendo su valor máximo en la fase de media estación donde  $Kc = 1,15$ .

Tabla IX.2  
"Valores de Kc"

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octub	Nov	Dic
Kc	-	-	-	-	0,40	0,75	1,10	1,15	0,9	-	-	-

Fuente: López García, L. y López Perales, J. A. (2.000), "Prontuario de Hidráulica e Ingeniería del Riego"

**- Cálculo de Kl**

Para el cálculo de Kl se tomará un valor medio de sombreado basándonos en cuatro autores que obtienen un valor de Kl; nosotros obtendremos este valor despreciando los dos extremos y haciendo la media aritmética de los dos centrales:

Las fórmulas de cada autor son las siguientes:

**Aljibury et al.  $Kl = 1,34 \cdot A$**

**Decroix  $Kl = 0,1 + A$**

**Hoare et al.  $Kl = A + 0,5 (1-A)$**

**Keller  $Kl = A + 0,15 (1 - A)$**

A continuación realizamos el cálculo de Kl para cada mes:

Mayo:  $A = 15\%$

Aljibury et al.  $Kl = 1,34 \cdot A = 1,34 \cdot 0,15 = 0,201$

Decroix  $Kl = 0,1 + A = 0,1 + 0,15 = 0,25$

Hoare et al.  $Kl = A + 0,5 (1-A) = 0,15 + 0,5(1-0,15) = 0,575$

Keller  $Kl = A + 0,15 (1 - A) = 0,15 + 0,15(1-0,15) = 0,277$



$$Kl = \frac{0,25 + 0,27}{2} = 0,263$$

Junio: A = 30%

Aljibury et al.  $Kl = 1,34 \cdot A = 1,34 \cdot 0,30 = 0,402$

Decroix  $Kl = 0,1 + A = 0,1 \cdot 0,30 = 0,4$

Hoare et al.  $Kl = A + 0,5 (1-A) = 0,30 + 0,5(1-0,30) = 0,65$

Keller  $Kl = A + 0,15 (1 - A) = 0,30 + 0,15(1-0,30) = 0,405$

$$Kl = \frac{0,402 + 0,405}{2} = 0,403$$

Julio: A = 50%

Aljibury et al.  $Kl = 1,34 \cdot A = 1,34 \cdot 0,50 = 0,67$

Decroix  $Kl = 0,1 + A = 0,1 \cdot 0,50 = 0,6$

Hoare et al.  $Kl = A + 0,5 (1-A) = 0,50 + 0,5(1-0,50) = 0,75$

Keller  $Kl = A + 0,15 (1 - A) = 0,50 + 0,15(1-0,50) = 0,575$

$$Kl = \frac{0,6 + 0,67}{2} = 0,635$$

Agosto: A = 60%

Aljibury et al.  $Kl = 1,34 \cdot A = 1,34 \cdot 0,60 = 0,804$

Decroix  $Kl = 0,1 + A = 0,1 \cdot 0,60 = 0,7$

Hoare et al.  $Kl = A + 0,5 (1-A) = 0,60 + 0,5(1-0,60) = 0,8$

Keller  $Kl = A + 0,15 (1 - A) = 0,60 + 0,15(1-0,60) = 0,66$

$$Kl = \frac{0,7 + 0,9}{2} = 0,75$$



Septiembre:  $A = 50\%$

Aljibury et al.  $Kl = 1,34 \cdot A = 1,34 \cdot 0,50 = 0,67$

Decroix  $Kl = 0,1 + A = 0,1 + 0,50 = 0,6$

Hoare et al.  $Kl = A + 0,5 (1-A) = 0,50 + 0,5(1-0,50) = 0,75$

Keller  $Kl = A + 0,15 (1 - A) = 0,50 + 0,15(1-0,50) = 0,575$

$$Kl = \frac{0,6 + 0,67}{2} = 0,635$$

**- Cálculo de Ka**

El coeficiente Ka según el criterio Hernández Abreu, será 1,20 en previsión de años con mayor demanda climática que el año medio.

**- Cálculo de Kr**

Depende de la superficie puesta en regadío.  $Kr = 0,9$  ( para una superficie de 9,5 hectáreas ).

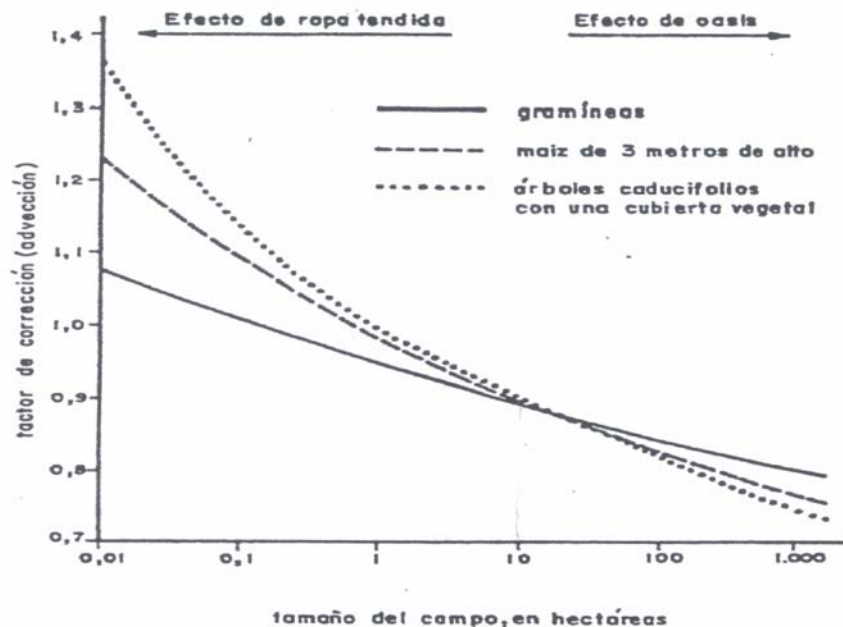


Figura IX.1  
 “Factor de corrección por advección en función de la superficie de la explotación (FAO, 1989).”  
 Fuente: López García, L. y López Perales, J. A. (2.000), Prontuario de Hidráulica e Ingeniería del Riego



En resumen, las necesidades hídricas netas del cultivo de maíz que nos ocupa, son las recogidas en la tabla siguiente.

Tabla IX.3  
“Cálculo de las necesidades netas de cada mes”

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octub	Nov	Dic
Nn(mm/mes)	-	-	-	-	17,62	57,77	150,12	172,32	90,73	-	-	-

Fuente: López García, L. y López Perales, J. A. (2.000), “Prontuario de Hidráulica e Ingeniería del Riego”

## b) Necesidades brutas o necesidades totales

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

Siendo:

CU: coeficiente de uniformidad del cultivo  $\rightarrow CU = 0,90$

K: coeficiente para el lavado. Es el valor mayor entre  $1 - E_a$  y  $L_r$

Siendo:

$E_a$  (eficacia de aplicación = 0,95)

$L_r$  (necesidades de lavado)

$$L_r = \frac{CE_i}{2 \cdot CE_{m\acute{a}x} \cdot f}$$

Siendo:

$CE_i = 0,5$  mmho/cm, conductividad del agua de riego según análisis.

$CE_{m\acute{a}x}$  = conductividad eléctrica del extracto de saturación calculada para una pérdida de producción el 100%. (FAO, 1989).

$$CE_{m\acute{a}x} = 10 \text{ mmho/cm.}$$

f = eficacia de lavado que depende del tipo de suelo:

f = 1 (suelos arenosos)

f = 0,30 (suelos arcillosos)

f = 0,85 (resto de suelos).



$$Lr = \frac{0,5mmho/cm}{2 \cdot 10mmho/cm \cdot 0,85} = 0,029$$

$$1-Ea = 1 - 0,95 = 0,05$$

Como el valor de K debe ser el mayor de los dos anteriores,  $K = 0,05$

$$Nt_{mayo} = \frac{17,62mm/mes}{0,9(1-0,05)} = 20,61 \text{ mm/mes}$$

$$Nt_{junio} = \frac{57,77mm/mes}{0,9(1-0,05)} = 67,57 \text{ mm/mes}$$

$$Nt_{julio} = \frac{150,12mm/mes}{0,9(1-0,05)} = 175,58 \text{ mm/mes}$$

$$Nt_{agosto} = \frac{187,32mm/mes}{0,9(1-0,05)} = 219,09 \text{ mm/mes}$$

$$Nt_{septiembre} = \frac{90,73mm/mes}{0,9(1-0,05)} = 106,12 \text{ mm/mes}$$

### c) Necesidades de riego

$$NR = N_{\text{totales}} - \text{Lluvia eficaz} \rightarrow 0$$

Como margen de seguridad no tenemos en cuenta la lluvia eficaz para el cálculo de las necesidades de riego de nuestro cultivo.



### d) Necesidades diarias

$$N_{diarias} = \frac{\text{necesidades de riego}}{\text{n}^{\circ} \text{ de días del mes}}$$

Tabla IX.4  
“Necesidades de riego diarias”

	En	Fe	Ma	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	No	Di
Ndiarias(mm/día)	-	-	-	-	0,66	2,25	5,66	7,07	3,51	-	-	-

### e) Elección del emisor y su disposición

El emisor elegido tiene las siguientes características:

- + Emisor interlínea.
- + Presión nominal (Ha) = 10 mca.
- + Caudal (Qa) = 4 l/h.
- + Exponente de descarga (x) = 0,512.
- + Coeficiente de variación (CV) = 1,18% = 0,0118.

#### 1º Área mojada por un emisor: (Ame)

Según el prontuario de hidráulica, el radio mojado (Rm) por un emisor de 4 l/h en un suelo entre medio y estratificado es 0,60 m.

$$A_{me} = \pi \cdot R_m^2$$

$$A_{me} = \pi \cdot 0,60^2 \text{ m} = 1,13 \text{ m}^2$$

#### 2º Separación máxima entre emisores: (Smáx)

$$S_{máx} = R_m \left( 2 - \frac{a}{100} \right)$$

Siendo “a” el porcentaje de solape.

*Condición de solape:* para calcular el porcentaje de solape, hay que comenzar tanteando con una valor de “a” que como mínimo debe ser del 15 % .

Para tantear la disposición de laterales y emisores se consulta la guía de estimación del porcentaje de suelo mojado (P) desarrollada por Keller y Karmeli (1974).



Para goteros de 4 l/h y suelo de textura media, recomiendan una separación entre emisores  $S_e = 1$  m. El valor de  $P = 100\%$  se obtiene para  $S_l = 1,2$  m, mientras que para  $S_l = 1,5$  m, el valor de  $P = 80\%$ . Puesto que la separación entre líneas de cultivo es de 0,7 m, parece excesivo colocar una línea de emisores por línea de plantas. Si se considera  $S_l = 1,4$  m, una línea de riego por cada dos líneas de plantas, interpolando se obtiene  $P = 87\%$ , valor que consideramos suficiente para regar adecuadamente la línea central.

Para un solape del 20 % se obtiene:

$$S_{\text{máx}} = R_m \left( 2 - \frac{a}{100} \right)$$

sustituyendo se obtiene lo siguiente:

$$S_{\text{máx}} = 0,60 \left( 2 - \frac{20}{100} \right) = 1,08 \text{ m}$$

Por lo tanto redondeamos a la baja hasta una “ $S_{\text{máx}}$ ” comercial y pasamos de 1,08 a  $S_{\text{máx}} = 1$  m; con lo que el solape entre los bulbos húmedos de dos goteros consecutivos será:

$$1 = 0,60 \cdot \left( 2 - \frac{a}{100} \right) \rightarrow a = 33,33\%$$

• Con el valor de  $S_e = 1$  m, se comprueba el solape correspondiente:

$$S_e = R_m \left( 2 - \frac{a}{100} \right) \rightarrow a = \frac{(2 \cdot R_m - S_e) \cdot 100}{R_m} = \frac{(2 \cdot 0,6 - 1) \cdot 100}{0,6} = 33,33\%$$

Por tanto como “a” es mayor del 15% adoptamos como bueno un solape del 33,33 %.

3º Número de emisores/m<sup>2</sup>: (e)

$$e = \frac{1}{S_l \cdot S_e} = \frac{1}{1,4 \cdot 1}$$

$$e = 0,71 \text{ emisores/m}^2$$



#### 4) Porcentaje de suelo mojado: (P)

- *Cálculo del Ame con los solapes:*

Para este cálculo se va a utilizar la siguiente expresión:

$$\alpha = \arctg \sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{a}{200}\right)^2} - 1}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{33,33}{200}\right)^2} - 1} = \arctg 0,66 \rightarrow \alpha = 0,59 \text{ rd.}$$

- *Cálculo de Ame considerando los solapes:*

$$Ame = \left( \pi - 2 \left( \alpha - \left( 1 - \frac{a}{200} \right) \text{sen } \alpha \right) \right) \cdot Rm^2$$

$$Ame = \left( \pi - 2 \left( 0,59 - \left( 1 - \frac{33,33}{200} \right) \text{sen } 0,59 \right) \right) 0,60^2$$

$$Ame = 1,04 \text{ m}^2$$

- *Cálculo de P:*

$$P = \frac{100 \cdot e \cdot Ame}{Sp}$$

$$P = \frac{100 \cdot 0,71 \cdot 1,04}{1} = 74 \%$$

5) Tiempo de riego: (Tr)

$$Tr = \frac{Nt \cdot I}{e \cdot Qa} = \frac{7,07 \cdot 1}{0,71 \cdot 4} = 2,49 \text{ horas}$$

Siendo:

I (intervalo de riego en días)

Qa (caudal nominal del emisor) = 4 l/h

Nt (necesidades totales diarias) = 7,07mm/día

e (Nº de emisores/m<sup>2</sup>) = 0,71

$$Tr = \frac{0,66 \cdot 4}{0,71 \cdot 4} = 0,93 \text{ horas/riego (mayo)}$$

$$Tr = \frac{2,25 \cdot 2}{0,71 \cdot 4} = 1,58 \text{ horas/riego (junio)}$$

$$Tr = \frac{5,66 \cdot 1}{0,71 \cdot 4} = 2 \text{ horas/riego (julio)}$$

$$Tr = \frac{7,07 \cdot 1}{0,71 \cdot 4} = 2,49 \text{ horas/riego (agosto)}$$

$$Tr = \frac{3,51 \cdot 1}{0,71 \cdot 4} = 1,23 \text{ horas/riego (septiembre)}$$



A continuación se presenta resumen de todo el diseño agronómico:

Tabla IX.5  
“Resumen del diseño agronómico”

	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Eto(mm/mes)	155	177	199	185	147
Kc	0,4	0,75	1,10	1,15	0,9
Kl	0,263	0,403	0,635	0,75	0,635
Ka	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Kr	0,9	0,90	0,90	0,90	0,90
Nt (mm/mes)	20,61	67,57	175,58	219,09	106,12
N.R. (mm/mes)	20,61	67,57	175,58	219,09	106,12
N.D. (mm/día)	0,66	2,25	5,66	7,07	3,51
I (días)	4	2	1	1	1
Tr (horas/día)	0,93	1,58	2	2,49	1,23

Debemos de tener en cuenta que la fecha de comenzar los riegos viene dada por la climatología con la que venga el año. Como se siembra a primeros de mayo puede ser preciso dar en este mes algún riego de nascencia; a lo largo de los meses de junio, julio y agosto se regará todos los días ininterrumpidamente. Hacia mediados del mes de septiembre se suspenderán los riegos para facilitar el secado del grano; ya que la recolección se realizará a finales del mes de octubre.