



## ÍNDICE

### ANEJO 3.- ESTUDIO AGRONÓMICO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE ANEJO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SUPERFICIE Y CULTIVOS A REGAR .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.....</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS .....</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA .....</b>	<b>2</b>
<b>6</b>	<b>CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO .....</b>	<b>2</b>
<b>7</b>	<b>CÁLCULO DE LA LLUVIA EFECTIVA .....</b>	<b>3</b>
<b>8</b>	<b>NECESIDADES HÍDRICAS NETAS Y BRUTAS DE LOS CULTIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>9</b>	<b>NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO DE LA ALTERNATIVA ADOPTADA .....</b>	<b>5</b>

## ANEJO 3.- ESTUDIO AGRONÓMICO

### 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE ANEJO

En el presente anejo se pretende realizar un estudio agronómico completo de la alternativa de cultivos considerada en la Modernización planteada.

En el presente estudio se calcularán las necesidades hídricas de la alternativa de cultivos planteada, indicando para ello las necesidades mensuales en m<sup>3</sup>/ha, volumen anual consumido y caudal ficticio continuo expresado en l/s y ha.

### 2 SUPERFICIE Y CULTIVOS A REGAR

La superficie total para la que se plantea la Modernización del regadío mediante las actuaciones planteadas en el presente documento es de 2.773,26 Ha, estando dedicada en la actualidad al desarrollo de cultivos extensivos, fundamentalmente alfalfa y otros cultivos forrajeros, maíz y cereales de invierno (trigo y cebada).

La alternativa de cultivos planteada es la que se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Alternativa de Cultivos Planteada

Cultivo	Superficie (%)	Superficie (ha)
Alfalfa	42,3	1.173,09
Maíz	42,5	1.178,64
Trigo	15,2	421,53
<b>TOTAL</b>	100	2.773,26

De cualquier forma, debemos considerar la alternativa de cultivos planteada como una aproximación a la realidad futura que nos permita obtener una estimación de las necesidades futuras, teniendo claro que dicha alternativa puede variar en mayor o menor medida en función de los cultivos finalmente desarrollados por los agricultores implicados.

### 3 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos incluidos en la alternativa de cultivos estudiada se ha seguido el procedimiento de cálculo recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en su publicación "Las necesidades de agua de los cultivos".

Según este procedimiento, el proceso a seguir para el cálculo de las necesidades de agua de riego de los cultivos será el siguiente:

- 1.- *Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)*; considerada como el consumo de agua de una superficie extensa de hierba, uniforme, de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, sombreando la totalidad del suelo y bien provista de agua.
- 2.- *Cálculo de la evapotranspiración de los cultivos (ET<sub>c</sub>)*; considerada como las necesidades hídricas brutas de los cultivos para su desarrollo óptimo, representando la cantidad de agua que debe existir en la zona radical del cultivo para satisfacer su demanda evaporativa.
- 3.- *Cálculo de las necesidades hídricas netas de los cultivos (NH<sub>n</sub>)*; consideradas como la cantidad de agua a suministrar a la zona radical del cultivo mediante el riego. Para ello, se deduce a la ET<sub>c</sub> la cantidad de agua aportada por la precipitación efectiva (PE).
- 4.- *Cálculo de las necesidades brutas de agua de riego de los cultivos (NR<sub>b</sub>)*; consideradas como la cantidad de agua que el sistema de riego ha de proporcionar en parcela para que, una vez deducidas las pérdidas debidas a la propia eficiencia del riego, la cantidad de agua que se almacene en dicha zona radical sea igual a las NH<sub>n</sub> del cultivo.

El estudio se realizará considerando el espacio de un mes, utilizando como datos de partida las medias de los meses y suponiendo que todos los días de cada mes tienen las mismas necesidades.

El periodo del año en el que se considerarán las necesidades de agua de la alternativa vendrá definido por el propio periodo de actividad de los cultivos que entren a formar parte de dicha alternativa.

#### 4 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Según las consultas realizadas en este sentido, en las proximidades del perímetro de la zona objeto del presente proyecto nos encontramos con la estación meteorológica de Pallaruelo de Monegros (Huesca).

**Tabla 2.** Ubicación de la Estación meteorológica de Pallaruelo de Monegros

Coordenadas UTM	
<b>X</b>	732.255
<b>Y</b>	4.620.697
<b>Z</b>	356

A continuación se adjunta la ficha climática de la mencionada estación meteorológica:

**Tabla 3.** Ficha climática de la estación de Pallaruelo de Monegros (Huesca)

MEDIA	PREC	Tª Máx	Tª Mín	Tªmed medMed	HR	RSOL	U día	ETo	ETo
MES	(mm)	(°C)*	(°C)*	(°C)	(%)	(MJ/m²)	(m/s)	(mm/día)	(mm/mes)
ENERO	30,8	8,5	1,9	5,2	66	0,41	3,2	0,6	18,6
FEBRERO	30,0	11,5	2,7	7,1	57	0,51	3,5	1,4	39,2
MARZO	35,3	15,3	4,9	10,1	50	0,56	3,6	2,5	77,5
ABRIL	33,4	18,5	7,0	12,8	48	0,56	3,9	3,5	105,0
MAYO	46,0	23,1	10,8	17,0	49	0,57	3,2	4,7	145,7
JUNIO	47,6	27,2	14,2	20,7	44	0,65	3,1	6,1	183,0
JULIO	23,4	32,1	17,1	24,6	39	0,73	3,2	7,4	229,4
AGOSTO	28,4	31,2	17,4	24,3	42	0,72	3,2	6,5	201,5
SEPTIEMBRE	55,2	26,9	14,9	20,9	47	0,64	2,7	4,5	135,0
OCTUBRE	42,5	20,3	9,8	15,0	54	0,57	2,9	2,7	83,7
NOVIEMBRE	37,9	13,0	4,8	8,9	61	0,48	2,9	1,2	36,0
DICIEMBRE	33,0	8,2	2,3	5,3	69	0,37	2,9	0,5	15,5
<b>Anual</b>	<b>443,5</b>								<b>1.270,10</b>

En esta ficha se indican, para cada mes:

- Prec: precipitación, mm
- Tmax: Media mensual de la temperatura máxima diaria del aire, °C.
- Tmin: Media mensual de la temperatura mínima diaria del aire, °C.
- Tmed: Media mensual de la temperatura media diaria del aire, °C.
- HR: Media mensual de la humedad relativa diaria del aire, %.
- RSOL: Media mensual de la radiación solar global media diaria, MJ/m².

- U<sub>día</sub>: Media mensual de la velocidad diaria del viento a 2 m del suelo, m/s.
- ETo: Media mensual de la evapotranspiración diaria de una hierba en mm/día.
- ETo: Media mensual de la evapotranspiración de una hierba en mm/mes.

La temperatura media anual es de 14,3 °C, siendo Enero el mes más frío, con 5,4 °C de temperatura media, y Julio y Agosto los más calurosos con 24,6 °C y 24,3 °C, respectivamente.

La precipitación media anual es de 443,5 mm, siendo Septiembre el mes más lluvioso con 55,2 mm de precipitación media, y Julio el más seco con 23,4 mm.

La ETo media anual es de 1.270,1 mm, siendo Enero y Diciembre los meses en que este valor es menor, con 18,6 y 15,5 mm respectivamente, correspondiendo a Julio el mayor valor con 229,4 mm.

Esta información ha sido extraída de la publicación "Cálculo de la evapotranspiración de referencia en Aragón" editada por el Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes de la Diputación General de Aragón (1.991, José M. Faci González y Antonio Martínez Cob).

#### 5 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

La evapotranspiración de referencia (ETo) se toma de la publicación "Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón".

La estimación de dicha evapotranspiración de referencia se ha realizado según el método de FAO-USDA Blaney-Criddle (Doorenbos y Pruitt, 1.977; Allen y Pruitt, 1.986).

#### 6 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO

Para tener en cuenta las características del cultivo sobre sus necesidades de agua, se presentan unos coeficientes de cultivo (Kc). Este coeficiente representa la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas y para que obtenga rendimientos óptimos.

Para obtener la evapotranspiración real del cultivo basta con multiplicar la ETo por el coeficiente Kc.

En la elección de los valores de Kc se han considerado, como se ha comentado anteriormente, los valores recomendados en la publicación "Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón", realizada por la Excm. Diputación de Zaragoza.

Así, se han tomado los valores recomendados para la comarca de Los Monegros, por ser la comarca a la que corresponde la zona de estudio y en la que se obtienen los datos precisos para la totalidad de los cultivos analizados en la Alternativa adoptada en el presente Proyecto.

**Tabla 4.** Coeficientes de cultivo Kc

MES	Alfalfa	Maíz	Trigo
Enero	0,89	0	0,79
Febrero	0,89	0	0,97
Marzo	0,89	0	1,09
Abril	0,89	0	1,10
Mayo	0,89	0,53	1,03
Junio	0,89	0,75	0,47
Julio	0,89	1,07	0,00
Agosto	0,89	1,11	0,00
Septiembre	0,89	0,96	0,00
Octubre	0,89	0,62	0,00
Noviembre	0,89	0	0,00
Diciembre	0,89	0	0,74

Para obtener la evapotranspiración real del cultivo, siguiendo las directrices establecidas por Doorenbos y Pruitt, 1.977, basta con multiplicar la ETo por el coeficiente Kc, siguiendo la siguiente expresión:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Siendo:

K<sub>c</sub>: Coeficiente del cultivo mensual.

ET<sub>o</sub>: Evapotranspiración de referencia (mm/día), (mm/mes).

ET<sub>c</sub>: Evapotranspiración del cultivo (mm/día), (mm/mes).

Como periodos útiles para el desarrollo de los cultivos hemos considerado los siguientes:

- Alfalfa: Estacional
- Maíz: Siembra el 1 de mayo y cosecha el 5 de octubre
- Trigo: Siembra el 1 de Diciembre y cosecha el 15 de junio

**Tabla 5.** Evapotranspiración (ETC) de los cultivos (mm/mes)

MES	Alfalfa	Maíz	Trigo
Enero	16,55	0,00	14,69
Febrero	34,89	0,00	38,02
Marzo	68,98	0,00	84,48
Abril	93,45	0,00	115,50
Mayo	129,67	77,22	150,07
Junio	162,87	137,25	86,01
Julio	204,17	245,46	0,00
Agosto	179,34	223,67	0,00
Septiembre	120,15	129,60	0,00
Octubre	74,49	51,89	0,00
Noviembre	32,04	0,00	0,00
Diciembre	13,80	0,00	11,47

## 7 CÁLCULO DE LA LLUVIA EFECTIVA

Hasta ahora se ha hablado únicamente de las necesidades de agua, sin embargo, puede haber aportes de agua diferentes de los aportes hídricos del propio riego. Se consideran nulos los posibles aportes por parte del rocío y de las capas freáticas altas. Sólo se contabilizarán como aportes positivos, las lluvias y, dentro de ellas, se considerará únicamente la porción de lluvia considerada como precipitación efectiva.

Así, desde un punto de vista agronómico, se considera como precipitación efectiva a la porción de lluvia que satisface parte de las necesidades de consumo de agua del cultivo.

Esta precipitación efectiva depende de factores como:

- Intensidad de la precipitación
- Contenido de humedad del suelo antes de la lluvia
- Tasa de infiltración del suelo
- Capacidad de retención de agua en la zona radicular del cultivo
- Evapotranspiración del cultivo

Para la estimación de esta precipitación efectiva se ha aplicado el método del Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Dastane, 1.974), siendo este a su vez el método seguido en la publicación realizada por la Excm. Diputación de Zaragoza "Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón".

Se trata de un método empírico desarrollado a partir de numerosos trabajos experimentales, en el que se calcula la PE mensual a partir de la precipitación total mensual, de la ET<sub>c</sub> del cultivo y del déficit de humedad de agua en el suelo. Este método considera que el límite máximo de la PE mensual es la ET<sub>c</sub> mensual del cultivo en el mes considerado. Se calcula la PE para cada cultivo, por lo que ésta puede variar de un cultivo a otro.

La ecuación utilizada es la siguiente:

$$PE = f(D) [1,25P^{0,824} - 2,93] 10^{0,000955ET_c}$$

Donde: PE = precipitación efectiva mensual (mm/mes)  
 P = precipitación total mensual (mm/mes)  
 ET<sub>c</sub> = evapotranspiración de cultivo mensual, (mm/mes).  
 f(D) = función correctora para un déficit de humedad en el suelo distinto de 75 mm.  
 Para D = 75 mm, f(D) = 1

Esta función correctora f(D) se ha calculado según la siguiente fórmula (Cuenca, 1.989):

$$f(D) = 0,53 + 0,0116D - 8,94E - 5 \cdot D^2 + 2,32E - 7 \cdot D^3$$

Donde D = déficit de humedad del suelo, mm. (Se ha supuesto que D = 75 mm)

**Tabla 6.** Precipitación Efectiva (PE) para cada uno de los cultivos (mm/mes)

MES	Alfalfa	Maíz	Trigo
Enero	18,80	0,00	18,73
Febrero	19,09	0,00	19,22
Marzo	24,02	0,00	24,85
Abril	24,05	0,00	25,25
Mayo	35,08	31,26	36,69
Junio	38,94	36,81	16,44
Julio	21,72	23,78	0,00
Agosto	24,88	27,42	0,00
Septiembre	40,55	41,40	0,00
Octubre	28,90	4,40	0,00
Noviembre	23,67	0,00	0,00
Diciembre	19,96	0,00	19,86

## 8 NECESIDADES HÍDRICAS NETAS Y BRUTAS DE LOS CULTIVOS

Las necesidades hídricas se calculan, una vez determinado el valor de la precipitación efectiva, como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva:

$$NH_N = ET_c - PE$$

En el proceso de cálculo seguido se han considerado las condiciones locales de cada cultivo, reflejándose este hecho en la obtención de estas necesidades netas.

Posteriormente, para estimar las necesidades brutas de agua de riego es necesario conocer la eficiencia en la aplicación del riego (relación entre agua aplicada y realmente útil para las plantas).

En la eficiencia de aplicación del riego influyen varios factores como:

- Calidad de los materiales
- Diseño de la instalación
- Manejo del riego (frecuencia y tiempo de los riegos)
- Mantenimiento de las instalaciones

Se ha tomado como eficiencia de riego el 80 % para el riego por aspersión, siendo este el único sistema de riego a implantar.

Las necesidades brutas se obtienen dividiendo las necesidades netas entre la eficiencia del riego:

$$NR_B = NH_N / E_A$$

**Tabla 7.** Necesidades hídricas netas (mm/ha)

NECESIDADES NETAS			
MES	Alfalfa	Maíz	Trigo
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	15,80	0,00	18,80
Marzo	44,96	0,00	59,63
Abril	69,40	0,00	90,25
Mayo	94,59	45,96	113,38
Junio	123,93	100,44	26,56
Julio	182,45	221,67	0,00
Agosto	154,46	196,24	0,00
Septiembre	79,60	88,20	0,00
Octubre	45,60	3,90	0,00
Noviembre	8,37	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00

**Tabla 8.** Necesidades hídricas brutas (m3/ha)

NECESIDADES BRUTAS			
MES	Alfalfa	Maíz	Trigo
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	19,75	0,00	23,50
Marzo	56,20	0,00	74,53
Abril	86,75	0,00	112,81
Mayo	118,24	57,45	141,72
Junio	154,91	125,55	33,20
Julio	228,06	277,09	0,00
Agosto	193,07	245,30	0,00
Septiembre	99,51	110,25	0,00
Octubre	57,00	4,88	0,00
Noviembre	10,47	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00

**9 NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO DE LA ALTERNATIVA ADOPTADA**

Para el cálculo de las necesidades brutas de agua de riego totales de la alternativa de cultivos estudiada, se tendrá en cuenta la superficie total destinada a cada uno de los tipos de cultivo que la componen y la demanda hídrica estimada para cada uno de ellos.

Tal y como se ha mencionado en el apartado 2 del presente estudio, como dato orientativo de las previsiones futuras diremos que la alternativa de cultivos estudiada en este caso es la siguiente:

**Tabla 9.** Superficie de riego y necesidades teóricas de la Alternativa estudiada

Cultivo	m <sup>3</sup> /ha y año	Superficie (ha)	m <sup>3</sup> /año
Alfalfa	10.239,421	1.173,09	12.011.749,42
Maíz	8.205,300	1.178,64	9.671.055,06
Trigo	3.857,766	421,53	1.626.184,84
<b>TOTAL</b>		<b>2.773,26</b>	<b>23.308.989,32</b>

Las necesidades que se generan para el total de las 2.773,26 ha son de 23.308.989,32 m<sup>3</sup>/año.

Es interesante conocer las demandas que se generan mensualmente, ya que estas varían mes a mes en función del estado del cultivo.

Estas necesidades brutas teóricas de agua de riego, recogidas en la Tabla 10, serían las necesarias para obtener el máximo rendimiento de la plantación.

**Tabla 10.** Necesidades teóricas de la Alternativa estudiada

Mes	Alfalfa (m <sup>3</sup> /ha)	Maíz (m <sup>3</sup> /ha)	Trigo (m <sup>3</sup> /ha)	TOTAL (m <sup>3</sup> /ha)
Enero	0,00	0,00	0,00	0,00
Febrero	197,49	0,00	235,04	119,26
Marzo	562,00	0,00	745,34	351,02
Abril	867,46	0,00	1.128,15	538,41
Mayo	1.182,35	574,48	1.417,21	959,70
Junio	1.549,12	1.255,54	332,03	1.239,35
Julio	2.280,58	2.770,92	0,00	2.142,33
Agosto	1.930,74	2.453,03	0,00	1.859,24
Septiembre	995,05	1.102,53	0,00	889,48
Octubre	569,96	48,80	0,00	261,83
Noviembre	104,67	0,00	0,00	44,27
Diciembre	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>10.239,421</b>	<b>8.205,300</b>	<b>3.857,766</b>	<b>8.404,908</b>

**Tabla 11.** Necesidades de diseño de la Alternativa estudiada

Mes	m <sup>3</sup> /mes	m <sup>3</sup> /mes y ha	mm/día	l/s y ha
<b>Enero</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Febrero</b>	330.752,00	119,26	0,43	0,05
<b>Marzo</b>	973.460,34	351,02	1,17	0,14
<b>Abril</b>	1.493.160,03	538,41	1,79	0,21
<b>Mayo</b>	2.661.505,37	959,70	3,10	0,36
<b>Junio</b>	3.437.045,28	1239,35	4,13	0,48
<b>Julio</b>	5.941.227,37	2142,33	6,91	0,80
<b>Agosto</b>	5.156.161,92	1859,24	6,00	0,69
<b>Septiembre</b>	2.466.766,75	889,48	2,96	0,34
<b>Octubre</b>	726.128,13	261,83	0,84	0,10
<b>Noviembre</b>	122.782,13	44,27	0,15	0,02
<b>Diciembre</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>23.308.989,32</b>	<b>8.404,91</b>		

Tal y como se puede observar en las tablas anteriores, el periodo de máximas necesidades se produce en el mes de julio, con una demanda de 0,80 l/s y ha.

Al ser la superficie total a cultivar de 2.773,26 Ha, el caudal ficticio continuo total será de 2.218,20 l/s, que será el caudal considerado para el dimensionamiento de las infraestructuras hidráulicas objeto del presente proyecto.

De igual modo, el volumen anual demandado por la totalidad de la superficie regable considerada será de 23.308.989,32 m<sup>3</sup>/año, con un consumo medio de 8.404,91 m<sup>3</sup>/ha y año.