ANEJO 3.- ESTUDIO AGRONÓMICO

ANEJO 3.- ESTUDIO AGRONÓMICO

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL ANEJO 1
2 ESTUDIO AGRONÓMICO 1
2.1 ALTERNATIVA DE CULTIVOS ESTUDIADA 1
2.2 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO 1
2.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS 1
2.4 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL 2
2.5 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CUTIVO 2
2.6 CÁLCULO DE LA LLUVIA EFECTIVA 3
2.7 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS NETAS 4
2.8 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES BRUTAS DE AGUA DE RIEGO 5
2.9 NECESIDADES DE RIEGO TOTALES 5

ANEJO 3.- ESTUDIO AGRONÓMICO

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL ANEJO

En el presente anejo se establecen las necesidades hídricas del total de la zona regable, en función de una alternativa de cultivos dada. Se indicarán para ello las necesidades mensuales en m^3/ha, volumen anual consumido y caudal ficticio continúo expresado en l/s y ha. La definición de los anteriores parámetros, permitirá un correcto dimensionado de la red de riego.

2 ESTUDIO AGRONÓMICO

2.1 ALTERNATIVA DE CULTIVOS ESTUDIADA

Se plantea una alternativa de cultivos para conocer las necesidades de riego con las cuales se dimensiona la red de riego. Se han considerado los cultivos predominantes en la actualidad, así como las preferencias de los agricultores. La consideración realizada en cuanto a distribución de cultivos es la que se muestra a continuación:

Tabla 1. Alternativa de Cultivos Adoptada

Cultivo	Superficie (%)
Alfalfa	42,00%
Maíz	42,00%
Cereal invierno + Maíz	16,00%
TOTAL	**100,00%**

La alternativa de cultivos propuesta para el diseño de las infraestructuras de riego, trata de dotar al sistema de cierta un cierto margen, considerando algunos cultivos de elevada demanda (maíz, alfalfa) y considerando también la combinación de un cereal de invierno, combinado con un maíz de segunda ocupación.

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.

2.2 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos incluidos en la alternativa de cultivos estudiada se siguió 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 (ETo);* 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 (ETc);* 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 (NHn);* consideradas como la cantidad de agua a suministrar a la zona radical del cultivo mediante el riego. Para ello, se deduce a la ETc la cantidad de agua aportada por la precipitación efectiva (PE).
4. *Cálculo de las necesidades brutas de agua de riego de los cultivos (NRb);* 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 NHn del cultivo.

2.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

En la página siguiente se encuentra la ficha climática de la estación meteorológica de Grañén (Huesca), que es la más cercana a la zona objeto del presente proyecto.

Esta estación se encuentra situada a 321 metros de altitud sobre el nivel del mar, en las siguientes coordenadas UTM (Huso 30):

- X: 719175
- Y: 4646770

En esta ficha se indican, para cada mes:

- La temperatura media de las máximas.
- La temperatura media.
- La temperatura media de las mínimas.
- La precipitación media mensual.
- Media mensual de la humedad relativa media diaria del aire (%).
- Media mensual de la evapotranspiración diaria de una hierba en mm/día.

En la siguiente tabla se pueden observar los valores mensuales y anuales.

Tabla 2. Ficha climática de la estación de Grañén (Huesca) (media años 2004-2021)

MEDIA MES	PREC mm	Tª Max ºC	Tª Min ºC	Tª Med ºC	HR Min %	ETo mm/d	ETo mm/mes
Enero	25,81	17,66	-6,23	4,50	84,26	1,00	30,85
Febrero	24,71	18,53	-5,78	5,88	76,84	1,61	45,08
Marzo	35,88	23,96	-3,78	9,20	70,90	2,57	79,72
Abril	46,46	26,89	-0,13	12,51	70,58	3,43	102,94
Mayo	35,60	31,59	2,70	16,70	64,41	4,77	147,72
Junio	29,58	36,57	8,37	21,45	59,51	5,84	175,20
Julio	15,50	37,50	11,22	23,95	57,21	6,28	194,79
Agosto	16,31	37,01	10,15	23,11	61,34	5,44	168,74
Septiembre	26,55	32,95	5,11	19,19	68,78	3,68	110,36
Octubre	42,35	28,37	0,50	14,34	76,43	2,17	67,39
Noviembre	32,61	20,86	-4,29	8,41	82,56	1,19	35,75
Diciembre	20,92	16,59	-6,10	4,51	86,88	0,77	23,79
Anual	**352,28**	**27,37**	**0,98**	**13,65**	**71,64**	**3,23**	**1182,33**

La temperatura media anual es de 13,65ºC, siendo enero el mes más frío, con 4,50ºC de temperatura media, y julio y agosto los más calurosos con 23,95ºC y 23,11ºC, respectivamente.

La precipitación media anual es de 352,28 mm, siendo abril y octubre los meses más lluviosos con 46,46 mm y 42,35 mm de precipitación media respectivamente y julio y agosto los más secos con 15,50 mm y 16,31 mm respectivamente.

La ETo media anual es de 1.182,33 mm, siendo diciembre el mes en que es menor con 23,79 mm. En julio alcanza el mayor valor, con 194,79 mm.

2.4 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

En la siguiente tabla se muestra el valor de la evapotranspiración de referencia (ETo), obtenido de la publicación citada en el apartado anterior.

Tabla 3. Evapotranspiración de Referencia (ETo).

MES	ETo mm/d	ETo mm/mes
Enero	1,00	30,85
Febrero	1,61	45,08
Marzo	2,57	79,72
Abril	3,43	102,94
Mayo	4,77	147,72
Junio	5,84	175,20
Julio	6,28	194,79
Agosto	5,44	168,74
Septiembre	3,68	110,36
Octubre	2,17	67,39
Noviembre	1,19	35,75
Diciembre	0,77	23,79
TOTAL	**3,23**	**1182,33**

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

2.5 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CUTIVO

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

En la elección de los valores de Kc se han considerado los valores recomendados en la publicación realizada por la Excma. Diputación de Zaragoza "Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón", adaptados a la realidad de la zona de estudio.

Tabla 4. Coeficientes de cultivo Kc.

MES	Alfalfa	Cereal Invierno + Maíz 2ª	Maíz
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	0,40	0,00	0,00
Marzo	0,88	0,85	0,20
Abril	0,88	1,10	0,30
Mayo	0,88	1,20	0,60
Junio	0,88	0,00	0,85
Julio	0,88	0,15	1,09
Agosto	0,88	0,99	1,09
Septiembre	0,88	1,00	0,85
Octubre	0,50	0,50	0,50
Noviembre	0,20	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00

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:

$$ETC = KC \times ETO$$

Siendo:

- K_C: coeficiente del cultivo mensual.
- ET_O: evapotranspiración de referencia (mm/día), (mm/mes).
- ET_C: evapotranspiración del cultivo (mm/día), (mm/mes).

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

MES	Alfalfa	Cereal Invierno + Maíz 2ª	Maíz
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	18,03	0,00	0,00
Marzo	70,16	67,77	15,94
Abril	90,59	113,23	30,88
Mayo	129,99	177,26	88,63
Junio	154,17	0,00	148,92
Julio	171,42	29,22	212,32
Agosto	148,49	167,05	183,92
Septiembre	97,12	110,36	93,81
Octubre	33,70	33,70	33,70
Noviembre	7,15	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00
TOTAL	**920,81**	**698,59**	**808,12**

2.6 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 en la publicación consultada se ha aplicado el método del Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Dastane, 1.974).

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 ETc 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 ETc 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:

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

Donde: PE = precipitación efectiva mensual (mm/mes)

P = precipitación total mensual (mm/mes)

ET_c = 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 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)

Según esto, los valores de lluvia efectiva mensual, en la zona considerada y para los cultivos analizados, son los que se indican en la siguiente tabla.

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

MES	Alfalfa	Cereal Invierno + Maíz 2ª	Maíz
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	15,23	0,00	0,00
Marzo	24,45	24,32	21,70
Abril	32,49	34,15	28,49
Mayo	27,68	30,71	25,27
Junio	24,48	0,00	24,19
Julio	13,17	9,63	14,41
Agosto	13,23	13,78	14,30
Septiembre	19,44	20,02	19,30
Octubre	26,33	26,33	26,33
Noviembre	19,45	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00
TOTAL	**215,95**	**158,95**	**174,01**

2.7 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS NETAS

Las necesidades hídricas netas (NHn) se calculan como la diferencia entre 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.

Tabla 7. Necesidades Hídricas Netas (NHn) para los cultivos (mm/mes).

MES	Alfalfa	Cereal Invierno + Maíz 2ª	Maíz
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	2,80	0,00	0,00
Marzo	45,71	43,44	0,00
Abril	58,10	79,08	2,39
Mayo	102,31	146,55	63,36
Junio	129,70	0,00	124,72
Julio	158,25	19,59	197,92
Agosto	135,26	153,27	169,62
Septiembre	77,67	90,34	74,50
Octubre	7,37	7,37	7,37
Noviembre	0,00	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00
TOTAL	**717,16**	**539,64**	**639,88**

Tabla 8. Necesidades Hídricas Brutas (NHB) para cada cultivo (mm y mes).

MES	Alfalfa	Cereal Invierno + Maíz 2ª	Maíz
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	3,50	0,00	0,00
Marzo	57,13	54,30	0,00
Abril	72,62	98,86	2,99
Mayo	127,89	183,19	79,20
Junio	162,12	0,00	155,90
Julio	197,81	24,48	247,39
Agosto	169,07	191,59	212,03
Septiembre	97,09	112,93	93,13
Octubre	9,21	9,21	9,21
Noviembre	0,00	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00
TOTAL	**896,45**	**674,55**	**799,85**

2.8 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES BRUTAS DE AGUA DE RIEGO

Para la estimación de las necesidades brutas de agua de riego es necesario conocer la eficiencia actual y futura en la aplicación del riego (relación entre agua aplicada y la 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 considera para este estudio una eficiencia de riego del 75 % para la alfalfa, el maíz y la cebada, mientras que para el almendro se considerará una eficiencia de riego del 85 %, puesto que las características del riego instalado (riego por goteo), junto con el grado de tecnificación y la gestión realizada por los técnicos de la finca permiten considerar una mejor eficiencia.

Las necesidades reales o brutas de riego se obtendrán restando a la evapotranspiración del cultivo las lluvias efectivas y dividiéndolo por el coeficiente de eficiencia del riego.

Las necesidades brutas vienen dadas por la expresión: NRB = NHN / EA

Las necesidades brutas teóricas de agua de riego expresadas en la tabla 8, serían las necesarias para obtener el máximo rendimiento de la plantación.

2.9 NECESIDADES DE RIEGO TOTALES

Las necesidades brutas teóricas de riego para la alternativa estudiada son las siguientes:

Tabla 9. Superficie de riego y necesidades teóricas de la alternativa estudiada

Cultivo	m^3/ha y año	Superficie (ha)	m^3/año
Alfalfa	8.964,55	1.209,00	10.838.140,61
Cereal Invierno + Maíz 2ª	6.760,00	460,57	3.106.794,97
Maíz	7.998,46	1.209,00	9.670.142,62
TOTAL		**2.878,57**	**23.615.078,21**

Las necesidades que se generan para el total de las 2.878,57 ha son de 23.615.078,21 m3/año.

Es interesante conocer las demandas que se generan mensualmente, ya que estas varían mes a mes en función del estado fenológico 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	NRb (m³/Ha)		
	Alfalfa	Cereal Invierno + Maíz 2ª	Maíz
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	35,04	0,00	0,00
Marzo	571,33	543,03	0,00
Abril	726,21	988,56	29,87
Mayo	1.278,92	1.831,89	791,98
Junio	1.621,20	0,00	1.559,02
Julio	1.978,11	244,83	2.473,94
Agosto	1.690,74	1.915,86	2.120,27
Septiembre	970,93	1.129,29	931,31
Octubre	92,08	92,08	92,08
Noviembre	0,00	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00
TOTAL	**8.964,55**	**6.760,00**	**7.998,46**

Como se puede ver en la tabla anterior, el consumo establecido para el total de las 2.878,57 ha es de 23.615.078,21 m³/año, lo que supone unas necesidades medias por hectárea de **8.203,74 m³/año**.

El periodo de máximas necesidades se da en el mes de julio, con una demanda de 0,71 l/s y ha. Al ser la superficie total a cultivar de 2.878,57 ha, el caudal ficticio continuo será de **2.052 l/s.**

Tabla 11. Necesidades de diseño de la Alternativa estudiada

	NHb TOTAL (m3/ha año)	m3/mes	mm/día	Caudal (l/s y Ha)
Enero	0,00	0,00	0,00	0,00
Febrero	14,72	42.366,05	0,05	0,01
Marzo	326,84	940.839,96	1,05	0,12
Abril	475,72	1.369.400,39	1,59	0,18
Mayo	1.162,88	3.347.426,61	3,75	0,43
Junio	1.335,70	3.844.894,23	4,45	0,52
Julio	**1.909,03**	**5.495.287,85**	**6,16**	**0,71**
Agosto	1.907,16	5.489.893,60	6,15	0,71
Septiembre	979,62	2.819.919,19	3,27	0,38
Octubre	92,08	265.050,34	0,30	0,03
Noviembre	0,00	0,00	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	**8.203,74**	**23.615.078,21**		