

**ANEJO N° 3**

**ESTUDIO AGRONÓMICO**

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LOCALIZACIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>EDAFOLOGÍA Y LITOLOGÍA .....</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>VEGETACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>CLIMATOLOGÍA .....</b>	<b>4</b>
5.1	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL DE REFERENCIA.....	6
5.2	PRECIPITACIÓN EFECTIVA .....	7
<b>6</b>	<b>CULTIVOS EXISTENTES Y FUTUROS.....</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS.....</b>	<b>9</b>
7.1	COEFICIENTES DE CULTIVOS.....	10
7.1.1	<i>Olivar .....</i>	<i>10</i>
7.1.2	<i>Almendros.....</i>	<i>10</i>
7.1.3	<i>Cultivos anuales .....</i>	<i>11</i>
7.2	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO .....	11
7.2.1	<i>Olivar marco de plantación 8 x 7 .....</i>	<i>12</i>
7.2.2	<i>Almendro 7 x 7.....</i>	<i>13</i>
7.2.3	<i>Cultivos anuales .....</i>	<i>13</i>
7.3	NECESIDADES HÍDRICAS NETAS .....	14
7.3.1	<i>Cultivos leñosos.....</i>	<i>14</i>
7.3.2	<i>Cultivos anuales .....</i>	<i>17</i>
7.4	NECESIDADES HÍDRICAS BRUTAS.....	19
7.4.1	<i>Olivar marco plantación 8 x 7 m .....</i>	<i>21</i>
7.4.2	<i>Almendro marco plantación 7 x 7 m .....</i>	<i>21</i>
7.4.3	<i>Cultivos anuales .....</i>	<i>21</i>
7.5	CAUDAL FICTICIO CONTINUO POR CULTIVO .....	22
7.5.1	<i>Cultivo olivar marco plantación 8 x 7 m.....</i>	<i>22</i>
7.5.2	<i>Cultivo almendro marco plantación 7 x 7 m .....</i>	<i>22</i>
7.5.3	<i>Aspersión cultivos anuales .....</i>	<i>22</i>
7.6	CAUDAL FICTICIO CONTINUO PONDERADO Y DOTACIONES BRUTAS .....	23

## **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Litología .....	2
<b>Tabla 2.</b> Caracterización térmica: resumen de datos de temperatura.....	5
<b>Tabla 3.</b> Caracterización pluviométrica: resumen de datos de precipitación .....	5
<b>Tabla 4.</b> Evapotranspiración de referencia: resumen de datos .....	6
<b>Tabla 5.</b> Precipitación efectiva mensual .....	7
<b>Tabla 6.</b> Cultivos actuales y superficie .....	8
<b>Tabla 7.</b> Cultivos actuales y sistema de riego con superficie .....	8
<b>Tabla 8.</b> Cultivos actuales y futuros por sistema de riego .....	9
<b>Tabla 9.</b> Superficie por cultivos para cálculo de necesidades hídricas .....	9
<b>Tabla 10.</b> Coeficiente cultivo del olivar .....	10
<b>Tabla 11.</b> Coeficiente cultivo del almendro .....	11
<b>Tabla 12.</b> Coeficiente cultivo del maíz .....	11
<b>Tabla 13.</b> Cálculo evapotranspiración real del cultivo de olivar.....	12
<b>Tabla 14.</b> Cálculo evapotranspiración real del cultivo de almendro .....	13
<b>Tabla 15.</b> Cálculo evapotranspiración real del cultivo de maíz .....	13
<b>Tabla 16.</b> Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de olivar.....	14
<b>Tabla 17.</b> Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de almendro .....	15
<b>Tabla 18.</b> Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de olivar, teniendo en cuenta el déficit permisible de agua en el suelo .....	16
<b>Tabla 19.</b> Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de almendro, teniendo en cuenta el déficit permisible de agua en el suelo .....	17
<b>Tabla 20.</b> Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de maíz .....	18
<b>Tabla 21.</b> Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de maíz, teniendo en cuenta el déficit permisible de agua en el suelo .....	19
<b>Tabla 22.</b> Caudal ficticio continuo por tipo de cultivo.....	23
<b>Tabla 23.</b> Dotación bruta en función de la distribución de cultivos.....	23

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Edafología de la zona objeto de estudio.....	2
<b>Figura 2.</b> Litología de la zona objeto de estudio.....	3
<b>Figura 3.</b> Eficiencia del riego en función del sistema de aplicación, eficiencia en la distribución y eficiencia en el transporte .....	20

## **1 INTRODUCCIÓN**

El objetivo de este informe es exponer de una forma sencilla, y a la vez rigurosa, las características climáticas, geológicas y edafológicas de la zona en estudio. Además, se expondrá todo lo referente a los cultivos existentes, así como las posibles alternativas futuras de regadío y sus necesidades hídricas.

## **2 LOCALIZACIÓN**

Las obras objeto del proyecto se encuentran ubicadas dentro de la Comunidad de Andalucía, en los TTMM de Cuevas del Campo (Granada) y Pozo Alcón (Jaén), si bien toda la zona regable de la Colectividad de riego corresponde al término municipal de Cuevas del Campo.

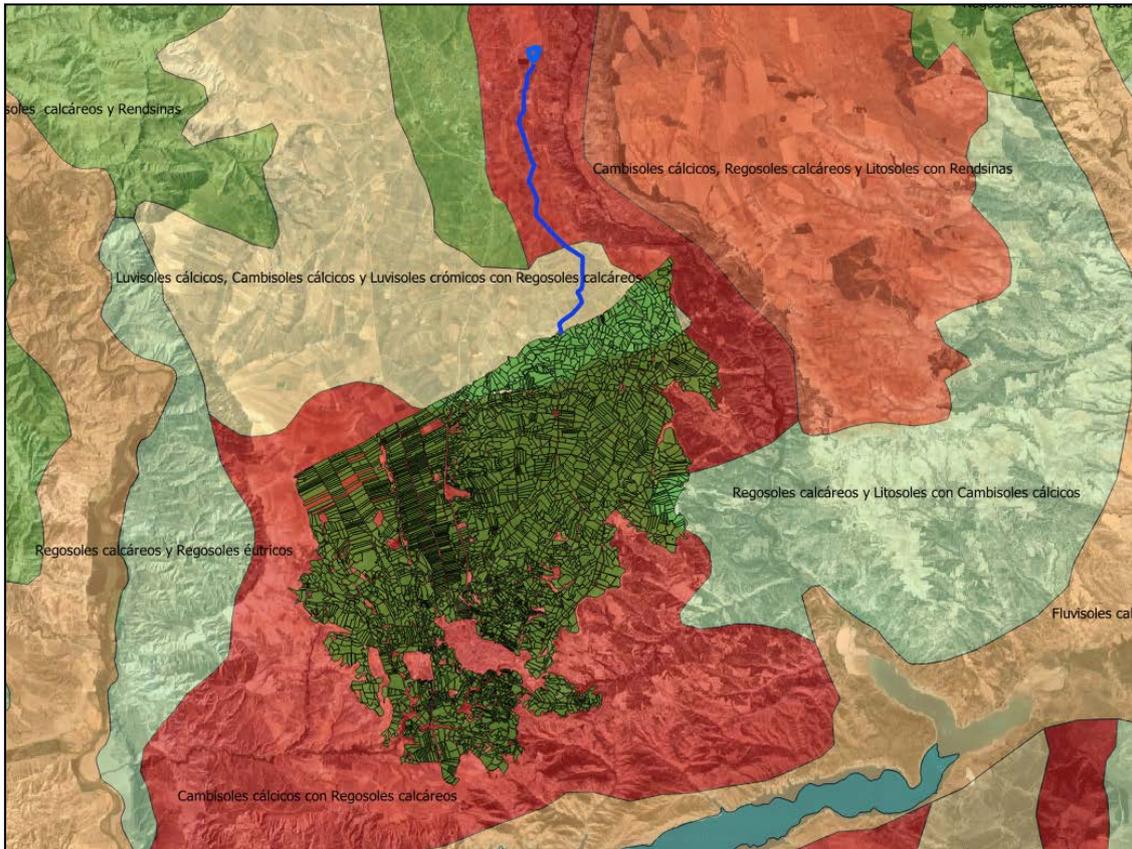
## **3 EDAFOLOGÍA Y LITOLOGÍA**

La información sobre las características edafológicas y litológicas de la zona de actuación se ha recabado de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM).

La edafología queda descrita por el Mapa de suelos de Andalucía publicado a escala 1:400.000, en 1989, por la Consejería de Agricultura y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. La clasificación de este mapa corresponde a los criterios de clasificación de la FAO (1974) y del Mapa de Suelos de la Unión Europea de 1985. Con esto, la zona regable se sitúa sobre tres unidades edáficas:

- Luvisoles cálcicos, Cambisoles cálcicos y Luvisoles crómicos con Regosoles calcáreos.
- Regosoles calcáreos y Litosoles con Cambisoles cálcicos.
- Cambisoles cálcicos con Regosoles calcáreos.

En la siguiente imagen se recoge la ubicación de la zona de actuación sobre las diferentes zonas edáficas.



**Figura 1.** Edafología de la zona objeto de estudio

*Fuente: Elaboración propia a partir de la REDIAM.*

Con respecto a la litología, tiene como fuente el Mapa Geológico y Minero a escala 1:400.000 y el Mapa Geológico de la serie MAGNA a escala 1:50.000. A partir del Mapa Geológico Minero a escala 1:400.000, la Consejería de Medio Ambiente confeccionó el Mapa Litológico, tomando como criterio identificar las unidades litológicas basándose en la separación o segregación, de acuerdo con las características físicas y químicas intrínsecas de las rocas, independientemente del carácter cronológico o edad que presenten. Para llevar a cabo la agregación de tipos litológicos en este mapa se utilizó como documento básico dicho Mapa Geológico ajustado a partir de imágenes de satélite, llevándose a cabo una revisión completa de dichas unidades ajustadas a través de la cartografía geológica de la serie Magna, a escala 1:50.000. La zona de actuación se sitúa sobre las siguientes unidades litológicas:

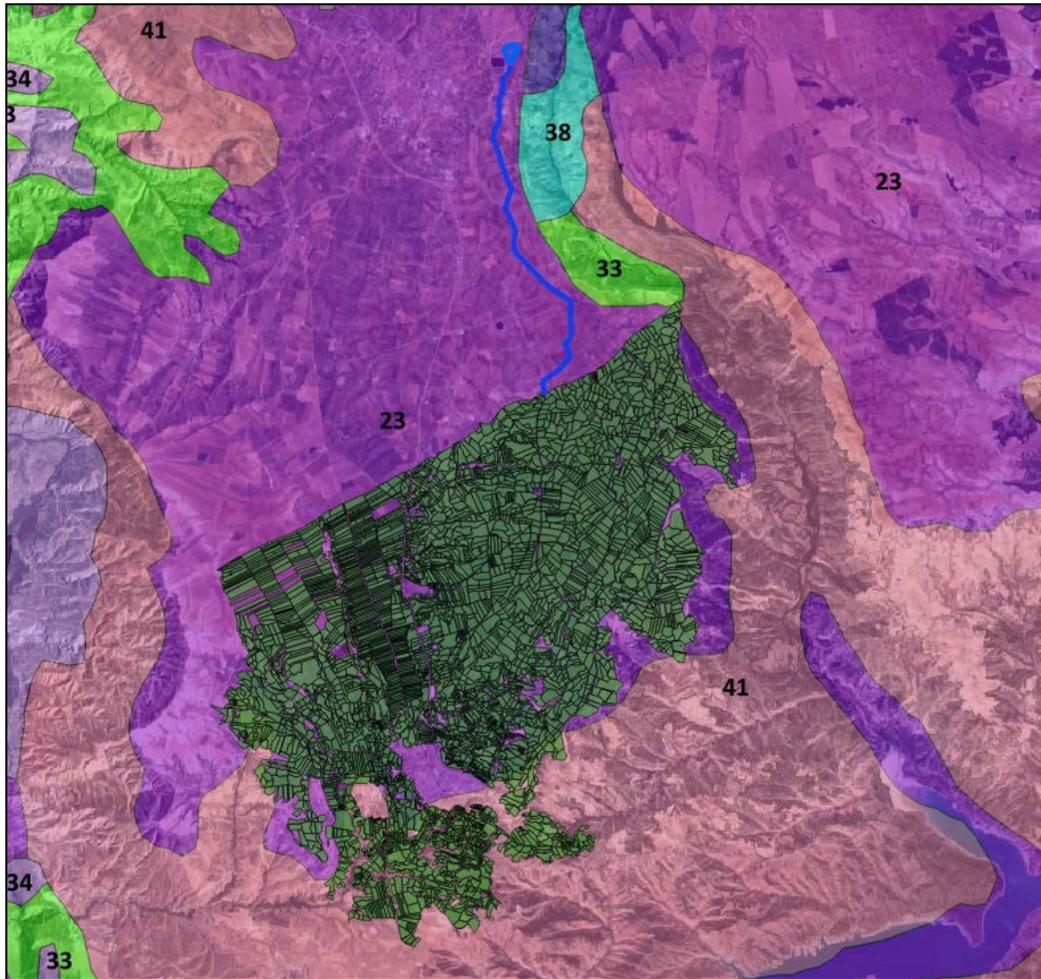
**Tabla 1.** Litología

Código litológico	Litología
41	Conglomerados, arenas lutitas y calizas
23	Arenas, limos, arcillas, gravas y cantos

*Fuente: Elaboración propia a partir de la REDIAM.*

En la siguiente figura se pueden ver representadas las unidades litológicas con su respectivo

código litológico con respecto a la zona de estudio.



**Figura 2.** Litología de la zona objeto de estudio  
*Fuente: Elaboración propia a partir de la REDIAM.*

La gran mayoría de la Colectividad de Cuevas del Campo está asentada sobre la unidad litológica 23 (arenas, limos, arcillas, gravas y cantos). Por lo general, esto se corresponde con suelos franco-arenosos, pobres en materia orgánica y ricos en caliza, con subsuelo poco profundo y constituido por bancos de caliza delgados y muy deleznable, y alternándose en profundidad varias veces capas análogas.

El horizonte de acumulación de carbonato cálcico puede ser de tipo nodular o de costras calizas, tanto más endurecidas cuanto mayor sea la evolución.

Incluye en ella gran parte de los suelos rojos o pardo rojizos cuyo perfil desarrolla horizontes sobre materiales calizos detríticos consolidados.

El suelo es casi siempre excesivamente permeable y, como el subsuelo está formado por bancos

de calizas fisurables, que interrumpirán la ascensión del agua por capilaridad, puede perderse agua con gran facilidad y sin aprovechamiento alguno.

En la unidad litológica 41 (conglomerados, arenas lutitas y calizas), menos representativa en la Colectividad de Cuevas del Campo, aparecen suelos desarrollados sobre marga caliza y caliza margosa y sobre conglomerados.

#### **4 VEGETACIÓN**

No existe vegetación natural porque todo el terreno está cultivado de olivar, almendro o dedicado a tierra calma para cultivos anuales.

#### **5 CLIMATOLOGÍA**

Para el estudio de la climatología de la zona se ha elegido la estación meteorológica que mejor caracteriza a la zona regable donde se actuará.

En las proximidades del área de actuación se pueden encontrar varias estaciones de distintas redes como:

- Red de Estaciones Secundarias (AEMET)
  - ✓ 5133 Pozo Alcón
  - ✓ 5089 Pozo Alcón, El Hornico
  - ✓ 5091 Pozo Alcón, la Bolera
  - ✓ 5088 Pozo Alcón, Prados de Cuenca
  - ✓ 5047B Baza
  - ✓ 5093 Freila
  
- Red de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir
  - ✓ 5098 Freila Negratín
  
- Red de Información Agroclimática de Andalucía (RIA)
  - ✓ Estación Meteorológica de Pozo Alcón

Analizadas las ubicaciones de cada una y la calidad de sus datos se selecciona la Estación Meteorológica de Pozo Alcón de la Red de Información Agroclimática de Andalucía (RIA). Esta

se ubica en plena zona regable y dispone de más de 20 años de datos (desde el 9 de agosto de 2000). Si a esto se suma que, dada la extensión y topografía, la zona se puede considerar con unas características climáticas uniformes, esta estación climática es por sí sola suficientemente representativa. Además, es una estación completa con datos de radiación, humedad relativa y viento que permiten caracterizar la zona de forma óptima agroclimáticamente. Su localización en coordenadas UTM ETRS89 Huso 30 es X: 506163, Y: 4169420, Z: 881.

A continuación, se muestran, para la zona de estudio, los datos de temperatura, precipitación y clasificación climática.

#### • Temperatura

La temperatura media anual es de 14,01 °C, siendo las medias invernales inferiores a 7,0 °C y las medias del verano superiores a 22 °C.

Los datos que mejor reflejan la temperatura de la zona en la que se enclava la superficie de riego, se indican en la siguiente tabla, donde:

- T Máx Temperatura media de las máximas
- T Mín Temperatura media de las mínimas
- T Med Temperatura media

**Tabla 2.** Caracterización térmica: resumen de datos de temperatura

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
<b>T Máx</b>	10,72	11,96	15,34	18,48	23,38	29,36	33,47	32,81	27,03	21,73	14,25	11,29	20,82
<b>T Mín</b>	0,30	1,13	3,56	6,14	9,38	13,57	16,26	16,41	13,00	9,13	3,75	1,26	7,82
<b>T Med</b>	5,07	6,18	9,10	12,02	16,22	21,43	24,98	24,32	19,55	14,87	8,58	5,81	14,01

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Estación meteorológica en Pozo Alcón (Red de Información Agroclimática de Andalucía)*

#### • Precipitación

La pluviometría es escasa y se produce normalmente en los periodos de otoño y primavera, aunque con un reparto muy desigual. La media anual de precipitaciones se sitúa entre los 250 y 300 mm. En la siguiente tabla se recogen los datos mensuales de precipitación.

**Tabla 3.** Caracterización pluviométrica: resumen de datos de precipitación

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
<b>Precipitación (mm)</b>	48,46	38,37	53,18	48,01	35,98	16,86	2,32	9,64	25,86	35,97	53,52	48,99	417,16

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Estación meteorológica en Pozo Alcón (Red de Información Agroclimática de Andalucía)*

- **Clasificación climática**

La Clasificación climática según Papadakis es la siguiente:

- Tipo de invierno           **AVENA (av)**
- Tipo de verano           **ORYZA (O)**
- Régimen térmico       **CONTINENTAL (CO/Co)**
- Régimen de humedad   **MEDITERRÁNEO SECO (Me)**
- Tipo climático           **MEDITERRÁNEO CONTINENTAL**

### 5.1 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL DE REFERENCIA

La evapotranspiración potencial de referencia ( $ET_0$ ) es proporcionada en la siguiente dirección web de la Red de Información Agroclimática de Andalucía (RIA):

<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/riaweb/web/estacion/23/2>

Se calcula por el método recomendado por FAO basado en la ecuación de Penman-Monteith. Usando estos datos diarios de 20 años se ha determinado la  $ET_0$  media mensual para la zona en estudio, la cual se recoge en la siguiente tabla.

**Tabla 4.** Evapotranspiración de referencia: resumen de datos

<b>Meses</b>	<b><math>ET_0</math> (mm/mes)</b>
Enero	30,76
Febrero	44,19
Marzo	77,69
Abril	106,99
Mayo	151,17
Junio	171,91
Julio	206,58
Agosto	184,41
Septiembre	121,70
Octubre	77,64
Noviembre	41,01
Diciembre	30,55
<b>TOTAL</b>	<b>1.244,60</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Estación meteorológica en Pozo Alcón (Red de Información Agroclimática de Andalucía)*

## 5.2 PRECIPITACIÓN EFECTIVA

La precipitación efectiva es una parte de la lluvia total, parte de esta lluvia puede perderse debido a la escorrentía superficial, a una percolación profunda por debajo de la rizosfera o a la evaporación de la lluvia interceptada por las hojas de las plantas. La precipitación efectiva mensual se calcula como un porcentaje de la precipitación media mensual, tomándose el 70 %.

**Tabla 5.** Precipitación efectiva mensual

<b>Meses</b>	<b>Precipitación media (mm)</b>	<b>Precipitación Efectiva (mm)</b>
Enero	48,46	33,92
Febrero	38,37	26,86
Marzo	53,18	37,23
Abril	48,01	33,61
Mayo	35,98	25,19
Junio	16,86	11,80
Julio	2,32	1,62
Agosto	9,64	6,75
Septiembre	25,86	18,10
Octubre	35,97	25,18
Noviembre	53,52	37,46
Diciembre	48,99	34,29
<b>TOTAL</b>	<b>417,16</b>	<b>292,01</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Estación meteorológica en Pozo Alcón (Red de Información Agroclimática de Andalucía)*

## 6 CULTIVOS EXISTENTES Y FUTUROS

La Colectividad de Riego de Cuevas del Campo riega 3.491,58 ha (de las 8.353,26 ha que componen la totalidad de la Comunidad) y está compuesta por 1.064 socios. La distribución de cultivos actual es: un 85,71 % de cultivos leñosos, fundamentalmente olivar (67,13 %), almendro (15,39 %) y frutales (3,19 %); un 14,13 % de tierra arable, en la que destaca el cultivo del maíz y algo de hortícolas (espárragos, calabacín, tomate, pimiento, etc.), y un 0,16 % de cultivos minoritarios, entre los que destaca el viñedo.

**Tabla 6.** Cultivos actuales y superficie

Cultivo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Frutal	111,38	3,19
Frutal de cáscara	537,35	15,39
Frutal de cáscara-Viñedo	1,05	0,03
Huerta	2,09	0,06
Invernaderos y cultivos bajo plástico	0,70	0,02
Olivar	2.343,90	67,13
Olivar-Viñedo	0,35	0,01
Tierra arable	493,36	14,13
Viñedo	1,40	0,04
<b>TOTAL</b>	<b>3.491,58</b>	<b>100,00</b>

Fuente: datos facilitados por la Colectividad de Riego de Cuevas del Campo

Tras la modernización no se espera que se cambien los cultivos, pues las características de la zona regable no permiten la implantación de muchos cultivos tanto por climatología como por disponibilidades hídricas (concesión de aguas limitada a 3.546 m<sup>3</sup>/ha-año).

En la actualidad, se puede estimar que un 25% de la superficie mantiene el sistema de riego por inundación, mientras el otro 75% se ha modernizado a riego por goteo y aspersión. Para la Fase II, con 1.966,54 ha a modernizar, en función de los cultivos existentes, la superficie regada por cada sistema de riego será de 491,64 ha de riego por superficie, 279,24 ha de aspersión y 1.195,66 ha de localizado.

**Tabla 7.** Cultivos actuales y sistema de riego con superficie

Cultivo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)	Fase II (ha)	Riego actual	Superficie riego actual (ha)	Superficie riego actual Fase II (ha)
Frutal	111,38	3,19	62,73	Localizado	111,38	62,73
Frutal de cáscara	537,35	15,39	302,65	Localizado	537,35	302,65
Frutal de cáscara-Viñedo	1,05	0,03	0,59	Localizado	1,05	0,59
Huerta	2,09	0,06	1,18	Aspersión	2,09	1,18
Invernaderos y cultivos bajo plástico	0,70	0,02	0,39	Aspersión	0,35	0,195
				Localizado	0,35	0,195
Olivar	2.343,90	67,13	1.320,14	Localizado	1.471,00	828,50
				Inundación	872,90	491,64
Olivar-Viñedo	0,35	0,01	0,20	Localizado	0,35	0,20
Tierra arable	493,36	14,13	277,87	Aspersión	493,36	277,87
Viñedo	1,40	0,04	0,79	Localizado	1,40	0,79
<b>TOTAL</b>	<b>3.491,58</b>	<b>100,00</b>	<b>1.966,54</b>		<b>3.491,58</b>	<b>1.966,54</b>

Tras la ejecución del proyecto de modernización, el sistema de riego por inundación pasará a ser riego localizado, por lo que quedarán 279,24 ha de aspersión y 1.687,30 ha de localizado.

**Tabla 8.** Cultivos actuales y futuros por sistema de riego

Grupo de cultivos	Tipo de riego	Superficie total riego actual (ha)	Superficie riego actual Fase II (ha)	Superficie total riego futura (ha)	Superficie riego futura Fase II (ha)
Olivar	Inundación	<b>872,90</b>	<b>491,64</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Grupo Almendro (Olivar, frutal, frutal cáscara, frutal cáscara-viñedo, invernaderos, olivar-viñedo, viñedo)	Localizado	1.471,00 +111,38 + 537,35 + 1,05 +0,7/2 + 0,35 + 1,40=	62,73 + 302,65+ 0,59 +0,39/2 +828,50 + 0,20+0,79 =	872,90+ 1.471,00 +111,38 + 537,35 + 1,05 +0,7/2 + 0,35 + 1,40=	491,64+62,73 + 302,65+ 0,59 +0,39/2 +828,50 + 0,20+0,79 =
		<b>2.122,88</b>	<b>1.195,66</b>	<b>2.995,78</b>	<b>1.687,30</b>
Grupo Maíz (Huerta, invernaderos y tierra arable)	Aspersión	2,09+ 0,7/2+ 493,36=	1,18 + 0,39/2 + 277,87=	2,09+ 0,7/2+ 493,36=	1,18 + 0,39/2 + 277,87=
		<b>495,80</b>	<b>279,24</b>	<b>495,80</b>	<b>279,24</b>
<b>Total</b>		<b>3.491,58</b>	<b>1.966,54</b>	<b>3.491,58</b>	<b>1.966,54</b>

Para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, se hará la siguiente agrupación por cultivos principales:

**Tabla 9.** Superficie por cultivos para cálculo de necesidades hídricas

Cultivo	Área (ha)	Área (%)	Área Fase II (ha)
Olivar	2.346,00	67,19	1.321,32
Almendro	649,78	18,61	365,97
Maíz	495,80	14,20	279,25
<b>TOTAL</b>	<b>3.491,58</b>	<b>100</b>	<b>1.966,54</b>

## 7 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS

El cálculo de las necesidades de riego futuras se centrará en los cultivos mayoritarios que son olivar, almendro y maíz (se toma este como cultivo herbáceo anual de mayor consumo que se da en la zona). No se considera una posible distribución futura de cultivos más exigente en agua que los existentes en la actualidad, ya que la concesión de aguas no lo permite. Esta será 2.346 ha de olivar (en un marco de 8 por 7 metros), 649,78 ha de almendro (en un marco de 8 por 7

metros) y 495,80 ha de maíz y en base a ella se determinarán las necesidades de riego futuras y, por tanto, los caudales de diseño a considerar en el presente proyecto.

## 7.1 COEFICIENTES DE CULTIVOS

### 7.1.1 Olivar

Los coeficientes de cultivo  $K_c$  del olivar, que adoptan valores prácticamente constantes a lo largo de todo su ciclo, aumentan en primavera y otoño, épocas estas en que aumenta la actividad fisiológica del olivar.

**Tabla 10.** Coeficiente cultivo del olivar

<b>Meses</b>	<b><math>K_c</math></b>
Enero	0,50
Febrero	0,50
Marzo	0,60
Abril	0,60
Mayo	0,60
Junio	0,55
Julio	0,55
Agosto	0,55
Septiembre	0,55
Octubre	0,60
Noviembre	0,60
Diciembre	0,50

*Fuente: Orgaz y Ferreres. Instituto de Agricultura Sostenible CSIC*

### 7.1.2 Almendros

Los coeficientes de cultivo  $K_c$  del almendro son muy bajos en invierno, período de dormancia, y alcanzan su máximo valor durante los meses de verano.

**Tabla 11.** Coeficiente cultivo del almendro

Meses	$K_c$
Enero	0,30
Febrero	0,30
Marzo	0,30
Abril	0,35
Mayo	0,70
Junio	1,00
Julio	1,00
Agosto	0,70
Septiembre	0,50
Octubre	0,35
Noviembre	0,30
Diciembre	0,30

Fuente: Orgaz y Ferreres. Instituto de Agricultura Sostenible CSIC

### 7.1.3 Cultivos anuales

Para obtener los valores de  $K_c$  se tiene en cuenta el coeficiente de cultivo basal ( $K_{cb}$ ) y la evaporación directa desde el suelo ( $K_e$ ). Los coeficientes de cultivo basales se obtienen a partir de los  $K_c$  medios recogidos en la tabla siguiente procedentes del Manual 24 de la FAO y de las recomendaciones del Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC). Para tener en cuenta la evaporación directa desde el suelo hay que considerar la ocurrencia de un suceso húmedo (lluvia o riego) y, por lo tanto, es necesario realizar un balance de agua diario en el suelo para las condiciones de cada año.

A continuación, se presenta una tabla con los valores de  $K_c$  en las distintas fases de los cultivos más típicos de la zona regable.

Coeficientes de cultivo ( $K_c$ ).

**Tabla 12.** Coeficiente cultivo del maíz

Cultivo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Maíz	-	-	0,24	0,43	0,75	1,12	1,1	0,7	-	-	-	-

Fuente: Instituto de Agricultura Sostenible CSIC y Manual 24 de FAO

## 7.2 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO

La evapotranspiración del cultivo,  $ET_c$ , vendrá dada por la siguiente expresión:

$$ET_c = K_c \cdot K_r \cdot ET_o$$

donde

- $K_c$  Coeficiente de cultivo
- $K_r$  Coeficiente reductor en función de la superficie cubierta por la copa (solo para olivar y almendro)

### 7.2.1 Olivar marco de plantación 8 x 7

**Tabla 13.** Cálculo evapotranspiración real del cultivo de olivar

Meses	$K_c$	$K_r$	$ET_o$ (mm/día)	$ET_c$ (mm/día)	$ET_c$ (mm/mes)
Enero	0,50	0,7	0,99	0,35	10,77
Febrero	0,50	0,7	1,58	0,55	15,47
Marzo	0,60	0,7	2,51	1,05	32,63
Abril	0,60	0,7	3,57	1,50	44,93
Mayo	0,60	0,7	4,88	2,05	63,49
Junio	0,55	0,7	5,73	2,21	66,19
Julio	0,55	0,7	6,66	2,57	79,53
Agosto	0,55	0,7	5,95	2,29	71,00
Septiembre	0,55	0,7	4,06	1,56	46,85
Octubre	0,60	0,7	2,50	1,05	32,61
Noviembre	0,60	0,7	1,37	0,57	17,22
Diciembre	0,50	0,7	0,99	0,34	10,69
<b>TOTAL</b>			40,79		491,38

Fuente: Elaboración propia

## 7.2.2 Almendro 7 x 7

**Tabla 14.** Cálculo evapotranspiración real del cultivo de almendro

Meses	Kc	Kr	ET <sub>o</sub> (mm/día)	ET <sub>c</sub> (mm/día)	ET <sub>c</sub> (mm/mes)
Enero	0,30	0,6	0,99	0,18	5,54
Febrero	0,30	0,6	1,58	0,28	7,95
Marzo	0,30	0,6	2,51	0,45	13,98
Abril	0,35	0,6	3,57	0,75	22,47
Mayo	0,70	0,6	4,88	2,05	63,49
Junio	1,00	0,6	5,73	3,44	103,15
Julio	1,00	0,6	6,66	4,00	123,95
Agosto	0,70	0,6	5,95	2,50	77,45
Septiembre	0,50	0,6	4,06	1,22	36,51
Octubre	0,35	0,6	2,50	0,53	16,30
Noviembre	0,30	0,6	1,37	0,25	7,38
Diciembre	0,30	0,6	0,99	0,18	5,50
<b>TOTAL</b>			<b>40,79</b>		<b>483,67</b>

Fuente: Elaboración propia

## 7.2.3 Cultivos anuales

La evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>) resulta de multiplicar la evapotranspiración potencial de la zona por el coeficiente de dicho cultivo (K<sub>c</sub>). A continuación, se presenta una tabla con los valores de la evapotranspiración de cultivo mensual y anual del cultivo tipo anual elegido (maíz).

**Tabla 15.** Cálculo evapotranspiración real del cultivo de maíz

Meses	Kc	ET <sub>o</sub> (mm/día)	ET <sub>c</sub> (mm/día)	ET <sub>c</sub> (mm/mes)
Enero	0,00	0,99	0,00	0,00
Febrero	0,00	1,58	0,00	0,00
Marzo	0,00	2,51	0,00	0,00
Abril	0,24	3,57	0,86	25,68
Mayo	0,43	4,88	2,10	65,00
Junio	0,75	5,73	4,30	128,93
Julio	1,12	6,66	7,46	231,37
Agosto	1,1	5,95	6,54	202,85
Septiembre	0,7	4,06	2,84	85,19
Octubre	0,00	2,50	0,00	0,00
Noviembre	0,00	1,37	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,99	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>		<b>40,79</b>		<b>739,02</b>

Fuente: Elaboración propia

### 7.3 NECESIDADES HÍDRICAS NETAS

#### 7.3.1 Cultivos leñosos

El déficit hídrico mensual (NA) se obtiene haciendo el balance entre las pérdidas y las ganancias, considerando como pérdidas la evapotranspiración de cada cultivo ( $ET_c$ ) y como ganancias, la precipitación efectiva (PE).

$$\text{Déficit hídrico mensual: } NA = ET_c - PE$$

#### Olivar marco plantación 8 x 7

**Tabla 16.** Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de olivar

Meses	Precipitación efectiva (mm)	$ET_c$ (mm)	NA (mm)	Necesidades de riego (mm)
Enero	33,92	10,77	-23,15	0,00
Febrero	26,86	15,47	-11,39	0,00
Marzo	37,23	32,63	-4,60	0,00
Abril	33,61	44,93	11,32	11,32
Mayo	25,19	63,49	38,30	38,30
Junio	11,80	66,19	54,39	54,39
Julio	1,62	79,53	77,91	77,91
Agosto	6,75	71,00	64,25	64,25
Septiembre	18,10	46,85	28,75	28,75
Octubre	25,18	32,61	7,43	7,43
Noviembre	37,46	17,22	-20,24	0,00
Diciembre	34,29	10,69	-23,60	0,00
<b>TOTAL</b>	292,01	491,38	199,37	282,35

Fuente: Elaboración propia

**Almendo marco plantación 7 x 7**
**Tabla 17.** Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de almendo

Meses	Precipitación efectiva (mm)	ET <sub>c</sub> (mm)	NA (mm)	Necesidades de riego (mm)
Enero	33,92	5,54	-28,38	0,00
Febrero	26,86	7,95	-18,91	0,00
Marzo	37,23	13,98	-23,25	0,00
Abril	33,61	22,47	-11,14	0,00
Mayo	25,19	63,49	38,30	38,30
Junio	11,80	103,15	91,35	91,35
Julio	1,62	123,95	122,33	122,33
Agosto	6,75	77,45	70,70	70,70
Septiembre	18,10	36,51	18,41	18,41
Octubre	25,18	16,30	-8,88	0,00
Noviembre	37,46	7,38	-30,08	0,00
Diciembre	34,29	5,50	-28,79	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>292,01</b>	<b>483,67</b>	<b>191,66</b>	<b>341,09</b>

Fuente: Elaboración propia

Las necesidades de riego de cada mes, atendiendo únicamente al déficit hídrico, serían muy elevadas, por lo que para calcular las necesidades de riego que finalmente se aplicarán, se tiene en cuenta el agua almacenada en el suelo.

Se entiende por déficit hídrico de un cultivo cuando la demanda evaporativa excede de la cantidad de agua que las raíces pueden extraer del suelo.

Esto ocurre cuando el contenido de agua del suelo es inferior a un nivel denominado déficit permisible, que se cuantifica como un porcentaje de agua útil. Así, se tiene que el déficit de agua en el suelo permisible es:

$$DASP = 0,75 (CC - PMP) \cdot Z_r$$

donde

DASP	déficit de agua en el suelo permisible (mm)
CC	capacidad de campo (mm)
PMP	punto de marchitez permanente (mm)
Z <sub>r</sub>	profundidad del sistema radical (mm)

Como se ha descrito en epígrafes anteriores, los tipos de suelos dominantes en la zona son los franco arenosos. Para estos suelos se puede tomar una capacidad de campo del 22 % y un punto de marchitez permanente del 9 %, lo que daría lugar a un intervalo de humedad disponible del 13 %. Si bien existen zonas donde los suelos son profundos, existen otras donde las capas de

calizas endurecidas limitan el crecimiento radicular, por lo que se tomará un máximo de profundidad del sistema radical de 1 metro.

De este modo, se obtiene un déficit de agua en el suelo permisible de 97,5 mm, luego los cultivos no sufrirán estrés hídrico siempre y cuando no se supere este valor, aunque no debe apurarse este valor para no disminuir la productividad de los cultivos.

Por lo tanto, teniendo en cuenta la reserva de agua en el suelo, se confecciona el calendario de riegos, tanto para el olivar como para el almendro, que se presenta en las tablas siguientes donde:

- PE Precipitación efectiva (mm/mes)
- ET<sub>c</sub> Evapotranspiración de cultivo (mm/mes)
- RN Riego neto (mm/mes)
- D Déficit de agua en el suelo (mm/mes),  $D = ET_c - PE - RN$
- DAS Déficit acumulado de agua en el suelo (mm)

### **Olivar marco plantación 8 x 7**

**Tabla 18.** Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de olivar, teniendo en cuenta el déficit permisible de agua en el suelo

<b>Meses</b>	<b>PE (mm/mes)</b>	<b>ET<sub>c</sub> (mm/mes)</b>	<b>ET<sub>c</sub> - PE (mm/mes)</b>	<b>RN (mm/mes)</b>	<b>D (mm/mes)</b>	<b>DAS (mm)</b>
Enero	33,92	10,77	-23,15	0,00	-23,15	0,00
Febrero	26,86	15,47	-11,39	0,00	-11,39	0,00
Marzo	37,23	32,63	-4,60	0,00	-4,60	0,00
Abril	33,61	44,93	11,32	10,00	1,32	1,32
Mayo	25,19	63,49	38,30	30,00	8,30	9,62
Junio	11,80	66,19	54,39	40,00	14,39	24,01
Julio	1,62	79,53	77,91	60,00	17,91	41,92
Agosto	6,75	71,00	64,25	50,00	14,25	56,17
Septiembre	18,10	46,85	28,75	35,00	-6,25	49,92
Octubre	25,18	32,61	7,43	15,00	-7,57	42,35
Noviembre	37,46	17,22	-20,24	0,00	-20,24	22,11
Diciembre	34,29	10,69	-23,60	0,00	-23,60	-1,49
<b>Total (mm/año)</b>		<b>491,38</b>		<b>240,00</b>		

Fuente: Elaboración propia

El mes punta es el de julio con unas necesidades netas de riego de 60 mm. El consumo anual neto será de 240,0 mm (2.400 m<sup>3</sup>/ha·año).

**Almendo marco plantación 7x7**
**Tabla 19.** Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de almendo, teniendo en cuenta el déficit permisible de agua en el suelo

<b>Meses</b>	<b>PE (mm/mes)</b>	<b>ET<sub>c</sub> (mm/mes)</b>	<b>ET<sub>c</sub> – PE (mm/mes)</b>	<b>RN (mm/mes)</b>	<b>D (mm/mes)</b>	<b>DAS (mm)</b>
Enero	33,92	5,54	-28,38	0,00	-28,38	0,00
Febrero	26,86	7,95	-18,91	0,00	-18,91	0,00
Marzo	37,23	13,98	-23,25	0,00	-23,25	0,00
Abril	33,61	22,47	-11,14	0,00	-11,14	0,00
Mayo	25,19	63,49	38,30	35,00	3,30	3,30
Junio	11,80	103,15	91,35	65,00	26,35	29,65
Julio	1,62	123,95	122,33	80,00	40,33	69,98
Agosto	6,75	77,45	70,70	70,00	0,70	70,68
Septiembre	18,10	36,51	18,41	30,00	-11,59	59,09
Octubre	25,18	16,30	-8,88	5,00	-13,88	45,21
Noviembre	37,46	7,38	-30,08	0,00	-30,08	15,13
Diciembre	34,29	5,50	-28,79	0,00	-28,79	-13,66
<b>Total (mm/año)</b>		<b>483,67</b>		<b>285,00</b>		

Fuente: Elaboración propia

El mes punta es el de julio con unas necesidades netas de riego de 80 mm. El consumo anual neto será de 285,0 mm (2.850 m<sup>3</sup>/ha-año).

**7.3.2 Cultivos anuales**

Se considera una alternativa de maíz para toda la zona dedicada a cultivos herbáceos. El déficit hídrico mensual (NA) se obtiene haciendo el balance entre las pérdidas y las ganancias, considerando como pérdidas la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) y como ganancias, la precipitación efectiva (PE):

$$\text{Déficit hídrico mensual: } NA = ET_c - PE$$

**Tabla 20.** Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de maíz

Meses	Precipitación efectiva (mm)	ET <sub>c</sub> (mm)	NA (mm)	Necesidades de riego (mm)
Enero	33,92	0,00	-33,92	0,00
Febrero	26,86	0,00	-26,86	0,00
Marzo	37,23	0,00	-37,23	0,00
Abril	33,61	25,68	-7,93	0,00
Mayo	25,19	65,00	39,81	39,81
Junio	11,80	128,93	117,13	117,13
Julio	1,62	231,37	229,75	229,75
Agosto	6,75	202,85	196,10	196,10
Septiembre	18,10	85,19	67,09	67,09
Octubre	25,18	0,00	-25,18	0,00
Noviembre	37,46	0,00	-37,46	0,00
Diciembre	34,29	0,00	-34,29	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>292,01</b>	<b>739,02</b>	<b>447,01</b>	<b>649,88</b>

Fuente: Elaboración propia

Las necesidades de riego de cada mes, atendiendo únicamente al déficit hídrico, serían muy elevadas, por lo que para calcular las necesidades de riego que finalmente se aplicarán, se tiene en cuenta el agua almacenada en el suelo, del mismo modo que se ha operado con los cultivos leñosos.

Por lo tanto, teniendo en cuenta la reserva de agua en el suelo de 97,5 mm anteriormente calculada, el calendario de riegos se presenta en las siguientes tablas donde:

- PE Precipitación efectiva (mm/mes)
- ET<sub>c</sub> Evapotranspiración de cultivo (mm/mes)
- RN Riego neto (mm/mes)
- D Déficit de agua en el suelo (mm/mes),  $D = ET_c - PE - RN$
- DAS Déficit acumulado de agua en el suelo (mm)

**Tabla 21.** Cálculo de las necesidades hídricas netas del cultivo de maíz, teniendo en cuenta el déficit permisible de agua en el suelo

Meses	PE (mm/mes)	ET <sub>c</sub> (mm/mes)	ET <sub>c</sub> – PE (mm/mes)	RN (mm/mes)	D (mm/mes)	DAS (mm)
Enero	33,92	0,00	-33,92	0,00	-33,92	0,00
Febrero	26,86	0,00	-26,86	0,00	-26,86	0,00
Marzo	37,23	0,00	-37,23	0,00	-37,23	0,00
Abril	33,61	25,68	-7,93	0,00	-7,93	0,00
Mayo	25,19	65,00	39,81	20,00	19,81	19,81
Junio	11,80	128,93	117,13	100,00	17,13	36,94
Julio	1,62	231,37	229,75	220,00	9,75	46,69
Agosto	6,75	202,85	196,10	190,00	6,10	52,79
Septiembre	18,10	85,19	67,09	27,00	40,09	92,88
Octubre	25,18	0,00	-25,18	0,00	-25,18	67,70
Noviembre	37,46	0,00	-37,46	0,00	-37,46	30,24
Diciembre	34,29	0,00	-34,29	0,00	-34,29	-4,05
<b>Total (mm/año)</b>		<b>739,02</b>		<b>557,00</b>		

Fuente: Elaboración propia

El mes punta es el de julio con unas necesidades netas de riego de 220 mm. El consumo anual neto será de 557 mm (5.570 m<sup>3</sup>/ha·año).

#### 7.4 NECESIDADES HÍDRICAS BRUTAS

En el Anejo 3 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir (2015-2021) se determinan de forma genérica los valores a emplear para estimar las eficiencias a nivel de zonas regables. Se adjunta imagen procedente de dicho anejo:

Las eficiencias a considerar para obtener la demanda bruta teniendo como base la neta, se obtendrá en base a los datos recopilados en el inventario de riego. Como valores preliminares que deberán ser recogidos mediante la calibración en zonas regables de datos conocidos, se proponen los siguientes valores:

1. Eficiencia en el Sistema de Aplicación (Ea):

Sistema de Aplicación	Eficiencia
Superficie	0,75
Aspersión	0,83
Localizado	0,95

Tabla 21. Eficiencia por sistema de aplicación.

2. Eficiencia en la Distribución (Ed):

Infraestructura	Estado de Conservación		
	Bueno	Regular	Malo
Acequia en tierra	0,85	0,775	0,70
Acequia revestida	0,90	0,825	0,75
Tubería	0,95	0,875	0,80

Tabla 22. Eficiencia en la red de distribución.

3. Eficiencia en el Transporte (ET):

Infraestructura	Estado de Conservación		
	Bueno	Regular	Malo
Canal en tierra	0,85	0,775	0,70
Canal revestido	0,90	0,825	0,75

Anejo nº3 – Descripción de usos, demandas y presiones

Pág. 35 de 85

**Figura 3.** Eficiencia del riego en función del sistema de aplicación, eficiencia en la distribución y eficiencia en el transporte

Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Una vez realizada la modernización tanto la red de transporte como la red de distribución estará conformada por tubería nueva y el sistema de riego se considerará por goteo para los cultivos leñosos y por aspersión para los cultivos herbáceos. Con base en las eficiencias recogidas en el Plan Hidrológico vigente, considerando un 95 % de eficiencia en la tubería de transporte, un 95 % en la red de distribución, un 95 % para goteo y un 83% para aspersión, se obtendrá una eficiencia global del 86 % para el riego localizado por goteo y de 75 % para riego por aspersión.

**Eficiencia global para riego localizado:**  $E_g = E_c E_d E_a = 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95 = 0,86$

**Eficiencia global para riego aspersión:**  $E_g = E_c E_d E_a = 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,83 = 0,75$

Las necesidades brutas se calculan

7.4.1 Olivar marco plantación 8 x 7 m

$$\text{Necesidades brutas (mes punta)} = \frac{\text{Necesidades riego netas (mm)}}{\text{Eficiencia global riego localizado}}$$

$$\text{Necesidades brutas (mes punta)} = \frac{60}{0,86} = 69,77 \text{ mm / ha} \cdot \text{mes}$$

$$\text{Necesidades brutas (anual)} = \frac{240}{0,86} = 279,07 \text{ mm / ha} \cdot \text{año}$$

Esto equivale a un riego bruto al año de **2.790 m<sup>3</sup>/ha·año**

7.4.2 Almendro marco plantación 7 x 7 m

$$\text{Necesidades brutas (mes punta)} = \frac{\text{Necesidades riego netas (mm)}}{\text{Eficiencia global riego localizado}}$$

$$\text{Necesidades brutas (mes punta)} = \frac{80}{0,86} = 93,02 \text{ mm / ha} \cdot \text{mes}$$

$$\text{Necesidades brutas (anual)} = \frac{285}{0,86} = 331,40 \text{ mm / ha} \cdot \text{año}$$

Esto equivale a un riego bruto al año de **3.314 m<sup>3</sup>/ha·año**

7.4.3 Cultivos anuales

$$\text{Necesidades brutas (mes punta)} = \frac{\text{Necesidades riego netas (mm)}}{\text{Eficiencia global riego aspersión}}$$

$$\text{Necesidades brutas (mes punta)} = \frac{220}{0,75} = 293,33 \text{ mm / ha} \cdot \text{mes}$$

$$\text{Necesidades brutas (anual)} = \frac{557}{0,75} = 742,67 \text{ mm / ha} \cdot \text{año}$$

Esto equivale a un riego bruto al año de **7.427 m<sup>3</sup>/ha·año**

## 7.5 CAUDAL FICTICIO CONTINUO POR CULTIVO

### 7.5.1 Cultivo olivar marco plantación 8 x 7 m

El mes de mayor necesidad de riego, 69,77 mm, es julio, lo que supone un caudal ficticio de

$$\text{Caudal ficticio continuo (l/s}\cdot\text{ha)} = \frac{\text{Necesidades brutas mes julio (l/m}^2\text{)} \cdot 10^4 \text{(m}^2\text{/ha)}}{31 \text{ dias/mes} \cdot 24 \text{ h/dia} \cdot 3600 \text{ s/h}}$$

$$q = \frac{69,77 \text{ l/m}^2 \cdot 10^4 \text{ m}^2\text{/ha}}{31 \text{ dias/mes} \cdot 24 \text{ h/dia} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 0,260 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$$

### 7.5.2 Cultivo almendro marco plantación 7 x 7 m

El mes de mayor necesidad de riego, 93,02 mm, es julio, lo que supone un caudal ficticio por hectárea de:

$$\text{Caudal ficticio continuo (l/s}\cdot\text{ha)} = \frac{\text{Necesidades brutas mes julio (l/m}^2\text{)} \cdot 10^4 \text{(m}^2\text{/ha)}}{31 \text{ dias/mes} \cdot 24 \text{ h/dia} \cdot 3600 \text{ s/h}}$$

$$q = \frac{93,02 \text{ l/m}^2 \cdot 10^4 \text{ m}^2\text{/ha}}{31 \text{ dias/mes} \cdot 24 \text{ h/dia} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 0,347 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$$

### 7.5.3 Aspersión cultivos anuales

El mes de mayor necesidad de riego es julio, con 293,33 mm, lo que supone un caudal ficticio por hectárea de:

$$\text{Caudal ficticio continuo (l/s}\cdot\text{ha)} = \frac{\text{Necesidades brutas mes julio (l/m}^2\text{)} \cdot 10^4 \text{(m}^2\text{/ha)}}{31 \text{ dias/mes} \cdot 24 \text{ h/dia} \cdot 3600 \text{ s/h}}$$

$$q = \frac{293,33 \text{ l/m}^2 \cdot 10^4 \text{ m}^2\text{/ha}}{31 \text{ dias/mes} \cdot 24 \text{ h/dia} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 1,095 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$$

## 7.6 CAUDAL FICTICIO CONTINUO PONDERADO Y DOTACIONES BRUTAS

En función de la distribución de cultivos supuesta para un futuro, el caudal ficticio continuo sería de 0,395 l/s-ha.

**Tabla 22.** Caudal ficticio continuo por tipo de cultivo

CULTIVO	AREA (ha)	Q (l/s ha)
Olivar	2.346,00	0,260
Almendra	649,78	0,347
Maíz	495,80	1,095
<b>TOTAL</b>	<b>3.491,58</b>	<b>0,395</b>

Fuente: Elaboración propia

La dotación bruta para la zona regable en función de la distribución de cultivos será la siguiente:

**Tabla 23.** Dotación bruta en función de la distribución de cultivos

Cultivo	Área (ha)	Dotación (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen anual (m <sup>3</sup> )
Olivar	2.346,00	2.790	6.545.340
Almendra	649,78	3.314	2.153.371
Maíz	495,80	7.427	3.682.307
<b>TOTAL</b>	<b>3.491,58</b>		<b>12.381.018</b>

Fuente: Elaboración propia

A la superficie regada de 3.491,58 ha con un volumen concesional disponible de 3.546 m<sup>3</sup>/ha, le corresponde al año un volumen de 12.381.142 m<sup>3</sup>, lo cual coincide prácticamente con los cálculos realizados en este anejo que dan como resultado un consumo anual de 12.381.018 m<sup>3</sup>.

Con el caudal ficticio continuo calculado, este volumen concesional se abastecería en poco más 100 días de riego continuados, con lo cual se comprueba que se cubrirán suficientemente las necesidades de riego de la zona regable, ya que la campaña de riego se extiende como mínimo durante 6 meses al año.

El caudal ficticio ponderado de 0,395 l/s-ha equivale a 1.422 m<sup>3</sup>/h-ha. Se comprueba que con 104 días de riego continuado al año se cubre la dotación concesional disponible de 3.546 m<sup>3</sup>/ha.

$$1422 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{ha} \times 24 \text{ h} \times 104 \text{ días} = 3.549,31 \text{ m}^3/\text{ha}\cdot\text{año}$$

Por tanto, con el caudal ficticio calculado se podría suministrar todo el volumen concesional en menos de 104 días.