

ANEJO Nº 7: ESTUDIO AGRONÓMICO Y CÁLCULO DE NECESIDADES HÍDRICAS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO. CÁLCULO CAUDAL FICTICIO CONTINUO.....	5
2.1. INTRODUCCIÓN	5
2.2. DATOS CLIMÁTICOS.....	6
2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN	6
.....	7
2.4. PRECIPITACIÓN EFECTIVA.....	7
2.5. DATOS DE CULTIVO.....	8
2.6. CONSUMO REAL DEL CULTIVO	18
2.7. ROTACIÓN SELECCIONADA PARA EL PROYECTO.....	19
2.8. NECESIDADES HÍDRICAS. CAUDAL FICTICIO CONTINUO	19
2.9. DOTACIÓN EN HIDRANTE Y TAMAÑO DEL MISMO.....	20
3.- PARÁMETROS DE RIEGO	23
3.1.- SISTEMA DE RIEGO ELEGIDO	23
3.2.- CÁLCULO DEL RIEGO EN PARCELA	24
3.2.1.- INTRODUCCIÓN	24
3.2.2.- CÁLCULO DE LA DOSIS MÁXIMA DE RIEGO	24
3.2.3.- CÁLCULO DE LA DOSIS PRÁCTICA DE RIEGO.....	25
3.2.4.- CÁLCULO DEL INTERVALO ENTRE RIEGOS	25
3.2.5.- CÁLCULO DE LA DOSIS REAL DE RIEGO	25
3.2.6.- MARCO DE RIEGO	26
3.2.7.- ASPERSOR	26

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DATOS CLIMÁTICOS EMPLEADOS. FUENTE “MEMORIA OBSERVATORIO CARRALOBO 2018”	6
TABLA 2. DATOS DE PRECIPITACIÓN UTILIZADOS. FUENTE “MEMORIA OBSERVATORIO CARRALOBO 2018”	8
TABLA 3. DATOS DE LA ROTACIÓN CONSIDERADA PARA ESTE PROYECTO Y FECHAS DE SIEMBRA Y RECOLECCIÓN	9
TABLA 4. PARCELAS SELECCIONADAS PARA EL CÁLCULO DEL K_c A PARTIR DE VALORES NDVI	12
TABLA 5. DATOS FASES CULTIVOS SELECCIONADOS EN LA ROTACIÓN	17
TABLA 6. DISTRIBUCIÓN DE LA ROTACIÓN DE CULTIVOS SELECCIONADA (HA)	19
TABLA 7. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS MESES MÁS CRÍTICOS. CAUDAL FICTICIO CONTINUO. CROPWAT	20
TABLA 8. CAUDALES PROPUESTO PARA LOS DISTINTOS HIDRANTES	21
TABLA 9. NÚMERO DE ASPERSORES EN FUNCIÓN DEL TIPO HIDRANTE	27

ÍNDICE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. DIAGRAMA OMBROTÉRMICO CORRESPONDIENTE A LA ZONA DE PROYECTO.	7
GRÁFICO 2. VALORES DE K_c CALCULADOS EN FUNCIÓN DEL NDVI EN DISTINTAS PARCELAS DE CEBADA.	13
GRÁFICO 3. VALORES DE K_c CALCULADOS EN FUNCIÓN DEL NDVI EN DISTINTAS PARCELAS DE TRIGO.	14
GRÁFICO 4. VALORES DE K_c CALCULADOS EN FUNCIÓN DEL NDVI EN DISTINTAS PARCELAS DE ALFALFA.	14
GRÁFICO 5. VALORES DE K_c CALCULADOS EN FUNCIÓN DEL NDVI EN DISTINTAS PARCELAS DE COLZA.	14
GRÁFICO 6. VALORES DE K_c CALCULADOS EN FUNCIÓN DEL NDVI EN DISTINTAS PARCELAS DE GIRASOL.	15
GRÁFICO 7. VALORES DE K_c CALCULADOS EN FUNCIÓN DEL NDVI EN DISTINTAS PARCELAS DE MAÍZ.	15
GRÁFICO 8. VALORES DE K_c CALCULADOS EN FUNCIÓN DEL NDVI EN DISTINTAS PARCELAS DE PATATA.	15
GRÁFICO 9. VALORES DE K_c CALCULADOS EN FUNCIÓN DEL NDVI EN DISTINTAS PARCELAS DE REMOLACHA.....	16
GRÁFICO 10. VALORES DE K_c CALCULADOS EN FUNCIÓN DEL NDVI EN DISTINTAS PARCELAS DE SOJA.	16
GRÁFICO 11. VALORES DE K_c CALCULADOS EN FUNCIÓN DEL NDVI EN DISTINTAS PARCELAS DE SORGO.	16
GRÁFICO 12. VALORES DE K_c CALCULADOS EN FUNCIÓN DEL NDVI EN DISTINTAS PARCELAS DE VEZA.	17
GRÁFICO 13. VALORES DE ET_0 CALCULADOS EN FUNCIÓN DATOS CLIMÁTICOS PROGRAMA CROPWAT.....	19

ÍNDICE IMÁGENES

IMAGEN 1. ESQUEMA ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN CALCULO ET DEL CULTIVO.	9
FUENTE “GUÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LOS CULTIVOS”	9
IMAGEN 2. ESQUEMA DISTRIBUCIÓN DE PERÍODOS ELÉCTRICOS EN TARIFA 6.X. FUENTE CIRCULAR 3/2020.....	22

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente anejo es estimar y justificar las necesidades de agua de los cultivos de la zona regable para, posteriormente, poder calcular la red de riego optimizada.

Disponer de una buena estimación de las necesidades hídricas de los cultivos es imprescindible para el diseño de cualquier sistema de riego, siendo más fiel a la realidad cuanto más preciso sea el cálculo de las necesidades hídricas.

Además de la estimación a nivel estacional es especialmente importante predecir bien la demanda en el período crítico, pues la instalación debe calcularse para satisfacer la demanda pico. La capacidad de la instalación debe ser suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo en el momento de máxima demanda. Por tanto, será ésta la cifra a estimar para cada tipo de cultivo con los parámetros climáticos disponibles.

Para realizar los cálculos estimativos de la demanda hídrica se necesita conocer las necesidades medias de los cultivos de la zona, calculadas a partir de los datos climáticos, las necesidades en el período de máxima demanda, las precipitaciones y su distribución en la zona, etc.

Con los datos desprendidos de este cálculo y con la consideración de aplicar el agua para riego mediante un sistema de aspersión, se determina el volumen de agua a aportar, así como las infraestructuras requeridas para poderlo llevar hasta pie de parcela (el proyecto no incluye el amueblamiento de estas).

Poder dotar a los cultivos de sus requerimientos hídricos, en el momento adecuado, permite ampliar el abanico de cultivos a incluir en las alternativas y garantizar mayores rendimientos consiguiendo el desarrollo de los cultivos en las épocas más favorables.

2. NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO. CÁLCULO CAUDAL FICTICIO CONTINUO

2.1. INTRODUCCIÓN

En el presente Anejo se estudian y definen de forma estricta, las necesidades de agua y sus condiciones de suministro y utilización, en base a los datos introducidos en el “CROPWAT”, programa informático de la FAO (1992), que usa el método de Penman-Monteith para el cálculo de la evapotranspiración de referencia.

2.2. DATOS CLIMÁTICOS

Los datos climáticos introducidos en CROPWAT, son los registrados en el Observatorio Meteorológico de Carralobo en Astudillo (Palencia).

La altitud considerada son 783 metros sobre el nivel del mar, una latitud de 42° 11' (Norte) y una longitud de -4° 18' (Este).

2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN

La **Evapotranspiración de referencia** o ET_0 se define como *“la tasa de evaporación de una pradera de gramíneas en cobertura total con una altura entre 8 y 15 cm y buen suministro de agua y nutrientes”*.

Los datos climatológicos considerados para el cálculo de la ET_0 (mm/d) son:

- Temperatura máxima (° C)
- Temperatura mínima (° C)
- Humedad (%)
- Velocidad del viento (Km/d)
- Insolación (horas)
- Radiación solar (MJ/m²/d)

A continuación se presentan las hojas obtenidas de CROPWAT en las que aparecen los datos mensuales de estas variables. Los datos medios son los siguientes:

Tabla 1. Datos Climáticos empleados. Fuente “Memoria Observatorio Carralobo 2018”

Month	Temp Min	Temp Max	Humidity	Wind	Sun	Rad	ET ₀
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día	mm/día
January	-6.3	13.1	85,00	285,00	3.5	6.1	1.20
February	-5.2	16.5	75,00	259,00	4.7	9.1	1.89
March	-3.8	21.6	75,00	588,00	5.4	12.7	3.76
April	-1.8	24.2	68,00	233,00	6.6	17.0	3.81
May	0.5	29.1	68,00	268,00	9.6	23.0	5.39
June	4.7	34.2	65,00	207,00	9.4	23.5	5.99
July	7.4	36.3	63,00	242,00	11.3	25.7	6.90
August	7.8	36.3	57,00	251,00	11.9	24.6	6.92
September	4.5	32.0	54,00	225,00	9.1	17.9	5.18
October	0.3	25.3	67,00	294,00	5.5	10.6	3.48
November	-3.4	18.5	77,00	259,00	3.1	6.2	1.90
December	-5.9	13.3	83,00	190,00	2.2	4.6	1.04
Datos Medios	-0.1	25.0	70	275	6.9	15.1	3.96

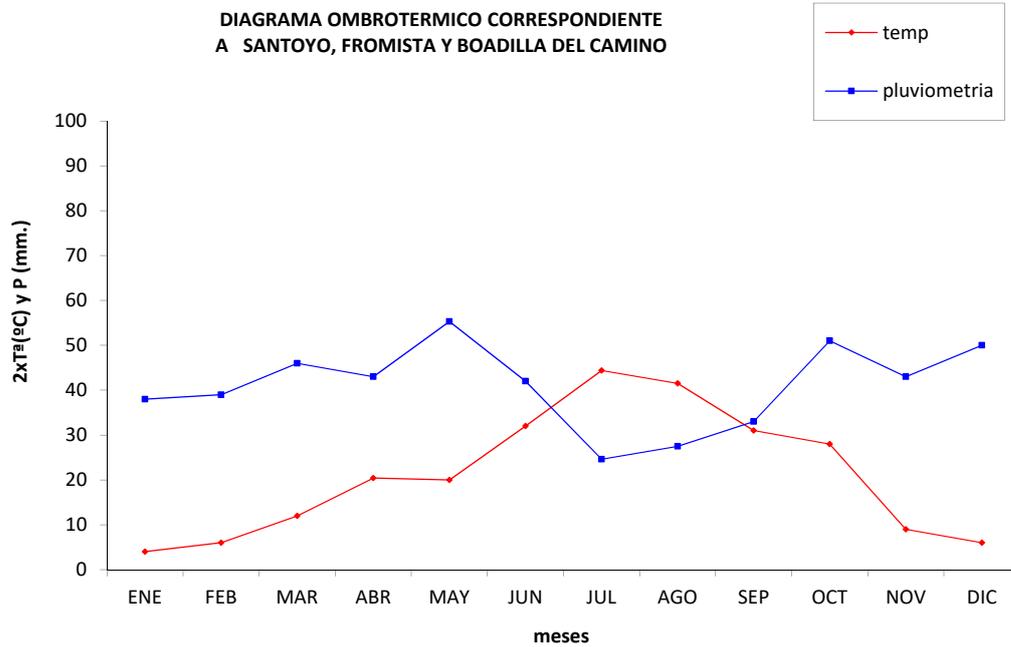


Gráfico 1. Diagrama Ombrotérmico correspondiente a la zona de proyecto.

2.4. PRECIPITACIÓN EFECTIVA

La precipitación efectiva se calcula usando las fórmulas de USSCS que se exponen a continuación:

$$P_{\text{efectiva}} = (125 - 0.2 * P) * P / 25 \quad \text{si } P < 250 \text{ mm/mes}$$

$$P_{\text{efectiva}} = 0.1 * P - 125 \quad \text{si } P > 250 \text{ mm/mes}$$

Tabla 2. Datos de Precipitación utilizados. Fuente “Memoria Observatorio Carralobo 2018”

	Rain	Eff rain
	mm	mm
January	42.1	39.3
February	28.2	26.9
March	30.4	28.9
April	47.6	44.0
May	50.5	46.4
June	30.5	29.0
July	15.9	15.5
August	18.9	18.3
September	29.6	28.2
October	57.1	51.9
November	47.2	43.6
December	48.9	45.1
Total	446.9	417.1

2.5. DATOS DE CULTIVO

El valor de la evapotranspiración de cultivo (ET) se obtiene mediante la siguiente fórmula

$$ET = K_c \times ET_0$$

siendo K_c el coeficiente de cultivo que depende de las características de cada cultivo, época de siembra, ritmo de desarrollo del cultivo, duración del período vegetativo, duración de la primera fase de crecimiento y la frecuencia de riegos o lluvias.

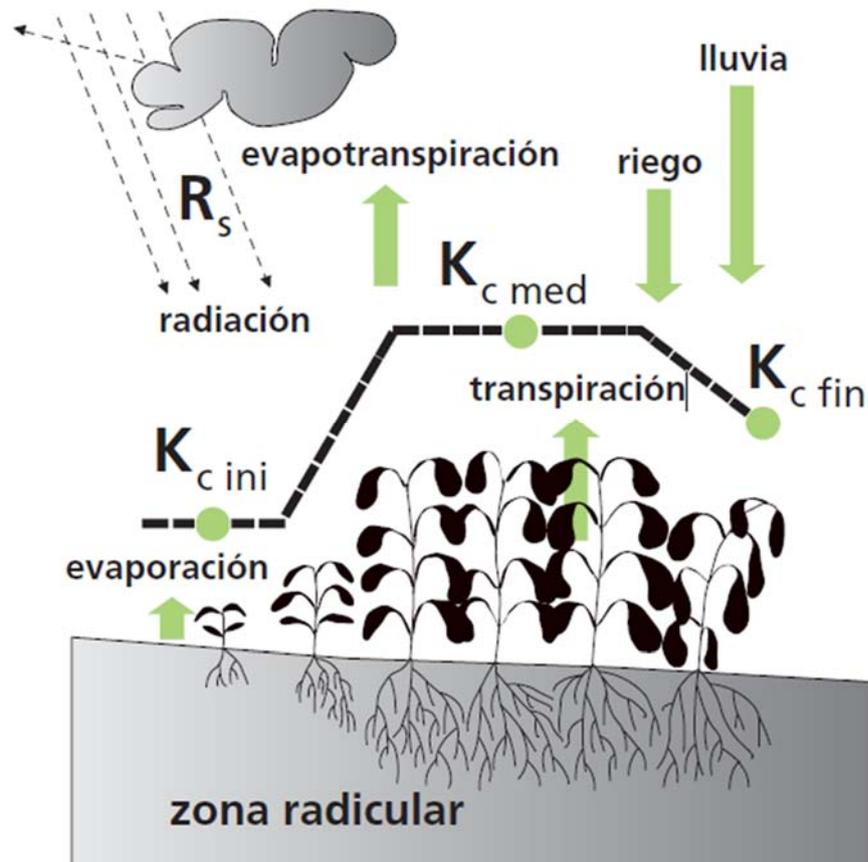


Imagen 1. Esquema elementos que intervienen en cálculo ET del cultivo.
Fuente "Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos"

La alternativa de cultivos para la que se ha realizado el cálculo de consumos es la que se ha estimado como la más posible a presentarse, una vez realizada la modernización de los regadíos, por similitud con zonas muy próximas de esta comunidad de regantes ya modernizadas.

Tabla 3. Datos de la Rotación Considerada para este proyecto y fechas de siembra y recolección

Cultivo	Fecha de Siembra	Fecha de Cosecha	Area (%)
Alfalfa	01-ene	31-dic	30
Cebada	15-feb	29-jun	8
Trigo	01-ene	08-jul	15
Girasol	15-may	21-sep	9
Maíz	01-may	12-sep	18
Patata	15-abr	01-oct	5
Remolacha Azucarera	15-mar	30-sep	10
Soja	15-may	30-sep	5

Para los distintos cultivos se ha dividido el período vegetativo en las fases siguientes:

- Fase inicial
- Fase de desarrollo del cultivo
- Fase de mediados del período
- Fase de finales del período.

Cuando se trata de cultivos forrajeros, que reciben varios cortes al año, el K_c toma un valor medio entre el período de heladas.

La evapotranspiración de la cubierta es el principal componente de las necesidades de agua y de riego. En este proyecto, se considera la estimación de la evapotranspiración de la cubierta vegetal, ET, mediante secuencias temporales de imágenes multiespectrales de satélite.

La determinación del coeficiente de cultivo, k_c , es un primer paso para calcular la ET. El parámetro K_c varía a lo largo del ciclo de crecimiento y depende del desarrollo concreto de cada cubierta.

Aunque en las últimas décadas se ha realizado un gran esfuerzo para tabular valores típicos del *coeficiente de cultivo* y del *coeficiente de cultivo basal* (cociente entre la transpiración de una cubierta en ausencia de estrés y la evapotranspiración de referencia), estos dependen fuertemente de la arquitectura de la cubierta y de la cobertura vegetal alcanzada. Su determinación concreta es a veces compleja y requiere de un intensivo y costoso trabajo de campo por lo que limita la aplicación generalizada del modelo FAO56.

En el marco conceptual del procedimiento FAO56, la metodología $K_c - E_{to}$ basada en teledetección deriva el valor del coeficiente de cultivo desde las imágenes multiespectrales adquiridas por sensores a bordo de plataformas espaciales, aerotransportadas o en tierra (Calera et al.,2005).

El uso de series temporales de imágenes posibilita la descripción de la evolución del coeficiente de cultivo a lo largo del ciclo de crecimiento. Las imágenes además proporcionan la descripción espacial de la cubierta, la cual puede presentar y presenta variaciones notables de unas zonas a otras, permitiendo el cálculo de las necesidades de agua espacialmente distribuidas de acuerdo a las demandas de la cubierta. (Calera et al.,2016)

La evapotranspiración de referencia, E_{to} , se estima desde parámetros meteorológicos, de acuerdo con la metodología descrita en Allen et al.,1998.

La relación lineal existente entre el coeficiente de cultivo basal de una cubierta, análogo a un coeficiente de transpiración, y los índices de vegetación, como el índice de Vegetación por Diferencias

Normalizado, NDVI, así como con otros índices como el SAVI es buena, tal y como pone de manifiesto la abundante literatura científica desde Heilman et al., (1982) Neale et al., (1987)

El NDVI es un parámetro que se obtiene de forma robusta, simple y directa desde las imágenes multiespectrales mediante una combinación algebraica de las reflectividades en el rojo e infrarojo cercano. El NDVI, sobre el que se cuenta con gran experiencia en teledetección, mide el tamaño fotosintético relativo de la cubierta, y recoge cómo la cubierta vegetal absorbe la radiación solar fotosintéticamente activa.

La relación propuesta entre el valor del coeficiente k_{cb} , tal y como se define en FAO56, y el índice NDVI se presenta en la siguiente ecuación:

$$K_{cb} = 1.44 \text{ NDVI} - 0,1 \quad (1) \quad (\text{Campos et al., 2010b})$$

Donde:

K_{cb} : coeficiente de cultivo basal, con valores que oscilan entre 0,15 y 1,15

NDVI: Índice de Vegetación por Diferencias Normalizado, obtenido desde imágenes multiespectrales corregidas atmosféricamente y normalizado a las bandas espectrales LandsatETM+; sus valores oscilan entre aproximadamente 0,14 (suelo desnudo) y 0,91 (cubiertas verdes muy densas)

Esta ecuación (1) permite obtener valores de K_{cb} desde una imagen en la que se ha calculado el valor del NDVI para cada pixel y asignarlos a los distintos puntos de una parcela en concreto. Además puede obtenerse la evolución temporal del coeficiente K_{cb} si se cuenta con una serie temporal de imágenes que nos permiten describir la evolución de la cubierta concreta, atendiendo a sus características específicas de siembra y crecimiento y muestra la variabilidad espacial y temporal que los distintos factores de suelo y manejo pueden introducir.

Para estudiar los valores indicados anteriormente, se han seleccionado parcelas de la zona con los cultivos indicados en la rotación. Estas se indican en el siguiente cuadro:

Tabla 4. Parcelas seleccionadas para el cálculo del K_c a partir de valores NDVI

T.MUNICIPAL	POLIGONO	PARCELA	SUPERFICIE	CULTIVO
FROMISTA	12	67	15,1	TRIGO
FROMISTA	11	10063	29,65	TRIGO
BOADILLA DEL CAMINO	3	24	7,06	TRIGO
BOADILLA DEL CAMINO	1	6	7,76	TRIGO
SANTOYO	7	31	5,04	TRIGO
SANTOYO	5	40	11,03	TRIGO
SANTOYO	7	86	8,79	TRIGO
SANTOYO	6	39	4,56	CEBADA
SANTOYO	1	10036	5,16	CEBADA
SANTOYO	8	49	3,28	CEBADA
FROMISTA	13	113	4,62	CEBADA
FROMISTA	12	63	1,19	CEBADA
BOADILLA DEL CAMINO	4	13	12,43	CEBADA
BOADILLA DEL CAMPO	3	17	12,13	CEBADA
BOADILLA DEL CAMINO	2	21	1,22	ALFALFA
BOADILLA DEL CAMPO	3	48(3-4)	3,4	ALFALFA
FROMISTA	13	85	3,78	ALFALFA
FROMISTA	13	114	4,88	ALFALFA
SANTOYO	6	10002	6,47	ALFALFA
SANTOYO	3	84	5,18	ALFALFA
SANTOYO	17	47	3,49	ALFALFA
SANTOYO	4	21	4,82	REMOLACHA
SANTOYO	3	24-25	7,24	REMOLACHA
FROMISTA	10	9	12,9	REMOLACHA
FROMISTA	10	51	5,21	REMOLACHA
BOADILLA	2	63	13,05	REMOLACHA
BOADILLA	2	10072	17,38	GIRASOL
BOADILLA DEL CAMPO	3	18	9,46	GIRASOL
FROMISTA	9	59	7,48	GIRASOL
FROMISTA	10	49	8,21	GIRASOL
SANTOYO	20	25	8,86	GIRASOL
SANTOYO	6	70	7,55	GIRASOL
SANTOYO	4	77-78	5,54	GIRASOL

T.MUNICIPAL	POLIGONO	PARCELA	SUPERFICIE	CULTIVO
SANTOYO	6	76-77	4,74	VEZAS
SANTOYO	18	30016	3,14	VEZAS
SANTOYO	17	58	2,7	VEZAS
FROMISTA	2	8	1,95	VEZAS
FROMISTA	2	11	4,4	VEZAS
BOADILLA DEL CAMINO	3	8	14,67	VEZAS
BOADILLA DEL CAMPO	7	91	11,65	VEZAS
SANTOYO	5	32	0,78	SORGO
SANTOYO	5	33	1,94	SORGO
SANTOYO	5	35	2,04	SOJA
FROMISTA	12	86	3,06	COLZA
FROMISTA	12	81	6,93	COLZA
AMUSCO	5018	21	3,14	GUISANTES
PIÑA DE CAMPOS	403	52	29,54	MAIZ
PIÑA DE CAMPOS	403	53	5,94	MAIZ
HERRERA DEL PISUERGA	508	55	2,48	PATATA
ZARZOSA DEL PISUERGA	606	56	3,71	PATATA

Para cada una de estas parcelas se ha realizado el análisis de la secuencia de imágenes multiespectrales y hemos obtenido los siguiente gráficos para los cultivos estudiados.

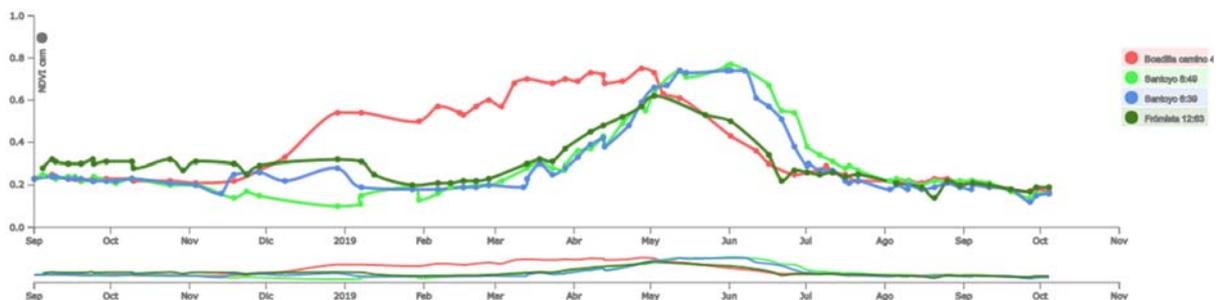


Gráfico 2. Valores de K_c calculados en función del NDVI en distintas parcelas de cebada.

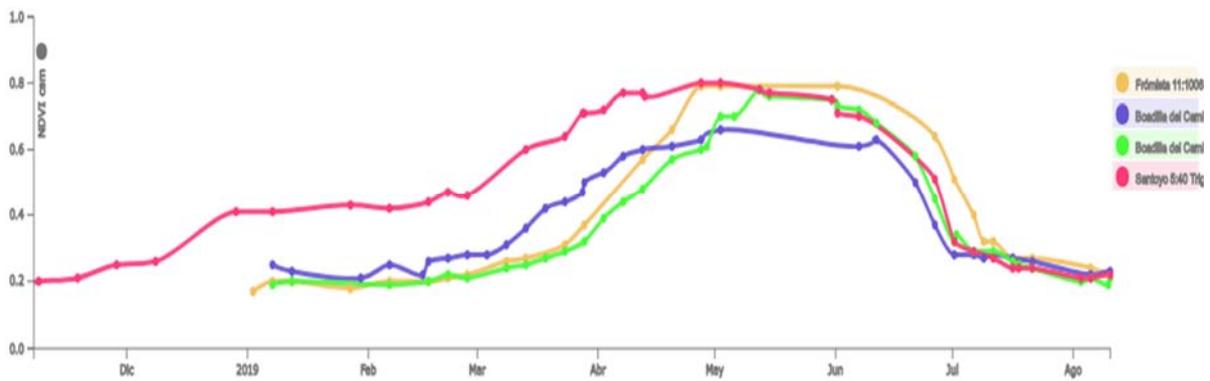


Gráfico 3. Valores de K_c calculados en función del NDVI en distintas parcelas de trigo.

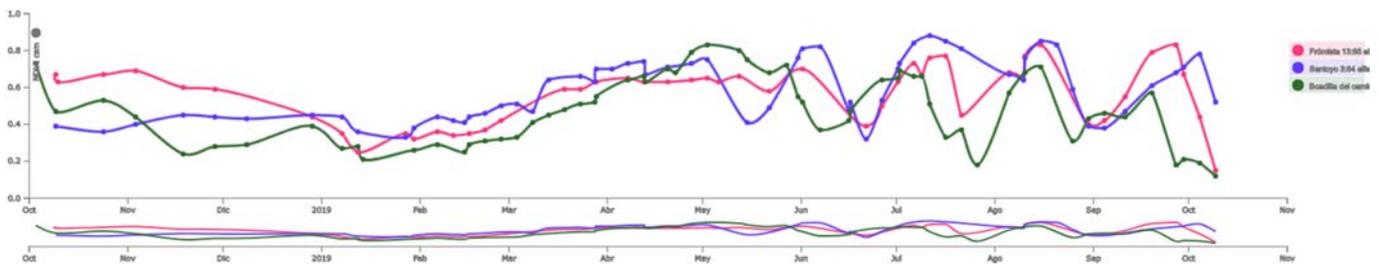


Gráfico 4. Valores de K_c calculados en función del NDVI en distintas parcelas de alfalfa.

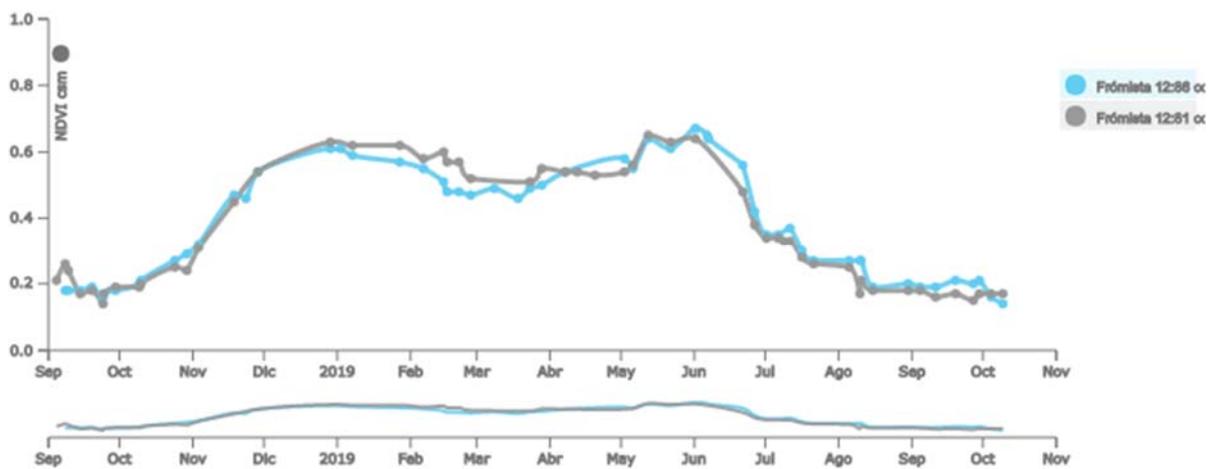


Gráfico 5. Valores de K_c calculados en función del NDVI en distintas parcelas de colza.

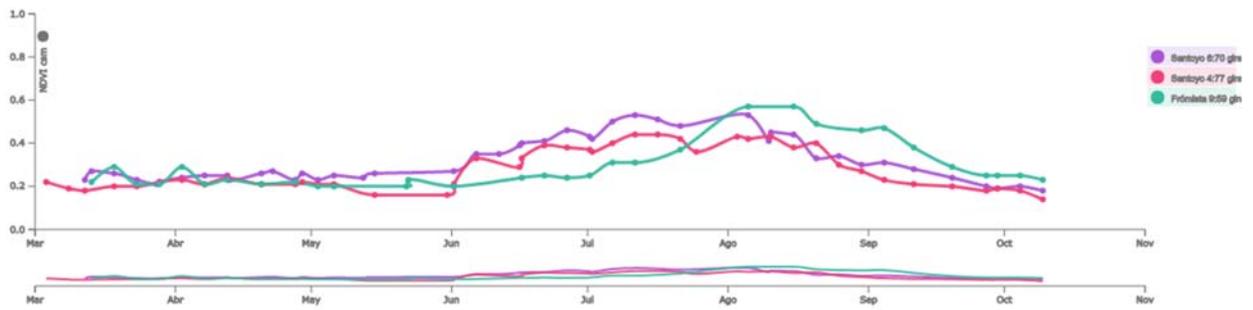


Gráfico 6. Valores de K_c calculados en función del NDVI en distintas parcelas de girasol.

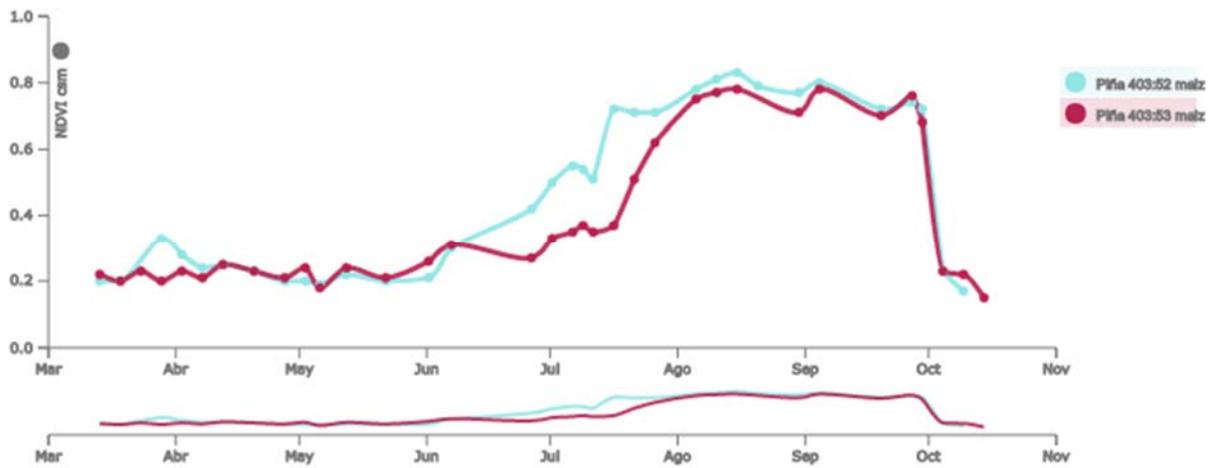


Gráfico 7. Valores de K_c calculados en función del NDVI en distintas parcelas de maíz.

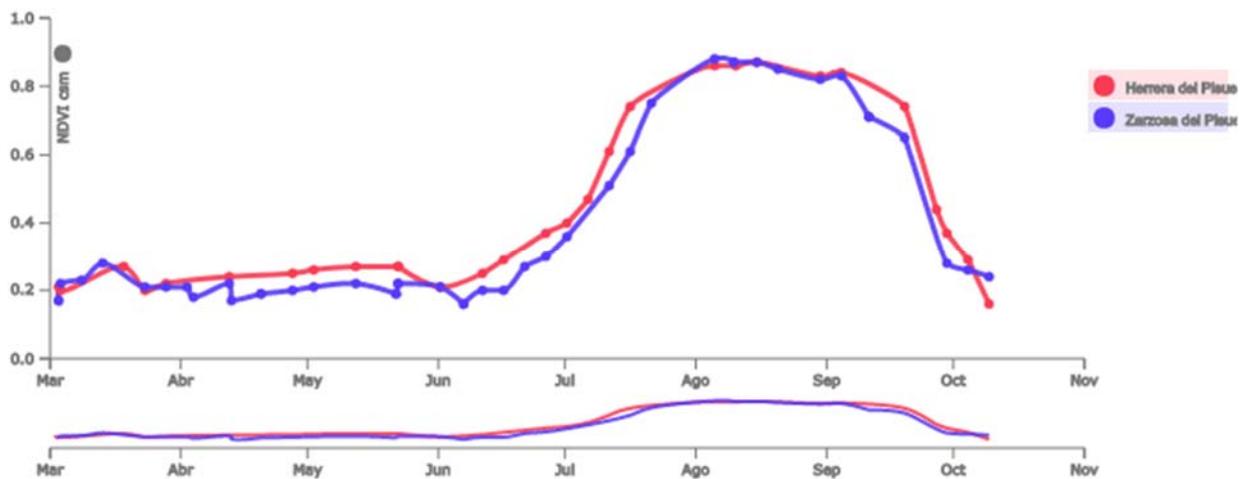


Gráfico 8. Valores de K_c calculados en función del NDVI en distintas parcelas de patata.

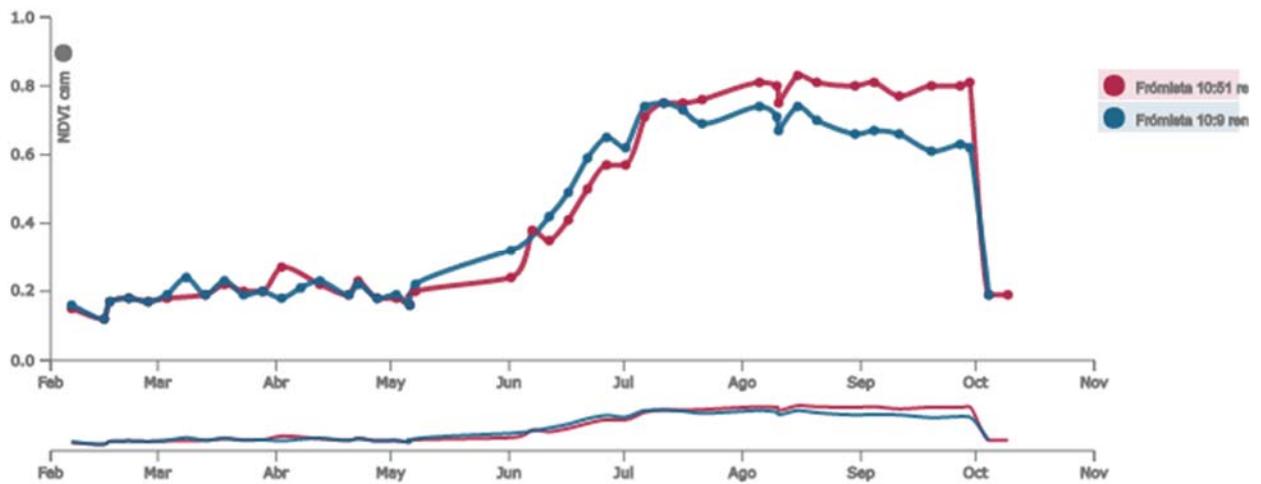


Gráfico 9. Valores de K_c calculados en función del NDVI en distintas parcelas de remolacha.

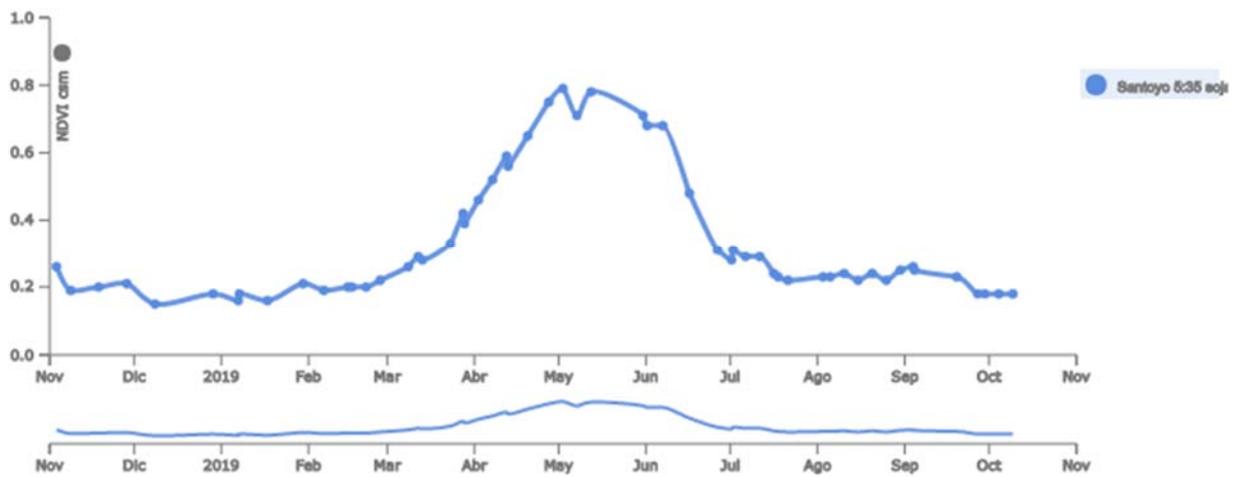


Gráfico 10. Valores de K_c calculados en función del NDVI en distintas parcelas de soja.

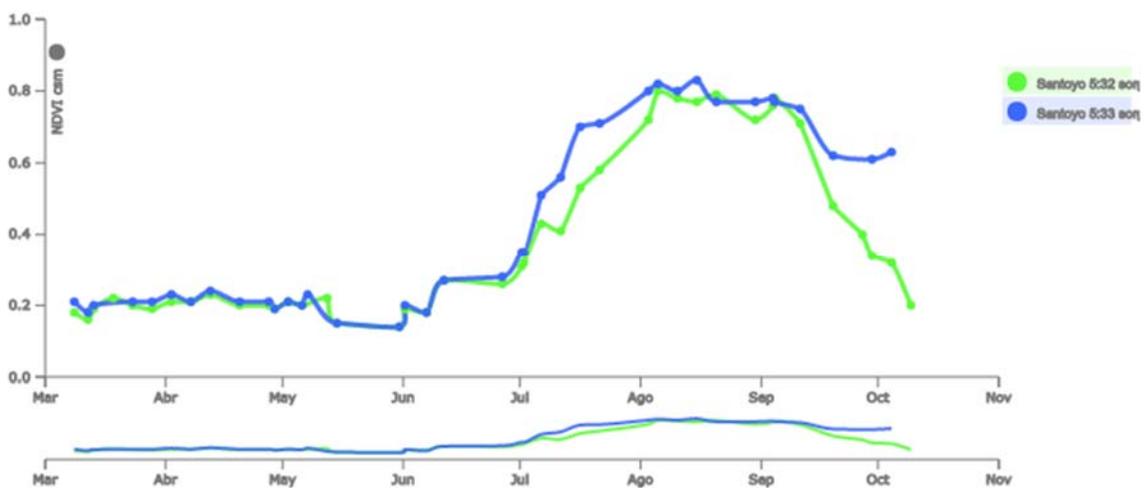


Gráfico 11. Valores de K_c calculados en función del NDVI en distintas parcelas de sorgo.

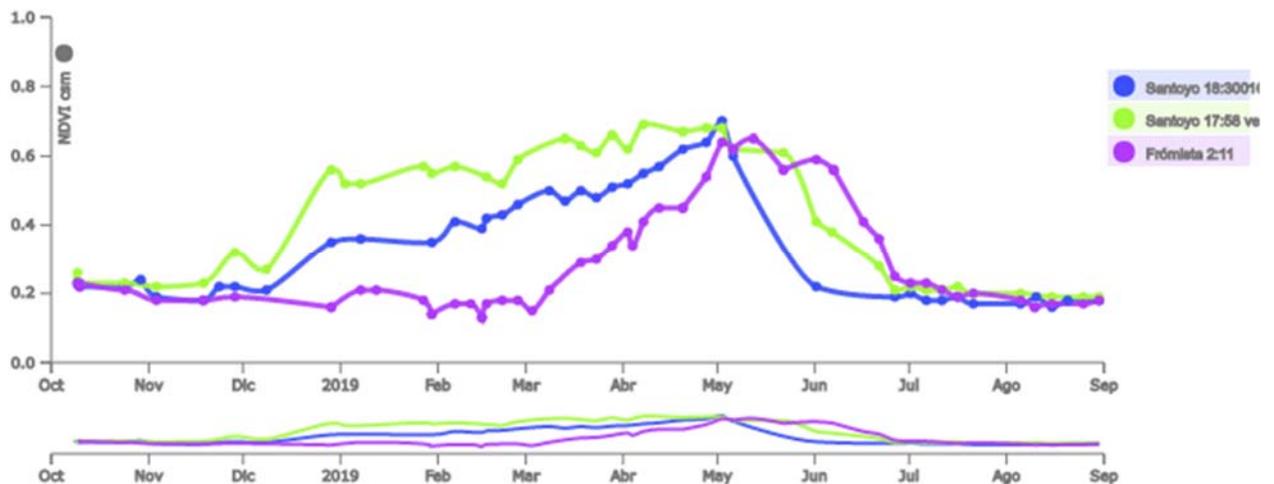


Gráfico 12. Valores de K_c calculados en función del NDVI en distintas parcelas de veza.

De los gráficos arriba expuestos se ha obtenido el valor k_c de cada cultivo para cada etapa de desarrollo del cultivo.

Tabla 5. Datos Fases Cultivos seleccionados en la rotación

CULTIVO	FASE DE DESARROLLO	DÍAS	K_c
Cebada	Inicio	60	0,28
	Desarrollo	50	
	Medio	40	0,80
	Final	30	0,30
Trigo	Inicio	30	0,18
	Desarrollo	30	
	Medio	40	0,79
	Final	30	0,40
Alfalfa	Inicio	150	0,42
	Desarrollo	30	
	Medio	150	0,95
	Final	35	0,80
Girasol	Inicio	25	0,22
	Desarrollo	35	
	Medio	45	0,58
	Final	25	0,30
	Inicio	25	0,20

CULTIVO	FASE DE DESARROLLO	DÍAS	Kc
Maíz	Desarrollo	40	
	Medio	40	0,80
	Final	30	0,20
Patata	Inicio	25	0,20
	Desarrollo	40	
	Medio	55	0,81
	Final	30	0,50
Remolacha	Inicio	25	0,21
	Desarrollo	35	
	Medio	50	0,81
	Final	60	0,50
Soja	Inicio	20	0,20
	Desarrollo	35	
	Medio	40	0,70
	Final	25	0,40
Sorgo	Inicio	25	0,17
	Desarrollo	40	
	Medio	40	0,90
	Final	25	0,50
Veza	Inicio	40	0,17
	Desarrollo	30	
	Medio	30	0,48
	Final	20	0,21

2.6. CONSUMO REAL DEL CULTIVO

A partir de las necesidades netas de riego, se determina el consumo real del cultivo en función de la eficacia considerada en la aplicación del agua al suelo.

Se trata de determinar las necesidades brutas que compensarán las pérdidas inevitables provocadas por diversos factores dependientes del suelo, tipo de riego, experiencia del agricultor, etc.

La eficiencia de aplicación se define como la relación entre el volumen total de agua retenido en la zona radicular de los cultivos implantados en la superficie de riego y el volumen de agua derivado

a la red de riego, en su punto de captación. Se toma una **eficiencia del sistema de riego del 80 %**, considerándose la aspersión con cobertura como sistema predominante en la zona.

2.7. ROTACIÓN SELECCIONADA PARA EL PROYECTO

La rotación de cultivos considerada en este proyecto es la distribución mayoritaria de estos en la zona de influencia.

Tabla 6. Distribución de la rotación de cultivos seleccionada (ha)

CULTIVO	Porcentaje (%)	Superficie de Cultivo
Alfalfa	30	852,80
Cebada	8	227,41
Trigo	15	426,40
Girasol	9	255,84
Maíz	18	511,68
Patata	5	142,13
Remolacha Azucarera	10	284,27
Soja	5	142,13
	100	2842,67

2.8. NECESIDADES HÍDRICAS. CAUDAL FICTICIO CONTINUO

Según la publicación de la FAO Nº 56 “Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los rendimientos de agua de los cultivos”, establece que el método de FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia.

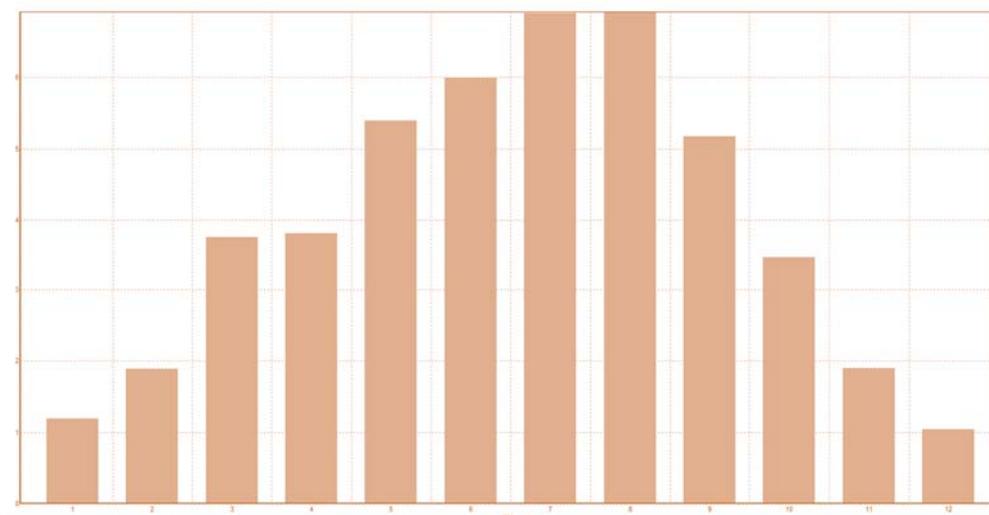


Gráfico 13. Valores de ET_0 calculados en función de datos climáticos del programa CROPWAT.

Fusionando todos estos datos, climatológicos (temperatura, precipitaciones, viento y radiación, como principales), valores de K_c y días de etapa por cultivo, rotación media de la zona a considerar en el proyecto y eficiencia de sistema de riego, en el CROPWAT obtenemos las necesidades hídricas que debe satisfacer el sistema de riego diseñado son las indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 7. Necesidades hídricas de los meses más críticos. Caudal ficticio continuo. CROPWAT

ETo estación		Patrón de cultivo						
Astudillo (F)		Rotación SG_Intensj						
Est. de lluvia								
CARRALO								
	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Déficit de Precipitación								
1. Alfalfa	110.2	205.6	204.7	134.6	61.0	18.4	0.0	
2. Cebada	71.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3. Trigo	58.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
4. Girasol	31.7	123.0	127.4	35.8	0.0	0.0	0.0	
5. Maíz	77.7	177.3	150.0	14.8	0.0	0.0	0.0	
6. Patata	117.9	174.2	159.8	32.0	0.0	0.0	0.0	
7. Remolacha Azucarera	132.6	157.7	122.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
8. Soja	46.8	149.6	140.5	22.2	0.0	0.0	0.0	
Req. Netos sistema								
en mm/día	2.9	4.4	4.1	1.6	0.6	0.2	0.0	
en mm/mes	85.9	136.6	127.1	49.0	18.3	5.5	0.0	
en l/s/ha	0.33	0.51	0.47	0.19	0.07	0.02	0.00	
Area Irrigada	100.0	77.0	77.0	67.0	30.0	30.0	0.0	
(% del area total)								
Req. de riego area real	0.33	0.66	0.62	0.28	0.23	0.07	0.00	
(l/s/ha)								

Si consideramos el caudal continuo que supone un día descanso semanal para los agricultores, es decir, regar 6 días a la semana se tendrá:

$$0,66 * \frac{7}{6} \text{ días} = 0,77 \frac{l}{s. ha}$$

El caudal continuo a considerar es el que acabamos de calcular. Indicar que considerar 6 días, además de corresponderse con el día de descanso semanal, también es un margen de seguridad para el sistema frente a roturas en la red de riego, así como algún problema de suministro de agua.

2.9. DOTACIÓN EN HIDRANTE Y TAMAÑO DEL MISMO

En este proyecto, al igual que en los redactados y ejecutados en esta comunidad de regantes, diseñaremos tipos de hidrantes para satisfacer las necesidades de riego de los tres tipos de agrupaciones indicados a continuación:

- Agrupación de parcelas cuya suma de superficie sea igual o inferior a 3 ha

- Agrupación de parcelas cuya suma de superficie sea superior a 3 ha e igual o inferior a 8 ha
- Agrupación de parcelas cuya suma de superficie sea superior a 8 ha e igual e inferior a 25 ha

El caudal para cada una de estas agrupaciones de calculará con la premisa de ser capaz de satisfacer las demandas hídricas del cultivo en el momento de máximas necesidades atendiendo a las horas disponibles de riego (según periodos tarifarios vigentes).

Considerando el cultivo de alfalfa, que según lo datos de CROPWAT (tabla 7), presenta unas necesidades para el mes de julio de 2086 m³/ha, tendríamos que:

- Necesidades semanales del cultivo: 521,50 m³/ha
- Si consideramos que los caudales por hidrante serán:

Tabla 8. Caudales propuesto para los distintos hidrantes

Tipo Hidrante	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /h)
Hidrante 3"	15	54
Hidrante 4"	25	90
Hidrante 6"	35	126

Hidrante 3":

$$\frac{521,50 \text{ m}^3/\text{semana y ha}}{54 \text{ m}^3/\text{h}} = 9,66 \text{ horas/semana y ha}$$

$$9,66 \text{ horas/semana} * \text{ha} \times 3 \text{ ha agrupación} = 28,98 \text{ horas/semana}$$

Hidrante 4":

$$\frac{521,50 \text{ m}^3/\text{semana y ha}}{90 \text{ m}^3/\text{h}} = 5,79 \text{ horas/semana y ha}$$

$$5,79 \text{ horas/semana} * \text{ha} \times 8 \text{ ha agrupación} = 46,32 \text{ horas/semana}$$

Hidrante 6":

$$\frac{521,50 \text{ m}^3/\text{semana y ha}}{126 \text{ m}^3/\text{h}} = 4,14 \text{ horas/semana y ha}$$

$$4,14 \text{ horas/semana} * \text{ha} \times 25 \text{ ha agrupación} = 103,50 \text{ horas/semana}$$

Una vez calculadas las hora que necesitaríamos para cubrir las necesidades hídricas del cultivo en función de tipo hidrante propuesto para la agrupación, deberemos de analizar las horas que el

regante tiene disponibles para dar el riego. Para ello tomamos como referencia el calendario de periodos eléctricos vigentes modificado con la circular 3/2020.

Imagen 2. Esquema Distribución de Períodos Eléctricos en tarifa 6.X. Fuente Circular 3/2020

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Sábado domingo festivo
0:00 - 1:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
1:00 - 2:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
2:00 - 3:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
3:00 - 4:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
4:00 - 5:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
5:00 - 6:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
6:00 - 7:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
7:00 - 8:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
8:00 - 9:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
9:00 - 10:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
10:00 - 11:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
11:00 - 12:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
12:00 - 13:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
13:00 - 14:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
14:00 - 15:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
15:00 - 16:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
16:00 - 17:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
17:00 - 18:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
18:00 - 19:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
19:00 - 20:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
20:00 - 21:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
21:00 - 22:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
22:00 - 23:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
23:00 - 00:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6

Con esta nueva distribución de períodos en el mes de julio, si se trata de bombeo directo a red, nos obliga a una contratación de potencia tanto en P1 como en P2 dado que las horas nocturnas sumadas a las horas del fin de semana resultan insuficientes para cubrir las necesidades hídricas demandas por los cultivos en este mes.

En el diseño del bombeo de este proyecto, donde se considera el riego desde la balsa de almacenamiento como el modo principal de funcionamiento se intentará cubrir las necesidades con la contratación de P6 ligado al consumo de la producción de energía solar del parque fotovoltaico.

Por lo tanto, las horas totales disponibles de riego son 168. Si consideramos que de los 7 días posible dejaremos uno de reserva para posibles averías, mantenimientos, etc,... las horas reales disponibles para riego serán 144 horas.

Esto nos confirma que con los caudales asignados somos capaces de cubrir las necesidades hídricas del cultivo semanalmente.

3.- PARÁMETROS DE RIEGO

3.1.- SISTEMA DE RIEGO ELEGIDO

La modernización del regadío, tal y como se entiende en este proyecto no solo supone sustituir la red de acequias existente por conducciones presurizadas hasta la parcela, sino que también implica un cambio en la forma de regar del agricultor, hasta ahora en su gran mayoría con riego a pie.

En la zona de actuación todo el riego pasará a ser riego por aspersión lo que obligará al regante a proveerse de estos sistemas de riego, bien cobertura móvil, enterrada o pivot.

Para ello, es preciso el análisis de una serie de factores condicionantes de la modalidad de aplicación de agua del terreno, estos factores son:

- Topografía del terreno
- Climatología
- Procedencia del agua y disponibilidad de la misma
- Características del suelo
- Tipo de cultivos
- Parcelación del terreno (dependiente de la propiedad y del proceso de concentración)
- Tradición y costumbres de la zona

La modernización en regadío implica que cada agricultor dispondrá de una boca de riego, con presión y caudal suficiente para poder regar conectando su propio sistema a la toma existente en su finca.

La elección del sistema de riego por aspersión para la zona a modernizar está justificada por las siguientes razones:

- a) No son precisas las costosas obras de nivelación y desagües que exigiría el riego por gravedad. Si bien la superficie de riego presenta una topografía relativamente llana en general, aunque también existen determinadas áreas que poseen importantes desniveles (bancales), lo cual determinaría al ejecutar las obras de nivelación la aparición de horizontes impermeables o de otro tipo, totalmente inútiles para el cultivo.
- b) Consideraciones de riego. La posibilidad de suministrar al terreno la dosis precisa adaptada a las necesidades en cada fase de ciclo del cultivo existente, unida a una

mayor eficiencia de la aplicación del agua en comparación con el riego a pie, lo que permite que la aspersión suponga un importante ahorro de agua.

- c) Economía de la mano de obra. En cobertura móvil, una vez distribuidos los ramales de riego sobre el terreno y efectuada la conexión al hidrante, el funcionamiento de la instalación permite al regante la dedicación a otras labores, aunque seguirá siendo recomendable la supervisión del riego en su inicio por si algún aspersor estuviera obturado o en el caso de cobertura móviles por si se produjera alguna fuga o se soltará algún tubo de riego.
- d) Tradición de riego en la zona. A pesar de que se trata de una zona con una agricultura con bastante riego a pie, también es cierto que una parte de esta ya se riega con sistemas de aspersión (cobertura móvil en su mayoría y pivot de manera muy puntual). Unido a esto, dentro de la comunidad de regantes ya son aproximadamente 7.500 ha las que riegan con sistemas de aspersión

3.2.- CÁLCULO DEL RIEGO EN PARCELA

3.2.1.- INTRODUCCIÓN

En este punto vamos a determinar las características de riego en una parcela tipo. Para ello se partirá de los datos de una parcela tipo medio de la zona, con las siguientes características:

- Densidad suelo (d): 1,7 t/m³
- Textura: Franca a Franca arenosa
- Profundidad de raíces (p): 0,5 m
- Velocidad media del viento: 11,50 Km/h
- Et_c: 160,0 mm

3.2.2.- CÁLCULO DE LA DOSIS MÁXIMA DE RIEGO

La dosis máxima de riego (D_m) que admite el terreno., en función de su capacidad de retención de agua y de la profundidad que alcancen las raíces del cultivo es:

$$D_m = 10.000 \cdot p \cdot \frac{A_u}{100} \cdot d_a$$

Donde:

P: Profundidad de las raíces = 0,5 m

A_u : Agua útil del suelo = $C_c - C_m$

Para estas texturas, $C_c = 25\%$ y $C_m = 15\%$

D_a : Densidad aparente del suelo = $1,7 \text{ t/m}^3$

$$D_m = 10.000 \cdot 0,5 \cdot \frac{10}{100} \cdot 1,7 = 850 \text{ m}^3/\text{ha y riego}$$

3.2.3.- CÁLCULO DE LA DOSIS PRÁCTICA DE RIEGO

Se considerará una dosis práctica de riego (D_p) de $2/3$ de la dosis máxima, puesto que no se deberá llegar hasta el punto de marchitamiento.

$$D_p = \frac{2}{3} \cdot D_m = \frac{2}{3} \cdot 850 = 566,66 \text{ m}^3/\text{ha y riego} = 56,6 \text{ mm/riego}$$

3.2.4.- CÁLCULO DEL INTERVALO ENTRE RIEGOS

El intervalo entre riegos (I_r) viene determinado por el tiempo durante el que el suelo tiene disposición de agua, hasta el siguiente riego.

El consumo diario (C_d) es:

$$C_d = \frac{ET_c}{31} = \frac{160}{31} = 5,16 \text{ mm/día}$$

El intervalo entre riegos es:

$$I_r = \frac{D_p}{C_d} = \frac{56,6}{5,16} = 10,97 \text{ días/riego}$$

Por tanto se darán riegos cada 10 días, esto implica una dosis práctica de riego más baja, que será:

$$D_p' = C_d \cdot I_r' = 5,16 \cdot 10 = 51,60 \text{ mm/riego}$$

3.2.5.- CÁLCULO DE LA DOSIS REAL DE RIEGO

La dosis real de agua a aplicar será:

$$D_r = \frac{D_p'}{E}$$

Siendo E la eficiencia de riego. Se puede suponer que en el riego por aspersión $E = 80\%$

$$D_r = \frac{51,60}{0,80} = 64,50 \text{ mm/riego}$$

Análizando las costumbres de riego en la zona, y confirmando que en los cultivos de verano su rutina es de un riego semanal, indicar que la dosis real para un riego semanal será:

$$D_r = \frac{64,50 * 7}{10} = 45,15 \text{ mm/riego semanal}$$

3.2.6.- MARCO DE RIEGO

Con respecto al marco de riego, podríamos distinguir entre:

- Marco 15 x 18, entendiéndose 15 m entre calles. La distribución de estos aspersores podrá ser un marco rectangular o tresbolillo. Este marco es el más recomendado en zonas de viento como esta con valores entre 6 y 12 Km/h. Es importante indicar que en caso de coberturas enterradas este marco se ve modificado a 15,60 x 18 y la distribución de los aspersores será a tresbolillo con el objetivo de facilitar las labores donde las dimensiones de la maquinaria empleada es 6 m o múltiplos de 6. Al estar instalados a tresbolillo garantizamos que siempre tengamos 18 m entre aspersores
- Marco 18 x 18, que aunque no es el marco más recomendable en zonas con presencia de viento en cuanto a la calidad de distribución de riego se refiere, si que se esta empleando en zonas ya modernizadas dentro de esta comunidad de regantes. Es en cobertura enterrada, donde los programadores de parcela permiten dar riegos nocturnos con cambios programados sin la presencia del agricultor lo que les ayuda a minimizar los problemas derivados del viento unido a menos posturas en cuanto al diseño de la cobertura enterrada.

3.2.7.- ASPERSOR

Una vez determinado el marco, ya solo nos queda la elección del aspersor tipo recomendado.

La elección de este viene condicionada por el intervalo entre riegos (semanal) y la pluviometría admisible.

Para un suelo de las características del de la zona, con una textura franca a franco-arenosa, con una pendiente del 4%, la precipitación máxima admisible oscila entre 15,2 mm/hora para el suelo con vegetación y 7,5 mm/hora para el suelo desnudo.

Los aspersores más utilizados en la zona ya modernizada de esta comunidad de regantes son el VYR-36 o similar y el Rotator R33 o similar, con un alcance entre 13-18 m.

Las condiciones de trabajo, en cuanto a presiones se refiere:

- Presión en Unidad de riego*: 45 m.c.a
- Pérdida en red secundaria 5 m.c.a
- Pérdida en red terciaria y alas de riego: 5 m.c.a
- Presión de trabajo: 35 m.c.a

*Los 45 m.c.a en la toma se han calculado teniendo en cuenta la cota máxima de cada agrupación, es decir sumando el desnivel entre el punto más alto de la agrupación y la cota a la que se sitúa el hidrante.

Para las presiones de trabajo, estos aspersores presentan un caudal próximo a los 1.800 l/h. Teniendo en consideración este caudal indicaremos que en función del tipo hidrante podremos abastecer los aspersores indicados en la tabla:

Tabla 9. Número de aspersores en función del tipo hidrante

Tipo Hidrante	Caudal (m ³ /h)	Caudal por aspersor (m ³ /h)	Nº de Aspersores
Hidrante 3"	54	1,80	30
Hidrante 4"	90	1,80	50
Hidrante 6"	126	1,80	70

La distribución de aspersores unido a los modelos seleccionados nos garantizan un coeficiente de uniformidad del 90 % o superior.