

ANEJO Nº 3

ESTUDIO AGRONÓMICO

ÍNDICE

ANEJO Nº 3. ESTUDIO AGRONÓMICO

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO	3
2 CLIMATOLOGÍA	4
2.1 TEMPERATURAS	5
2.2 PRECIPITACIONES	6
2.3 HUMEDAD RELATIVA	6
2.4 VIENTO	6
2.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN	7
2.6 ÍNDICES CLIMÁTICOS	7
2.6.1 ÍNDICE DE PLUVIOSIDAD DE LANG	7
2.6.2 ÍNDICE DE ARIDEZ DE MARTONNE	7
2.7 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA	8
2.8 NÚMERO DE DÍAS APROVECHABLES PARA EJECUCIÓN DE OBRA	9
2.8.1 METODOLOGÍA	9
2.8.2 DÍAS APROVECHABLES	11
3 HIDROLOGÍA	15
3.1 PRECIPITACIONES MÁXIMAS PREVISIBLES	15
4 AGRONOMÍA	16
4.1 SUPERFICIE REGABLE	17
4.2 ALTERNATIVA DE CULTIVOS	18
4.3 CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	18
4.4 CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA	19
4.5 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS NETAS	21
4.6 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES BRUTAS DE LOS CULTIVOS	21
4.7 NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO TOTALES DE LA ALTERNATIVA	22

5	RESULTADOS DEL ESTUDIO AGRONÓMICO	24
6	ORIGEN DEL AGUA	25
6.1	CONCESIÓN DE AGUA	25
6.2	MASAS DE AGUA AFECTADAS	26
6.3	COHERENCIA CON EL PLAN HIDROLÓGICO DEL EBRO	26

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO

Se realiza un estudio agronómico de acuerdo con la realidad de la Comunidad, partiendo de los cultivos que hay actualmente en las zonas ya modernizadas y los datos climatológicos de las estaciones existentes cercanas a la zona a modernizar.

Por tanto, en el presente anejo se pretende realizar un estudio agronómico completo de la alternativa de cultivos considerada en la modernización que se plantea.

Para ello, se calcularán las necesidades hídricas de la alternativa de cultivos planteada, indicando las necesidades mensuales en m³/ha, volumen anual consumido y caudal ficticio continuo expresado en l/s y ha.

El presente estudio agronómico cuenta con la información necesaria para obtener los parámetros básicos a reflejar en los correspondientes cálculos de la red de tuberías de la zona objeto de estudio.

Partiendo de la información aportada por la Oficina del Regante del Departamento de Agricultura del Gobierno de Aragón. Se utilizado los datos la estación nº 4 El Bayo en la provincia de Zaragoza perteneciente a la red Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR), ya que es la más próxima a la zona donde se va a producir la modernización. Se han estudiado las siguientes variables que definen las necesidades hídricas de la zona:

- Temperaturas.
- Precipitaciones.
- Viento.
- Humedad relativa.
- Evapotranspiración de referencia.
- Coeficientes de cultivo.
- Precipitaciones efectivas.
- Evapotranspiración de los cultivos.
- Necesidades hídricas netas.
- Necesidades brutas de riego.

2 CLIMATOLOGÍA

El clima de la zona de Bardenas es mediterráneo continental. Se organiza en dos grandes fases de estabilidad, en invierno y verano, separadas por fases de inestabilidad en primavera y otoño. En estas dos últimas estaciones, el desplazamiento hacia el sur del frente polar, arrastra series de frentes sobre la península ibérica, que ocasionan precipitaciones e inestabilidad. En las restantes estaciones predomina el anticiclón de las Azores. Durante el invierno, las características anticiclónicas provocan largos periodos de inversión térmica que se traducen en densas nieblas o importantes heladas de radiación. El efecto lateral de sistemas frontales que circulan al norte de la cordillera provoca fuertes vientos del norte que se encajan en dirección noroeste en el valle del Ebro. El cierzo produce fuertes descensos de sensación térmica, deseca el ambiente y la superficie del suelo y provocan daños por congelación en la vegetación. Por otro lado, el efecto de la barrera pirenaica se traduce en una sombra de lluvia al sur de la cordillera, con respecto a las precipitaciones de origen atlántico, causa final de la aridez de las Bardenas. En el verano, la estabilidad climática se rompe por tormentas derivadas de fenómenos convectivos de algunas horas de duración, que se desarrollan habitualmente desde el mediodía hasta la caída de la tarde.

La meteorología de la zona a modernizar se ha caracterizado con datos de la estación agroclimática de El Bayo (UTM X: 644.635 m Y: 4.670.770 m; Huso 30) de la red del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (Oficina del regante, 2022). En la tabla 3.1 se presentan los datos para el periodo 2005-2021.

Tabla 3.1. Datos climatológicos 2005-2021 de El Bayo (Zaragoza). Valores medios de precipitación, temperatura máxima ($T_{máx}$), mínima ($T_{mín}$) y media (T_{med}), humedad relativa (HR), velocidad del viento (v) y evapotranspiración de referencia según FAO Penman-Monteith (ET_0).

Meses	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)			HR (%)	v (m/s)	ET_0 (mm)
		$T_{máx}$	$T_{mín}$	T_{med}			
Enero	27	16	-4	5	83	3,7	33
Febrero	26	18	-3	7	76	4,2	50
Marzo	43	23	-1	9	71	4,4	84
Abril	51	26	1	12	69	3,9	111
Mayo	41	30	4	16	65	4,1	154
Junio	35	36	8	21	60	3,6	190
Julio	24	37	11	23	56	3,8	222
Agosto	16	37	10	23	58	3,8	199
Septiembre	25	32	7	19	65	3,3	132
Octubre	42	27	2	15	72	3,6	85
Noviembre	44	20	-1	9	80	3,8	43
Diciembre	22	16	-4	5	85	3,3	28
Año	397	26	3	14	70	3,8	1.330

2.1 TEMPERATURAS

La evolución anual de la temperatura pone de manifiesto los rasgos continentales de la zona, con inviernos y veranos de larga duración separados por una primavera y un otoño más cortos. El frío invernal y el fuerte calor estival prevalecen durante gran parte del año, reflejo de la gran inercia térmica que domina en las zonas interiores. El periodo frío (que según el criterio de Emberger comprende aquellos meses en los que la media de las mínimas sea menor de 7 °C) transcurre desde el mes de octubre al mes de mayo y el periodo cálido (meses con media de máximas superior a 30 °C) comprende los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Las heladas pueden llegar hasta finales de abril, afectando a diferentes cultivos. El mes más cálido es julio, con valores de 23°C, seguido de agosto con 22,6 °C. Por el contrario, diciembre es el más frío, con una temperatura media cercana de 5,3°C. Ello supone una oscilación media anual de 18°C. El rango de temperaturas medias extremas es de 41°C y la oscilación máxima absoluta alcanza los 49°C.

2.2 PRECIPITACIONES

Bardenas se encuentra en una zona de sombra de lluvia, por efecto "foehn" de las masas de aire atlántico que abordan el Pirineo desde el norte. Esto hace que el aire que alcanza la depresión del Ebro sea cálido, tenga escasa humedad relativa y en consecuencia vea muy reducidas las posibilidades de precipitación. Por el contrario, es alta la capacidad evaporante que induce un fuerte estrés veraniego a la vegetación. En verano, las precipitaciones convectivas muy localizadas pueden tener fuerte intensidad y corta duración, en compañía de granizo, derivadas de nubes de evolución vertical diurna. El valor medio anual (2005-2021) es de 397 mm. Abril es el mes con mayor pluviometría, con una media de 51 mm. El mes menos lluvioso es agosto con una precipitación media de 16 mm. Hay que señalar que las tormentas estivales tienen distribución errática en el tiempo y el espacio, pudiendo incrementar significativamente el total anual.

2.3 HUMEDAD RELATIVA

La atmósfera de la zona es seca en verano, con una humedad relativa media del 56% en julio. Este valor alcanza el 85% en diciembre. La humedad relativa media anual es del 70 %.

2.4 VIENTO

El cierzo es muy frecuente, sobre todo en primavera y otoño. La velocidad media del viento es de 3,8 m/s, con una máxima de 4,4 m/s en marzo. Elimina los sistemas nubosos y hace caer espectacularmente la humedad relativa. Su acción desecante es muy intensa, al potenciar la evapotranspiración. El viento afecta de forma muy importante al riego por aspersión. Produce un importante descenso en la uniformidad de aplicación del riego por aspersión y aumenta en las pérdidas por evaporación y arrastre.

2.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración anual en la zona tiene valores altos debido a la elevada temperatura, fuerte viento y baja humedad relativa. La evapotranspiración de referencia (ET_0) tiene un valor anual de 1.330 mm y supera claramente a las precipitaciones. La utilización de los datos de las estaciones agroclimáticas permite el cálculo de la ET_0 por el método FAO-56-Penman-Monteith, cuyos datos se presentan en la tabla 3.1, Julio presenta el mayor valor de ET_0 , 222 mm y el mínimo es en diciembre con 28 mm.

2.6 ÍNDICES CLIMÁTICOS

2.6.1 ÍNDICE DE PLUVIOSIDAD DE LANG

El índice de Lang que relaciona directamente la precipitación y la temperatura y es el resultado del cociente Precipitación/Temperatura media mensual:

$$I = \frac{P}{T} = \frac{397}{14} = 28,4$$

$L < 40$	Árido
$40 < L < 160$	Húmedo
$L > 160$	Superhúmedo

Por tanto, estaríamos ante un clima árido, de acuerdo con el índice de Lang.

2.6.2 ÍNDICE DE ARIDEZ DE MARTONNE

El índice de aridez de Martonne se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I = \frac{P}{(T + 10)} = \frac{397}{24} = 16,5$$

Según este índice, se clasifica cada lugar geográfico atendiendo a su grado de aridez:

I Martonne	Clima
+30	Húmeda
20-30	Semiárida
10-20	Árida o esteparia
5-10	Subdesértica
0-5	Desértica

Por tanto, estaríamos ante un clima árido o estepario, de acuerdo con el índice de Martonne.

2.7 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Según la clasificación bioclimática UNESCO-FAO, este clima se encuadra dentro del tipo xérico mediterráneo, subtipo mediterráneo atenuado.

De acuerdo con la Clasificación climática de Köppen-Geiger estaríamos ante un clima mediterráneo continentalizado seco (BSks) que presenta gran sequía en verano. Se caracteriza tener una temperatura media anual inferior a 18 °C y precipitaciones entre 200 y 500 mm. Es un clima templado de influencia mediterránea y tiene cierta continentalidad, ya que presenta una importante oscilación térmica anual.

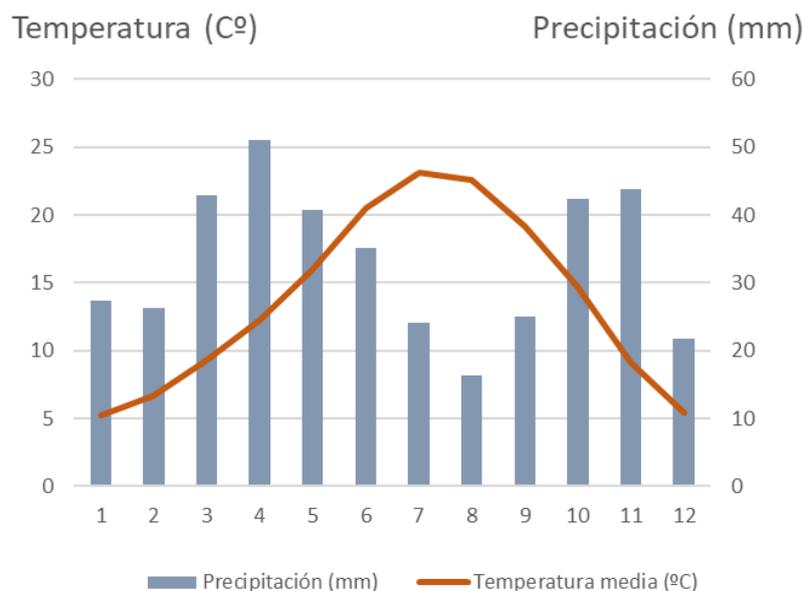


Figura 3.1. Climograma: temperaturas medias mensuales (Cº) y precipitaciones medias mensuales (mm) registradas en la estación de El Bayo en el periodo 2005-2021.

2.8 NÚMERO DE DÍAS APROVECHABLES PARA EJECUCIÓN DE OBRA

Los condicionantes meteorológicos suponen una incidencia a considerar en la ejecución de las obras, afectando en mayor o menor medida dependiendo de la actividad desarrollada y de las características y cuantía del meteoro presentado, por ello se hace necesario el estudio del número de días hábiles de trabajo para cada mes y actividad, considerando un año tipo en que se desarrolla la construcción de la obra.

El estudio se basa en la metodología expuesta en la publicación "Datos climáticos para carreteras" editados (1.964) por la Dirección General de Carreteras del M.O.P.U., a partir del cual se obtienen los 'coeficientes de reducción' que hay que aplicar al número de días laborables de cada mes para obtener los días de condiciones climáticas más favorables que las indicadas en cada caso y en consecuencia hacer una previsión de los días perdidos por causa del clima.

2.8.1 METODOLOGÍA

La determinación de los días aprovechables para ejecutar las unidades y tipos de obra más significativos del proyecto se realiza a continuación siguiendo el procedimiento propuesto en la publicación Datos climáticos para carreteras, editada por el Ministerio de Fomento.

A fin de facilitar la exposición y justificación del método, se incluyen seguidamente las definiciones básicas, citadas en la mencionada publicación:

- Día aprovechable. Para cada clase de obra se entiende por día aprovechable, en cuanto a clima se refiere, el día en que la precipitación y la temperatura del ambiente son inferior y superior respectivamente, a los límites que se definen más adelante.
- Temperatura límite del ambiente para la ejecución de unidades bituminosas, tales como riegos, tratamientos superficiales o por penetración, y mezclas bituminosas. Es aquella que se acepta normalmente como límite por debajo del cual no pueden ponerse en

obra dichas unidades. En este estudio se toma como temperatura límite de puesta en obra de riegos, tratamientos superficiales o por penetración, la de 10°C; y para mezclas bituminosas la de 5°C.

- Temperatura límite del ambiente para la manipulación de materiales naturales húmedos. Se adopta 0°C.
- Precipitación límite. Se establecen dos valores de la precipitación límite diaria: 1 mm por día y 10 mm por día. El primer valor limita el trabajo en ciertas unidades sensibles a una pequeña lluvia; y el segundo valor limita el resto de los trabajos. Se entiende que, en general, con precipitación diaria superior a 10 mm no puede realizarse ningún trabajo sin protecciones especiales.

Para calcular el número de días aprovechables útiles en las distintas clases de obra se establecen unos coeficientes de reducción, que se aplican al número de días laborables de cada mes. Se trata de los siguientes:

- Coeficiente de reducción por helada (η_m). Cociente del número de días del mes en que la temperatura mínima es superior a 0°C, al número de días del mes.

$$\eta_m = \frac{\text{Nº de días al mes con temperatura a las 9 de la mañana} \geq 0^\circ\text{C}}{\text{Nº de días del mes}}$$

- Coeficiente de reducción por temperatura límite de tratamientos superficiales o por penetración (Tm). Cociente del número de días del mes en que la temperatura a las 9 de la mañana es igual o superior a 10°C, al número de días del mes.

$$T_m = \frac{\text{Nº de días al mes con temperatura a las 9 de la mañana} \geq 10^\circ\text{C}}{\text{Nº de días del mes}}$$

- Coeficiente de reducción por temperatura límite de mezclas bituminosas (T'm). Cociente del número de días del mes en que la temperatura a las 9 de la mañana es igual o superior a 5°C, al número de días del mes.

$$T'm = \frac{\text{Nº de días al mes con temperatura a las 9 de la mañana} \geq 5^\circ\text{C}}{\text{Nº de días del mes}}$$

- Coeficiente de reducción por lluvia límite general de los trabajos (λ_m). Cociente del número de días del mes en que la precipitación es inferior a 10 mm, al número de días del mes.

$$\lambda_m = \frac{\text{Nº de días al mes con precipitaciones } < 10 \text{ mm}}{\text{Nº de días del mes}}$$

- Coeficiente de reducción por lluvia límite de los trabajos en ciertas unidades sensibles a una pequeña lluvia (λ'_m). Cociente del número de días del mes en que la precipitación es inferior a 1 mm, al número de días del mes.

$$\lambda'_m = \frac{\text{Nº de días al mes con tprecipitaciones } < 1 \text{ mm}}{\text{Nº de días del mes}}$$

2.8.2 DÍAS APROVECHABLES

Para el cálculo de los coeficientes anteriores se han utilizado los datos correspondientes a la estación agroclimática de El Bayo de la red del SIAR del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino para el periodo entre julio del 2005 y febrero del 2022, obteniéndose los valores que se recogen en la tabla siguiente.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nº días mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Días T>0°C	26	26	31	30	31	30	31	31	30	31	30	26
Días T>5°C	10	15	28	30	31	30	31	31	30	31	25	12
Días T>10°C	1	2	9	23	30	30	31	31	30	28	10	1
Días P<1mm	25,8	22,7	24,3	22,9	25,6	25,2	27,9	28,7	26,7	25,9	23,9	26,5
Días P<10mm	30,5	27,9	29,8	28,6	29,7	28,8	30,1	30,5	29,1	29,9	28,9	30,6
η_m	0,83	0,94	1	1	1	1	1	1	1	1	0,98	0,84
T_m	0,03	0,06	0,30	0,75	0,96	1	1	1	1	0,89	0,34	0,02
$T'm$	0,33	0,54	0,90	1	1	1	1	1	1	1	0,82	0,40
λ_m	0,98	1	0,96	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,97	0,96	0,96	0,99
λ'_m	0,83	0,81	0,78	0,76	0,83	0,84	0,90	0,93	0,89	0,84	0,80	0,86

Los factores limitantes para la ejecución de las obras se recogen en la siguiente tabla:

TIPO DE OBRA	T _{min} ≤ 0 °C	T _{9h} ≤ 5 °C	T _{9h} ≤ 10 °C	P ≥ 1 mm	P ≥ 10 mm
Explanaciones	SI	-	-	SI	SI
Hormigones	SI	-	-	-	SI
Producción de áridos	-	-	-	-	SI
Riegos y tratamientos superficiales	-	SI	-	SI	-

Como los condicionantes de tipo termométrico y pluviométrico cuentan con una probabilidad independiente de ocurrencia y en caso de producirse cualquiera de ellos debe suspenderse la ejecución de las obras, para aquellas unidades de obra en que concurren ambos se considera como coeficiente de reducción el producto de los coeficientes correspondientes a ambos factores.

Por lo tanto, los coeficientes reductores a aplicar para las principales unidades de obra del proyecto son los siguientes:

- Explanaciones: $CE = \eta_m \cdot (\lambda_m + \lambda'_m)/2$
- Hormigones: $CH = \eta_m \cdot \lambda_m$
- Producciones de áridos: $CA = \lambda_m$
- Riegos y tratamientos superficiales: $CR = T_m \cdot \lambda'_m$
- Mezclas bituminosas: $CM = T'_m \cdot \lambda'_m$

Los valores resultantes para estos coeficientes de reducción en cada uno de los meses del año se exponen en la siguiente tabla:

Coefficientes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Hormigones hidráulicos	0,81	0,94	0,96	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,97	0,96	0,95	0,83
Explanaciones	0,75	0,85	0,87	0,86	0,89	0,90	0,93	0,96	0,93	0,90	0,87	0,78
Producción de áridos	0,98	1,00	0,96	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,97	0,96	0,96	0,99
Riegos y tratamientos superficiales o por penetración	0,28	0,44	0,70	0,76	0,83	0,84	0,90	0,93	0,89	0,84	0,65	0,34

Teniendo en cuenta el calendario laboral en la provincia de Zaragoza y las fiestas locales, se tiene el siguiente reparto mensual de días laborables.

ENERO							FEBRERO							MARZO						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
						1			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8	9	10	11	12
9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19	13	14	15	16	17	18	19
16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26	20	21	22	23	24	25	26
23	24	25	26	27	28	29	27	28						27	28	29	30	31		
30	31																			

ABRIL							MAYO							JUNIO						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
					1	2	1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4
3	4	5	6	7	8	9	8	9	10	11	12	13	14	5	6	7	8	9	10	11
10	11	12	13	14	15	16	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18
17	18	19	20	21	22	23	22	23	24	25	26	27	28	19	20	21	22	23	24	25
24	25	26	27	28	29	30	29	30	31					26	27	28	29	30		

JULIO							AGOSTO							SEPTIEMBRE						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
					1	2	1	2	3	4	5	6					1	2	3	
3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10
10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17
17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24
24	25	26	27	28	29	30	29	29	30	31				25	26	27	28	29	30	
31																				

OCTUBRE							NOVIEMBRE							DICIEMBRE						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
						1			1	2	3	4	5					1	2	3
2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10
9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19	11	12	13	14	15	16	17
16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26	18	19	20	21	22	23	24
23	24	25	26	27	28	29	27	28	29	30				25	26	27	28	29	30	31
30	31													1	2	3	4	5	6	7

FIESTAS NACIONALES Y AUTONÓMICAS

- 2 de Enero, Año Nuevo (en sust del día 1)
- 6 de enero, Epifanía del Señor
- 6 de abril, Jueves Santo
- 7 de Abril, Viernes Santo
- 24 de Abril, San Jorge (en sustit del 23)
- 1 de Mayo, Fiesta del trabajo
- 15 de Agosto, la Asunción de la Virgen
- 12 de Octubre, Fiesta Nacional de España
- 1 de Noviembre, Todos los Santos
- 6 de Diciembre, día de la Constitución
- 8 de diciembre, día de la Inmaculada
- 25 de Diciembre, Natividad del Señor

FIESTAS LOCALES (*)

- 29 de enero (se disfruta el 30)
- 5 de marzo (se disfruta el 6)

FIESTAS EMPRESA (*)

- 15 de mayo, día de la empresa

PUNTES/DÍAS RECUPERABLES

- 3, 4 y 5 de enero (solo personal de obra y Taller)
- 14 de agosto
- 13 de Octubre
- 7 de diciembre

TURNOS DE NAVIDAD

- 1º- Del 26 al 29 de diciembre
- 2º- Del 2 al 5 de enero
- Obra y Taller: turno único del 26 al 29 de diciembre

Por tanto, el número de días previsiblemente aprovechables para cada uno de los tipos de actividades considerados serán los que se recogen en el cuadro siguiente:

Número de días aprovechables	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nº Días Trabajables	16	20	20	17	21	22	21	22	21	21	21	14
Hormigones hidráulicos	13	19	19	16	20	21	20	22	20	20	20	12
Explanaciones	12	17	17	15	19	20	20	21	20	19	18	11
Producción de áridos	16	20	19	16	20	21	20	22	20	20	20	14
Riegos y tratamientos superficiales o por penetración	4	9	14	13	17	18	19	20	19	18	14	5

3 HIDROLOGÍA

3.1 PRECIPITACIONES MÁXIMAS PREVISIBLES

En este apartado se incluye el estudio de las precipitaciones máximas previsibles para diferentes periodos de retorno. Mediante el uso de los planos y tablas incluidos en la publicación Máximas lluvias diarias en la España Peninsular del Ministerio de Fomento, Dirección General de Carreteras, 1999: 1º se localizar el punto geográfico en el que se ubicará la balsa, 2º se estima mediante las isolíneas el coeficiente de variación, C_v es 0,39 y el valor medio de la máxima precipitación diaria anual, P es 47 mm, 3º para los periodos de retorno T de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años y el valor de $C_v=0,39$ se obtienen los factores de amplificación K_T y 4º se realizar el producto del factor de amplificación K_T por el valor medio de la máxima precipitación diaria anual P obteniendo la precipitación diaria máxima para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

Tabla 3.2. Cálculo de la precipitación diaria máxima para los periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años en la zona de la balsa.

Máxima precipitación diaria anual P (mm)	Periodo de retorno (años)	Factor de amplificación K_T		Precipitación diaria máxima para el periodo de retorno (mm)	
47	2	K_2	0,912	P_2	42,86
47	5	K_5	1,243	P_5	58,42
47	10	K_{10}	1,484	P_{10}	69,75
47	25	K_{25}	1,808	P_{25}	84,98
47	50	K_{50}	2,083	P_{50}	97,90
47	100	K_{100}	2,357	P_{100}	110,78
47	200	K_{200}	2,663	P_{200}	125,16
47	500	K_{500}	3,067	P_{500}	144,15

4 **AGRONOMÍA**

Para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos, se ha seguido la metodología desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en su monografía nº 56 "Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos" y la "Revisión de las necesidades hídricas netas de los cultivos de la cuenca del Ebro" resultado del convenio de colaboración entre el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) en el año 2004. En esta última publicación se establecen una serie de valores de Evapotranspiración potencial de los cultivos (ETc) y Necesidades Hídricas netas (NHn) distribuidos por comarcas y cultivos, siendo, estos valores los que se utilizan para desarrollar los valores de concesión de agua de riego establecidos en el Plan Hidrológico (PH) de la Cuenca del Ebro aprobado el 8 de Enero de 2016 en el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro.

Los valores utilizados en el PH de la Cuenca del Ebro se refieren a la probabilidad de ocurrencia de la ETc y las NHn en un percentil del 80%. Se han tomado de los datos reflejados en el PH para la comarca agraria nº 61 de **Ejea de los Caballeros**, donde se localiza la zona de estudio.

Así mismo, se considera que el tipo de riego será por **ASPERSIÓN** y **GOTEO** para el cultivo del almendro.

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

1. Utilización de los datos de evapotranspiración de referencia (ET₀) calculados por el método FAO-56-Penman-Monteith de la estación agroclimática de El Bayo; 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 potencial de los cultivos (ET_c); 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_n); consideradas como la cantidad de agua que se ha de suministrar a la zona radical del cultivo mediante el riego. Para ello, se deduce a la ET_c la cantidad de agua aportada por la precipitación efectiva (PE).
4. Cálculo de las necesidades brutas de agua de riego de los cultivos (NR_b); 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_n del cultivo.

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.

El estudio se ha realizado considerando los datos de ET₀ aportados por la Oficina del Regante para la estación agroclimática de El Bayo de la red SIAR. De la revisión de las necesidades hídricas netas de los cultivos de la cuenca del Ebro se han extraído los datos de coeficientes de cultivo (K_c) establecidos para la comarca agraria nº 61 de Ejea de los Caballeros. Todos estos valores están representados para cada cultivo considerado en el período de un mes y en la comarca de Ejea de los Caballeros donde se localiza la zona de estudio.

4.1 SUPERFICIE REGABLE

La superficie total a modernizar según el anejo 1 es de **3.710,73 ha**.

4.2 ALTERNATIVA DE CULTIVOS

Se debe tener en cuenta, que la alternativa de cultivos planteada como una aproximación a la realidad 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.

Como dato de las preferencias actuales de los miembros de la Comunidad se ha cogido la experiencia en las zonas del Monte Saso de Biota y del Monte Saso del Ayuntamiento de Ejea de los Caballeros transformados a riego por aspersión mediante pivots, goteos y coberturas, y teniendo en cuenta cultivos con una implantación importante en los últimos años como es el almendro, por lo que diremos que la alternativa de cultivos estudiada en este caso es la siguiente:

Tabla 3.3. *Alternativa de cultivos prevista tras la modernización.*

CULTIVO	MAÍZ	ALFALFA	TRIGO	ALMENDRO	TOTAL
%	43,5	20	26,5	10	100
Superficie (ha)	1.614,17	742,15	983,34	371,07	3.710,73

4.3 CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Los coeficientes de cultivo utilizados (K_c) son los establecidos para la comarca agraria nº 61 de Ejea de los Caballeros en la Revisión de las necesidades hídricas netas de los cultivos de la cuenca del Ebro. La tabla 3.4 lista los valores mensuales de los coeficientes de cultivo (K_c) calculados para la comarca agraria de Ejea de los Caballeros.

Tabla 3.4. Coeficientes de cultivo mensuales para la comarca agraria de Ejea de los Caballeros.

Cultivo	Comarca: EJEA DE LOS CABALLEROS											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alfalfa			0.37	0.92	1.01	0.95	0.92	0.92	1.16			
Almendro			0.40	0.56	0.80	0.94	0.94	0.94	0.91	0.51	0.23	
Almendro (RD)			0.40	0.56	0.80	0.94	0.26	0.19	0.43	0.51	0.23	
Arroz				1.10	1.10	1.17	1.23	1.21	1.02			
Brócoli (otoño)								0.17	0.35	0.95	1.01	
Calabacín					0.31	0.69	0.97	0.86				
Cebada	1.03	1.15	1.16	1.11	0.70	0.36				0.81	0.81	0.86
Cebolla			0.38	0.70	1.07	1.07	1.02	0.84				
Col repollo (primavera)		0.59	0.72	1.04	1.06	1.01						
Col repollo (otoño)							0.12	0.15	0.77	1.03	1.03	0.95
Coliflor (ciclo medio)								0.16	0.24	0.71	1.01	0.98
Girasol				0.31	0.32	0.73	1.16	1.09	0.58			
Guisante verde	0.95	0.99	1.13	1.17	1.16							0.95
Haba verde	0.91	1.07	1.16	1.16	1.13					0.59	0.60	0.74
Maíz grano				0.31	0.31	0.65	1.17	1.22	0.78	0.39		
Manzano (temprano)			0.37	0.46	0.83	1.00	1.00	0.93	0.58	0.29		
Manzano (media estación)			0.36	0.41	0.67	0.94	0.99	0.99	0.87	0.38		
Manzano (tardío)			0.36	0.40	0.61	0.84	0.97	0.97	0.97	0.91	0.43	
Pimiento				0.31	0.34	0.68	1.03	1.07	0.97			
Puerro (primavera)		0.65	0.94	1.07	1.00	0.81						
Puerro (otoño)							0.12	0.57	1.05	1.01	0.80	
Tomate					0.31	0.66	1.11	1.17	1.06			
Trigo	1.05	1.15	1.16	1.16	0.86	0.43					0.93	0.95
Viñedo			0.33	0.38	0.66	0.73	0.45	0.23	0.55	0.44		

Los valores de evapotranspiración potencial (ET_c) de los cultivos presentes en la zona a modernizar se han calculado a partir de la fórmula.

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c$$

Tabla 3.5. Evapotranspiración potencial (ET_c) de los cultivos de la rotación.

ET_c (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Alfalfa			31	102	156	180	205	183	153				1011
Almendro			34	62	123	178	209	187	119	44	10		965
Maíz				34	47	123	260	243	103	33			844
Trigo	35	57	98	128	132	82					40	27	599

4.4 CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN 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

Existen distintos métodos para estimar la precipitación efectiva. En este estudio se ha seguido el método empírico desarrollado por el "Soil Conservation Service (SCS)" del Departamento de Agricultura de los EEUU. Los datos de partida de este método son la lluvia media mensual en mm, el consumo medio mensual del cultivo (ETc) en mm y el déficit de humedad de agua del suelo.

La ecuación utilizada es la siguiente:

$$PE = (1,25 \cdot P^{0,824} - 2,93) \cdot 10^{0,000955 ETc}$$

Donde:

- PE = precipitación efectiva mensual (mm/mes).
- P = precipitación total mensual (mm/mes).
- ETc = evapotranspiración de cultivo mensual (mm/mes).

Tabla 3.6. *Precipitación efectiva mensual (mm) en los cultivos de la rotación.*

PE (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Alfalfa			26	36	33	31	22	14	21				184
Almendro			27	33	31	30	23	15	19	27	26		230
Maíz				31	26	27	25	16	19	26			171
Trigo	17	18	31	38	32	25					27	14	202

4.5 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS NETAS

Las necesidades hídricas netas (NHn) estiman el volumen de agua de riego necesario para que los cultivos no sufran estrés hídrico. Las NHn se calculan, una vez determinado el valor de la precipitación efectiva (Pe), como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva. Por ello las Necesidades Netas de agua de riego se calculan con la siguiente expresión:

$$NHn = ETc - Pe$$

Tabla 3.7. Necesidades hídricas netas mensuales (mm) de los cultivos de la rotación.

NHn (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Alfalfa				66	122	150	183	169	132				822
Almendo				29	92	148	186	172	100	17			744
Maíz					21	96	235	227	84				663
Trigo	17	40	67	90	100	57					12	13	397

4.6 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES BRUTAS DE LOS CULTIVOS

El cálculo de las necesidades brutas de agua para el riego de los cultivos (NRb) tienen en cuenta las necesidades netas (NHn) calculadas en el apartado anterior y la eficiencia de aplicación en parcela de cada sistema de riego (Ea).

$$NRb = NHn / Ea$$

La eficiencia de aplicación en parcela (Ea) incluye las pérdidas de agua por percolación, evaporación y escorrentía, además de la uniformidad en la distribución de agua del sistema de riego en cuestión. En el riego por goteo esta eficiencia de aplicación en parcela se sitúa en torno al 90%.

En el riego por aspersión la eficiencia de aplicación en parcela está muy afectada por la velocidad del viento (v), la humedad relativa (HR) y la uniformidad de distribución del agua que tengan los aspersores instalados. Por eso en primer lugar se han calculado los porcentajes de pérdidas por evaporación y arrastre del riego por aspersión (PEA) según la siguiente relación:

$$PEA (\%) = 20,34 + 0,214 \cdot v^2 - 2,29 \cdot 10^{-3} \cdot HR^2$$

Tabla 3.8. *Porcentaje de pérdidas por evaporación y arrastre del riego por aspersión (PEA).*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
PEA (%)	7,3	11,1	13,0	12,7	14,1	20,5	16	15,7	13,1	11,2	8,6	6,2	12

La mayoría de las coberturas de riego por aspersión instaladas en la zona tienen un marco triangular de 15x18T m con boquillas principales de 4,4 mm y secundarias de 2,4 mm de diámetro. Se establece que, para una presión de funcionamiento de 3,5 kg/cm², el Coeficiente de Uniformidad (CU) de este tipo de coberturas es del 92%. La eficiencia de aplicación en parcela del riego por aspersión en la zona se ha calculado según la fórmula.

$$Ea = (1-PEA) * CU$$

Tabla 3.9. *Eficiencia de aplicación en parcela del riego por aspersión en la zona (Ea).*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
	85	82	80	80	79	73	77	78	80	82	84	86	81

Las necesidades brutas de agua de riego para los cultivos de la zona a modernizar teniendo en cuenta las necesidades hídricas netas calculadas y las eficiencias de aplicación del sistema de riego a emplear son las siguientes:

Tabla 3.10. *Necesidades brutas de riego (NRb) en parcela en riego por aspersión.*

NRb (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Alfalfa				82	155	205	237	218	165				1063
Maíz					27	131	305	292	106				861
Trigo	20	48	84	112	127	79					15	15	500

Tabla 3.11. *Necesidades brutas de riego (NRb) en parcela en riego por goteo.*

NRb (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Almendro				32	102	164	207	192	111	19			827

4.7 NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO TOTALES DE LA ALTERNATIVA

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 otros apartados del presente estudio, como dato orientativo de las preferencias actuales de la Comunidad diremos que la alternativa de cultivos estudiada en este caso, obtenida directamente de la información proporcionada por la Comunidad, es la siguiente:

Tabla 3.12. Superficie de riego y necesidades teóricas.

	SUPERFICIE (%)	SUPERFICIE (ha)	m³/ha año	m³/año
MAÍZ	43,5%	1.614,17	8.609	13.896.636
ALFALFA	20%	742,15	10.626	7.885.851
ALMENDRO	10%	371,07	8.266	3.067.295
TRIGO	26,5%	983,34	5.002	4.918.790
TOTAL	100%	3.710,73		29.768.571

El proceso de cálculo establecido es el siguiente. Teniendo en cuenta la distribución de cultivos prevista tras la modernización se utilizan las necesidades hídricas individuales calculadas para cada uno de ellos, y se multiplican por las superficies de cultivo obteniéndose los siguientes resultados de volumen de agua de riego necesaria.

Las necesidades que se generan para el total de las 3710,73 ha son de 29.768.571 m³/año, lo que supone unas necesidades medias por hectárea de 8.022 m³/año y ha.

Es interesante conocer las demandas que se generan mensualmente, ya que estas varían mes a mes en función del estado del cultivo. Estos consumos se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 3.14. Necesidades brutas de riego por cultivo, totales y caudales ficticios continuos.

	Maíz (m ³ /ha)	Alfalfa (m ³ /ha)	Almendro (m ³ /ha)	Trigo (m ³ /ha)	TOTAL (m ³ /ha)	Total (m ³)	c f c (l/ s ha)
Enero				203	54	199.818	0,02
Febrero				485	128	476.608	0,05
Marzo				842	223	828.050	0,08
Abril		823	320	1118	493	1.828.992	0,18
Mayo	269	1550	1021	1272	866	3.213.298	0,32
Junio	1310	2050	1641	785	1.352	5.017.130	0,50
Julio	3052	2373	2068		2.009	7.454.644	0,75
Agosto	2922	2175	1916		1.898	7.042.429	0,71
Septiembre	1056	1654	1113		902	3.345.929	0,34
Octubre			187		19	69.279	0,01
Noviembre				145	39	142.877	0,01
Diciembre				152	40	149.518	0,02
TOTAL	8.609	10.626	8.266	5.002	8.022	29.768.571	

El periodo de máximas necesidades se produce en el mes de Julio, con un caudal ficticio continuo demandado de **0,75 l/s y ha.**

5 RESULTADOS DEL ESTUDIO AGRONÓMICO

Los resultados obtenidos del estudio son los siguientes:

- Superficie de cultivo: 3710,73 ha
- Caudal ficticio continuo máximo (Julio): 0,75 l/s y ha.
- Mes de máximas necesidades: Julio.
- Dotación media mes máximas necesidades: 2.009 m³/ha mes.
- Dotación anual media: 8.022 m³ por ha y año.
- Volumen anual total consumido por la alternativa: 29.768.571 m³/año.

6 ORIGEN DEL AGUA

6.1 CONCESIÓN DE AGUA

La Comunidad de Regantes nº V está integrada en los Riegos de Bardenas que tiene derecho al uso del agua conforme a la Real Orden de 7 de mayo de 1926.

Los propietarios regantes y demás usuarios que tienen derecho al aprovechamiento de las aguas del río Aragón, a través del Canal de Bardenas, se constituyeron en COMUNIDAD GENERAL DE REGANTES DEL CANAL DE BARDENAS, en virtud de lo dispuesto en el artículo 228 de la Ley de Aguas de 13 de Junio de 1.879 y O.M. de 13 de febrero de 1.968, adaptándose a la vigente Ley de Aguas num. 29/1985, de 2 de agosto, y demás disposiciones vigentes.

La Comunidad General del Canal de Bardenas, la constituyen todos los propietarios autorizados para regar sus tierras y demás usuarios que tengan derecho al aprovechamiento de las aguas derivadas del río Aragón, embalsada en el pantano de Yesa y distribuida a través del Canal de Bardenas.

En el anexo de las Ordenanzas, aprobadas por Resolución de Presidencia de la Confederación Hidrográfica del Ebro de fecha 19-11-1997, se contempla como usuario de pleno derecho a las aguas del Canal de las Bardenas, procedentes del embalse de Yesa, a la Comunidad de Regantes nº V de Bardenas, con CIF nº G50065697, que comprende los sectores XVIII, XIX, XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX, XXX, XXXI y XXXII, correspondientes al Plan Coordinado de Obras de la zona regable de la primera parte del Canal de Bardenas, con una extensión superficial de 19.928,22 ha, siendo la superficie regable en la campaña 2020-2021 de 15.772,58 ha.

6.2 MASAS DE AGUA AFECTADAS

Conforme al plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Ebro actualmente vigente es el aprobado por el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, y publicado en el BOE de 19 de enero de 2016., las masas de agua afectadas por esta actuación son:

Para las extracciones:

<i>Código de la masa de agua:</i>	ES091MSPF417 Río Aragón desde la Presa de Yesa hasta el río Irati
<i>Naturaleza de la masa de agua:</i>	Superficial
<i>Carácter de la masa de agua:</i>	Natural
<i>Estado ecológico:</i>	Alcanza buen estado
<i>Estado químico:</i>	Alcanza buen estado
<i>Estado global:</i>	Alcanza buen estado
<i>Presión por extracciones:</i>	No

Para la contaminación difusa:

<i>Código de la masa de agua:</i>	ES091MSPF105 Río Arba de Riguel desde la población de Sádaba (paso del canal con el río Riguel antes del pueblo) hasta su desembocadura en el río Arba de Luesia
<i>Naturaleza de la masa de agua:</i>	Superficial
<i>Carácter de la masa de agua:</i>	Natural
<i>Estado ecológico:</i>	Alcanza buen estado
<i>Estado químico:</i>	Alcanza buen estado
<i>Estado global:</i>	Alcanza buen estado
<i>Presión por contaminación difusa:</i>	Sí

<i>Código de la masa de agua:</i>	ES091MSBT053 Arbas
<i>Naturaleza de la masa de agua:</i>	Subterránea
<i>Estado cuantitativo:</i>	Alcanza buen estado
<i>Estado químico:</i>	No alcanza buen estado
<i>Estado global:</i>	No alcanza buen estado
<i>Presión por contaminación difusa:</i>	Sí

6.3 COHERENCIA CON EL PLAN HIDROLÓGICO DEL EBRO

En relación con la compatibilidad o coherencia con el plan hidrológico, dicho plan incorpora las demandas de los regadíos de Bardenas en sus análisis, donde se integra esta actuación, que contemplan escenarios con las previsiones de los efectos futuros del cambio climático. Como resultado de las evaluaciones

realizadas la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro informó diciendo que no se han encontrado incoherencias entre estas demandas y los objetivos medioambientales, la asignación de recursos, los demás usos del agua, el programa de medidas, el régimen de caudales ecológicos y otras determinaciones del plan hidrológico.