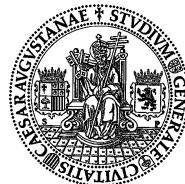




e s c u e l a
p o l i t é c n i c a
s u p e r i o r
d e h u e s c a



UNIVERSIDAD DE
ZARAGOZA

PROYECTO- TRABAJO FIN DE CARRERA

**Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en una parcela de 19 hectáreas en el
término municipal de Huerto (Huesca)**

AUTOR: **Paula Pérez Formento**

ENSEÑANZA: **Ingeniería Técnica Agrícola**

DIRECTOR/ES: **Jesús Guillén Torres / Raúl Andrés Mateo**

PONENTE:

FECHA: **Junio 2014**



e s c u e l a
p o l i t é c n i c a
s u p e r i o r
d e h u e s c a



UNIVERSIDAD DE
ZARAGOZA

PROYECTO- TRABAJO FIN DE CARRERA

Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en una parcela de 19 hectáreas en el
término municipal de Huerto (Huesca)

DOCUMENTO 1: MEMORIA

MEMORIA

ÍNDICE

1. Objetivos y antecedentes.....	4
1.1. Objetivos del proyecto	4
1.2. Condiciones del promotor	5
1.3. Situación actual de la parcela.....	5
2. Estudio climatológico	6
2.1. Temperaturas	7
2.2. Régimen de heladas.....	7
2.3. Horas de frío.....	9
2.4. Precipitaciones	10
2.5. Humedad relativa	12
2.6. Punto de rocío, rocío, escarcha y neblina o niebla	12
2.7. Viento.....	13
2.8. Radiación solar.....	14
2.9. Clasificaciones climáticas	15
2.10. Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_0).....	20
2.11. Cálculo del coeficiente de cultivo (K_C).....	21
2.12. Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ET_C)	25
3. Estudio edafológico	35
3.1. Muestreo.....	35
3.2. Preparación de las muestras para su análisis	36
3.3. Caracteres físicos del perfil edáfico	37
3.4. Caracteres hídricos del perfil edáfico.....	39
3.5. Caracteres químicos del perfil edáfico	43
3.6. Conclusiones de los caracteres físicos.....	48

3.7. Conclusiones de los caracteres hídricos	48
3.8. Conclusiones de los caracteres químicos	49
3.9. Cálculo de la enmienda orgánica de corrección.....	51
3.10. Mantenimiento de las enmiendas orgánicas y nutrientes	51
4. Calidad del agua de riego	52
4.1. Resultados analíticos	52
4.2. Índices de primer grado.....	54
4.3. Índices de segundo grado	56
4.4. Evaluación de la calidad del agua de riego	57
4.5. Caracterización de la calidad del agua de riego	60
4.6. Conclusiones	62
5. Rotación de cultivos	62
5.1. Cultivos seleccionados	63
5.2. Fechas de siembra y recolección de los cultivos seleccionados.....	63
5.3. Factores a tener en cuenta para la rotación de cultivos	64
5.4. Propuesta de rotación de cultivos.....	65
6. Justificación y características del sistema de riego elegido	65
6.1. Justificación de la conversión a regadío.....	65
6.2. Características del riego por aspersión.....	67
6.3. Características de la cobertura total enterrada.....	69
6.4. Elección del marco de colocación de los aspersores	69
6.5. Elección del aspersor.....	70
6.6. Características de los aspersores	71
7. Cálculo agronómico.....	73
7.1. Necesidades de agua de riego.....	74
7.2. Dimensionado del riego por aspersión	81
7.3. Organización del riego	87
8. Cálculo hidráulico de la red de riego.....	89

8.1. Distribución de caudales en la red de riego y número de módulos en la red de riego	89
8.2. Elección de los materiales	90
8.3. Método de cálculo utilizado	92
8.4. Movimiento de tierras	100
9. Elementos singulares de la red de riego	102
9.1. Válvulas.....	102
9.2. Filtros	105
9.3. Codos.....	107
9.4. Reducciones	107
9.5. Piezas de derivación.....	107
9.6. Anclajes.....	107
9.7. Desagües	109
9.8. Fertirrigación.....	110
9.9. Programadores de riego.....	112
9.10. Automatismos de la red de riego.....	112
10. Estudio de viabilidad económica.....	113
10.1. Datos considerados para el estudio económico.....	114
10.2. Precios de las producciones de los cultivos.....	115
10.3. Costes de producción de los cultivos	115
10.4. Ingresos anuales	115
10.5. Flujo destruido	116
10.6. Coste del agua de riego	116
10.7. Estudio de rentabilidad de la inversión	117
10.8. Estudio de viabilidad.....	120
10.9. Conclusiones	121
11. Documentos de los que consta este proyecto.....	121
12. Bibliografía	123

1. Objetivos y antecedentes

1.1. Objetivos del proyecto

El objetivo del presente proyecto es la transformación a riego por aspersión de una parcela de 19 hectáreas en el término municipal de Huerto (Huesca).

Se trata de transformarla a regadío por aspersión con cobertura total enterrada con agua procedente del pantano del Grado. Esta agua circula por el Canal del Cinca y llega a la parcela de estudio a través de la acequia A-19.

Mediante la transformación de la parcela, se pretende producir cultivos extensivos que permitan obtener un producto de mayor calidad, mayores rendimientos de manera más eficiente y en consecuencia aumentar la rentabilidad de la explotación, disminuyendo, en la medida de lo posible, los gastos y la mano de obra.

Para poder llevar a cabo la transformación es necesario diseñar las conducciones e instalaciones de las tuberías y los distintos elementos singulares a nivel de parcela. Además, para el desarrollo del presente proyecto también es necesario realizar:

- Un estudio climatológico de la zona.
- Un estudio edafológico que nos permita determinar las características más relevantes del suelo en relación con el riego que se va a utilizar.
- Un estudio del análisis del agua de riego.
- El cálculo de las dosis de agua de riego necesarias para varios cultivos a implantar en la parcela.
- El diseño de la distribución de la red de riego.
- Un presupuesto que nos permita conocer el coste de la transformación y analizar la viabilidad económica de la misma.

1.2. Condiciones del promotor

El propietario de la parcela, antes de realizar la transformación a regadío, establece las siguientes condiciones:

- Toda la parcela se ha de transformar a riego por aspersión con cobertura total enterrada, donde se procederá a la siembra de cultivos herbáceos extensivos propios de la zona.
- No es ningún problema el coste de la maquinaria o herramientas para los cultivos ya que el promotor posee toda la maquinaria necesaria para los cultivos extensivos, así como lugares de almacenaje para guardar tanto la maquinaria como la semilla, antes de venderla en los períodos en los que el precio es más elevado.
- La venta y comercialización del producto generado en la cosecha de los cultivos extensivos está garantizada y asegurada, ya que son productos propios de la zona.

1.3. Situación actual de la parcela

La parcela a proyectar tiene una superficie de aproximadamente 19 hectáreas, las cuales están declaradas en la actualidad como secano.

En esta parcela se han cultivado tradicionalmente cereales de invierno y se decide transformarla a riego por aspersión debido a las ventajas que ello reporta: comodidad, mejora del rendimiento, ahorro de maquinaria y mano de obra, etc.

La parcela se sitúa en su totalidad en el término municipal de Huerto, en la Comarca de Los Monegros, provincia de Huesca. El término municipal de Huerto está situado a 34 km de Huesca en dirección sureste.

Se encuentra a unos 6 m de Huerto y a unos 2 km del núcleo urbano de La Venta de Ballerías, entidad perteneciente al municipio de Huerto. La parcela se ubica entre las zonas de Sierra Morena, Valdearco y el Tozal de Chiquilín.

Las coordenadas geográficas de la parcela son 0° 8' 24" Longitud W y 41° 53' 12" Latitud Norte, a una altitud de 351 metros sobre el nivel del mar.

El acceso a la parcela se realiza, desde Huesca por la carretera A-131, dirección Sariñena, dejando a la izquierda el municipio Huerto y 2,3 km La Venta de Ballerías. Pasado el cruce entre la A-131 y la carretera A-1223, a unos 500m se gira a la izquierda, se toma el camino contiguo al Canal del Flumen y se sigue sin dejarlo 2,5 km, hasta llegar a la parcela. La parcela se localización exactamente a mano izquierda del camino y justo enfrente del inicio del colector del Reguero.

Las características generales de la parcela se encuentran resumidas en la *Tabla.1* de *Anejo 1*.

2. Estudio climatológico

Los datos meteorológicos empleados para la realización del presente estudio se han tomado de la estación meteorológica de Huerto, cuyas coordenadas son: 0° 8' 15" Longitud W y 41° 56' 53" Latitud Norte, a una altitud de 415 metros sobre el nivel del mar, dado que es la más cercana a la parcela objeto de la transformación.

Esta estación pertenece a la red del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante SIAR del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (<http://oficinaregante.aragon.es>)

Las coordenadas geográficas de la parcela son 0° 8' 24" Longitud W y 41° 53' 12" Latitud Norte, a una altitud de 351 metros sobre el nivel del mar.

La serie de datos meteorológicos tomada corresponde a un periodo de 10 años, de 2004 a 2013, suficiente para poder obtener la máxima precisión a la hora de determinar los datos climáticos necesarios para la elaboración de este proyecto.

2.1. Temperaturas

A partir de las tablas del *Anejo 2*, se puede considerar que en la Comarca de Los Monegros, y más concretamente en la zona de estudio, el **clima** se identifica como **mediterráneo continental**, con:

- **Temperatura media anual** de unos **14 °C**.
- Temperatura media del mes más frío superior a los **4 °C**.
- Temperatura media en los meses más cálidos de unos **23 °C- 24 °C**
- Periodo frío poco intenso pero de larga duración, alrededor de **5 a 7 meses**, siendo diciembre y enero los meses más fríos y julio el más cálido.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
Tm	4,8	5,7	9,3	12,5	16,7	21,3	23,7	23,0	19,5	15,2	8,6	4,4	13,7
Tmmax	10,0	11,9	15,9	19,1	23,6	29,0	31,3	30,5	26,5	21,6	14,2	9,4	20,3
Tmmin	0,6	0,4	3,3	6,3	10,1	13,9	16,3	15,9	13,1	9,7	4,0	0,3	7,8
TMa	17,6	17,8	22,9	26,8	30,8	35,5	36,2	36,0	32,3	28,2	20,3	16,5	26,7
Tma	-5,3	-5,4	-3,9	0,4	4,4	7,8	10,9	8,2	6,1	1,8	-3,1	-5,8	1,3

2.2. Régimen de heladas

Como se puede apreciar en la *Tabla.7* del *Anejo 2*, el **mayor periodo de heladas** queda comprendido entre el 1 de noviembre para la primera helada y el 30 de abril para la última helada, en total **180 días con riesgo de heladas y 185 días libres de heladas**.

El **menor periodo de heladas** esta comprendido entre el 27 de noviembre y el 24 de marzo con un total de **117 días con riesgo de heladas y 248 días libre de heladas**.

El **periodo medio de heladas**, correspondiente al intervalo entre el 7 de noviembre y el 17 de abril, suma un total de **161 días con riesgo de heladas y 204 días libres de heladas**.

Como no se dispone de datos directos de heladas, se emplean dos métodos distintos de estimación indirecta, los modelos propuestos por Emberger y Papadakis.

Régimen de heladas según Emberger

Divide el año en periodos según la probabilidad de producirse heladas, utiliza la media de las temperaturas mínimas (T_{mmin}) con el siguiente criterio:

A). **Período seguro de heladas:** Se produce cuando la temperatura media de las mínimas es inferior a 0 °C.

B). **Período frecuente de heladas:** Se produce cuando la temperatura media de las mínimas está comprendida entre 0 °C y 3 °C.

C). **Período poco frecuente de heladas:** Cuando la temperatura media de las mínimas está comprendida entre 3 °C y 7 °C.

D). **Período con heladas muy poco frecuentes:** Cuando la temperatura media de las mínimas es superior a 7 °C.

Por lo que a partir de nuestros datos de temperatura media mínima se puede deducir los siguientes períodos según Emberger.

RIESGO	T_{mmin} (°C)	INICIO	FIN	Nº DÍAS
Seguro	$T_{mmin} < 0$ °C	-	-	0
Frecuente	0 °C < $T_{mmin} < 3$ °C	Diciembre	Febrero	90
Poco frecuente	3 °C < $T_{mmin} < 7$ °C	Noviembre	Abril	181
Muy poco frecuente	$T_{mmin} > 7$ °C	Mayo	Octubre	184

Estaciones libres de heladas según Papadakis

Tiene en cuenta las fechas del año en que se dan temperaturas mínimas absolutas (T_{ma}) menores o igual a 0 °C, a 2 °C y a 7 °C.

Con los valores de estas temperaturas se calcula el periodo medio, el periodo máximo y el periodo libre de heladas (la totalidad del año menos el periodo medio con heladas).

PERIODO	$T_{ma} < 0^{\circ}\text{C}$	$T_{ma} < 2^{\circ}\text{C}$	$T_{ma} < 7^{\circ}\text{C}$
Máximo	1 nov-17 abr (167 días)	12 oct-21 abr (191días)	18 sep-8 jun (263 días)
Medio	25 nov-2 abr (128 días)	30 oct-10 abr (162 días)	5 oct-24 may (231días)
Libre	237 días	203 días	134 días

Así pues se establecen las siguientes estaciones libres de heladas según Papadakis:

- **Estación media libre de heladas ($T > 0^{\circ}\text{C}$): 237 días.**
- **Estación disponible libre de heladas ($T > 2^{\circ}\text{C}$): 203 días.**
- **Estación mínima libre de heladas ($T > 7^{\circ}\text{C}$): 134 días.**

2.3. Horas de frío

A falta de datos directos, para el cálculo de las horas de frío, emplearemos tres métodos simples distintos de estimación: Correlación de Weimberger, método de Mota y método de Tabuenca.

Correlación de Weimberger

Según la *Tabla.10* y los datos del *Anejo 2*, se puede deducir que el número de **horas frío es mayor a 1350 H.**

Método de Mota

Según la *Tabla.11* y los datos del *Anejo 2*, el número de horas de frío es de **1670 horas.**

Método de Tabuenca

Este método es una adaptación del método de Mota para el Valle del Ebro. En este caso, Tabuenca utiliza las temperaturas medias entre el 1 de Noviembre y el 1 de abril, según la siguiente ecuación.

$$y = 700,1 - 48,6x$$

Siendo; y = N° mensual de horas de frío, x = Temperatura media mensual.

	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	
X	8,6	4,4	4,8	5,7	9,3	\square_y
Y	280,9	487,7	464,5	425,4	246,2	1904,7

$\square_y = 1905$ horas de frío.

2.4. Precipitaciones

Nos encontramos en una zona en donde las mayores precipitaciones se localizan en dos épocas del año que son en otoño y primavera siendo. Siendo en primavera más intensas.

Los registros más bajos se dan en los meses de verano, aunque en este periodo tomado, las medias pluviométricas nos indican lo contrario. Hay que tener en cuenta que durante el verano los días de lluvia son menores pero estas caen con mayor intensidad debido a que se produce en forma de tormentas.

En *Tabla.13* y *Tabla.14* del *Anejo 2* se muestran las precipitaciones medias mensuales y el número de eventos de precipitación de cada mes entre los años 2004 y 2013.

El mes que presenta una mayor pluviometría es abril con una media de 54,7 mm. En cambio el mes menos lluvioso es julio, con una precipitación media de 16,2 mm, siguiéndole febrero y enero con 16,7 y 17,6 mm de media respectivamente.

En cuanto a precipitaciones anuales la máxima pluviometría registrada corresponde al año 2008 con un total de 477,6 mm totales, y el año menos lluvioso es el 2011 con 224,4 mm totales.

La mayor pluviometría mensual queda registrada en el mes de septiembre de 2006 con 196,4 mm.

El mes con mayor número de eventos de precipitación (días en los que la precipitación es superior a 1 mm) es abril con 7,1 días y el que presenta menor número de eventos de precipitación es julio con 2,8 días.

La **precipitación media anual** es de **360 mm** y el número de eventos de precipitación medio anual es de 53,2 días, repartidos por estaciones según se muestra en la siguiente tabla.

ESTACIÓN	MES	P _{media} (mm)	Nº Eventos de prec.	% Prec	% Eventos
Invierno	Diciembre	21,7	3,9	15,6	20,1
	Enero	17,6	3,2		
	Febrero	16,7	3,6		
Primavera	Marzo	31,7	5,5	34,4	34,8
	Abril	54,7	7,1		
	Mayo	37,6	5,9		
Verano	Junio	26,0	4,9	17,5	20,1
	Julio	16,2	2,8		
	Agosto	20,9	3,0		
Otoño	Septiembre	44,0	3,8	32,4	25,0
	Octubre	45,5	5,5		
	Noviembre	27,3	4,0		
TOTAL		360,0	53,2		

Primavera es la estación con mayores lluvias y más constantes, seguida de otoño, también con abundantes lluvias, pero de manera menos frecuente.

En invierno y verano las lluvias son escasas y muy irregulares.

2.5. Humedad relativa

La humedad relativa es un dato meteorológico imprescindible a la hora de calcular la evapotranspiración de referencia (ET_0).

En la *Tabla.16* del *Anejo.2* se puede observar que la **humedad relativa media** esta por encima del **67%**.

Los meses que presentan mayor humedad relativa son los meses de invierno y otoño, más concretamente Enero con un 82,1% y Diciembre con un 82%. El menor valor de humedad relativa media corresponde al mes de Julio con un valor de 54,6%.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
HR_{med}	82,1	72,0	65,6	66,8	61,1	56,3	54,6	57,3	63,5	69,9	77,1	82,0	67,4
HR_{max}	86,2	82,1	81,0	82,6	80,3	79,8	77,4	78,7	82,4	83,4	84,4	85,4	82,0
HR_{min}	61,3	46,3	38,3	39,4	34,0	28,5	27,1	29,9	35,7	44,4	53,7	62,4	41,7

2.6. Punto de rocío, rocío, escarcha y neblina o niebla

Todos los cálculos se encuentran en el *Anejo 2*, así como los valores mensuales y anuales de temperatura o punto de rocío (*Tabla.20*), el número de días por mes y año de rocío (*Tabla.21*), de escarcha (*Tabla.22*) y de neblina o niebla (*Tabla.23*).

Los días de escarcha se concentran principalmente entre los meses de noviembre a marzo, siendo el mes de diciembre el de mayor número de días de escarcha, con 7, 8 días, seguido de enero y febrero con 4 y 3,7 días respectivamente.

Los meses de diciembre y enero son los meses con mayor número de días de niebla o neblina, 16,7 días y 16,2 días, respectivamente.

2.7. Viento

En la zona en la que se encuentra ubicada la parcela los vientos predominantes son el cierzo (viento normalmente frío y con dirección W-WN) y el Bochorno (viento normalmente cálido y de dirección E-SE).

A continuación se representa la variable U_{24} expresada en Km/día (velocidad diaria del viento como media de las 24 horas a 2 m sobre el nivel del suelo).

VELOCIDAD MEDIA DIARIA DEL VIENTO (Km/día)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2004	4,2	2,7	3,5	3,7	3,2	2,6	2,5	2,3	2,4	2,1	2,5	3,3
2005	3,0	4,0	3,2	4,5	3,6	3,1	2,8	2,7	2,2	2,5	2,8	2,2
2006	2,5	2,4	4,3	3,2	3,1	2,7	2,5	3,1	2,9	2,5	2,5	1,9
2007	2,7	3,3	4,5	2,5	4,0	2,8	2,8	2,5	2,2	2,0	2,2	3,2
2008	2,4	2,4	5,7	3,5	2,7	2,9	2,4	2,1	2,1	2,0	2,3	2,7
2009	4,1	2,8	3,2	3,3	3,4	2,4	2,4	1,9	2,0	2,3	3,5	3,2
2010	3,8	3,9	3,2	2,6	4,0	2,8	2,3	2,3	2,2	2,3	3,3	3,1
2011	1,9	3,5	3,4	3,0	2,8	2,6	2,9	2,2	2,1	2,3	2,1	3,6
2012	2,9	3,9	3,0	4,0	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,7	2,1	3,0
2013	4,3	5,2	3,9	3,1	4,1	2,9	2,2	2,0	2,1	2,0	3,4	2,0
U_{24} (m/s)	3,2	3,4	3,8	3,3	3,4	2,7	2,5	2,3	2,2	2,3	2,7	2,8
U_{24} (Km/día)	274	293	328	288	290	237	218	202	193	196	230	243

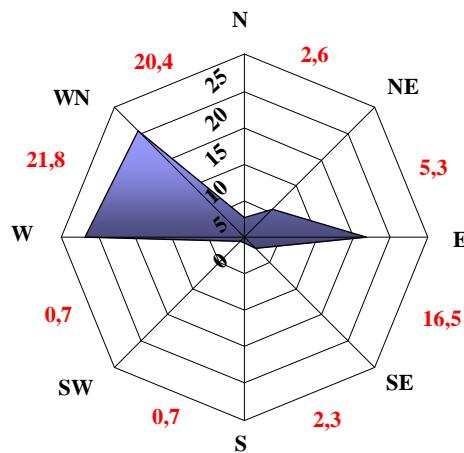
El viento supone una pérdida de uniformidad del riego por aspersión, con lo cual habrá que tenerlo en cuenta a la hora de diseñar el sistema de tuberías. La idea es prever periodos en los que no será posible regar debido al viento.

Los datos de los vientos se representan en la *Tabla.26* del *Anejo 2* (el sumatorio del número de veces que ha soplado el viento en una dirección dividido por los 12 meses del año da el porcentaje de veces que se ha observado con respecto al resto de direcciones).

El total de **días con viento** es del **70,3%** por lo que el periodo de **calma** supone solo un **29,7%**.

Si representamos los datos mensuales medios de los días de viento (%) para cada dirección en una gráfica de frecuencias radiales, obtenemos la denominada “Rosa de los vientos” de la zona de estudio.

En la *Figura.2* del *Anejo.2* se puede observar de manera muy clara que el Cierzo, con dirección W-WN, es predominante.



2.8. Radiación solar

La **radiación solar extraterrestre**, R_A , es la radiación solar global media diaria que se recibe sobre una superficie horizontal situada en el límite superior de la atmósfera. Esta es función de la latitud y de la inclinación de la tierra, es decir del momento del año en el que nos encontramos.

Para poder calcular más adelante la evapotranspiración nos interesa conocer también la media mensual del **coeficiente de insolación** n/N , donde n son las **horas diarias de insolación reales** (parámetro que depende de la nubosidad), y N las **horas diarias de insolación teóricas** (parámetro que depende de la latitud) y el **porcentaje de**

horas de insolación diurnas mensuales respecto al total anual (p), que va a depender también de la latitud.

Los valores de **N** y **p** están tabulados en tablas y se pueden obtener a partir de la latitud, según Doorembos y Pruitt (1977), que para toda España es de 42° Latitud Norte.

Los valores de **R_A** y **n** los obtenemos a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto. (*Tabla.27* y *Tabla.28*, del *Anejo 2*, respectivamente)

Todos estos parámetros dependen del momento del año en el que nos encontramos, por lo que son diferentes para cada mes. En la siguiente tabla se muestran los valores mensuales medios.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
R_A (MJ/m ² .día)	6,9	11,2	16,1	20,1	24,3	26,6	27,3	23,7	18,6	12,6	8,1	6,3
n (h)	6,2	8,1	9,5	10,7	11,9	12,4	12,5	11,6	10,2	8,5	6,8	5,9
N_{42°Lat.N} (h)	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,6	11,1	9,8	9,1
n/N	0,66	0,76	0,80	0,80	0,81	0,82	0,84	0,84	0,81	0,76	0,70	0,65
p_{Lat.N} (%)	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21

2.9. Clasificaciones climáticas

A partir de los datos climáticos obtenidos en los apartados anteriores, se van a calcular una serie de índices climáticos, siguiendo los criterios de varios autores, que intentan caracterizar al clima en cuestión.

Índice de Lang

Según los datos obtenidos en el *Anejo 2* y la caracterización climática propuesta por Lang (*Tabla.30*), nos encontramos ante una **zona árida**.

Índice de Martonne

Según los datos obtenidos en el *Anejo 2* y la caracterización climática propuesta por Martonne (*Tabla.31*), se trata de una zona característica de **estepas y países secos mediterráneos**.

Índice de Dantín Cereceda y Revenga

Según los datos obtenidos en el *Anejo 2* y la caracterización climática propuesta por Dantín Cereceda y Revenga (*Tabla.32*), se trata de una **zona semiárida**.

Índice de Emberger

Emberger propone una clasificación del clima mediterráneo, a partir de la confección de un climagrama, y permite distinguir cinco subregiones climáticas o **géneros**, delimitados en el gráfico de la *Figura.3* del *Anejo 2*.

Además, a cada género le corresponde una formación vegetal, como se muestra en *Tabla.33* y los géneros puede subdividirse en **especies** según el tipo de invierno (*Tabla.34*). Así mismo, las especies también pueden subdividirse en **variedades**. Por último, también se definen las **formas** según la estación en la que se produzca el máximo de precipitaciones.

Según los datos obtenidos en el *Anejo 2* y la caracterización climática propuesta por Emberger a la zona de estudio le corresponde:

- Género: **Clima mediterráneo semiárido** (Vegetación: **Pinus halepensis** ó **pino carrasco**)
- Especie: **Fresco** (Heladas: **Frecuentes**)
- Variedad: **Superior**
- Forma: **Primavera**

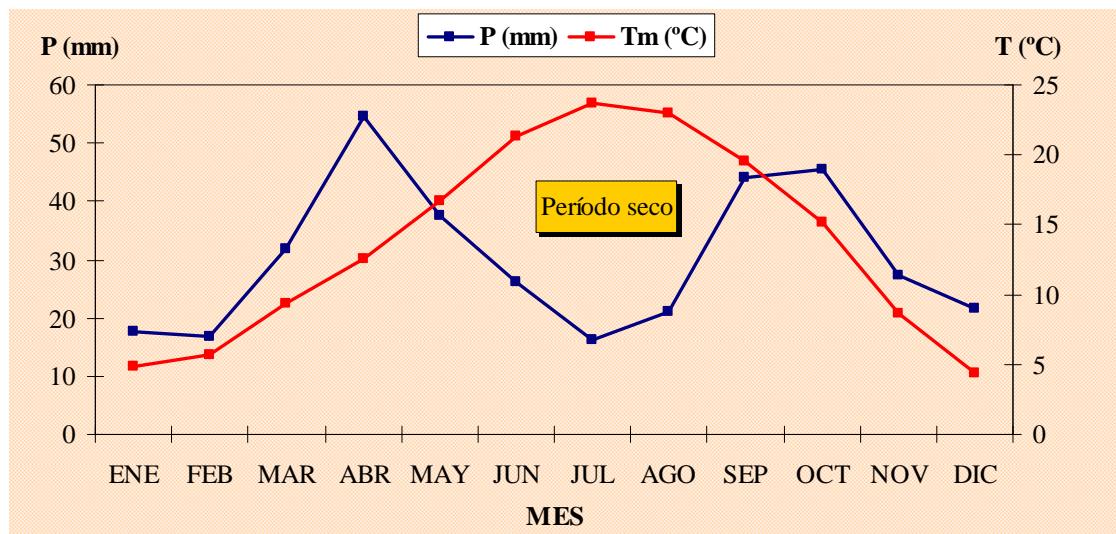
Diagrama ombrotérmico de GausSEN

Los diagramas ombrotérmicos de GausSEN se utilizan para determinar gráficamente la existencia y duración de los **períodos secos**.

Sobre un diagrama cartesiano se llevan en abscisas los meses del año y en ordenadas las precipitaciones (mm) y temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) medias mensuales.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	17,6	16,7	31,7	54,7	37,6	26,0	16,2	20,9	44,0	45,5	27,3	21,7
Tm ($^{\circ}\text{C}$)	4,8	5,7	9,3	12,5	16,7	21,3	23,7	23,0	19,5	15,2	8,6	4,4

Se obtiene el siguiente diagrama ombrotérmico para la zona de estudio.



En el diagrama ombrotérmico se observa un solo período seco en el que la curva pluviométrica está por debajo de la térmica. Por lo tanto el clima en la zona de estudio se define como **clima monoxérico**.

Clasificación climática de Thornthwaite

Los parámetros utilizados por Thornthwaite para clasificar el clima de una determinada zona son:

- Índice de humedad.
- Eficacia térmica.
- Variación estacional de la humedad.
- Concentración térmica en verano.

Thornthwaite calcula estos parámetros a partir de sus trabajos previos en la estimación de la evapotranspiración potencial (ETP) y el balance de humedad del suelo.

Evapotranspiración potencial según Thornthwaite

Los cálculos de Thornthwaite están basados en la determinación de la evapotranspiración potencial (ETP) mensual en función de la temperatura media, con una corrección en función del número de horas de insolación teóricas según la latitud y el número de días del mes, y se hallan a partir de las fórmulas expuestas a continuación.

A partir de todas las fórmulas descritas en el *Anejo 2* y los datos de temperatura media mensual se obtienen los resultados que se recogen en la siguiente tabla.

	t	d	N	i	I	a	ETP_{s/a}	K	ETP_{ajustada}
Enero	4,8	31	9,4	0,95	60,9	1,447	11,50	0,81	9,31
Febrero	5,7	28	10,6	1,20	60,9	1,447	14,35	0,82	11,83
Marzo	9,3	31	11,9	2,58	60,9	1,447	29,69	1,02	30,42
Abril	12,5	30	13,4	4,01	60,9	1,447	45,36	1,12	50,65
Mayo	16,7	31	14,6	6,22	60,9	1,447	68,98	1,26	86,73
Junio	21,3	30	15,2	8,99	60,9	1,447	98,11	1,27	124,27
Julio	23,7	31	14,9	10,53	60,9	1,447	114,09	1,28	146,38
Agosto	23,0	31	13,9	10,09	60,9	1,447	109,54	1,20	131,12
Septiembre	19,5	30	12,6	7,85	60,9	1,447	86,19	1,05	90,50
Octubre	15,2	31	11,1	5,38	60,9	1,447	60,04	0,96	57,39
Noviembre	8,6	30	9,8	2,28	60,9	1,447	26,46	0,82	21,61
Diciembre	4,4	31	9,1	0,82	60,9	1,447	9,89	0,78	7,75
							767,96	mm/año	

La evapotranspiración potencial (ETP) total para la zona de estudio es de **767,96 mm/año**.

Balance de humedad del suelo

Para poder calcular el índice de humedad y la variación estacional de humedad, aparte de conocer la ETP anual es necesario desarrollar un **balance hídrico**.

A la hora de realizar los balances hay que tener en cuenta una serie de condiciones, expuestas en el *Anejo 2*.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
P	17,6	16,7	31,7	54,7	37,6	26,0	16,2	20,9	44,0	45,5	27,3	21,7	360
ETP	9,3	11,8	30,4	50,7	86,7	124,3	146,4	131,1	90,5	57,4	21,6	7,8	768
R	28,0	32,9	34,2	38,2	0	0	0	0	0	0	5,7	19,6	
VR	8,3	4,9	1,3	4,0	-38,2	0	0	0	0	0	5,7	13,9	
ETA	9,3	11,8	30,4	50,7	71,8	26,0	16,2	20,9	44,0	45,5	21,6	7,8	356
D	0	0	0	0	15,0	98,2	130,2	110,2	46,5	11,9	0	0	412
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Índice de humedad

Según los datos obtenidos en el *Anejo 2* y la caracterización climática propuesta por Thornthwaite (*Tabla.38*) a la zona de estudio le corresponde un **clima semiárido** → Sigla “D”.

Eficiencia térmica

Según los datos obtenidos en el *Anejo 2* y la caracterización climática propuesta por Thornthwaite (*Tabla.39*) a la zona de estudio le corresponde un **clima mesotérmico** → Sigla “B'2”

Variación estacional de la humedad

Según los datos obtenidos en el *Anejo 2* y la caracterización climática propuesta por Thornthwaite (*Tabla.40*), estamos ante un **clima con nulo o pequeño exceso de humedad → Sigla “d”**.

Concentración térmica en verano

Según los datos obtenidos en el *Anejo 2* y la caracterización climática propuesta por Thornthwaite (*Tabla.41*), tenemos un **clima con moderada concentración térmica en verano → Sigla “b'4”**

Por lo tanto, la clasificación climática, según Thornthwaite de la zona objeto del proyecto es: **DB'2db'4 → “Clima semiárido, segundo mesotérmico, con nulo exceso de humedad tanto en el invierno como en el verano y cuarta moderación térmica en verano”**.

PARÁMETRO	SIGLA	TIPO CLIMÁTICO
Índice de humedad	D	Semiárido
Eficacia térmica	B'2	Mesotérmico
Variación estacional de la humedad	d	Nulo o pequeño exceso de humedad
Concentración térmica en verano	b'4	Moderada concentración térmica en verano

2.10. Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_0)

Existen varios métodos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, y aunque muchos son válidos aquí se va a utilizar el método de FAO-56-Penman-

Monteith, que es uno de los más utilizados y actualmente es recomendado como el único método estándar para el cálculo de la ET₀.

En nuestro caso, para la zona de estudio, los datos mensuales de ET₀ que se muestran en la *Tabla.43* del *Anejo 2*, han sido hallados a partir de los datos diarios de ET₀ de la estación SIAR de Huerto, calculados con el método citado anteriormente.

El mes de julio es el de mayor ET₀ con un valor de 205,8 mm y diciembre con 29,9 mm, es el de menor valor. La **ET₀ anual** se sitúa en **1302,7 mm**. Esto supone un claro déficit hídrico anual de 942,7 mm.

2.11. Cálculo del coeficiente de cultivo (K_C)

Martínez-Cob (2005) en su trabajo “Revisión de las necesidades hídricas netas de los cultivos de la cuenca del Ebro” propone unos valores medios mensuales de K_C para los principales cultivos de las diferentes comarcas agrarias de la cuenca del Ebro definidas por la Confederación Hidrográfica, mediante la elaboración de la **curva del coeficiente de cultivo** correspondiente.

Para construir dicha curva, Martínez-Cob establece unas **fechas de: siembra (D1), de inicio de la fase de desarrollo (D2), de inicio de la fase de mediados (D3), de inicio de la fase de finales de ciclo (D4) y de fin de ciclo (D5)**, que coincide con la madurez fisiológica, cosecha o caída total de las hojas, para determinar la duración de las etapas de desarrollo del cultivo, y calcula, siguiendo la **metodología FAO (Allen Et al., 1998)**, los **coeficientes de cultivo en la fase inicial (K_{c_{ini}})**, **en la fase de mediados (K_{c_{med}}) y en la fase final (K_{c_{fin}})**.

Siguiendo la tendencia habitual del área de estudio y conforme a su importancia económica y buen comportamiento respecto al clima de la zona, los **cultivos seleccionados** para el presente estudio son: **Maíz, alfalfa, cebada, trigo, guisante, girasol y ray-grass**.

Para los cultivos de cebada, trigo, guisante, girasol, alfalfa y ray-grass se han tomado las fechas de las etapas de crecimiento del cultivo establecidas por Martínez-Cob (2005) para la comarca agraria nº 57 (Sariñena). Mientras que para el maíz y el

cultivo de maíz de segunda ocupación después de guisante y de cebada se han utilizado las fechas dadas por Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M. (2008), también para esta zona.

En las siguientes tablas se presentan las fechas de las etapas de crecimiento de los cultivos herbáceos seleccionados.

FENOLOGIA DE LOS CULTIVOS HERBACEOS SELECCIONADOS					
CULTIVO	D1	D2	D3	D4	D5
CEBADA	1-dic	11-ene	2-mar	2-may	15-jun
TRIGO	15-nov	31-dic	24-feb	2-may	25-jun
GUISANTE VERDE	1-ene	11-feb	13-mar	26-abr	10-may
GIRASOL	20-abr	26-may	10-jun	17-ago	20-sep
MAÍZ *	20-abr	25-may	4-jul	23-agosto	10-oct
MAÍZ 2ª cosecha detrás de guisante*	1-jun	26-jun	31-jul	9-septiembre	31-oct
MAÍZ 2ª cosecha detrás de cebada*	10-jun	5-jul	4-agosto	8-septiembre	30-oct

FECHAS DE SIEMBRA Y CORTES EN ALFALFA Y OTRAS FORRAJERAS						
CULTIVO	D1	C1	C2	C3	C4	C5
ALFALFA	26-mar	23-mayo	22-jun	22-jul	21-agosto	20-septiembre
RAY-GRASS	21-agosto	19-noviembre	31-marzo	30-abril	31-mayo	30-junio

A partir de las fechas de inicio y fin de las etapas de desarrollo de los cultivos, se ha determinado la **duración de la etapa inicial (L_{ini})**, **de desarrollo del cultivo (L_{des})**, **de mediados de temporada (L_{med})** y **de final de temporada (L_{fin})** de dichos cultivos.

DURACIÓN DE LAS ETAPAS DE DESARROLLO DE LOS CULTIVOS					
CULTIVO	L_{ini}	L_{des}	L_{med}	L_{fin}	TOTAL
CEBADA	41	50	61	44	196
TRIGO	46	55	67	54	222
GUISANTE VERDE	41	30	44	14	129
GIRASOL	36	15	68	34	153
MAÍZ	35	40	50	48	173
MAÍZ 2ª cosecha detrás de guisante	25	35	40	52	152
MAÍZ 2ª cosecha detrás de cebada	25	30	35	52	142

En el caso de los cultivos forrajeros (Alfalfa y ray-grass) como se producen varios cortes a lo largo del año, Martínez-Cob para describir su fenología tomo las fechas de cada corte y las fechas de ocurrencia de las cuatro etapas fenológicas definidas por Allen et al. (1998) dentro de cada ciclo de corte, es decir trató cada ciclo de corte como si fuera un cultivo.

DURACIÓN DE DESARROLLO ANUAL DE LOS CULTIVOS FORRAJEROS

CULTIVO	1º C	2º C	3º C	4º C	5º C	TOTAL
ALFALFA	58	30	30	30	30	178
RAY-GRASS	90	132	30	31	30	313

Los valores de Kc correspondientes a los meses en los que esta presente cada cultivo son los hallados por Martínez-Cob o Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M.

K_c DE LOS CULTIVOS SELECCIONADOS (Martínez-Cob)

CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CEBADA	1,05	1,13	1,17	1,17	0,86	0,39						1,03
TRIGO	1,01	1,13	1,17	1,17	0,92	0,45					0,95	0,95
GUISANTE VERDE	0,82	0,89	1,14	1,16	1,13							
GIRASOL				0,30	0,31	0,72	1,15	1,08	0,57			
ALFALFA			0,30	0,80	0,98	0,89	0,86	0,86	1,14			
RAY-GRASS	1,04	1,04	1,04	0,84	0,82	0,78		0,15	0,71	1,03	0,97	0,93

K_c DE LOS CULTIVOS SELECCIONADOS (Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M.)

CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MAÍZ				0,21	0,23	0,74	1,20	1,18	0,78	0,43		
MAÍZ 2ª COSECHA DETRÁS DE GUISANTE						0,22	0,78	1,20	1,08	0,61		
MAÍZ 2ª COSECHA DETRÁS DE CEBADA						0,21	0,58	1,19	1,05	0,59		

Para los periodos (meses) y superficies sin cultivo se asignó un coeficiente del suelo desnudo determinado por Andrés, R. (2011), que tomo la metodología propuesta por Allen et al., (1998) para el calculo del K_C inicial, que depende del tipo de suelo, régimen de precipitaciones y de la ET_0 de la comarca agraria de estudio (Martínez-Cob, 2004).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
SUELO DESNUDO	0,98	0,50	0,29	0,35	0,28	0,17	0,12	0,15	0,25	0,48	0,78	1,04

En el presente trabajo, se han hallado K_C mensuales en cada uno de los cultivos seleccionados para todo un año, es decir a la hora de calcular los K_C mensuales se han tenido en cuenta tanto los meses en los que hay cultivo como en los que no lo hay. Por lo que los coeficientes corresponden al cultivo en los meses en los que hay cultivo durante todo el mes, al suelo desnudo en los que no lo hay y a la combinación de ambos cuando el cultivo no ocupa la totalidad del mes.

Además, en los cultivos de Guisante o Cebada con Maíz como segunda cosecha, considerados como una única unidad de cultivo, los K_C mensuales son los correspondientes a ambos cultivos, dependiendo de si en un determinado mes esta presente uno u otro.

DURACIÓN MENSUAL DEL CULTIVO													
CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
CEBADA	31	28	31	30	31	15						30	196
TRIGO	31	28	31	30	31	25					15	31	222
GUISANTE VERDE	30	28	31	30	10								129
GIRASOL				10	31	30	31	31	20				153
ALFALFA			5	30	31	30	31	31	20				178
RAY-GRASS	31	28	31	30	31	30		10	30	31	30	31	313
MAÍZ				10	31	30	31	31	30	10			173
MAÍZ 2ªCOSECHA DETRÁS DE GUISANTE						29	31	31	30	31			152
MAÍZ 2ª COSECHA DETRÁS DE CEBADA						20	31	31	30	30			142
SUELO DESNUDO	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365

K _C COMBINADA PARA LAS UNIDADES DE CULTIVO SELECCIONADAS												
UNIDAD DE CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
SUELO DESNUDO	0,98	0,50	0,29	0,35	0,28	0,17	0,12	0,15	0,25	0,48	0,78	1,04
CEBADA	1,05	1,13	1,17	1,17	0,86	0,28	0,12	0,15	0,25	0,48	0,78	1,03
TRIGO	1,01	1,13	1,17	1,17	0,92	0,40	0,12	0,15	0,25	0,48	0,86	0,95
GUISANTE VERDE	0,83	0,89	1,14	1,16	0,56	0,17	0,12	0,15	0,25	0,48	0,78	1,04
GIRASOL	0,98	0,50	0,29	0,33	0,31	0,72	1,15	1,08	0,46	0,48	0,78	1,04
ALFALFA	0,98	0,50	0,30	0,80	0,98	0,89	0,86	0,86	0,84	0,48	0,78	1,04
RAY-GRASS	1,04	1,04	1,04	0,84	0,82	0,78	0,12	0,15	0,71	1,03	0,97	0,93
MAÍZ	0,98	0,50	0,29	0,30	0,23	0,74	1,20	1,18	0,78	0,46	0,78	1,04
GUISANTE + MAÍZ	0,83	0,89	1,14	1,16	0,56	0,22	0,78	1,20	1,08	0,61	0,78	1,04
CEBADA + MAÍZ	1,05	1,13	1,17	1,17	0,86	0,27	0,58	1,19	1,05	0,59	0,78	1,03

2.12. Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ET_C)

Una vez conocida la evapotranspiración de referencia mensual de la zona (ET₀) y los coeficientes mensuales de los cultivos seleccionados (K_C) se procede a calcular la evapotranspiración de cultivo mensual (ET_C), en mm, a partir de la fórmula de Allen et al. (1998), que obtiene este parámetro mediante el producto de la evapotranspiración de referencia y el coeficiente de cultivo.

Como hemos visto en el apartado anterior, para calcular el K_C se han tenido en cuenta los meses en los que hay cultivo y los meses en los que hay suelo desnudo, por lo que a la hora de hallar la ET_C de cada uno de los cultivos seleccionados, tomaremos dichos valores y los valores de ET₀ mensuales de todo el año.

A continuación se exponen las evapotranspiraciones mensuales para cada cultivo o unidad de cultivo (Guisante + maíz y Cebada + maíz) seleccionados, en mm/mes, así como su evapotranspiración total a lo largo del año, en mm/año.

Cebada (Hordeum vulgare)

Para la cebada se establece la siembra el día **1 de diciembre** y la recolección el día **15 de junio**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **41-50-61-44** días, obteniendo una duración total del ciclo de **196 días** (Suelo desnudo: 169 días).

CEBADA			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	1,05	34,40
FEB	53,66	1,13	60,64
MAR	92,98	1,17	108,79
ABR	115,33	1,17	134,94
MAY	161,68	0,86	139,04
JUN	189,92	0,28	53,57
JUL	205,81	0,12	23,74
AGO	174,44	0,15	25,63
SEP	122,60	0,25	30,59
OCT	79,44	0,48	38,13
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,03	30,78
			714,73

Tabla.53. Evapotranspiraciones mensuales de la cebada.

CEBADA: ET_C = 562,15 mm

ET_{ANUAL} = 714,73 mm/año

Trigo (*Triticum aestivum*)

Para el trigo se establece la siembra el día **15 de noviembre** y la recolección el día **25 de junio**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **46-55-67-54** días, obteniendo una duración total del ciclo de **222 días**. (Suelo desnudo: 143 días).

TRIGO			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	1,01	33,09
FEB	53,66	1,13	60,64
MAR	92,98	1,17	108,79
ABR	115,33	1,17	134,94
MAY	161,68	0,92	148,75
JUN	189,92	0,40	76,73
JUL	205,81	0,12	23,74
AGO	174,44	0,15	25,63
SEP	122,60	0,25	30,59
OCT	79,44	0,48	38,13
NOV	44,21	0,86	38,24
DIC	29,88	0,95	28,39
			747,64

Tabla.54. Evapotranspiraciones mensuales del trigo.

TRIGO: ET_C = 629,55 mm

ET_{ANUAL} = 747,64 mm/año

Guisante verde (*Triticum aestivum*)

Para el guisante se establece la siembra el día **1 de enero** y la recolección el día **10 de mayo**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **41-30-44-14** días, obteniendo una duración total del ciclo de **129 días**. (Suelo desnudo: 236 días).

GUISANTE VERDE			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	0,83	27,03
FEB	53,66	0,89	47,76
MAR	92,98	1,14	106,00
ABR	115,33	1,16	133,78
MAY	161,68	0,56	89,99
JUN	189,92	0,17	33,06
JUL	205,81	0,12	23,74
AGO	174,44	0,15	25,63
SEP	122,60	0,25	30,59
OCT	79,44	0,48	38,13
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,04	30,97
			621,17

Tabla.55. Evapotranspiraciones mensuales del guisante verde.

GUISANTE VERDE: ET_C = 404,56 mm

ET_{ANUAL} = 621,17 mm/año

Girasol (*Helianthus annuus*)

Para el girasol se establece la siembra el día **20 de abril** y la recolección el día **20 de septiembre**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **36-15-68-34** días, obteniendo una duración total del ciclo de **153 días**. (Suelo desnudo: 212 días).

GIRASOL			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	0,98	31,99
FEB	53,66	0,50	26,85
MAR	92,98	0,29	27,37
ABR	115,33	0,33	38,26
MAY	161,68	0,31	50,12
JUN	189,92	0,72	136,74
JUL	205,81	1,15	236,68
AGO	174,44	1,08	188,40
SEP	122,60	0,46	56,78
OCT	79,44	0,48	38,13
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,04	30,97
			896,78

Tabla.56. Evapotranspiraciones mensuales del girasol.

GIRASOL: ET_C = 706,99 mm

ET_{ANUAL} = 896,78 mm/año

Alfalfa (*Medicago sativa*)

Para la alfalfa se establece la siembra el día **26 de marzo** y se hacen **cinco cortes** a lo largo del año (**23 de mayo, 22 de junio, 22 de julio, 21 de agosto y 20 de septiembre**). Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen dentro de cada corte, como si cada corte fuera un cultivo.

ALFALFA			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	0,98	31,99
FEB	53,66	0,50	26,85
MAR	92,98	0,30	27,46
ABR	115,33	0,80	92,26
MAY	161,68	0,98	158,45
JUN	189,92	0,89	169,03
JUL	205,81	0,86	177,00
AGO	174,44	0,86	150,02
SEP	122,60	0,84	103,37
OCT	79,44	0,48	38,13
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,04	30,97
			1040,00

Tabla.57. Evapotranspiraciones mensuales de la alfalfa.

ALFALFA: ET_C = 877,58 mm

ET_{ANUAL} = 1040,00 mm/año

Ray-grass (*Lolium multiflorum*)

En el ray-grass ocurre lo mismo que en el caso de la alfalfa. Se establece la siembra el día **21 de agosto** y se hacen en **cinco cortes** a lo largo del año (**19 de noviembre, 31 de marzo, 30 de abril, 31 de mayo y 30 de junio**).

RAY-GRASS			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	1,04	34,07
FEB	53,66	1,04	55,81
MAR	92,98	1,04	96,70
ABR	115,33	0,84	96,88
MAY	161,68	0,82	132,58
JUN	189,92	0,78	148,14
JUL	205,81	0,12	23,74
AGO	174,44	0,15	25,80
SEP	122,60	0,71	87,05
OCT	79,44	1,03	81,82
NOV	44,21	0,97	42,88
DIC	29,88	0,93	27,79
			853,26

Tabla.58. Evapotranspiraciones mensuales del ray-grass.

RAY-GRASS: ET_C = 829,51 mm

ET_{ANUAL} = 853,26 mm/año

Maíz (Zea mays)

Para el maíz como cultivo único se establece la siembra el día **20 de abril** y la recolección el día **10 de octubre**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **35-40-50-48** días, obteniendo una duración total del ciclo de **173 días**. (Suelo desnudo: 192 días).

MAÍZ			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	0,98	31,99
FEB	53,66	0,50	26,85
MAR	92,98	0,29	27,37
ABR	115,33	0,30	34,80
MAY	161,68	0,23	37,19
JUN	189,92	0,74	140,54
JUL	205,81	1,20	246,97
AGO	174,44	1,18	205,84
SEP	122,60	0,78	95,63
OCT	79,44	0,46	36,85
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,04	30,97
			949,48

Tabla.59. Evapotranspiraciones mensuales del maíz.

MAÍZ: ET_C = 797,82 mm

ET_{ANUAL} = 949,48 mm/año

Unidad de cultivo: Guisante + maíz

En este caso se tiene en cuenta para un mismo suelo la combinación a lo largo del año de dos cultivos, el guisante y el maíz. Para el **maíz como segundo cultivo tras el guisante** se establece la siembra el día **1 de junio** y la recolección el día **31 de octubre**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **25-35-40-52** días, obteniendo una duración total del ciclo de **152 días**. (**Guisante: 129 días + maíz: 152 días** + suelo desnudo: 84 días.

GUISANTE + MAÍZ			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	0,83	27,03
FEB	53,66	0,89	47,76
MAR	92,98	1,14	106,00
ABR	115,33	1,16	133,78
MAY	161,68	0,56	89,99
JUN	189,92	0,22	41,49
JUL	205,81	0,78	160,53
AGO	174,44	1,20	209,33
SEP	122,60	1,08	132,41
OCT	79,44	0,61	48,46
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,04	30,97
			1062,23

Tabla.60. Evapotranspiraciones mensuales de la unidad de cultivo: Guisante + maíz.

GUISANTE + MAÍZ: ET_C= 996,78 mm

ET_{ANUAL}= 1062,23 mm/año

Unidad de cultivo: Cebada + maíz

En este caso también se tiene en cuenta para un mismo suelo la combinación a lo largo del año de los cultivos de cebada y maíz. Para el **maíz como segundo cultivo tras la cebada** se establece la siembra el día **10 de junio** y la recolección el día **30 de octubre**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **25-30-35-52** días, obteniendo una duración total del ciclo de **142 días**. (**Cebada: 191 días + maíz: 142 días** + suelo desnudo: 32 días.

CEBADA + MAÍZ			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	1,05	34,40
FEB	53,66	1,13	60,64
MAR	92,98	1,17	108,79
ABR	115,33	1,17	134,94
MAY	161,68	0,86	139,04
JUN	189,92	0,27	51,28
JUL	205,81	0,58	119,37
AGO	174,44	1,19	207,58
SEP	122,60	1,05	128,73
OCT	79,44	0,59	46,59
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,03	30,78
			1096,62

Tabla.61. Evapotranspiraciones mensuales de la unidad de cultivo: Cebada + maíz.

CEBADA + MAÍZ: ET_C = 1062,13 mm

ET_{ANUAL} = 1096,62 mm/año

3. Estudio edafológico

Este estudio edafológico sirve para, además de caracterizar el suelo de la parcela de estudio, poder hacer una buena elección de los cultivos a instaurar, el sistema de riego a emplear e incluso de la dosis de riego óptima para llevar a cabo un buen aprovechamiento del agua de riego.

Todo ello solo es posible si se conocen con exactitud características del suelo tales como: textura, estructura, porosidad, capacidad de retención de agua disponible, velocidad de infiltración y fertilidad.

El presente estudio edafológico está basado en los análisis de muestras obtenidas en el suelo de la parcela de estudio.

Todos los datos de estos análisis están reflejados en el *Anejo 3*.

3.1. Muestreo

Antes de recoger las muestras, es necesario dividir la parcela de estudio en subparcelas homogéneas de una superficie aproximada de cinco hectáreas. Dentro de cada subparcela se determinaron los puntos de muestreo al azar.

En cada una de las subparcelas se tomaron muestras de suelo alterado y en varias de estas se obtuvieron además muestras de suelo inalterado, necesario para determinar la densidad aparente.

Como el objetivo no era hacer un estudio de génesis y clasificación de suelos, no se abrieron perfiles y se muestreó solamente el horizonte laborable, Ap (de 0 a 25-35 cm) o zona máxima de desarrollo radicular.

Una vez obtenida la muestra de suelo alterada de todos los puntos de muestreo, se optó por mezclarla lo más homogéneamente posible, reduciendo la cantidad por cuarteamiento a unos 2Kg, cantidad suficiente para realizar todos los análisis. La muestra resultante se guardó en una bolsa resistente para trasladarla al laboratorio.

Para la extracción de las muestras de suelo inalterado se recurrió al método de los cilindros de Kopecki.

La determinación de la velocidad de infiltración se llevo a cabo in situ, dividiendo la parcela total en subparcelas más pequeñas de unas 10 hectáreas y procediendo a realizar el método del doble anillo o de Müntz en el centro de cada una de ellas.

3.2. Preparación de las muestras para su análisis

Una vez transportadas las muestras de suelo alterado hasta el laboratorio y antes de proceder a su análisis, se llevaron a cabo una serie de procesos preparatorios: determinación del contenido de humedad, secado y tamizado.

Determinación de contenido de Humedad

Se lleva a cabo en el momento de la toma de muestras (humedad actual) y se hace por gravimetría, calentando el suelo a 105°C hasta un peso constante.

Secado

Se extienden las muestras sobre papeles no satinados (papel de periódico) y se dejan secar unos cuantos días hasta que se equilibre su humedad con la del ambiente (secado al aire). Una vez seca se pesa la tierra y se obtiene el peso total de tierra seca.

Tamizado

Se hace pasar la tierra seca por un tamiz criba o cedazo de 2 mm de malla, para separar la tierra fina (fracción constituida por partículas de diámetro aparente inferior a los 2 mm) de los elementos gruesos (fracción de tierra con una tamaño mayor a los 2mm y compuestos por piedras, gravas, restos de raíces, etc.). Para deshacer los terrones y agregados se utiliza un rodillo de madera que disagrega los elementos gruesos o nódulos de la muestra de suelo sin romperlos.

Tras pasar toda la tierra por el cedazo, se pesa por separado la fracción de tierra fina de los elementos gruesos y se calcula el porcentaje de elementos gruesos o pedregosidad del suelo.

La tierra fina fue el material de partida para el resto de análisis.

3.3. Caracteres físicos del perfil edáfico

TEXTURA

La textura representa la proporción de arena, limo y arcilla que hay en el suelo.

La descripción de la textura del suelo, se realiza especificando los porcentajes de partículas minerales totales, cuyo tamaño está comprendido entre unos límites determinados, según diversos sistemas de clasificación de granulometría del suelo. Se utilizó uno de los más habituales, el Sistema Americano (USDA).

Para determinar la distribución por tamaño de las partículas se realizó una **granulometría por el método de sedimentación discontinua** basada en la separación de estas partículas por sedimentación en condiciones controladas, una vez han sido individualizadas las partículas.

A partir de los análisis elaborados en el laboratorio, se obtuvieron los resultados de textura expuestos en siguiente tabla.

GRANULOMETRIA		
USDA	Ø APARENTE (mm)	%
Elementos gruesos	$\varnothing > 2$	24,3
Arena gruesa	$0,5 < \varnothing < 2$	13,5
Arena fina	$0,05 < \varnothing < 0,5$	34,0
Limo	$0,002 < \varnothing < 0,05$	24,8
Arcilla	$\varnothing < 0,002$	28,0

La clase textural se determina mediante el **diagrama triangular de USDA**.

Entrando en el diagrama se obtiene que el suelo de estudio presenta una **textura del tipo franco-arcillo-arenosa**.

ESTRUCTURA

La textura hace referencia a la forma en la que se unen las partículas de arena, limo y arcilla en el suelo así como los espacios o poros ocupados por aire o agua que dejan entre sí. Por lo general, el aire ocupa los más grandes mientras que el agua ocupa los más pequeños.

Densidad aparente

La densidad aparente es la relación entre masa y volumen de una muestra tal como es, es decir incluyendo el volumen ocupado por los poros.

Este parámetro se determina a partir del secado y la pesada de muestras de suelo inalterado tomadas en campo mediante **cilindros de Kopecki**.

El valor de **densidad aparente** resultante fue de **1,53 Tm/m³**

Densidad real

La densidad real sólo tiene en cuenta las partículas sólidas del suelo.

La determinación de la densidad real o de partículas (Dr) se establece mediante un picnómetro o matraz aforado de gran precisión.

Este **método picnométrico** consiste en evaluar la densidad de las partículas sólidas del suelo midiendo el volumen de líquido que desplazan.

Se expresa como la relación de masa total de las partículas sólidas respecto a su volumen total, excluyendo el volumen ocupado por los poros entre partículas.

El valor de **densidad real** resultante fue de **2,62 Tm/m³**.

Porosidad

La porosidad es el volumen de suelo ocupado por los poros, se expresa en porcentaje, suele variar entre el 40 y 60% .y se puede calcular a partir de la densidad real (Dr) y la densidad aparente (Da). Se obtiene una **porosidad del 41,6%**.

En cuanto a la estructura del suelo, a partir de los análisis descritos anteriormente se han obtenido los siguientes resultados:

ESTRUCTURA		
PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
Profundidad	metros	No se abrieron perfiles, se muestreo solo el horizonte laborable. $Ap=0,35m$
Densidad aparente (Da)	Tm/m ³	1,53
Densidad real (Dr)	Tm/m ³	2,6
Porosidad	% Volumen	41,6

3.4. Caracteres hídricos del perfil edáfico

Capacidad de campo (CC)

La capacidad de campo (CC) es la cantidad de agua máxima que un suelo retiene una vez a finalizado el drenaje interno. Este contenido de humedad se expresa en porcentaje de peso de suelo seco.

Se obtiene una **capacidad de campo del 21,52%**.

Punto de marchitez permanente (PMP)

El punto de marchitez permanente (PMP) es la cantidad de agua mínima que puede retener un suelo. Por debajo de este valor se inician los fenómenos de marchitez de las plantas. Este contenido de humedad se expresa en porcentaje de peso de suelo seco.

Se obtiene un **punto de marchitez permanente del 11,59%**.

Agua útil (AU)

El agua útil es la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP), es decir, es el agua que puede ser asimilada por las plantas.

Se obtiene un **porcentaje de agua útil del 11,59%**.

Capacidad de retención de agua disponible (CRAD)

La CRAD refleja la cantidad de agua retenida en el suelo después del drenaje del agua por gravedad, la cual es almacenada en forma de reserva para que pueda ser absorbida por los cultivos. Esta agua está retenida en el suelo con un potencial o tensión de 33 kPa a Capacidad de Campo hasta 1500 kPa en punto de marchitez permanente.

Este parámetro se puede calcular a partir de los valores de: punto de marchitez permanente (PMP), capacidad de campo (CC), porcentaje de elementos gruesos (EG), densidad aparente (Da) y profundidad del horizonte (p).

Se obtiene una **CRAD de 40,23 mm, para el horizonte laborable Ap o zona de máximo desarrollo radicular.**

Velocidad de infiltración

La infiltración designa el proceso de entrada, generalmente vertical, de agua a través de la superficie del suelo, lo cual constituye la primera etapa en el movimiento del agua del suelo.

El conocimiento de la velocidad de infiltración del agua es necesario para determinar la dosis de riego a emplear en la parcela con el objetivo de que los cultivos no sufran por sequía o exceso de agua.

La determinación de la velocidad de infiltración se llevó a cabo en campo, dividiendo la parcela total en dos subparcelas más pequeñas de unas 10 hectáreas y procediendo a realizar el método del doble anillo o de Müntz en el centro de cada una de ellas.

El resultado será la media aritmética de los resultados obtenidos en cada una de las dos subparcelas.

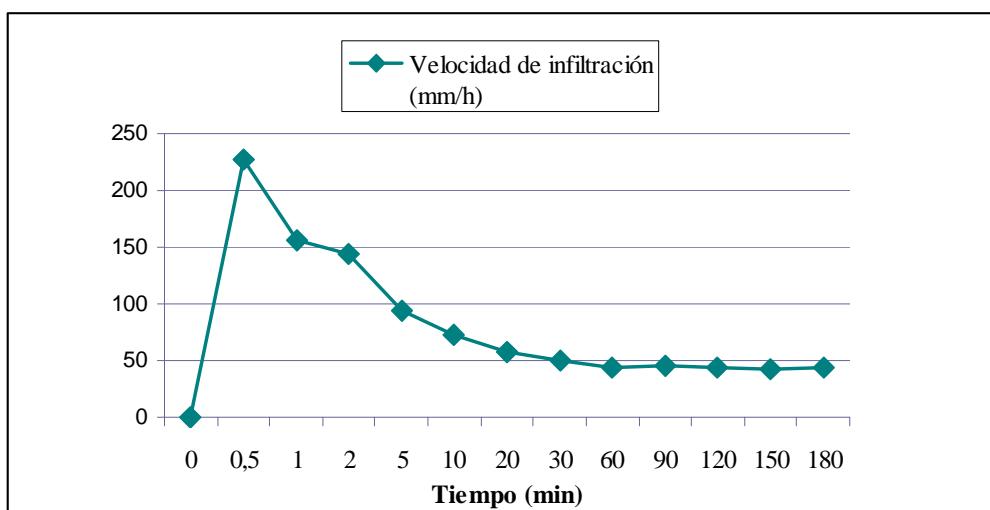
El **método del doble anillo o Müntz**, es el método más práctico y sencillo que existe para la determinación de la velocidad de infiltración. Este método consta de dos anillos cilíndricos de metal de distinto diámetro, que se colocan uno dentro del otro de forma concéntrica.

La velocidad de infiltración básica o final, expresada en mm/h, es la velocidad que se da en un régimen relativamente estabilizado, y se suele dar a al cabo de las 3 horas de haber iniciado el ensayo.

En el estudio de infiltración realizado, se obtuvo que la **infiltración** se ralentiza a una **velocidad aproximada de 43,6 mm/ h** a las 3 hora.

VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN							
Tiempo (min)	H absoluta (cm)	ΔT (min)	ΔH (cm)	ΔH (mm)	H acumulada (mm)	Infiltración (mm/h)	Relleno
0	82,20	0	0	0	0	0	
0,5	82,39	0,5	0,19	1,9	1,90	228,0	
1	82,52	0,5	0,13	1,3	3,20	156,0	
2	82,76	1	0,24	2,4	5,60	144,0	
5	83,23	3	0,47	4,7	10,30	94,0	
10	83,83	5	0,60	6,0	16,30	72,0	
20	84,79	10	0,96	9,6	25,90	57,6	
30	85,62	10	0,83	8,3	34,20	49,8	
60	87,78	30	2,16	21,6	55,80	43,2	
90	90,02	30	2,24	22,4	78,20	44,8	Relleno: Altura vacío: 90,02cm, Altura lleno:80,80cm
120	83,00	30	2,20	22,0	100,20	44,0	
150	85,15	30	2,15	21,5	121,70	43,0	
180	87,33	30	2,18	21,8	143,50	43,6	

En la siguiente figura se puede apreciar como a partir de la hora de haber comenzado el ensayo la velocidad de infiltración comienza a estabilizarse.



Según el criterio de la *Tabla.4 del Anejo 3*, la velocidad de infiltración obtenida se encuentra en un intervalo moderado, por lo que es adecuada para cualquier cultivo y para el riego por aspersión, además no va a suponer ninguna limitación a la hora de dimensionarlo y elegir la dosis óptima de riego.

En cuanto a los caracteres hídricos del suelo, a partir de los cálculos y ensayos descritos anteriormente se han obtenido los siguientes resultados:

CARACTERES HÍDRICOS DEL SUELO		
PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
Capacidad de campo (CC)	% p/p	21,52
Punto de marchitez permanente (PMP)	% p/p	11,59
Agua útil (AU)	% p/p	9,93
Capacidad de retención de agua disponible (CRAD)	l/m ² o mm	40,23
Velocidad de infiltración	mm/h	43,6

3.5. Caracteres químicos del perfil edáfico

Hacen referencia a diferentes elementos químicos (N, P, K, Ca, Mg, Na...) cuya presencia en el suelo es fundamental para conferirle a éste unas características que hará viable o no la implantación de diferentes cultivos.

Reacción del suelo o pH

El pH se determinó mediante un **método potenciométrico** en el laboratorio, con electrodo de vidrio, en una suspensión de 1:2,5 de suelo/agua.

El resultado obtenido en el análisis es el valor de pH actual o **pH (H₂O)** del suelo y éste fue de **7,8**, valor **moderadamente básico**, según la clasificación AFES (1995).

Materia orgánica

La cantidad de materia orgánica que contiene un suelo, en un momento dado, es la diferencia entre la biomasa total recibida y la biomasa mineralizada de forma rápida y el humus mineralizado de forma lenta.

La cantidad de materia orgánica se determina a partir un método de oxidación vía húmeda.

Este método cuantifica realmente el Carbono orgánico (%C), así que, para obtener el porcentaje de materia orgánica, hay que utilizar el factor de Van Bemmelen.

A partir de las analíticas hechas en el laboratorio donde se obtuvo un porcentaje de Carbono orgánico del 0,75%, y sustituyendo en la fórmula descrita en el *Anejo 3* se alcanza un valor de **materia orgánica del 1,3%**.

Este porcentaje en materia orgánica oxidable del suelo es, según muestra la *Tabla.7 del Anejo 3, característico de horizontes laborables Ap de secano.*

Además, según la norma de diagnóstico de la materia orgánica de la *Tabla. 8 del Anejo 3*, el suelo de estudio posee un **nivel ligeramente pobre en materia orgánica**.

Nitrógeno total

La cantidad de Nitrógeno total contenido en el suelo se determina a partir del método Kjeldahl. Este método es un procedimiento de oxidación por vía húmeda que tiene por objeto transformar las diversas formas de nitrógeno combinado a la forma amoniacal mediante una digestión ácida, en presencia de un catalizador en pastilla.

A partir de las analíticas hechas en el laboratorio donde se obtuvo un porcentaje de **Nitrógeno total del 0,14%** y según la *Tabla.9 del Anejo 3*, el suelo de estudio posee un **nivel medio en nitrógeno total**.

Relación C/N

La mayor parte del nitrógeno total corresponde al Nitrógeno orgánico, por tanto no está a disposición de las plantas cultivadas ya que éstas sólo pueden absorber tal elemento en forma nítrica, y en menor grado, la amoniacal. Por lo tanto, el contenido en Nitrógeno total de un suelo no es muy útil como parámetro de la fertilidad nitrogenada del suelo.

Por ello, es necesario conocer la relación C/N, interpretación conjunta del Nitrógeno total y la materia orgánica, para poder hacer una evaluación indirecta del estado de la materia orgánica y de la biomasa edáfica.

Este parámetro puede detectar la existencia de algún factor que haya podido frenar la actividad biológica de un suelo.

Se obtuvo una **relación C/N de 9,29**.

Ciñéndose a suelos agrícolas, el humus de calidad suele presentar una relación C/N inferior a 10 y al contrario, relaciones C/N muy elevadas son propias de un mal funcionamiento de la biomasa microbiana y de una baja calidad de la materia orgánica.

Como se puede observar en la *Tabla.10* del *Anejo 3*, el suelo de estudio posee una **relación C/N correcta y frecuente en horizontes agrícolas superficiales, Ap.**

Carbonatos totales

Los carbonatos totales se midieron volumétricamente en un calcímetro de Bernard utilizando un ataque ácido de la muestra con ácido clorhídrico 1N y patrón de carbonato cálcico puro (CaCO_3).

A partir de las analíticas hechas en el laboratorio donde se obtuvo un porcentaje de **CaCO_3 del 22,2%** e interpretando los datos según la *Tabla.11* del *Anejo 3*, el suelo de estudio posee un **contenido moderadamente alto de carbonato cálcico**.

Salinidad

Los suelos afectados por sales son aquellos que presentan una acumulación de sales más solubles que el yeso, en concentración suficiente para interferir en el crecimiento de las plantas no especializadas (suelos salinos); o bien contienen suficiente sodio intercambiable para afectar a los cultivos y la estructura de los suelos (Suelos sódicos).

La cuantificación de la salinidad se basa en una estimación indirecta del contenido de sales solubles del suelo a través de la medida de la **conductividad eléctrica** que presenta un extracto acuoso de suelo.

Está se cuantifica midiendo la conductividad eléctrica a 25°C del extracto 1:5 (suelo: agua).

A partir de las analíticas hechas en el laboratorio donde se obtuvo una **conductividad eléctrica de 1,4 dS/m** y según la *Tabla.12* del *Anejo 3*, el **suelo de estudio** se puede considerar **no salino**.

Fósforo asimilable o fósforo Olsen

El método más generalizado para determinar el contenido de fósforo asimilable del suelo es **el método Olsen** (1954).

A partir de este método se pretende determinar la cantidad de fósforo que hay en el suelo en formas disponibles para las plantas, mediante la extracción de éste con un reactivo, bicarbonato sódico (NaHCO_3), que intenta solubilizar sólo la parte de fósforo que la planta podría absorber.

La **cantidad de fósforo** solubilizado mediada en el laboratorio fue de **9 mg/kg o ppm**, valor que según la *Tabla.13* del *Anejo 3*, se considera **normal**.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

El responsable del proceso de intercambio catiónico es el denominado complejo de cambio o complejo adsorbente, constituido por arcillas y la materia orgánica humificada (complejo húmico-arcilloso). La cantidad total de cationes que puede retener en su superficie el complejo de cambio recibe el nombre de capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Conocer la CIC es importante porque afecta al movimiento y a la retención de cationes del suelo, a la nutrición de la planta, al poder de recuperación del suelo, a su pH potencial y a su capacidad amortiguadora.

Dado que los principales responsables del proceso de intercambio catiónico son las arcillas y la materia orgánica humificada, la CIC puede calcularse mediante estimación indirecta a partir de la siguiente fórmula descrita por Badia et al (Suelos agrícolas del Baix Segre).

Se obtiene una **CIC de 7,5 cmol/Kg**, que según la clasificación de la *Tabla.14* del *Anejo 3*, corresponde a una **clase baja**.

Cationes solubles más intercambiables (Sodio, potasio y magnesio)

La determinación del **sodio y el potasio** intercambiables en extractos de suelo se establece por **fotometría de llama**.

La determinación del **magnesio** se establece por **complexometría**, método basado en la formación de quelatos con los cationes divalentes del extracto y el ácido etilendiaminotetra-acético (EDTA), aprovechando las diferencias constantes de equilibrio según el pH de la solución.

La **cantidad de sodio, potasio y magnesio de cambio** mediadas en el laboratorio fueron de **0,33, 0,32 y 1,7 meq/100g, respectivamente**.

Según la interpretación de las Tablas, 15,16 y 17 del Anejo 3, se trata de un suelo con un **nivel en sodio y potasio bajo** y con un **nivel en magnesio normal**.

En cuanto a los caracteres químicos del suelo, a partir de los cálculos y ensayos descritos anteriormente se han obtenido los siguientes resultados:

CARACTERES QUÍMICOS DEL SUELO		
PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
pH (Extracto 1:2,5 suelo /agua)	-	7,8
Materia orgánica	%	1,3
Nitrógeno total	%	0,14
Relación C/N	%	9,29
Carbonatos totales	%	22,2
Salinidad (CE a 25°C)	dS/m	1,4
Fósforo Olsen	ppm	9,0
CIC (Capacidad de intercambio catiónico)	meq/100g	7,50
Sodio intercambiable (Na^+)	meq/100g	0,33
Potasio intercambiable (K^+)	meq/100g	0,32
Magnesio intercambiable (Mg^{2+})	meq/100g	1,7

3.6. Conclusiones de los caracteres físicos

En lo que respecta a la textura y estructura del suelo, se obtiene que éstas son aceptables para los cultivos que se desea implantar. El suelo de estudio posee una textura franco-arcillo- arenosa y los parámetros de densidad aparente, densidad real y porosidad presentan valores medios, por lo tanto no son factores limitantes.

3.7. Conclusiones de los caracteres hídricos

La capacidad de campo y el punto de marchitez obtenidos analíticamente dan unos valores que permiten que la capacidad de retención de agua útil en el suelo sea aceptable.

La velocidad de infiltración obtenida se encuentra dentro de un intervalo moderado, por lo que es adecuada para cualquier cultivo y para el riego por aspersión,

además no va a suponer ninguna limitación a la hora de dimensionarlo y elegir la dosis óptima de riego.

3.8. Conclusiones de los caracteres químicos

pH:

El valor obtenido es moderadamente básico (básico tendiendo a neutro), debido a la presencia generalizada de carbonatos (Contenido de CaCO_3 moderadamente alto), y la posible existencia de numerosos microorganismo activos en el suelo (bacterias nitrificantes o fijadoras de nitrógeno), presentes cuando abundan los carbonatos.

El pH afecta a la solubilidad de los elementos químicos y por lo tanto a la nutrición mineral de las plantas. En este tipo de suelo elementos como Mn, Fe y Zn son poco solubles y por tanto serán más difíciles de asimilar.

El valor obtenido es un valor aceptable para nuestros cultivos, valores más altos supondrían indicios de presencia de características sódicas.

Materia orgánica:

El bajo valor obtenido es característico del horizonte laborable de secano.

El suelo de estudio posee un nivel ligeramente pobre en materia orgánica, que junto a el exceso de carbonatos, provocan en éste una baja capacidad de absorción y retención de agua y nutrientes, por lo que resulta necesario hacer una enmienda húmica a partir de estiércol animal, la cual se calculará en el apartado siguiente, para incrementar los niveles a largo plazo de materia orgánica en un 2-2,5%, nivel normal y adecuado para el regadío y el desarrollo de los cultivos.

Nitrógeno total:

El suelo posee un nivel medio y adecuado en nitrógeno total, por lo que no será necesario ningún aporte adicional.

Relación C/N:

Posee un nivel de relación C/N normal, correcto y frecuente en los horizontes agrícolas superficiales.

El valor obtenido indica que la materia orgánica (humus) es de calidad y que existe un buen funcionamiento de la biomasa microbiana, es decir existe una buena liberación de nitrógeno (nitrificación) por parte de la materia orgánica, que queda disponible para las plantas.

Carbonatos totales:

El contenido moderadamente alto en CaCO_3 que posee el suelo, le dan a éste un cierto carácter alcalino.

Salinidad:

El valor obtenido en conductividad eléctrica es bajo, por lo que el suelo de estudio no presenta problemas de salinidad y se considera no salino. La influencia de sales sobre los cultivos es inapreciable y no altera el adecuado desarrollo de éstos. Por lo tanto no se deberá tomar ninguna medida al respecto, incluso esta cantidad de sales solubles se verá reducida con la frecuencia de riego.

Fósforo Olsen:

El suelo posee un nivel normal de fósforo, por lo que no será necesaria la realización de ningún aporte, ya que se encuentra en cantidad suficiente.

Capacidad de intercambio catiónico:

El suelo presenta una baja capacidad de intercambio catiónico.

Este fenómeno puede ser debido a la presencia de carbonatos y el bajo contenido en materia orgánica en el suelo, que provocan en éste una baja capacidad de retención de algunos cationes.

Cationes solubles más intercambiables:

El nivel en magnesio es normal y aceptable para el desarrollo de los cultivos, por lo que no es necesario realizar ninguna corrección.

Los niveles en sodio y potasio son un poco bajos, debido a la presencia de carbonatos y el bajo contenido en materia orgánica, que afectan a la retención y adsorción de estos cationes.

Mediante el aporte de materia orgánica citado anteriormente, los niveles en sodio y potasio del suelo se verán incrementados.

3.9. Cálculo de la enmienda orgánica de corrección

En suelos de regadío, los niveles óptimos de materia orgánica deben estar entre un 2% y un 3%. El contenido en materia orgánica del suelo de estudio es de 1,3%, por lo que es necesario hacer una enmienda húmica de corrección para elevar el contenido inicial hasta aproximadamente un 2%, con lo cual éste ha de elevarse un 0,7%.

La dosis de enriquecimiento o enmienda para elevar el nivel de materia orgánica (ΔMO) en el suelo resultó de **21,42 Tm/ha**.

Para realizar dicha corrección húmica se utiliza estiércol bovino, fertilizante orgánico que mejora la estructura del suelo y hace una aportación significativa de elementos fertilizantes.

La cantidad de estiércol que es necesario aplicar por hectárea para conseguir el equilibrio húmico será de **186,26 Tm/ha**.

3.10. Mantenimiento de las enmiendas orgánicas y nutrientes

En el apartado anterior se ha calculado la dosis necesaria de estiércol de vacuno a aplicar antes de sembrar algún cultivo, es decir antes de comenzar la rotación.

Las condiciones del suelo cambian conforme pasa el tiempo, por lo que en la rotación se recomienda alternar cultivos con efectos antagónicos sobre el suelo. A los cultivos que tengan una elevada profundidad radicular deben seguirles otros que tengan poca y a los que tengan altas necesidades nutricionales deben seguirles otros menos exigentes.

Además es importante incluir en la rotación de cultivos ciertas leguminosas (Alfalfa, Guisante o Veza) que aporten una importante cantidad de nitrógeno al suelo y usar los restos vegetales de cosecha de los cereales como enmienda orgánica.

Se recomienda también, después de cada campaña, hacer un aporte de materia orgánica por medio de compost realizado de excrementos de animales explotados en extensivo y restos vegetales de cosechas como paja de cereales. Este aporte debe ser realizado en relación con los análisis que se hagan del suelo para aportar las cantidades necesaria.

4. Calidad del agua de riego

Es muy importante realizar un análisis del agua de riego y evaluar su calidad antes de emplearla para conocer si es óptima para la parcela de estudio y para los cultivos que en ella se quieren instaurar, ya que dependiendo de los resultados que se obtengan será factible o no la puesta en riego.

Las características químicas del agua de riego se refieren al contenido de sales solubles, así como a los parámetros derivados de la composición de estas sales; parámetros tales como: pH, conductividad eléctrica, relación de absorción del sodio, dureza del agua, etc.

Para caracterizar la calidad del agua de riego se van a seguir los métodos más utilizados, que por otra parte, son los que mas pueden ayudar a dar un criterio adecuado. En ello las variables que definen la calidad del agua son: salinidad, sodicidad, toxicidad y alcalinidad.

4.1. Resultados analíticos

El suministro de agua de riego en este proyecto procede del pantano del Grado. Esta agua circula por el Canal del Cinca y llega a la parcela de estudio a través de la Acequia A-19.

Los datos de calidad de agua empleados para la realización del presente estudio se han tomado del punto de muestreo N°441 (Canal del Cinca/Embalse del Grado) de la red de Control del Estado de las Masas de Aguas Superficiales (CEMAS) de la Confederación Hidrográfica del Ebro (<http://www.chebro.es/>).

La serie de datos tomados corresponde a un periodo de 10 años, de 2004 a 2013, el mismo que se utilizó en el Anejo 2 para determinar los datos climáticos.

A partir de las analíticas (*Tabla.2 del Anejo 4*) se calcularon los valores medios para cada uno de los parámetros empleados para evaluar la calidad del agua de riego a emplear en la parcela de estudio.

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
T ^a del agua	°C	12,9
pH	-	8,2
Conductividad a 20 °C	µS/cm	266
Sólidos en suspensión	mg/L	< 4
Amoniaco Total	mg/L NH ₄	< 0,12
Calcio	mg/L Ca ⁺²	45,9
Magnesio	mg/L Mg ⁺²	7,1
Sodio	mg/L Na ⁺	4,3
Potasio	mg/L K ⁺	1,1
Boro	mg/L B ⁺³	< 0,009
Cobre	mg/L Cu	< 0,002
Hierro	mg/L Fe	0,012
Cromo	mg/L Cr	< 0,002
Cloruros	mg/L Cl ⁻	7,2
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	29,4
Nitratos	mg/L NO ₃ ⁻	1,3
Fosfatos	mg/L PO ₄ ³⁻	0,07
Carbonatos	mg/L CO ₃ ²⁻	15,9
Bicarbonatos	mg/ HCO ₃ ⁻	109,8
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	120,0

4.2. Índices de primer grado

pH

El valor óptimo de pH para el agua de riego se encuentra entre 7,5 y 8,5 por lo que en este caso, con un **pH de 8,2**, se ha considerado que el **agua empleada es apta para el riego**.

Conductividad eléctrica

Como la conductividad eléctrica que posee el agua de riego es de **266 µS/cm** a **20°C**, a **25°C** equivaldría a **308,37 µS/cm**, ya que depende directamente de la temperatura a la que se mida y aumenta en un orden del 3% por cada grado centígrado, valor que según la caracterización de la *Tabla.3 del Anejo 4*, corresponde a una **calidad de agua excelente**.

Presión osmótica del agua

Para una conductividad eléctrica media de 308,37 µS/cm, según los cálculos descritos en el *Anejo 4*, se obtiene una **presión osmótica del agua de 0,111 atm.**

Sales disueltas totales (SDT)

Para una conductividad eléctrica media de 308,37 µS/cm, según los cálculos descritos en el *Anejo 4*, se obtiene una **concentración de sales de 197,36 mg/L**.

Iones más importantes existentes en el agua de riego

A continuación se enumeran los iones más importantes que presenta el agua en disolución, expresados en mg/L y su equivalencia en meq/L.

CATIONES	mg/L	meq/L	ANIONES	mg/L	meq/L
Calcio (Ca ⁺²)	45,9	2,29	Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	109,8	1,80
Sodio (Na ⁺)	4,3	0,19	Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	29,4	0,61
Magnesio (Mg ⁺²)	7,1	0,58	Carbonatos (CO ₃ ²⁻)	15,9	0,53
Potasio (K ⁺)	1,1	0,03	Cloruros (Cl ⁻)	7,2	0,20
Amoniaco total (NH ₄ ⁺)	0,12	0,007	Nitratos (NO ₃ ⁻)	1,3	0,021
TOTAL		3,097	TOTAL		3,161

Para que el agua sea considerada de buena calidad, la suma de aniones debe coincidir, aproximadamente, con la de cationes, ambas expresadas en meq/L, permitiéndose un error del 7%, tanto por defecto como por exceso.

Al ser el **porcentaje de error (2,1%) mucho menor del 7%** se considera que el **agua es de buena calidad**.

Sales más importantes existentes en el agua de riego

Las sales que probablemente existan en el agua de riego pueden determinarse a partir de los valores que, para cada uno de los iones haya dado el análisis, a partir de los cálculos descritos en el *Anejo 4*.

En definitiva **las sales que estarían probablemente presentes en el agua analizada serían:**

- Sulfato cálcico y magnésico: **CaSO₄** y **MgSO₄**
- Bicarbonato cálcico y magnésico: **Ca(HCO₃)₂** y **Mg(HCO₃)₂**
- Cloruro magnésico: **MgCl₂**
- Carbonato sódico: **Na₂CO₃**

4.3. Índices de segundo grado

Relación de absorción de sodio (SAR)

Es el parámetro utilizado para determinar el riesgo de sodificación del complejo de cambio (degradación de la estructura del suelo). Indica la cantidad de ión Na^+ que hay en el agua de riego, en relación con los iones Ca^{2+} y Mg^2 y se calcula mediante la fórmula descrita en el *Anejo 4*.

Cuando al analizar un agua se encuentran valores de SAR superiores a 10, se puede decir que esa agua es muy alcalina (tiene un pH elevado), siendo mayor el riesgo de alcalinización cuanto mayor es este valor.

El valor de **SAR** obtenido es de **0,159** y por tanto el **agua** se puede considerar **de escaso poder de sodificación y óptima para el riego**.

Relación de sodio

Esta relación muestra la proporción del contenido de ión sodio que hay en un agua respecto a los restantes cationes y se calcula mediante la fórmula descrita en el *Anejo 4*. Se obtiene un valor de **RS** de **0,062 meq/L**.

Índice de Kelly o relación de calcio

Esta relación muestra la proporción del contenido de ión calcio que hay en un agua respecto a los restantes cationes y se calcula mediante la fórmula descrita en el *Anejo 4*. Se obtiene un valor de **RC** de **0,748 meq/L**.

Dureza del agua

El grado de dureza permite clasificar el agua de riego en función del contenido de los cationes de calcio y magnesio y se calcula mediante la expresión descrita en el *Anejo 4*.

La dureza del agua de riego obtenida es de **14,40 °F**. Según la clasificación de Ros Orta. S (2001) de la *Tabla.5* del *Anejo 4*, se trata de un agua **medianamente dulce**, óptima para el riego.

Índice de Eatón o carbonatos sódicos residuales (CRS)

Indica la peligrosidad del sodio una vez que han reaccionado los cationes de calcio y magnesio con los aniones carbonato y bicarbonato, y se calcula mediante la expresión descrita en el *Anejo 4*.

Se obtiene un **CSR** de **-0,54 meq/L**. Según la clasificación de Urbano Terrón. P (1995) de la *Tabla.6* del *Anejo 4*, se puede considerar que **el agua es buena y recomendable para el riego**.

4.4. Evaluación de la calidad del agua de riego

En este apartado se va a evaluar el agua de riego en función de las variables que definen su calidad: salinidad, sodicidad, toxicidad y alcalinidad a partir de algunos los índices de primer y segundo grado calculados en los apartados anteriores y conforme a las clasificaciones dadas por diversos autores.

Salinidad

El riesgo de salinidad es un problema derivado de las sales contenidas en el agua de riego y afecta directamente a la disponibilidad del agua para el cultivo.

Clasificación de Richards

Según Richards (*Tabla.7* del *Anejo 4*), para una conductividad eléctrica de 308,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (a 25°C), no encontramos ante un **riesgo de salinidad medio**.

Clasificación de la FAO

Según la FAO (*Tabla.8 del Anejo 4*), para una conductividad eléctrica de 0,308 mmho/cm (a 25°C), **no tendremos problemas de riesgo de salinidad.**

Otras clasificaciones

Según Urbano Terrón P, (1995): R.S Ayers y D.W Westcot (1987) (*Tabla.9 del Anejo 4*), para un valor de CE a 25°C de 0,308 dS/m y una concentración salina de 197,36 mg/L se puede decir que dicha agua **no presenta problema alguno de salinidad.**

Sodicidad

La sodicidad se expresa mediante la relación de absorción de sodio (SAR), parámetro que representa la posible influencia del ión sodio, presente en el agua de riego, sobre el suelo. Una elevada proporción relativa de este elemento frente al calcio y magnesio puede inducir en el suelo la degradación del mismo con la consiguiente pérdida de estructura y permeabilidad.

Clasificación de la FAO

Según la FAO (*Tabla.10 del Anejo 4*), para un SAR de 0,159 y una conductividad eléctrica de 0,308 mmhos/cm, se tiene que **el agua de riego requiere de ligera a moderada restricción.**

Toxicidad

Algunos iones cuando se acumulan en cantidades excesivas resultan tóxicos para los cultivos u ocasionan desequilibrio en la absorción de nutrientes.

Los iones más peligrosos y más comunes que pueden causar un problema de toxicidad son el sodio, el cloruro y el boro.

Clasificación de la FAO

Según la FAO (*Tabla.11 del Anejo 4*), para una concentración de Na^+ de 0,19, Cl^- de 0,20 y $\text{B}^{+3} < 0,0025 \text{ meq/L}$, **no existe ningún riego de toxicidad** usando esta agua para riego.

Alcalinidad

Los suelos alcalinos son suelos arcillosos con pH elevado (>9), estructura pobre y densa, baja capacidad de infiltración y lenta permeabilidad. Poseen a menudo una capa calcárea compacta a una profundidad de 0,5 - 1 m y son difíciles de cultivar.

La influencia sobre la permeabilidad del suelo que tiene un agua de riego no depende sólo de la relación entre los cationes sodio, calcio y magnesio, sino que está relacionada también con la presencia en la composición del agua de iones bicarbonato, y carbonato; cuya actividad da lugar a la precipitación del agua de iones magnesio y, en consecuencia, a la disminución de la concentración de estos elementos en beneficio de la acción degradante que tiene el sodio en el suelo.

Para evaluar el riesgo de alcalinización de un suelo, R.S. Ayers y D.W. Westcot en 1976, consideraron que el conocido índice SAR no era representativo, debido a la precipitación de los carbonatos y bicarbonatos cálcicos y magnésicos y del sulfato cálcico, quedando en solución el carbonato sódico que aumentaba de forma muy importante la proporción relativa de sodio.

Proponen un valor de SAR ajustado (SAR_{aj}) que puede calcularse a partir de las expresiones y metodología descritas en el Anejo 4.

Se obtiene un valor de SAR de 0,417, que en función de la caracterización de la *Tabla.13 del Anejo 4*, se obtiene que para el agua de riego **no existe riesgo de alcalinización**.

4.5. Caracterización de la calidad del agua de riego

Son numerosos los criterios que se utilizan para caracterizar la calidad del agua de riego, pero aquí, solamente se han empleado los de mayor aceptación, basados en la utilización combinada de algunos de los índices descritos en los apartados anteriores.

Normas Riverside

Relacionan la conductividad eléctrica y el SAR_{aj}. Según estos dos índices se establecen dieciséis clases de aguas en función del riesgo de salinización y alcalinización.

Utilizando los dos parámetros anteriores, el agua se caracteriza mediante una fórmula tipo C_i-S_j, en la que los valores de C, son los correspondientes a la CE y los valores de S, los del SAR_{aj}. Los subíndices varían entre 1 y 4.

Si se entra en el diagrama (*Figura.1 del Anejo 4*) con los valores de SAR_{aj} = 0,42 y CE (a 25°C) = 308,37 µmhos/cm, Se obtiene una clase de agua C₂-S₁, que indica un **riesgo medio de salinización del suelo pero muy bajo de alcalinización** y considera el **agua de buena calidad y apta para el riego**.

Normas H.Greene-FAO

Esta norma clasifica el agua de riego según la cantidad de sodio expresado en porcentaje con respecto al total de cationes contenidos y la concentración total de sales disueltas en el agua (meq/L).

A partir de las fórmulas descritas en el Anejo 4, se obtiene un 61,13% de Na y una concentración total de 6,26 meq/L.

Con estos dos valores obtenidos se entra en la gráfica (*Figura.2 del Anexo 4*) y se obtiene como resultado un **agua de buena calidad para el riego**.

Normas L.V.Wilcox

Esta norma clasifica el agua de riego según la cantidad de sodio expresado en porcentaje con respecto al total de cationes contenidos y la conductividad eléctrica.

La cantidad de sodio respecto al total de cationes contenidos en el agua es de 6,13%, valor obtenido en el apartado anterior y la conductividad eléctrica a 25°C es de 308,37 µmhos/cm.

Con estos dos datos, se entra en la gráfica (*Figura.3 del Anejo 4*) y se obtiene **un agua de riego de excelente a buena calidad.**

Recomendaciones de Tames

Propone un sistema de clasificación en el que los diferentes riesgos quedan definidos por las siguientes relaciones:

- **Riesgo de salinidad:** Considera los sólidos disueltos, en g/L o su equivalencia en conductividad eléctrica.

- **Riesgo de alcalinización:** Considera dos índices:

- Índice de Eaton o carbonatos sódicos residuales (CRS).
- Índice de Kelly o relación de calcio.

- **Riesgo de fitotoxicidad:** Considera el contenido en Boro.

Utilizando los parámetros obtenidos en apartados anteriores,

- Sólidos disueltos: $< 4 \text{ mg/L} = < 0,004 \text{ g/L}$

- Índice de Eaton o CRS: -0,54 meq/L

- Índice de Kelly o Relación de calcio: 0,748 (en tanto por uno) = 74,8%

- Contenido en Boro: $< 0,0025 \text{ meq/L}$

Se obtiene, según la clasificación de la *Tabla.14* del *Anejo 4*, **un agua positivamente buena y apta para el riego.**

4.6. Conclusiones

El agua de riego no causará ningún problema sobre el desarrollo de los cultivos ni sobre el suelo de la parcela, ya que cumple todos los requisitos mínimos de calidad.

Por lo tanto se puede decir, que el agua de la acequia A-19 con la que se va a regar es óptima para el riego sin ningún tipo de limitación.

5. Rotación de cultivos

Los cultivos modifican química, física y biológicamente el suelo en el que habitan, así pues cada cultivo está influenciado por su predecesor. Para evitar que el rendimiento de estos descienda y prevenir posibles problemas fitosanitarios es conveniente ordenarlos adecuadamente en el espacio o en el tiempo.

Una **rotación de cultivos** es una sucesión de cultivos ordenados en el tiempo sobre una misma superficie.

En el caso de los cultivos herbáceos de regadío lo habitual es la práctica del **monocultivo**. Este tipo de práctica provoca en los suelos: erosión, agotamiento y empobrecimiento de las reservas de agua y nutrientes, desequilibrio en la fauna microbiana e intoxicación por excreciones radicales originadas por alelopatías; así como la proliferación de plagas, enfermedades y malas hierbas.

Para corregir estas malas prácticas agrícolas la agricultura basada en el monocultivo abusa del uso de agua, abonos, fertilizantes y gran cantidad de productos fitosanitarios que provocan la contaminación del medio ambiente.

Por lo que hay razones suficientes para justificar la necesidad de hacer rotación de cultivos también en la agricultura de regadío.

En el presente anexo se describen en mayor detalle los cultivos seleccionados, y además se proponen posibles rotaciones de cultivo, teniendo en cuenta una serie de factores que influyen directamente en la elección de la distribución más adecuada.

5.1. Cultivos seleccionados

Para la elección de los cultivos se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- La capacidad del propietario de comercializar los productos.
- Cierta flexibilidad en la rotación para que el agricultor pueda introducir cultivos no previstos que interesen en un determinado momento.
- Adaptación de los cultivos al clima y suelo (cultivos de la zona).
- La capacidad del parque de maquinaria que tenga el agricultor, para poder trabajar con los cultivos propuestos.
- La condición mejorante o esquilmando de los cultivos sobre el suelo.
- La combinación de distintas especies para evitar la proliferación de malas hierbas y parásitos específicos.

En el presente estudio, teniendo en cuenta los factores anteriores y sobre todo siguiendo la tendencia habitual del área de estudio y conforme a su importancia económica y buen comportamiento respecto al clima de la zona, los **cultivos seleccionados** son: **Maíz, alfalfa, cebada, trigo, guisante, girasol y ray-grass**.

La descripción de los cultivos seleccionados, está en el *Anejo 5*.

5.2. Fechas de siembra y recolección de los cultivos seleccionados

Las fechas de siembra y recolección para los cultivos de cebada, trigo, guisante, girasol, alfalfa y ray-grass son las establecidas por Martínez-Cob (2005) para la comarca agraria nº 57 (Sariñena). Mientras que las del maíz y el cultivo de maíz de segunda ocupación después de guisante y de cebada son las dadas por Andrés, R.; Mur,

R.; Faci, J.M. (2008), también para esta zona. Estas pueden variar de un año a otro en función del clima y dependen de la variedad que se cultive.

Estas fechas están en la *Tabla. I del Anejo 5.*

5.3. Factores a tener en cuenta para la rotación de cultivos

- No cultivar dos veces seguidas el mismo cultivo e intentar que se sucedan cultivos que no pertenezcan a la misma familia botánica, ya que las especies que pertenecen a la misma familia tiene necesidades nutritivas similares.

De este modo evitaremos:

- La permanezcan y proliferen en la parcela de las mismas enfermedades, plagas y malas hierbas, que al ser tan específicas afectarán de nuevo al siguiente cultivo.
- El agotamiento del suelo en agua y nutrientes, ya que las especies que pertenecen a una misma familia tiene una absorción de nutrientes preferida y al tener su sistema radicular similar exploran las mismas capas del suelo.
- No cultivar especies seguidas que exploren el mismo perfil del terreno, es decir a cultivos de raíces profundas y pivotantes (Alfalfa, guisante y girasol) deben sucederles cultivos de sistema radicular superficial y raíces fasciculadas (Maíz, cebada, trigo y ray-grass).
- Intercalar entre cultivos exigentes y **esquilmandos** que empobrecen el suelo en agua y nutrientes (Gramíneas: maíz, cebada, trigo y ray-grass), otros que no lo sean (Girasol) o incluso que estén considerados como **mejorantes** (Leguminosas: alfalfa y guisante), porque fijan el nitrógeno atmosférico al suelo y lo dejan en condiciones de fertilidad aumentada.
- Intentar evitar sucesiones de cultivos con idéntico aprovechamiento (No hoja tras hoja o semilla tras semilla).

- Procurar que a un cultivo de ciclo largo le suceda otro de desarrollo rápido y a la inversa.
- Alternar cultivos con un cierto carácter elástico para poder reaccionar ante las posibles fluctuaciones del mercado durante el transcurso de los años.

Siguiendo las recomendaciones anteriores se puede conseguir, entre otras cosas, aprovechar mejor el abonado y el riego, al utilizar plantas con necesidades nutritivas distintas y sistemas radiculares diferentes, controlar mejor las malas hierbas, plagas y enfermedades, y en consecuencia reducir el empleo de abonos, fertilizantes, herbicidas y productos fitosanitarios.

5.4. Propuesta de rotación de cultivos

Las rotaciones de cultivos que se plantean son orientativas para el agricultor, no quiere decir que éste deba cumplirlas, podrá modificarlas si lo cree conveniente o si obtiene una mejor rentabilidad y unos mejores rendimientos con otras rotaciones.

Con los datos de permanencia de cada cultivo en campo, y teniendo en cuenta los factores expuestos en el apartado anterior, se pueden realizar varias distribución de los cultivos a través de los años.

Se han diseñado dos cuadros de rotación de cultivos diferente para 10 años, uno teniendo en cuenta todos los cultivos seleccionados (*Figura.1 del Anejo 5*) y otro en función de la tendencia habitual de la zona de estudio (*Figura.2 del Anexo 5*).

6. Justificación y características del sistema de riego elegido

6.1. Justificación de la conversión a regadío

La agricultura de regadío es la única vía posible para incrementar la producción agrícola, especialmente en zonas de clima árido y semiárido.

El regadío permite obtener mayores rendimientos que la agricultura de secano y además supone una actividad económicamente más rentable.

Por todo ello, la transformación a regadío de una parcela de secano en una zona de clima semiárido, con posibilidades de desarrollo, queda justificada; siempre y cuando se pueda obtener de ella una rentabilidad acorde con la inversión que se ha efectuado; y ésta esté condicionada por alguno de los factores que se cintan a continuación.

Climatología

Atendiendo a las condiciones climatológicas de la zona (*Anejo 3*) se puede observar que se trata de una zona de clima semiárido con una precipitación media anual (360 mm) bastante escasa para el sustento de los cultivos.

Este hecho, justifica por sí solo, la necesidad de implantar un sistema de riego para poder cultivar una amplia gama de cultivos, ya que exceptuando la escasa precipitación que se produce en la zona objeto de este proyecto, el resto de factores climatológicos son óptimos para el desarrollo y crecimiento de todo tipo de cultivos herbáceos extensivos propios de la zona.

Rendimiento de la cosecha (Producción)

Para obtener un máximo rendimiento de la cosecha es fundamental un buen aporte hídrico, tanto en cantidad como en homogeneidad. Este aporte debe estar bien repartido a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo para lograr una buena producción.

El sistema de riego elegido para el desarrollo de este proyecto, riego por aspersión, proporcionará un buen reparto del agua de riego y homogeneidad a nivel de parcela, ya que con la instalación de este tipo de sistema, además de obtenerse mayores rendimientos, se hace de manera más eficiente que con la utilización de sistemas de riego tradicionales.

Edafología

Atendiendo a los caracteres físicos, hídricos y químicos del suelo de la parcela de estudio (*Anejo 3*) se puede observar que se trata de un suelo con una textura franco-arcillo-arenosa, buena porosidad, infiltración moderada y en general fértil por lo que posee una gran capacidad de retención de agua a la vez que un buen drenaje de ésta, no tiene problemas de salinidad y es adecuado para cualquier cultivo y para el riego por aspersión, ya que no presenta ninguna limitación a la hora de dimensionar y elegir la dosis óptima.

Agua de riego

Atendiendo al estudio del agua de riego proveniente del Canal del Cinca, realizado en el *Anejo 4*, se puede deducir que está es de buena calidad y no presenta ningún problema ni limitación a la hora de ser empleada mediante riego por aspersión.

Topografía y contorno de la parcela

La parcela de estudio presenta una extensión de aproximadamente 19 hectáreas, las cuales tienen un contorno bastante regular.

La pendiente media es de aproximadamente el 8%, pero ésta no va a presentar limitación alguna a la hora de implantar el riego por aspersión en la parcela, ya que este tipo de sistema permite el riego de terrenos con pendiente, sin la necesidad de tener que nivelar el terreno, y la escorrentía que se pudiera producir por elevadas pendientes es mínima.

6.2. Características del riego por aspersión

Se ha elegido la aspersión como sistema de riego, por sus características técnicas hacen posible esta transformación.

El aporte de agua a las plantas mediante este sistema de riego por aspersión es en forma de lluvia artificial empleando emisores rotativos.

Las principales características que definen el riego por aspersión son:

- Distribución del agua en forma de lluvia, de manera uniforme sobre el suelo.
- Permite el riego de terrenos con pendiente sin la necesidad de realizar nivelaciones en el terreno.
- Conducción del agua por el interior de tuberías a presión, sin ningún tipo de pérdidas en su distribución.
- Distribución del agua sobre el terreno a medida que se va infiltrando, pudiendo aplicar solo las dosis necesarias para el cultivo, con el consiguiente ahorro de agua.
- Se evitan las pérdidas de agua por escorrentía, así se evita la erosión del suelo fértil.
- Con el propio sistema de riego se pueden aplicar tratamientos fitosanitarios y aporte de fertilizantes.
- Se adapta a la mayoría de los cultivos incrementando su producción respecto a los sistemas de riego tradicionales.
- La exigencia de mano de obra disminuye en comparación con otros sistemas de riego tradicionales.
- La eficiencia de riego es mucho más alta que en riegos tradicionales.

Las características citadas anteriormente suponen las ventajas del riego por aspersión, pero éste también presenta ciertos inconvenientes, tales como:

- La mala compatibilidad del viento con la eficiencia de aplicación del riego, disminuyendo esta considerablemente, por lo que deberá evitarse el riego en días con velocidades de viento elevadas.
- El coste elevado de implantación, que se ve compensado con un aumento de producción considerable.

6.3. Características de la cobertura total enterrada

El riego por aspersión con cobertura total enterrada evita infraestructuras superficiales que separan y enmarcan la parcela, y en consecuencia, evita pérdidas en la superficie cultivada.

Principalmente se caracteriza por constar de:

- Un **elemento filtrante** que se instalará en el edificio de control de mandos y estará compuesto por filtros de malla automáticos.
- Una **válvula hidráulica** en la entrada de cada módulo (conjunto de emisores o aspersores de riego que funcionan al mismo tiempo) comandada por una llave de tres vías, la cual puede ser accionada manualmente con tres posiciones, la tercera se corresponde al modo automático.
- Una **red de tuberías** de distintos diámetros que variarán en función del caudal que transporten. Esta se encuentra totalmente enterrada a mayor profundidad que la de la labor de los aperos, saliendo solo a superficie el porta-emisor, que puede ser de diferentes medidas, y el emisor o aspersor, que también puede ser de diversos tipos.
- Un **controlador de riego** que controlará el conjunto del equipo de riego y estará instalado en el edificio de mandos.

6.4. Elección del marco de colocación de los aspersores

Se opta por una distribución del marco en forma triangular, en donde los aspersores ocupan los vértices de una red de triángulos. Este tipo de disposición es el que mejor aprovecha el agua, pues la uniformidad de distribución del agua es mucho menor cuando hay vientos dominantes.

En esta distribución triangular la distancia entre dos aspersores de un mismo lateral de riego será de 18 metros y la separación entre dos laterales de riego contiguos será igualmente de 18 metros, lo que dará una red de triángulos equiláteros.

La causa por la que se toma este marco triangular de colocación de los aspersores es principalmente por la uniformidad, y en segundo plano, por la adaptabilidad a la gran mayoría de herramientas, pues generalmente se trabaja con anchuras múltiples de tres metros.

6.5. Elección del aspersor

Los factores que se han tenido en cuenta para la elección del aspersor han sido los siguientes:

- Un tipo de aspersor con cuyo **caudal** se redujeran costes, adaptándose al marco de distribución elegido, en el ancho de las calles.
- La **densidad de aspersión** debe estar ser menor que la permeabilidad máxima del suelo o velocidad de infiltración de la parcela, para evitar escorrentía.
- La **presión** de funcionamiento del aspersor ha de ser la necesaria para que haya una buena uniformidad del riego.
- El **recubrimiento** del aspersor deberá estar comprendido entre el 55 y 65%.
- El **coeficiente de uniformidad** debe estar por encima del 80% con vientos de hasta 2,5 m/s, según la **regla de Christiansen**.
- El **grado de pulverización** debe tener un valor comprendido entre 0,1 y 0,3. Para medir el grado de pulverización se usa el **índice de Tenda**.
- La **eficiencia** del aspersor, es la relación entre el alcance en metros, y la presión en la boquilla en metros de columna de agua. Debe estar por debajo del valor de 0,7 para gotas finas, según el **índice de Poggi**.

6.6. Características de los aspersores

Aspersor circular

- Características generales: Aspersor circular de impacto agrícola de medio caudal y media presión, con conexión macho o hembra de 3/4”, fabricado en latón y con dos boquillas.
- Caudal emitido por el aspersor: 1790 L/h
- Presión nominal: 3,5 kg/cm²
- Boquilla principal: De latón, con un ángulo de trayectoria de 26° y un diámetro de 11/64” (4,36 mm).
- Boquilla secundaria: De latón, con ranura deflectora vertical, con un ángulo de trayectoria de 26° y un diámetro de 3/32” (2,38 mm).
- Alcance: 15 m
- Altura máxima del chorro: 2,4m
- Velocidad de rotación: 0,88 min/rev
- Coeficiente de uniformidad: 18X18T: 91%
- Grado de pulverización (Índice de Tenda): $K = 4,36 \text{ mm} / 35 \text{ mca} = 0,1246$
- Eficiencia del aspersor (Índice de Poggi): $15,7 \text{ m} / 35 \text{ mca} = 0,4486$
- Densidad de aspersión: $i = 1790 \text{ L/h} / 324 \text{ m}^2 = 5,52 \text{ mm /h}$



Aspersor sectorial

- Características generales: Aspersor sectorial de impacto agrícola de medio caudal y media presión, con conexión macho o hembra de 3/4”, fabricado en latón y con dos boquillas.
- Caudal emitido por el aspersor: 1790 L/h
- Presión nominal: 3,5 kg/cm²
- Boquilla principal: De latón, con un ángulo de trayectoria de 26° y un diámetro de 11/64” (4,36 mm).
- Boquilla secundaria: De latón, con ranura deflectora vertical, con un ángulo de trayectoria de 26° y un diámetro de 3/32” (2,38 mm).
- Alcance: 15,5 m
- Altura máxima del chorro: 2,4m
- Velocidad de rotación: 0,73 min/rev
- Coeficiente de uniformidad: 18X18T: 92%
- Grado de pulverización (Índice de Tenda): $K = 4,36 \text{ mm} / 35 \text{ mca} = 0,1246$
- Eficiencia del aspersor (Índice de Poggi): $15,7 \text{ m} / 35 \text{ mca} = 0,4486$
- Densidad de aspersión: $i = 1790 \text{ L/h} / 324 \text{ m}^2 = 5,52 \text{ mm /h}$



Porta-aspersores

- Los porta-aspersores circulares tendrán una altura máxima de 2,4 m.
- Los porta-aspersores sectoriales tendrán una altura máxima de 2,4 m y estarán dotados de un deflector, que consiste en una chapa atornillada en la cabeza del porta-aspersor para evitar que vaya el agua a carreteras o caminos.
- Se dotarán de válvulas de bola o grifos a aquellos porta-aspersores que lo necesiten para cortar el caudal y realizar las reparaciones u operaciones que sean oportunas.
- Los porta-aspersores serán de acero galvanizado con conexión macho o hembra de 3/4".

7. Cálculo agronómico

Se van a calcular las necesidades de agua para el sistema de riego por aspersión y para todo el período vegetativo de los cultivos seleccionados en el Anejo 5.

Las precipitaciones son parte del agua necesaria para cubrir las necesidades de los cultivos, pero como ya se ha justificado en el Anejo 6, tratándose de una zona con clima semiárido, éstas no son suficientes. Por lo tanto es necesario un aporte de agua mediante riego, el cual se diseñará y dimensionará a partir de los datos obtenidos en este anexo.

Para conocer la cantidad de agua que hay que aportar, es necesario conocer las necesidades que tienen cada uno de los cultivos seleccionados para poder llevar a cabo su óptimo desarrollo, y la cantidad de agua que puede aportar la lluvia durante el período de crecimiento.

La diferencia entre las necesidades del cultivo y la cantidad de agua aportada por la lluvia, calculada en el Anejo 2, supone la cantidad de agua que ha de ser cubierta por el riego.

Una vez se obtengan las necesidades reales de riego, se procederá al dimensionado de la instalación del riego por aspersión con cobertura total enterrada, es decir al cálculo de: la dosis de riego, el intervalo entre riegos, el periodo de riego, el número de riegos por mes, la duración del riego, el caudal a la entrada de las coberturas y el número de módulos de riego, de aspersores totales y de máximo de aspersores por módulo.

7.1. Necesidades de agua de riego

Necesidades netas

A partir de los datos de precipitaciones medias mensuales y evapotranspiraciones de cultivo mensuales, obtenidas en el *Anejo 2*, y aplicando las fórmulas descritas en el *Anejo 7*, para el cálculo de la precipitación efectiva mensual y las necesidades netas mensuales, se obtienen los siguientes resultados, para cada uno de los cultivos seleccionados:

CEBADA				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
DIC	21,69	13,75	30,78	17,04
ENE	17,64	11,19	34,40	23,21
FEB	16,74	11,21	60,64	49,42
MAR	31,74	23,70	108,79	85,08
ABR	54,68	41,53	134,94	93,41
MAY	37,58	29,71	139,04	109,34
JUN	26,03	17,33	53,57	36,24
	206,10	148,42	562,15	413,73

GUISANTE VERDE				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
ENE	17,64	11,01	27,03	16,02
FEB	16,74	10,90	47,76	36,86
MAR	31,74	23,56	106,00	82,44
ABR	54,68	41,42	133,78	92,36
MAY	37,58	26,67	89,99	63,32
	158,38	113,56	404,56	290,99

TRIGO				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
NOV	27,31	17,56	38,24	20,68
DIC	21,69	13,67	28,39	14,71
ENE	17,64	11,16	33,09	21,93
FEB	16,74	11,21	60,64	49,42
MAR	31,74	23,70	108,79	85,08
ABR	54,68	41,53	134,94	93,41
MAY	37,58	30,35	148,75	118,40
JUN	26,03	18,24	76,73	58,50
	233,41	167,42	629,55	462,13

GIRASOL				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
ABR	54,68	33,58	38,26	4,68
MAY	37,58	24,43	50,12	25,69
JUN	26,03	20,81	136,74	115,93
JUL	16,20	15,94	236,68	220,74
AGO	20,91	18,73	188,40	169,67
SEP	43,97	28,68	56,78	28,11
	199,37	142,17	706,99	564,82

ALFALFA				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
ENE	17,64	11,13	31,99	20,86
FEB	16,74	10,41	26,85	16,44
MAR	31,74	19,82	27,46	7,64
ABR	54,68	37,81	92,26	54,45
MAY	37,58	31,00	158,45	127,44
JUN	26,03	22,34	169,03	146,69
JUL	16,20	13,98	177,00	163,02
AGO	20,91	17,21	150,02	132,80
SEP	43,97	31,77	103,37	71,60
OCT	45,47	28,38	38,13	9,74
NOV	27,31	17,42	34,48	17,07
DIC	21,69	13,75	30,97	17,22
	359,96	255,03	1040,00	784,97

RAY-GRASS				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
AGO	20,91	13,10	25,80	12,70
SEP	43,97	30,65	87,05	56,40
OCT	45,47	31,25	81,82	50,58
NOV	27,31	17,74	42,88	25,14
DIC	21,69	13,66	27,79	14,13
ENE	17,64	11,18	34,07	22,89
FEB	16,74	11,09	55,81	44,71
MAR	31,74	23,08	96,70	73,62
ABR	54,68	38,20	96,88	58,68
MAY	37,58	29,29	132,58	103,29
JUN	26,03	21,34	148,14	126,80
	343,76	240,57	829,51	588,94

MAÍZ				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
ABR	54,68	33,32	34,80	1,48
MAY	37,58	23,75	37,19	13,44
JUN	26,03	20,98	140,54	119,56
JUL	16,20	16,31	246,97	230,66
AGO	20,91	19,46	205,84	186,38
SEP	43,97	31,23	95,63	64,39
OCT	45,47	28,30	36,85	8,54
	244,84	173,36	797,82	624,46

GUISANTE + MAÍZ				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
ENE	17,64	11,01	27,03	16,02
FEB	16,74	10,90	47,76	36,86
MAR	31,74	23,56	106,00	82,44
ABR	54,68	41,42	133,78	92,36
MAY	37,58	26,67	89,99	63,32
JUN	26,03	16,88	41,49	24,62
JUL	16,20	13,48	160,53	147,05
AGO	20,91	19,61	209,33	189,72
SEP	43,97	33,86	132,41	98,54
OCT	45,47	29,04	48,46	19,42
	310,96	226,44	996,78	770,34

CEBADA + MAÍZ				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
DIC	21,69	13,75	30,78	17,04
ENE	17,64	11,19	34,40	23,21
FEB	16,74	11,21	60,64	49,42
MAR	31,74	23,70	108,79	85,08
ABR	54,68	41,53	134,94	93,41
MAY	37,58	29,71	139,04	109,34
JUN	26,03	17,24	51,28	34,04
JUL	16,20	12,32	119,37	107,05
AGO	20,91	19,54	207,58	188,05
SEP	43,97	33,59	128,73	95,14
OCT	45,47	28,92	46,59	17,67
	332,65	242,70	1062,13	819,44

Necesidades reales

Para el cálculo de las necesidades reales de los cultivos se tienen en cuenta las necesidades netas (Nn), la eficiencia de aplicación del sistema de riego a emplear (Ea), y las necesidades de lavado de sales (F_L).

En este caso, se ha considerado una **eficiencia de aplicación del 68%**, valor determinado por Andrés, R. (2011).

La **fracción de lavado (F_L)**, para riego por aspersión de baja frecuencia, se calcula a partir de la fórmula descrita en el *Anejo 7*.

Se obtienen, los siguientes valores de fracción de lavado de sales:

CULTIVO	CE _W	CE _e	F _L
MAÍZ	0,308	1,7	0,038
ALFALFA	0,308	2,0	0,032
CEBADA	0,308	8,0	0,008
TRIGO	0,308	6,0	0,010
GUISANTE VERDE	0,308	1,5	0,043
GIRASOL	0,308	1,7	0,038
RAY-GRASS	0,308	5,6	0,011

Así pues, las **necesidades reales** pueden calcularse mediante la expresión descrita en el *Anejo 7*.

CEBADA		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
DIC	17,04	25,25
ENE	23,21	34,40
FEB	49,42	73,25
MAR	85,08	126,10
ABR	93,41	138,44
MAY	109,34	162,05
JUN	36,24	53,71
	413,73	613,19

GUISANTE VERDE		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
ENE	16,02	24,61
FEB	36,86	56,63
MAR	82,44	126,66
ABR	92,36	141,90
MAY	63,32	97,28
	290,99	447,08

TRIGO		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
NOV	20,68	30,73
DIC	14,71	21,86
ENE	21,93	32,59
FEB	49,42	73,44
MAR	85,08	126,44
ABR	93,41	138,80
MAY	118,40	175,94
JUN	58,50	86,92
	462,13	686,72

GIRASOL		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
ABR	4,68	7,16
MAY	25,69	39,25
JUN	115,93	177,15
JUL	220,74	337,30
AGO	169,67	259,26
SEP	28,11	42,95
	564,82	863,07

ALFALFA		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
ENE	20,86	31,68
FEB	16,44	24,97
MAR	7,64	11,60
ABR	54,45	82,71
MAY	127,44	193,57
JUN	146,69	222,80
JUL	163,02	247,60
AGO	132,80	201,71
SEP	71,60	108,75
OCT	9,74	14,80
NOV	17,07	25,92
DIC	17,22	26,15
	784,97	1192,26

RAY-GRASS		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
AGO	12,70	18,89
SEP	56,40	83,87
OCT	50,58	75,21
NOV	25,14	37,39
DIC	14,13	21,02
ENE	22,89	34,04
FEB	44,71	66,49
MAR	73,62	109,48
ABR	58,68	87,27
MAY	103,29	153,60
JUN	126,80	188,57
	588,94	875,83

MAÍZ		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
ABR	1,48	2,26
MAY	13,44	20,54
JUN	119,56	182,69
JUL	230,66	352,46
AGO	186,38	284,79
SEP	64,39	98,40
OCT	8,54	13,06
	624,46	954,20

GUISANTE + MAÍZ		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
ENE	16,02	24,61
FEB	36,86	56,63
MAR	82,44	126,66
ABR	92,36	141,90
MAY	63,32	97,28
JUN	24,62	37,61
JUL	147,05	224,69
AGO	189,72	289,89
SEP	98,54	150,58
OCT	19,42	29,68
	770,34	1179,54

CEBADA + MAÍZ		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
DIC	17,04	25,25
ENE	23,21	34,40
FEB	49,42	73,25
MAR	85,08	126,10
ABR	93,41	138,44
MAY	109,34	162,05
JUN	34,04	50,44
JUL	107,05	163,58
AGO	188,05	287,34
SEP	95,14	145,37
OCT	17,67	27,00
	819,44	1233,22

7.2. Dimensionado del riego por aspersión

En este apartado se va a dimensionar el riego por aspersión con cobertura total enterrada que se desea instalar en la parcela de estudio.

A la hora de calcular el caudal a la entrada de la cobertura, te tendrá en cuenta tan solo el cultivo más exigente en el mes de máximas necesidades, con el objetivo de dimensionar el riego de tal forma que se pueda regar sin problemas en el mes más desfavorable de todos, o lo que es lo mismo, en el mes de máximas necesidades hídricas. En este caso, el **cultivo más exigente** es el **maíz**, con una **ET_C** de **246,97 mm** en el mes de julio y una profundidad radicular media de aproximadamente 60 cm.

Dosis máxima de riego

La **dosis máxima** es el volumen de agua de riego por unidad de superficie y riego que es necesaria para elevar el contenido de humedad del suelo desde el punto de marchitez permanente (PMP) hasta la capacidad de campo (CC).

Aplicando la expresión descrita en el *Anejo 7*, y sustituyendo los datos por los valores de CC, PMP y D_a calculados en el Anejo 3, y la profundidad efectiva de las raíces por los valores dados por FAO-56, se obtiene la siguiente tabla para los diferentes cultivos seleccionados;

CULTIVO	h (m)	CC (%)	PMP (%)	D _a (Tm/m ³)	D _m (m ³ /Ha·riego)	D _m (mm/riego)
CEBADA	0,90	21,52	11,59	1,53	1367,36	136,74
TRIGO	0,80	21,52	11,59	1,53	1215,43	121,54
GUISANTE VERDE	0,40	21,52	11,59	1,53	607,72	60,77
GIRASOL	0,90	21,52	11,59	1,53	1367,36	136,74
ALFALFA	1,20	21,52	11,59	1,53	1823,15	182,31
RAY-GRASS	0,60	21,52	11,59	1,53	911,57	91,16
MAÍZ	0,60	21,52	11,59	1,53	911,57	91,16

Dosis útil de riego

Es la efectividad con la que la planta extrae agua del suelo y depende del contenido en humedad del mismo. A efectos de cálculo, la **dosis útil** se calcula a partir de la expresión descrita en el *Anejo 7*, donde a la dosis máxima se le multiplica un factor reductor, para evitar agotar toda la capacidad de agua del suelo y asegurarse así de no llegar al punto de marchitez permanente.

Aplicando dicha expresión, y sustituyendo los datos por los valores de dosis máxima de riego y **factor de reducción**, que toma el **valor de 0,2** para sistemas fijos, se obtiene la siguiente tabla para los diferentes cultivos seleccionados:

CULTIVO	D _m (m ³ /Ha· riego)	a	D _u (m ³ /Ha· riego)	D _u (mm/riego)
CEBADA	1367,36	0,2	273,47	27,35
TRIGO	1215,43	0,2	243,09	24,31
GUISANTE VERDE	607,72	0,2	121,54	12,15
GIRASOL	1367,36	0,2	273,47	27,35
ALFALFA	1823,15	0,2	364,63	36,46
RAY-GRASS	911,57	0,2	182,31	18,23
MAÍZ	911,57	0,2	182,31	18,23

Dosis real de riego

El agua aplicada en el riego no es aprovechada en su totalidad, ya que existen pérdidas por evaporación, percolación y escorrentía. En el caso del riego por aspersión solo hay pérdidas de evaporación y mínimas de percolación, las pérdidas por escorrentía se consideran nulas. Así pues, para compensar dichas pérdidas y dejar disponible la dosis útil en la zona radicular de la planta, es necesario aplicar una dosis de riego superior a la dosis útil, la **dosis real de riego**.

La dosis real de riego, que supone el volumen de agua por unidad de superficie y riego que se aplica desde los emisores sobre la superficie cultivada, se calcula mediante la expresión descrita en el *Anejo 7*.

Aplicando dicha expresión, y sustituyendo los datos por los valores de dosis útil de riego y eficiencia de aplicación, considerada en este estudio del 68%, se obtiene la siguiente tabla para los diferentes cultivos seleccionados:

CULTIVO	D _u (m ³ /Ha·riego)	Ea	D _r (m ³ /Ha·riego)	D _r (mm/riego)
CEBADA	273,47	0,68	402,17	40,22
TRIGO	243,09	0,68	357,48	35,75
GUISANTE VERDE	121,54	0,68	178,74	17,87
GIRASOL	273,47	0,68	402,17	40,22
ALFALFA	364,63	0,68	536,22	53,62
RAY-GRASS	182,31	0,68	268,11	26,81
MAÍZ	182,31	0,68	268,11	26,81

Cálculo del riego

Para obtener las necesidades diarias de los cultivos, se tomaran las mayores necesidades mensuales de éstos, es decir su ET_C, en los meses más críticos y se dividirán por el número de días de dichos meses.

Las necesidades netas diarias de cada cultivo para el mes más crítico se expresan en la siguiente tabla:

CULTIVO	Mes crítico	Necesidades mensuales (mm/mes)	Días del mes crítico	Necesidades diarias (mm/día)
CEBADA	MAYO	139,04	31	4,49
TRIGO	MAYO	148,75	31	4,80
GUISANTE VERDE	ABRIL	133,78	30	4,46
GIRASOL	JULIO	236,68	31	7,63
ALFALFA	JULIO	177,00	31	5,71
RAY-GRASS	JUNIO	148,14	30	4,94
MAÍZ	JULIO	246,97	31	7,97
MAÍZ 2 ^a cosecha tras guisante	AGOSTO	209,33	31	6,75
MAÍZ 2 ^a cosecha tras cebada	AGOSTO	207,58	31	6,70

Espaciamiento entre riegos o periodo de riego

El **espaciamiento entre riegos o periodo de riego** se define como el tiempo que ha de transcurrir entre dos riegos consecutivos en una misma parcela.

El periodo de riego se define con la letra “T”, se mide en días y resulta del cociente entre la dosis útil y las necesidades netas, según se muestra en la fórmula descrita en el *Anejo 7*.

Aplicando dicha expresión, y sustituyendo los datos por los valores de dosis útil de riego y necesidades netas diarias de los cultivos en los meses críticos, se obtiene la siguiente tabla:

CULTIVO	D _u (mm/mes)	Necesidades diarias (mm/día)	T (días)
CEBADA	27,35	4,49	6
TRIGO	24,31	4,80	5
GUISANTE VERDE	12,15	4,46	3
GIRASOL	27,35	7,63	4
ALFALFA	36,46	5,71	6
RAY-GRASS	18,23	4,94	4
MAÍZ	18,23	7,97	2
MAÍZ 2 ^a cosecha tras guisante	18,23	6,75	3
MAÍZ 2 ^a cosecha tras cebada	18,23	6,70	3

Número de riegos por mes

El **número de riegos por mes**, “n”, es el cociente entre los días del mes de máximas necesidades y el espaciamiento entre riegos. Se calcula a partir de la expresión descrita en el *Anejo 7*.

Aplicando dicha expresión, se obtienen los siguientes valores:

CULTIVO	N (días)	T (días)	n (riegos/mes)
CEBADA	31	6	5
TRIGO	31	5	6
GUISANTE VERDE	30	3	11
GIRASOL	31	4	9
ALFALFA	31	6	5
RAY-GRASS	30	4	8
MAÍZ	31	2	14
MAÍZ 2ª cosecha tras guisante	31	3	11
MAÍZ 2ª cosecha tras cebada	31	3	11

Densidad de aspersión o intensidad de aspersión

La **densidad de aspersión**, también llamada **intensidad de aspersión o lluvia “i”**, se define como la cantidad de agua (caudal) aportada por un aspersor por unidad de superficie y hora.

La intensidad de aspersión (*i*) no va referida a la superficie mojada, si no a una superficie regada (S_a) por un aspersor con un determinado caudal nominal (*q*).

La densidad de aspersión se calcula a partir de la fórmula descrita en el *Anejo 7*.

Se opta por un marco de plantación de los aspersores de 18 x 18T, por lo que se obtiene, según la fórmula descrita en el *Anejo 7*, una **superficie regada** del aspersor de **324 m²**.

El **caudal del aspersor**, descrito en el anexo 6, es de **1790 L/h**.

Aplicando la primera fórmula descrita, y sustituyendo los datos por los valores de $S_a = 324\text{m}^2$ y $q = 1800 \text{ L/h}$, se obtiene una **densidad de aspersión de 5,52 mm/h**.

Todos los sistemas de riego deben tener una densidad de aspersión comprendida entre 5 y 7 mm/h. Además esta debe ser menor que la permeabilidad máxima del suelo o velocidad de infiltración, para evitar escorrentía.

En suelos franco-arenosos esta permeabilidad es de 10,9 mm/h, por lo que el resultado obtenido ($i = 5,52 \text{ m/h} < V_{\text{Infiltración}} = 10,9 \text{ mm/h}$) se encuentra dentro de los valores recomendados.

Duración del riego

La **duración del riego** puede definirse como el tiempo que debe estar en funcionamiento un aspersor para aportar al suelo la dosis real de riego.

El cálculo de la duración del riego (T_r) se hace mediante la fórmula descrita en el *Anejo 7*.

Aplicando dicha fórmula, y sustituyendo los datos por los valores de dosis real de riego y densidad de aspersión (5,52 mm/h), se obtiene la siguiente tabla para los diferentes cultivos seleccionados:

CULTIVO	D_r (mm/riego)	i (mm/h)	T_r (horas/riego)	T_r (tiempo /riego)
CEBADA	40,22	5,52	7,29	7 h y 17 min
TRIGO	35,75	5,52	6,48	6 h y 29 min
GUISANTE VERDE	17,87	5,52	3,24	3 h y 14 min
GIRASOL	40,22	5,52	7,29	7 h y 17 min
ALFALFA	53,62	5,52	9,71	9 h y 43 min
RAY-GRASS	26,81	5,52	4,86	4 h y 52 min
MAÍZ	26,81	5,52	4,86	4 h y 52 min
MAÍZ 2ª cosecha tras guisante	26,81	5,52	4,86	4 h y 52 min
MAÍZ 2ª cosecha tras cebada	26,81	5,52	4,86	4 h y 52 min

Estos valores de duración obtenidos son orientativos, ya que todos los datos son teóricos, incluida la densidad de aspersión calculada, que no coincide con la del propio aspersor elegido para la puesta en riego, que viene dada por el fabricante.

Caudal a la entrada de la cobertura

El **caudal ficticio continuo** representa las necesidades reales de riego calculadas mes a mes (para todo el periodo de riegos) y expresadas en forma de caudal continuo, es decir, en litro/segundo y hectárea.

En particular, al caudal ficticio continuo del mes de máximas necesidades o mes crítico del cultivo más exigente se le llama **caudal característico** y se calcula mediante la fórmula descrita en el *Anejo 7*.

En este caso, el cultivo más exigente es el maíz, con una ET_C de 246,97 mm y unas necesidades netas de 230,66 mm/mes en el mes de julio.

Aplicando dicha fórmula, y sustituyendo los datos por los valores de necesidades netas del maíz en el mes de julio (230,66 mm/mes), eficiencia de aplicación (0,68) y número de días del mes crítico (31 días); se obtiene un **caudal característico de 1,27 L/s·Ha**.

Este caudal ficticio calculado no se aplica realmente a través del sistema de riego, ya que considera que la instalación riega de forma continua durante todo el mes crítico, es decir supone hábiles todos los días del mes.

Al se considerar 3 días hábiles de riego por cada 4 días del mes, el valor del caudal ficticio continuo debe aumentarse un 25%, por lo que éste es, realmente, de **1,59 L/s·Ha**.

El **caudal continuo en la parcela**, directamente relacionado con el caudal en toma, se obtiene multiplicando el caudal característico por la superficie de la parcela, mediante la fórmula descrita en el *Anejo 7*.

Sustituyendo los datos por los valores de $q_c = 1,59 \text{ L/s·Ha}$ y $S = 19,17 \text{ Ha}$, se obtiene un **caudal continuo para la parcela de estudio de 30,48 L/s**.

7.3. Organización del riego

- El **cultivo más exigente**, es decir el que tiene mayores necesidades hídricas, es el **maíz**, con una ET_C de 246,97 mm/mes en el mes de julio.
- El **periodo de tiempo crítico**, es decir con mayores necesidades hídricas, es **julio**, con unas **necesidades netas de $N_n = 230,66 \text{ mm/mes}$** para el maíz.
- El **número de riegos teóricos** aportar en dicho mes es de **n = 14 riegos**.

- La **dosis real de riego** es de $D_r = 26,81 \text{ mm/riego}$.
- La **duración del riego** es de $T_r = 4,86 \text{ h/ riego} = 4 \text{ horas y } 52 \text{ min}$.
- La **densidad de aspersión** es de $i = 5,52 \text{ mm/h}$ tanto para los aspersores circulares como para los aspersores sectoriales.
- El **Caudal continuo para la parcela de estudio** es de $Q_c = 30,48 \text{ L/s}$.

El riego se organiza a la demanda, se comienza a regar primeramente por el módulo de riego más lejano, y una vez éste ha finalizado se comienza a regar el siguiente, y así sucesivamente hasta el último.

Por tanto, según los cálculos teóricos y conociendo que la duración del riego para el maíz es de 4,86 horas, suponiendo que se riega todo el día, se pueden regar unos 4,94 sectores y teniendo en cuenta que el espaciamiento entre riegos es de 2 días, se obtiene un total de **10 módulos de riego** funcionando durante todo el mes crítico.

Número teórico de aspersores por módulo de riego

El sistema de riego a dimensionar debe poder permitir el funcionamiento individual de un módulo, y una vez acabado este módulo comenzará el siguiente módulo y así sucesivamente ya que se trata de un sistema de riego a la demanda.

A la hora de determinar el número máximo de aspersores por unidad de riego, se considerará como unidad de riego el conjunto de todos los aspersores abastecidos por una misma toma de riego. Para establecer dicho número de aspersores por unidad de riego o módulo se calculará de forma que se puedan regar todos los sectores cubriendo todas las necesidades de cada cultivo.

Así pues, para saber el número de aspersores por módulo se establece una división entre el caudal continuo necesario para toda la parcela de estudio ($Q_c = 30,48 \text{ L/s}$) y el caudal emitido por el aspersor, descrito en el *Anejo 6* ($1790 \text{ L/h} = 0,4972 \text{ L/s}$).

Por lo que el resultado son unos **62 aspersores por módulo de riego**.

El número de módulos y el número de aspersores por módulo es teórico, hace falta tener en cuenta la forma y geometría de la parcela, y también la división de los sectores de riego. El resultado real de número de módulos de riego y aspersores se obtiene a la hora de realizar los planos y figuran en el siguiente apartado, cálculo hidráulico.

8. Cálculo hidráulico de la red de riego

En el presente anexo se van a calcular las pérdidas de carga que existen en la red de riego y así como el dimensionamiento de la red. Para realizar estos cálculos utilizamos una hoja Excel que abarca todas las fórmulas a utilizar.

Primero calcularemos las pérdidas de carga en cada módulo de riego, dividiéndolo en sus correspondientes sectores (tuberías terciarias). Posteriormente calcularemos las tuberías secundarias que van desde los módulos hasta el hidrante o toma de riego.

Solo calcularemos el tramo con mayores pérdidas de carga (el último lateral de riego de cada módulo) y el resto de los tramos tendrán el mismo diámetro obtenido para el tramo crítico.

8.1. Distribución de caudales en la red de riego y número de módulos en la red de riego

El sistema de riego a dimensionar debe permitir el funcionamiento individual de un módulo, y una vez que ha acabado éste comience el siguiente módulo y así sucesivamente, ya que se trata de un riego con cobertura total a la demanda.

Para establecer el número de aspersores por unidad de riego se calculará de forma que se pueda regar todos los sectores cubriendo las necesidades de cada cultivo.

El cultivo que requiere unas mayores necesidades es el maíz, que según lo expuesto en el Anejo 7, tiene un intervalo entre riegos de 2 días, por lo que en teoría

habrá que regar la totalidad de la parcela en 2 días. Debido a la experiencia en otros proyectos con estos cultivos y en la zona en cuestión, se aconseja tomar como intervalo entre riegos 4 días, ya que se sabe que tiene buen funcionamiento y además no se sobredimensiona la red de riego.

Por lo tanto con un intervalo de riego de 4 días, los aspersores que tenemos por módulo de riego y sus caudales son los siguientes:

Módulos	Nº de aspersores totales	Caudal aspersor (L/h)	Caudal total en el módulo (L/s)
1	60	1790	29,83
2	64	1790	31,82
3	67	1790	33,31
4	66	1790	32,82
5	67	1790	33,31
6	66	1790	32,82
7	67	1790	33,31
8	66	1790	32,82
9	67	1790	33,31
10	77	1790	38,29

Se puede observar que el módulo que más caudal requiere es el módulo 10, el cual necesita en total **38,29 l/s**.

8.2. Elección de los materiales

Los materiales utilizados en la red de distribución son el polietileno (PE) de alta densidad, para los laterales de riego y el policloruro de vinilo (PVC) para las tuberías, tanto secundarias, terciarias y tubería primaria.

La elección de materiales plásticos como el polietileno y el policloruro de vinilo para la red de riego se justifican por sus características:

- El polietileno presenta la ventaja de ser flexible, con lo que puede amoldarse a las curvas sin perder sección útil.

- El funcionamiento hidráulico de estos plásticos presenta coeficientes de fricción bajos, reduciendo los diámetros de las tuberías.
- Presentan una gran facilidad de reparación ya que existe una gran cantidad de piezas especiales en el mercado que facilitan estas operaciones.
- Las tuberías plásticas permiten el montaje fuera de zanja, con lo que el coste del mismo es mínimo.

Diámetros comerciales

Los diámetros comerciales existentes de tubería de PVC y PE se hallan en las tablas: *Tabla.2* y *Tabla.3* del *Anejo 8*.

Timbraje de las tuberías

La presión máxima de la red para el correcto funcionamiento del sistema será de 45 m.c.a., mientras que la presión mínima será de unos 30 m.c.a. en la base de los aspersores.

Por lo tanto el timbrado que se adopta para todas las tuberías es de 6 atm (6 kg/cm²), es decir tuberías de presión nominal 0,6 MPa.

Con este timbrado se pretende proteger la red de las posibles sobrepresiones, generadas por la circulación del agua y el suelo que cubrirá las tuberías.

Uniones

En este caso se opta por la **unión mediante junta elástica**, para las tuberías de **PVC**, por su fácil montaje y buena estanqueidad.

Las **tuberías de PE** deberán ser unidas mediante soldadura por termofusión o por accesorios de ajuste mecánico. En caso de utilizar **accesorios o uniones con junta**

elástica sin resistencia axial, debido al alto coeficiente de dilatación de la tubería, deberá preverse que no pueda producirse desacople de la unión.

Sobrepresiones en la red de riego

La red de riego ha de aguantar las sobrepresiones generadas en el transcurso del agua, además de las presiones estáticas existentes. Las causas más importantes por las que se generan estas sobrepresiones son las siguientes:

- Cierre de válvulas de mariposa que aíslan los ramales.
- Cierre de un hidrante.
- Acumulación de aire en la red.
- Llenado de la red.

Las medidas de seguridad que se toman para evitar o reducir las posibles sobrepresiones son las siguientes:

- Para evitar la sobrepresión por el cierre rápido de las válvulas (golpe de ariete) se colocan válvulas de cierre lento.
- Para evitar las acumulaciones de aire en las conducciones se colocan ventosas en los puntos más altos de la conducción.
- Para evitar fuertes sobrepresiones en el llenado de la red, el caudal se limitará a 1/10 del caudal nominal.

8.3. Método de cálculo utilizado

En primer lugar se fija la velocidad del agua circulante por las tuberías en 2 m/s obteniendo de esta forma un diámetro de predimensionado mediante la **ecuación de continuidad**:

$$Q = A \cdot V = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4} \right) \cdot V$$

Siendo; Q = Caudal, D = Diámetro de la conducción y V = Velocidad del fluido.

Con este diámetro se elige el diámetro comercial de la tubería cuyo diámetro interior se ajuste al obtenido en el predimensionado.

A partir de aquí se calculan las pérdidas de carga por rozamiento continuo en la tubería.

Pérdidas de carga en la tubería por rozamiento continuo por Darcy-Weisbach

Para el **cálculo de las pérdidas de carga** en la tubería por rozamiento continuo se utiliza la fórmula general propuesta por **Darcy-Weisbach**, que responde a la siguiente expresión:

$$hr = J \cdot L = f \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Siendo; hr = Pérdidas de carga por rozamiento continuo (m.c.a), J = Pérdida de carga unitaria (m/m), L = Longitud de la conducción (m), f = Factor de fricción, V = Velocidad del fluido dentro de la tubería (m/s), D = Diámetro interior de la conducción (m) y g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

El **factor de fricción f** se ha calculado con la fórmula logarítmica de **Jain** para régimen turbulento en zona de transición:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{5,73}{Re^{0,9}} \right) + \frac{K}{(3,71 \cdot D)}$$

Siendo; Re = Número de Reynolds, K = Rugosidad absoluta de la conducción que depende del tipo de material de que se trate (mm) (Para el PE $K=0,002$ y para PVC $K= 0,02$ mm) y D = Diámetro de la conducción (mm).

Pérdidas de carga accidentales o singulares

Los elementos singulares dispuestos a lo largo de la red de distribución de agua provocan también una pérdida de carga en la conducción.

Esta pérdida se denomina **pérdida de carga singular (h_s)**, para su cálculo se ha mayorado la **pérdida de carga por rozamiento en un 20%** (se ha tomado este valor basándose en la experiencia de otros proyectos).

Cálculo de las pérdidas de carga en los laterales de riego y las tuberías terciarias

Los módulos pertenecen a un sistema fijo de cobertura total enterrada, su dimensionado debe hacerse siguiendo la **regla de Christiansen** a todo el conjunto de tuberías que funcionan simultáneamente. Esta regla establece que “*la variación máxima de caudal entre dos aspersores de una unidad de riego ha de ser menor o igual al 10% del caudal nominal del aspersor*”.

Esta regla llevada a la relación entre caudal y presión indica que la variación máxima de presión entre dos aspersores dentro de la misma unidad de riego no puede superar el 20% de la presión nominal del aspersor.

Estos módulos están constituidos por una tubería central, que es la **tubería terciaria de PVC**, con tramos telescópicos en función del caudal a transportar de distancias variables según el caso.

A ambos lados lleva laterales de riego de **PEBD Ø 32** en los cuales se colocan los porta-aspersores.

Para calcular las pérdidas de carga en cada módulo se ha seguido el siguiente procedimiento:

1. Se aplica la **regla de Christiansen** indicada anteriormente, así se determina la variación máxima de presión admisible en la unidad de riego.

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = 0,2 \cdot \frac{P_N}{\gamma} = 0,2 \cdot 30mca = 6mca$$

2. Se determinan las causas de la variación de presión en la unidad de riego. Las causas de la ΔP son las pérdidas de carga y la diferencia de cotas pero en este caso solo afecta a la variación de presión las pérdidas de carga.

De esta forma se determinan las pérdidas de carga admisibles:

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = (a \cdot h_r)_{UD}$$

En este caso se igualan las dos expresiones anteriores, y entonces la pérdida de carga total admisible en la unidad de riego es de:

$$(a \cdot h_r)_{UD} = 6mca$$

Tomando z positiva cuando la pendiente es ascendente y z negativa cuando la pendiente es descendente.

3. Se trasladan las pérdidas de carga admisibles en la unidad a las tuberías que forman los laterales de riego y la tubería terciaria.

$$(a \cdot hr)_{UD} = (a \cdot hr)_{TT} + (a \cdot hr)_{LR} = 6mca$$

A partir de esta fórmula y una vez conocidas las pérdidas de carga en los laterales de riego obtenemos las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria por rozamiento continuo.

Las pérdidas de carga en el lateral de riego vienen determinadas por el diámetro de la tubería de la instalación que es el PE Ø 32 con un **diámetro interior de 28 mm**. Estas pérdidas se calculan utilizando la **ecuación de continuidad** de donde se determina la **velocidad del agua**, calculando **el número de Reynolds**, y posteriormente se determina el **factor de fricción** mediante la **fórmula logarítmica de Jain**. Una vez conocido todo lo anterior se calculan **las pérdidas de carga** mediante la ecuación de **Darcy-Weisbach**.

4. Una vez determinadas las pérdidas de carga en el último lateral de riego y conocida la perdida de carga admisible en la unidad, se obtienen las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria.
5. Determinadas las pérdidas de carga máximas en la tubería terciaria y conociendo la longitud de cada módulo se calcula la pérdida de carga unitaria.
6. A partir de la perdida de carga unitaria, se procede al cálculo hidráulico de la tubería terciaria tramo a tramo.

Cálculo de las pérdidas de carga en los laterales de riego y en los porta-aspersores

Las **pérdidas de carga en los porta-aspersores** se calculan utilizando la **fórmula de Scobey**, que es la indicada en el caso de tuberías de acero y aluminio. De esta forma las pérdidas de carga que se presentan en un porta-aspensor son:

$$hr = 0,717 \cdot K \cdot L \cdot \left[\frac{Q^{1,9}}{D^{4,9}} \right] \quad [8]$$

Siendo; hr = Pérdida de carga (m.c.a), K = Coeficiente para acero = 0,42, D = Diámetro hidráulico (mm), Q = Caudal (L/h) y L = Longitud de la tubería (en el caso del porta- aspersor) (m).

Sustituyendo los valores correspondientes en la expresión anterior, con los datos que nos facilita el fabricante del aspersor elegido en el Anejo 6:

$$hr = 0,717 \cdot 0,42 \cdot 2,4 \cdot \left[\frac{1790^{1,9}}{19^{4,9}} \right] = 0,59 \text{ mca}$$

A este valor hay que sumarle la altura del porta-aspersor que es de 2,4 m por lo que las pérdidas de carga totales en los porta-aspersores es de **hr = 2,99 m.c.a.**

Para calcular los valores del cálculo de las pérdidas de carga en los últimos laterales de riego, las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria, así como el valor de la pendiente hidráulica se tiene en cuenta:

- Diámetro interior = 28 mm
- Sección transversal = 6,16E-04
- K para el PE = 0,002
- V agua (15 °C) = 1,14 E-06
- a = 1,2

Cálculo de las tuberías terciarias

Para el cálculo de las tuberías terciarias de cada módulo, se ha tenido en cuenta el cumplimiento de **la regla de Christiansen**, por lo que la máxima pérdida de carga admisible en la unidad de riego no debe ser mayor del 20% de la presión nominal del aspersor.

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = 0,2 \cdot \frac{P_N}{\gamma} = 0,2 \cdot 30 \text{ mca} = 6 \text{ mca}$$

Se determinan las causas de la variación de presión en la unidad de riego. Las causas de la ΔP son las pérdidas de carga y la diferencia de cotas, pero en este caso al tratarse de una parcela llana, solo afecta a la variación de presión las pérdidas de carga. De esta manera se determinan las pérdidas de carga admisibles en la unidad de riego.

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = (a \cdot hr)_{UD}$$

En este caso se igualan las dos expresiones anteriores, y entonces la pérdida de carga total admisible en la unidad de riego es de:

$$(a \cdot hr)_{UD} = 6mca$$

Se trasladan las pérdidas de carga admisibles en la unidad a las tuberías que forman los laterales de riego y la tubería terciaria.

$$(a \cdot hr)_{UD} = (a \cdot hr)_{TT} + (a \cdot hr)_{LR} = 6mca$$

A partir de esta fórmula y una vez conocidas las pérdidas de carga en los laterales de riego obtenemos las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria por rozamiento continuo.

$$(Hr \max)_{TT} = (a \cdot hr) / 1,2$$

La presión necesaria al comienzo de cada módulo se ha calculado sumando a la presión de funcionamiento de los aspersores (30 m.c.a.) las pérdidas de carga que se producen en el módulo (las del tramo más desfavorable), más las pérdidas de carga singular (piezas especiales), y las del porta-aspersor.

En el *anexo 8* se muestran las pérdidas de carga que se producen en cada módulo y submódulo, así como la presión necesaria en el origen de cada uno de ellos, que será la del submódulo que tenga mayores pérdidas de carga y esa será la presión necesaria en el origen de la unidad de riego.

Cálculo de las tuberías secundarias

El cálculo de las tuberías secundarias se realiza a partir del dato conocido de la presión necesaria en un módulo de riego por aspersión.

Las tuberías secundarias conducen el agua hasta la entrada de cada módulo de riego. En nuestro caso, solo hay un tramo de tubería secundaria, que alimenta a todos los módulos.

Una vez dimensionadas estas tuberías y conociendo sus pérdidas de carga, sumadas a la presión necesaria en la entrada para cada módulo se puede calcular la presión a la que debe funcionar la red. Además, para el correcto dimensionado se deben tener en cuenta los diversos elementos singulares tales como válvulas, filtros, codos, derivaciones, etc.

El dimensionado de estas tuberías se realiza utilizando la fórmula empírica de **Veronese**, que es la que se utiliza para el PVC.

Para ello se parte de la condición de que en la toma de riego debe haber una presión de 45 m.c.a. A partir de este dato, y conociendo la presión de los módulos (en este caso se toma la mayor) se conoce la pérdida de carga máxima para esa tubería secundaria.

Una vez conocida la pérdida de carga se establece la pérdida unitaria mínima que se puede presentar, y a partir de este dato se calcula el diámetro teórico (dependiente del caudal a transportar) de la tubería en cuestión. Una vez determinado este diámetro se ajusta al comercial. En este caso se adoptan tuberías de PVC PN 0,6 MPa.

El proceso seguido es el siguiente:

$$\text{Veronese} \rightarrow (hr/L) = J = 0,365 \cdot (Q^{1,8} / D^{4,8}) \rightarrow T_{\text{teórico}} = (0,365 \cdot (Q^{1,8} / J))^{1/4,8} \rightarrow C_{\text{comercial}}$$

Una vez conocidas las máximas pérdidas que pueden darse, se procede a la determinación de la pendiente hidráulica J. Los resultados pueden verse en la siguiente tabla:

A continuación adjuntamos las tablas utilizadas en el cálculo:

Tramo	L (m)	Ho (m)	Ho-Hi (m)	J (m/m)
1	654	39	9	0,013761468

Con los datos de la J de la tabla anterior se procede al dimensionado de las tuberías, cuyos resultados se pueden ver en la tabla siguiente:

Tramo	L (m)	Q (L/s)	J min (M/M)	D teórico (mm)	D COMERCIAL
1	654	38,29	0,013761468	167,4401631	180

8.4. Movimiento de tierras

La instalación de una red fija de tuberías en un riego por aspersión conlleva un movimiento de tierras. Los volúmenes de tierra a mover variaran en función de la tubería a colocar y de las longitudes de los tramos.

De este modo, los movimientos de tierra se calculan tramo a tramo para las tuberías colocadas en toda la parcela.

Para la colocación de las tuberías en el terreno se hace necesaria la excavación de una zanja y cuyas dimensiones varían en función del diámetro a colocar. Las dimensiones correspondientes son:

Diámetro exterior de la tubería (mm)	Anchura de la zanja (m)	Profundidad de la zanja (m)
$\emptyset \leq 200$	$\emptyset (m) + 0,6$	$\emptyset (m) + 0,9$
$\emptyset > 200$	$\emptyset (m) + 0,7$	$\emptyset + 0,9$

La sección tipo de la tubería se compone de una cama de arena de espesor $10 + \emptyset/10$ cm. Desde la generatriz inferior hasta 30 cm por encima de la generatriz superior, se rellenara con material seleccionado de tamaño menor de 2 cm. La parte superior se rellena con material procedente de la excavación.

Se calculan los volúmenes de tierra a mover para cada tipo de tubería. De la misma forma los laterales o ramales de riego que se componen en su totalidad por PEBD Ø32, ha sido inyectado por medio de una oruga subsolador, a una profundidad de 0,9 metros.

MÓDULO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL (m)
Metros de PEBD Ø 32 inyectados	666	756	756	756	756	756	756	756	756	792	7506

En la siguiente tabla se muestran los datos de los tipos de tubería empleados en las terciarías, así como el volumen de movimiento de tierras que han generado.

Tubería PVC	Longitud (m)	Anchura (m)	Profundidad (m)	Volumen (m^3)
Ø 50	360	0,650	0,950	222,300
Ø 63	360	0,663	0,963	229,849
Ø 75	378	0,675	0,975	248,771
Ø 90	1080	0,690	0,990	737,748
Ø 110	684	0,710	1,010	490,496
Ø 125	180	0,725	1,025	133,763
Ø 140	36	0,740	1,040	27,706

En la siguiente tabla se muestran los datos del tipo de tubería empleada en las secundarias, así como el volumen de movimiento de tierras que han generado.

Tubería PVC	Longitud (m)	Anchura (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
180	654	0,780	1,080	550,930

En la siguiente tabla se muestran los datos del tipo de tubería empleada en la primaria, así como el volumen de movimiento de tierras que han generado.

Tubería PVC	Longitud (m)	Anchura (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
180	1181	0,780	1,080	994,874

En resumen, los **metros totales de PEBD Ø32 inyectados** en la totalidad de la parcela son **7506 m**, y los **metros cúbicos que se han excavado de zanja** en toda la parcela son **1545,8 m³**

9. Elementos singulares de la red de riego

Los elementos singulares que se disponen a lo largo de la red de riego tienen la misión de control y regulación de los caudales circulantes así como el control y mantenimiento de la presión en la red de riego, el filtrado del agua y la evacuación de aire.

9.1. Válvulas

Válvulas hidráulicas

Una de las principales funciones va a ser poder abrir y cerrar el paso del agua a un módulo de riego determinado, para lo cual se ha de instalar una válvula hidráulica en cada conexión de cada módulo con la tubería secundaria.

La descripción de ésta se encuentra en el *Anejo 9*.

La elección de las válvulas hidráulicas se basa exclusivamente en el caudal que debe circular por ellas con independencia del diámetro nominal de la conducción. Por ello la elección se realizará en función del diagrama de flujo suministrado por el fabricante.

Estas válvulas se encuentran en una amplia gama, diferenciándose en una serie de características. En la *Tabla.1* del *Anejo 9* se presentan a modo de ejemplo las características técnicas que tienen las válvulas hidráulicas de diámetros interiores: 4", 6" y 10".

Se han elegido 10 válvula de "4", una para cada módulo de riego, porque, según el cálculo del *Anejo 8*, el **módulo que mayor caudal necesita es el 10 con 140,04 m³/h y el que menos caudal necesita es el módulo 1 con 107,38 m³/h**.

Válvulas de esfera

Como su nombre indica, en estas válvulas el elemento de cierre es una esfera en la cual se ha practicado un taladro cilíndrico horizontal que materializará la capacidad de paso de la misma.

La descripción de ésta se encuentra en el *Anejo 9*.

Válvulas de ventosa

Son válvulas de protección que se disponen en las tuberías a presión para evacuar o incorporar aire a las mismas.

El tipo de válvula ventosa elegido es la **válvula de doble efecto o trifuncional**. Este tipo de válvula es capaz de realizar hasta tres funciones: expulsar aire contenido en la conducción, administrar aire durante el vaciado de la conducción y expulsar pequeñas cantidades de aire que se acumulan en la conducción al ser liberadas por el agua.

La descripción de ésta se encuentra en el *Anejo 9*.

Para la elección del diámetro de la ventosa se tiene en cuenta el diámetro de la tubería, el caudal trasegado por la misma, la presión de funcionamiento y la función a realizar. Relacionando el diámetro de la tubería con el diámetro de la ventosa se tiene la *Tabla.2 del Anejo 9.*

Para la localización de la ventosa se han tenido en cuenta los criterios expuestos en el *Anejo 9.*

Para la correcta instalación de las válvulas ventosa se recomienda la colocación de una válvula manual de bola antes de la misma para poder desmontar la ventosa en caso de reparación o comprobación, sin afectar al funcionamiento de la instalación.

Válvulas de mariposa

En las válvulas de mariposa el elemento de cierre es un disco que gira hasta 90° alrededor de un eje coincidente con su diámetro vertical el cual acciona la palanca. La válvula está abierta cuando el plano del disco contiene al eje de la tubería y está cerrada cuando dicho plano es perpendicular al eje del tubo.

Se han colocado válvulas de mariposa, todas las necesarias para dejar aislado entramo de la red de distribución con objeto de aislar los ramales de la red para así poder regar en caso de avería.

Las válvulas de mariposa se colocarán del mismo diámetro al que corresponda la tubería en las cuales se han de colocar. Las válvulas van alojadas en arquetas prefabricadas de hormigón.

Tomas de riego

La conexión de la red general con el sistema de riego utilizado en la parcela se realiza mediante tomas de riego o hidrantes.

La toma de riego tipo que abastece a la parcela está constituida por cinco partes básicas:

- Arqueta, normalmente rectangular, constituida con un prefabricado de hormigón y con una tapa de metal para evitar manipulaciones inadecuadas y que el agua de lluvia o riego estropee el conjunto de elementos que van alojados que su interior.
- Filtro de malla autolimpiable.
- Cuello de cisne: tramo curvo de tubería de acero que va desde la red hasta la válvula de mariposa.
- Válvula de mariposa.
- Válvula hidráulica, la cual consta de:
 - Regulador mecánico de presión.
 - Limitador mecánico de caudal.
 - Controlador o caudalímetro incorporado.

El diámetro de la válvula elegida para la toma es:

Toma de 40 L/s a 144 m³/h → válvula de 4"

9.2. Filtros

Los filtros son necesarios para evitar la obturación de los aspersores lo cual es muy frecuente este problema en los riegos por aspersión. Para su prevención se colocan los correspondientes elementos de filtrado en los cuales se quedan las partículas retenidas.

Se ha elegido el **filtro de malla autolimpiable**, que realizan un tamizado superficial del agua, reteniendo las partículas mayores que los orificios de la malla y evitándose así la obturación de las boquillas, y será instalado en la toma de riego para la fertilización.

Este tipo de filtro presenta las siguientes características:

- No necesitan energía externa para su funcionamiento.
- La limpieza se efectúa de forma automática mediante un comandamiento de un presostato diferencial.
- Control del tiempo de autolavado, evitando ciclos innecesarios.
- No se interrumpe el proceso de filtración durante el autolavado.
- Las pérdidas de carga dependerán del grado de impurezas del agua a filtrar.
En este caso como el agua de riego procede del pantano del Grado, es relativamente buena en cuanto a impurezas, por lo que podemos instalar este tipo de filtrado sin ningún problema.

Para la elección del filtro, se optará por uno de 3" de cartucho extraíble cuyas características técnicas y materiales constructivos se explican en el *Anejo 9*, y se colocará en la toma de riego para la fertilización.

Su modo de filtración es de adentro hacia afuera. Cada filtro está provisto en su tapa de una toma de hilo para conectar una válvula que permita el lavado a chorro.

La limpieza de estos filtros es automática por medio de presostatos diferenciales, que conectados entre la entrada y salida del filtro.

Proceso de filtración:

El agua fluye a través de la malla de tamiz cuya función es separar los sólidos de mayor tamaño y a continuación pasa a través de una malla fina que es la que define realmente el grado de filtración.

El nivel de suciedad en el filtro viene controlado por un preostato diferencial conectado entre la entrada y la salida del filtro. Cuando la diferencia de presión excede de los 3 mca, se activa el mecanismo de autolavado.

9.3. Codos

Los codos son piezas especiales destinadas a conseguir las alineaciones de la tubería deseadas. Dependiendo de la curva que describa la tubería se colocarán codos de 45 o 90º.

9.4. Reducciones

Los cambios de sección de la tubería a lo largo de la red se consiguen mediante la colocación de piezas tronco-cónicas que sirven de conexión entre las tuberías de distinto diámetro.

La relación entre la longitud de la pieza y la diferencia entre los diámetros de las tuberías tiene que ser lo mayor posible para reducir las pérdidas de carga singulares en estos elementos.

9.5. Piezas de derivación

La división de la vena líquida circulante por la tubería se consigue mediante la colocación de piezas “T” e “Y” y cruces. Dependiendo del diámetro y la posición pueden necesitar anclajes especiales.

Las piezas en “T”, “Y” y cruces utilizadas en la red de riego son del mismo material que las tuberías en las que van colocadas.

9.6. Anclajes

En determinados puntos de la red como son los cambios de sección, cambios de dirección, derivaciones en té y tapones terminales se producen empujes en la tubería debido a la presión hidrostática. Para evitar el desplazamiento de la tubería en estos puntos, se han colocado macizos de hormigón que sirven de anclaje a la conducción.

Para el diseño de los anclajes según su finalidad se ha seguido la norma NTE relacionada con las instalaciones de abastecimiento. La fuerza de reacción del agua es la que debe calcularse para establecer las dimensiones de los macizos de hormigón que impidan los desplazamientos de la tubería. Los macizos son de hormigón HA-250 armado con acero B-500S.

Los puntos de la red en los que se prevén desplazamientos de la tubería son:

- Codos y reducciones
- Llaves de paso
- Piezas especiales en T

En la norma relativa a los anclajes para las tuberías se describen las dimensiones de los mismos para diámetros de la tubería ≤ 400 mm. Para el resto de los diámetros, en este caso 500, 560 y 600 se utiliza la fórmula siguiente para el cálculo del empuje:

$$F = K \cdot P \cdot S$$

Siendo; F = Empuje (Kp), K = Coeficiente según la dirección, P = Presión interior de prueba 1,4 (Presión de trabajo en Kp/cm^2) y S = Sección interna del tubo (cm^2).

Las dimensiones del elemento de anclaje se obtienen a partir de la siguiente fórmula:

$$F = A \cdot P$$

Siendo; F = Empuje (Kp), A = Superficie de anclaje en contacto con el terreno en la dirección del empuje (cm^2) y ρ = Resistencia del terreno (kg/cm^2).

Codos y reducciones

Para cambiar la alineación de una tubería se coloca un codo. De esta forma el agua circulante experimenta una variación en la dirección de su vector velocidad. El cambio de dirección se establece por la fuerza ejercida por el codo sobre el fluido, este responde con una fuerza de igual dirección e intensidad pero de sentido contrario.

En los cambios de sección debidos a las reducciones se produce un empuje cuya dirección es la del eje de la conducción, en el sentido de circulación del agua.

Las dimensiones de los elementos necesarios para el anclaje son las que se indican en la *Tabla.3* del *Anejo 9*.

Llaves de paso

Las dimensiones de los anclajes de hormigón y la disposición de las armaduras necesarias son las que se indican en la *Tabla.4* del *Anejo 9*.

Piezas especiales en T

Las dimensiones de los anclajes de hormigón y la disposición de las armaduras necesarias son las que se indican en la *Tabla.5* del *Anejo 9*.

9.7. Desagües

Desagües de la red de riego

Para el vaciado de la red o de tramos aislados se han colocado desagües a lo largo de la red de distribución. En su colocación se ha tenido en cuenta que estuvieran situados en los puntos terminales de los perfiles de las tuberías descendentes y en los “mínimos” de dicho perfil. También se tiene en cuenta que exista una zona para su desagüe por gravedad. Con la colocación de desagües se permite el vaciado y limpiado de la tubería mediante el escape violento de agua a través de estas válvulas.

Las dimensiones dependen del diámetro de la tubería y están compuestos por una válvula de esfera y una arqueta.

Desagües fin de tramo

Al final de cada tramo de la tubería terciaria de cada módulo se colocará una prolongación de la misma con salida al exterior consistente en doble codo 90º con 1 m. de tubería de 50 mm de diámetro, con tape final macho roscado, todo en PVC.

Este desagüe permite la expulsión de elementos extraños en la red durante los primeros riegos al comenzar la campaña de riego para evitar obturaciones en los emisores, al igual que el vaciado de la red en caso de ser necesario.

9.8. Fertirrigación

Una de las principales ventajas que presentan los riegos por aspersión, es la posibilidad de aportar los nutrientes que precisan las plantas, disueltos en agua de riego. A estas técnicas se las conoce con el nombre de fertirrigación. Pero no solo consiste en el aporte de abonos junto con el agua de riego, sino también en el fraccionamiento y aplicación de los mismos en los momentos más idóneos para el desarrollo de las plantas.

La aplicación de fertilizantes con el agua de riego puede abaratar en gran medida los costes de la explotación, reduciendo la mano de obra para su aplicación.

Para ello es necesario disponer de aparatos que permitan la inyección de abonos en la red de tuberías posibilitando el control de las cantidades de abono aplicadas y de la automatización del proceso.

En nuestro caso en vez de instalar un depósito de abonado, se llevará el fertilizante mediante cubas proporcionadas por las casas de fertilizantes. Así abaratamos relativamente el coste de la instalación de la red de riego.

Equipo de inyección

Ante las distintas posibilidades existentes en el mercado (inyectores Venturi, bombas dosificadoras eléctricas, bombas dosificadoras hidráulicas), se opta por la **bomba hidráulica**. En nuestro caso, como el depósito de fertilizante es móvil (cubeta remolque) se utilizará una bomba que sea de fácil montaje.

Las ventajas de este equipo inyector de fertilizantes y productos químicos son:

- Va accionado por un motor hidráulico que funciona con la propia presión hidráulica del sistema de riego.
- El inyector es resistente a los productos químicos usuales en agricultura.
- La cantidad a inyectar es fácilmente regulable.
- El inyector realiza su función de inyección en cualquier diámetro de la tubería.
- Su puesta en marcha y detención puede realizarse de forma manual o automática.

Características técnicas

Las características técnicas del equipo de inyección figuran el *Anejo 9*.

Elementos y accesorios

La descripción de los elementos y accesorios del equipo de inyección para la fertirrigación figuran en el *Anejo 9*.

Automatización

Como el sistema de riego está automatizado la solución más idónea para controlar la cantidad del producto a inyectar es la de instalar un contador de productos químicos. Este transmitirá la información al programa de riego, el cual tendrá fijada en una base de datos la cantidad de producto químico a inyectar. Una vez determinada dicha cantidad, el programador actuará sobre la electroválvula instalada en la tubería de alimentación del motor hidráulico del inyector, cerrándola, con lo que finalizará la inyección.

Contadores

Como indicamos en el apartado de fertirrigación, para la automatización de ésta, es necesario un contador de productos químicos a la salida del inyector.

Las características hidráulicas y técnicas para el contador proporcional de 3" o de diámetro de ¾" de transmisión magnética son las que se indican en el *Anejo 9*.

9.9. Programadores de riego

El programador de riego elegido permite realizar el control total de la red de riego, activando de forma automática cada uno de los sectores de riego, ya sea en base volumétrica o temporal. Asimismo, controla la fertilización y la apertura o cierre de la toma de riego.

El programa almacena los diferentes parámetros de riego, tanto actuales como acumulados.

Las principales características de este programador son las que se muestran en el *Anejo 9*.

El modelo de programador elegido es el “AGRONIC 2500”, que posee 9, 18 y 27 salidas configurables para sectores de riego, más 6 entradas digitales en la base. Limpieza de hasta 4 grupos de filtros independientes. Permite la posibilidad de enlace al ordenador personal, avisos vía SMS, etc.

Este programador se alimenta a 12V.

9.10. Automatismos de la red de riego

Están formados por todo el conjunto de elementos que hacen que: las válvulas se abran y cierren de forma automática por medio de la orden del programador de riego, o la diferencia de presión entre dos presostatos.

Por lo que por cada válvula se necesitan los siguientes elementos:

- **Llave de tres vías**, conecta el diafragma de la válvula hidráulica con la atmósfera (comando manual) o con el solenoide de control de la misma, (comando automático).
- **Solenoide**, llave de respuesta si o no, en función del impulso que le llega del ordenador, es un electroimán que actúa sobre un eje longitudinal, a la vez que este envía el paso de agua o vaciado a la llave de tres vías, la cual actúa sobre la válvula.
- **Microtubos de comando**, tubos de polietileno de 8 mm que conectan las válvulas, llaves y solenoides entre sí para las distintas funciones antes descritas, (llenado y vaciado del diafragma de las válvulas hidráulicas) por ellos circula agua de la misma red de riego. Se instalan a la vez que las tuberías, en las mismas zanjas y se cubren a la vez que estas.

10. Estudio de viabilidad económica

Con el objeto de analizar si este proyecto es viable económico, se analizan varias variables económicas que reflejan si la inversión es rentable o no.

Se van a calcular los siguientes ratios económicos:

- **VAN (Valor Actual Neto)**: Indicador de rentabilidad absoluta.
- **TIR (Tasa Interna de Rentabilidad)**: Indicador de rentabilidad relativa.

El VAN dice si una inversión es rentable y viable cuando el valor es mayor de cero. El TIR es el tipo de interés que hace que el VAN de una inversión sea igual a cero, representa las unidades monetarias que se ganan por cada unidad monetaria invertida y año.

Para calcular los ratios citados anteriormente, se considera una **vida útil de la inversión de 25 años**, sobre el cual se define la corriente de pagos y cobros analizando toda su superficie en conjunto.

La rotación de cultivos se repite cada 10 años, como se indica en el Anejo 5, por lo tanto **se hará de 2,5 ciclos**.

Los precios de los productos pertenecen a datos de las campañas de los años anteriores; se tendrán en cuenta los ingresos provenientes de la PAC previstos por la AGENDA 2010, ya que los precios de los productos varían y este año puede ir más cara o más barata la producción que los años próximos.

Actualmente en la parcela de estudio se viene cultivando cereal de invierno de secano, normalmente cebada.

Por los motivos expresados en el Anejo 1 se plantea la necesidad de transformar a regadío la parcela de estudio de este proyecto, y así de esta forma procurar un aumento de los rendimientos de la misma con la consiguiente mejora del nivel de vida del propietario de la misma.

10.1. Datos considerados para el estudio económico

Rendimientos del cereal de secano

Estos datos se considerarán a la hora de calcular el flujo destruido. Los rendimientos medios que se vienen obteniendo son:

Cebada:

- **Grano: 1,8 Tm/ha**
- **Paja: 1,1 Tm/ha**

Subvenciones de la PAC

La parcela en la cual vamos a realizar la transformación a riego por aspersión está en el término municipal de Huerto, perteneciente a la comarca de los Monegros. La subvención que está recibiendo dicha parcela es el pago único que engloba una media de la subvención recibida en los años 2000, 2001 y 2002, más el desacoplamiento que

en estos años se pagaban. En conclusión la subvención es siempre la misma indistintamente del cultivo que se siembre.

Con lo cual el pago único depende solo de lo que la parcela estuviera sembrada esos tres años 2000, 2001, 2002. Se ha optado por un **pago único de 160 €/ha**

10.2. Precios de las producciones de los cultivos

El precio de la producción, no es un precio fijo todos los años, ni a lo largo del mismo año, se producen muchas fluctuaciones, tanto subidas como bajadas. Por este mismo motivo se va a hacer una media de los precios tomados como referencia años anteriores.

Los valores son los siguientes:

CULTIVO	PRECIO (€/Tm)
TRIGO BLANDO	208
CEBADA	164
MAÍZ	229
GIRASOL	480
GUISANTE	250
ALFALFA (CLASE 1 ^a)	138
RAY-GRASS	78

10.3. Costes de producción de los cultivos

Los costes de producción de cada uno de los cultivos de rotación aparecen en el Anejo 10 (*De la Tabla 2 a la 8*)

10.4. Ingresos anuales

Los ingresos anuales se deben a la venta de la producción del cultivo y a las subvenciones de la PAC.

Para los cultivos seleccionados en la rotación, los ingresos que se obtienen son los siguientes:

CULTIVO	PRODUCCIÓN (Tm/ha)	PRECIO (€/Tm)	INGRESOS (€/ha)	AYUDA PAC (€/ha)	TOTAL (€/ha)
TRIGO BLANDO	Grano: 7	208	1.456	260	1.818
	Paja: 3,4	30	102		
CEBADA	Grano: 6	164	984	260	1.328
	Paja: 2,8	30	84		
MAÍZ	12,00	229	2.748	260	3.008
GIRASOL	3,50	480	1.680	260	1.940
GUISANTE VERDE	6,00	250	1.500	260	1.760
ALFALFA	16,50	138	2.277	260	2.537
RAY-GRASS	12,00	78	936	260	1.196

10.5. Flujo destruido

Es el valor de los rendimientos que se obtienen en la situación actual. Este flujo destruido se calcula a partir de los costes de producción y de los ingresos que se obtienen. Los resultados obtenidos son los siguientes:

CULTIVO	COSTES (€/ha)	INGRESOS (€/ha)	FLUJO DESTRUIDO (€/ha)	TOTAL FLUJO DESTRUIDO (€)
CEBADA	549,1	1.328	778,9	14.932

10.6. Coste del agua de riego

Este coste figura en el apartado 4, y ya está incluido en los costes de producción de cada cultivo. El **precio del m³ es de 0,0115 €** en el que solo está incluido agua y energía. A este precio hay que sumarle un coste fijo anual en el cual la comunidad incluye los costes de amortización, las reparaciones y los sueldos de los trabajadores.

Este **coste anual asciende a 34 € ha-1 año-1**

El consumo de agua de los cultivos se supone que corresponde a las necesidades netas calculadas en el Anejo 7.

CULTIVO	Consumo anual Nn (mm)	Consumo anual (m ³ /ha)	Precio agua (€/m ³)	Coste comunidad (€/ha)	Total (€/ha)	Total (€)
TRIGO BLANDO	462,13	4.621	0,0115	34	1.807	34.639
CEBADA	413,73	4.137	0,0115	34	1.618	31.011
MAÍZ	624,46	6.245	0,0115	34	2.442	46.806
GIRASOL	564,82	5.648	0,0115	34	2.208	42.336
GUISANTE VERDE	290,99	2.910	0,0115	34	1.138	21.811
ALFALFA	784,97	7.850	0,0115	34	3.069	58.837
RAY-GRASS	588,94	5.889	0,0115	34	2.303	44.144

10.7. Estudio de rentabilidad de la inversión

El presupuesto total de la inversión asciende a **114.969,65 €**, incluyendo los honorarios del ingeniero. Requeriremos un préstamo de 50.000 € de cuota constante a 10 años y con un interés del 5%.

Los beneficios anuales serán los calculados anteriormente y serán fijos. No se tendrá en cuenta el factor que juega la inflación.

No se considerará el valor residual de los elementos de la explotación.

El flujo de efectivo es de 14.932 €. El coste de la mano de obra no se tiene en cuenta, ya que la explotación en principio va a ser dirigida y trabajada por el propietario y por su familia.

Se estima una vida útil de la instalación de 25 años.

Para la transformación al regadío de la parcela, se recibe una **ayuda del 17% del presupuesto total de la inversión**. Que es de 19.544,84€ y será recibida el año 1.

A continuación se resume los gastos e ingresos a lo largo de los diez años que dura la rotación de los cultivos que vamos a cultivar en la parcela.

AÑO	CULTIVO	SUP.	COSTES	COSTES	INGRESOS	INGRESOS
-----	---------	------	--------	--------	----------	----------

Puesta en riego por aspersión en una parcela de 19 has en el término municipal de Huerto (Huesca)
Memoria

		(ha)	(€/ha)	(€)	(€/ha)	(€)
1	Alfalfa	19,17	1.074,68	20.601,52	2.537,00	48.634,29
		COSTES TOTALES		20.601,52	INGRESOS TOTALES	48.634,29

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
2	Alfalfa	19,17	1.074,68	20.792,21	2.537,00	48.634,29
		COSTES TOTALES		20.792,21	INGRESOS TOTALES	48.634,29

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
3	Alfalfa	19,17	1.074,68	20.792,21	2.537,00	48.634,29
		COSTES TOTALES		20.792,21	INGRESOS TOTALES	48.634,29

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
4	Alfalfa	19,17	1.074,68	20.792,21	2.537,00	48.634,29
		COSTES TOTALES		20.792,21	INGRESOS TOTALES	48.634,29

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
5	Alfalfa	19,17	1.074,68	20.792,21	2.537,00	48.634,29
		COSTES TOTALES		20.792,21	INGRESOS TOTALES	48.634,29

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
6	Trigo	19,17	524,14	10.047,79	1.818,00	34.851,06
	Maíz	19,17	1.036,82	19.875,79	3.008,00	57.663,36
		COSTES TOTALES		29.923,58 €	INGRESOS TOTALES	92.514,42

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
7	Girasol	19,17	492,95	9.449,89	1.940,00	37.189,80
		COSTES TOTALES		9.449,89	INGRESOS TOTALES	37.189,80

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
8	Cebada	19,17	501,18	9.607,53	1.328,00	25.457,76
	Maíz	19,17	1.036,82	19.875,79	3.008,00	57.663,36
		COSTES		29.483,33	INGRESOS	83.121,12

TOTALS	€	TOTALS	
--------	---	--------	--

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
9	Guisante	19,17	518,07	9.931,31	1.760,00	33.739,20
	Maíz	19,17	1.036,82	19.875,79	3.008,00	57.663,36
			COSTES TOTALS	29.807,10	INGRESOS TOTALS	91.402,56

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
10	Guisante	19,17	518,07	9.931,31	1.760,00	33.739,20
			COSTES TOTALS	9.931,31	INGRESOS TOTALS	33.739,20

Por medio de una hoja de cálculo se calcula los **flujos de caja** que se originan cada año, teniendo en cuenta tanto los cobros, como los pagos que se originan de la explotación.

Flujo destruido: Valor numérico que corresponde a la diferencia entre los ingresos obtenidos en la parcela antes de la ejecución del proyecto y los gastos de la misma.

Pagos ordinarios: Valor numérico que corresponde a los costos que conllevan los cultivos implantados en la transformación.

Cobros ordinarios: Valor numérico que corresponde a los ingresos que conllevan los cultivos implantados en la transformación.

Pagos financieros: Valor correspondiente a la suma del capital anual a devolver más los intereses correspondientes al capital por devolver.

AÑO	COBRO ORD	COBRO EXTRA	COBRO FINAN	PAGO ORD	PAGO FINAN	FLUJO DESTR	PAGO INVERS	FLUJO CAJA
0			50.000,00				114.969,65	-64.970
1	48.634,29	3.067,20	19.544,84	20.601,52	5.250,00	14.931,51		30.463
2	48.634,29	3.067,20		20.792,21	5.250,00	14.931,51		10.728
3	48.634,29	3.067,20		20.792,21	5.250,00	14.931,51		10.728

4	48.634,29	3.067,20		20.792,21	5.250,00	14.931,51		10.728
5	48.634,29	3.067,20		20.792,21	5.250,00	14.931,51		10.728
6	92.514,42	3.067,20		29.923,58	5.250,00	14.931,51		45.477
7	37.189,80	3.067,20		9.449,89	5.250,00	14.931,51		10.626
8	83.121,12	3.067,20		29.483,33	5.250,00	14.931,51		36.523
9	91.402,56	3.067,20		29.807,10	5.250,00	14.931,51		44.481
10	33.739,20	3.067,20		9.931,31	5.250,00	14.931,51		6.694
11	48.634,29	3.067,20		20.601,52		14.931,51		16.168
12	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
13	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
14	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
15	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
16	92.514,42	3.067,20		29.923,58		14.931,51		50.727
17	37.189,80	3.067,20		9.449,89		14.931,51		15.876
18	83.121,12	3.067,20		29.483,33		14.931,51		41.773
19	91.402,56	3.067,20		29.807,10		14.931,51		49.731
20	33.739,20	3.067,20		9.931,31		14.931,51		11.944
21	48.634,29	3.067,20		20.601,52		14.931,51		16.168
22	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
23	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
24	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
25	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978

10.8. Estudio de viabilidad

Una vez calculados los flujos de caja en el apartado anterior, se han calculado los índices de rentabilidad que se exponen a continuación:

- Valor Actual Neto (VAN): **239.684,56 € (interés del 5%)**
- Tasa Interna de Rentabilidad (TIR): **31%**
- Pay Back: **6 años.**

10.9. Conclusiones

El valor de la inversión es de 79.845,58 € más un 13% por gastos generales y más un 6% debido al beneficio empresarial, más el 21 % de IVA, así el valor total de la inversión es de 114.969,65 €. **Desde el punto de vista del VAN se observa que la inversión es rentable. El TIR es superior al tipo de interés utilizado, por lo tanto la inversión también es rentable.**

Para este estudio de rentabilidad se ha considerado el cuadro de rotación de cultivos ideal utilizando todos los cultivos seleccionados expuesto en el Anejo 5, pero se podría recurrir a cultivar cultivos que sean más rentables que otros, es decir la rentabilidad sería mucho mayor si se practicase el cuadro de rotación con solo los cultivos más habituales en la zona (Alfalfa, guisante y maíz).

Los precios escogidos son los anuales de campañas anteriores, por lo que su variación a lo largo del año y en años venideros también haría variar los beneficios y en consecuencia la rentabilidad de la transformación de la parcela de estudio.

También es cierto, que la ayuda o subvención recibida por la Administración varía de un año a otro, pero afrontar la inversión sin ninguna ayuda es prácticamente inviable.

11. Documentos de los que consta este proyecto

- Memoria

- Anejos a la memoria

- Anejo 1. Objetivos y antecedentes
- Anejo 2. Estudio climatológico
- Anejo 3. Estudio edafológico
- Anejo 4. Calidad del agua de riego
- Anejo 5. Rotación de cultivos

- Anejo 6. Justificación y características del sistema de riego elegido
- Anejo 7. Cálculo agronómico
- Anejo 8. Cálculo hidráulico de la red de riego
- Anejo 9. Elementos singulares de la red de riego
- Anejo 10. Estudio de viabilidad económica

- Planos

- Plano 1. Plano situación y emplazamiento
- Plano 2. Plano topográfico
- Plano 3. Plano de módulos de riego
- Plano 4. Plano de automatización
- Plano 5. Plano toma de riego tipo
- Plano 6. Plano detalle de zanja
- Plano 7. Plano derivación
- Plano 8. Plano detalle anclajes
- Plano 9. Plano detalle aspersores

- Pliego de condiciones

- Presupuesto

- Mediciones
- Cuadro de precios unitarios
- Cuadro de precios descompuestos
- Presupuesto general
- Resumen del presupuesto

- Estudio de seguridad y salud

- Memoria
- Planos
- Pliego de condiciones
- Presupuesto

12. Bibliografía

Andrés, R., 2011. Tesis fin de Mater “Balances de agua, sales y nitrógeno en la Comunidad de Regantes de Lastanosa, Sena y Sariñena, Monegros, Huesca”. Universidad de Zaragoza.

Andrés, R., Mur, R., Faci, J.M., 2010. El manejo del riego por aspersión en los sectores XXI 1º y 2º de la comunidad de regantes Lasesa. Riegos y Drenajes XXI.16-22.

Apuntes de la carrera de Ingeniería Técnica Agrícola: Hidrología, Cultivos, Oficina, Ingeniería rural, Economía, Fitotecnia, etc.

Badía, D., Martí, C., 2008. Caracterización de suelos: Métodos e interpretación de resultados. Universidad de Zaragoza, Escuela Politécnica Superior de Huesca.136 pp.

FAO: Servicio de Recursos, Fomento y Aprovechamiento del Agua. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006. Estudio FAO Riego y Drenaje-56.

Fernández, J., 1984. Riegos manual práctico con todas las técnicas más modernas; Editorial De Vecchi, S.A-Barcelona.

Folleto VYR AG 2011. Catálogo aspersores Vyrsa. Disponible en <http://www.vyrsa.com>

Lonja agropecuaria del Ebro. Disponible en <http://www.ebro.org>

Martínez-Cob, A. 2004. Revisión de las necesidades hídricas netas de los cultivos de la cuenca del Ebro. 111 pp. Documento interno CHE.

Mur, R., 2009. El manejo de riego por aspersión en los sectores XXXI 1^a y 2^a de la comunidad de regantes de lasesa. Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad de Zaragoza, Escuela Politécnica Superior de Huesca. 107pp.

Palacio, J., 2010. Cronosecuencia edáfica en terrenos fluviales del río Alcanadre. Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad de Zaragoza, Escuela Politécnica Superior de Huesca. 135pp.

Portal de CHEbro. Confederación hidrográfica del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente y Medio rural y marino. Gobierno de España. Disponible en <http://www.chebro.es>

SIAR, 2008. Datos de la red agroclimática del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante. Disponible en <http://www.oficinaregante.aragon.es>

SIGPAC: Sistema de información geográfica PAC. Gobierno de Aragón. Disponible en: <http://sigpac.aragon.es>

SITAR: Sistema de información geográfica territorial de Aragón. Gobierno de Aragón. Disponible en <http://sitar.aragon.es>

Urbano, Terrón, P., 2002. Fitotecnia (Ingeniería de la producción vegetal); Ediciones Mundi-Prensa.

V.I.D.A. (Versatilidad e innovación para el Desarrollo Agroambiental), 2011. Curso “Gestión del agua para usos agrícolas y ganaderos”. INAEM. Gobierno de Aragón. Disponible en http://www.aragon-vida.com/teleformación_inaem

Villalobos, F., Mateos, L., Orgaz, F., Fereres, E., 2002. Fitotecnia (Bases y tecnologías de la producción agrícola); Ediciones Mundi-Prensa.

En Huesca a 10 de junio de 2014

Fdo. Paula Pérez Formento

Ingeniera Técnica Agrícola Especialidad Explotaciones Agropecuarias



e s c u e l a
p o l i t é c n i c a
s u p e r i o r
d e h u e s c a



UNIVERSIDAD DE
ZARAGOZA

PROYECTO- TRABAJO FIN DE CARRERA

**Puesta en riego por aspersión con cobertura total
enterrada en una parcela de 19 hectáreas en el
término municipal de Huerto (Huesca)**

ANEJOS A LA MEMORIA

ÍNDICE DE LOS ANEJOS

ANEJO 1. Objetivos y antecedentes

ANEJO 2. Estudio climatológico

ANEJO 3. Estudio edafológico

ANEJO 4. Calidad del agua de riego

ANEJO 5. Rotación de cultivos

ANEJO 6. Justificación y características del sistema de riego elegido

ANEJO 7. Cálculo agronómico

ANEJO 8. Cálculo hidráulico de la red de riego

ANEJO 9. Elementos singulares de la red de riego

ANEJO 10. Estudio de viabilidad económica

ANEJO 1

Objetivos y antecedentes

Anejo 1: Objetivos y antecedentes

ÍNDICE

1. Objetivos del proyecto	2
2. Condiciones del promotor	3
3. Situación actual de la parcela	3
3.1. Ubicación	4
3.2. Vías de comunicación	4
3.3. Superficie	5
3.4. Características generales de la parcela.....	5

1. Objetivos del proyecto

El objetivo del presente proyecto es la transformación a riego por aspersión de una parcela de 19 hectáreas en el término municipal de Huerto (Huesca), por encargo del propietario de ésta, de tal forma que los documentos que integran el proyecto sirvan de base para la ejecución de la instalación

La parcela mencionada actualmente está dedicada al cultivo de secano, por lo tanto, está en régimen de casi abandono dada la falta de lluvia y la escasez de producciones del cultivo cerealista en este régimen de explotación, y dado que le propietario solicitó una concesión de agua a la Confederación Hidrográfica del Ebro, se decide transformar a regadío y de esta manera aumentar la rentabilidad de los cultivos.

Se trata de transformarla a regadío por aspersión con cobertura total enterrada con agua procedente del pantano del Grado. Esta agua circula por el Canal del Cinca y llega a la parcela de estudio a través de la acequia A-19.

Mediante la transformación de la parcela, se pretende producir cultivos extensivos que permitan obtener un producto de mayor calidad, mayores rendimientos de manera más eficiente y en consecuencia aumentar la rentabilidad de la explotación, disminuyendo, en la medida de lo posible, los gastos y la mano de obra.

Para poder llevar a cabo la transformación es necesario diseñar las conducciones e instalaciones de las tuberías y los distintos elementos singulares a nivel de parcela.

Además, para el desarrollo del presente proyecto también es necesario realizar:

- Un estudio climatológico de la zona para conocer los períodos de sequías o lluvias y poder determinar las evapotranspiraciones y necesidades hídricas de los cultivos, los períodos de heladas para poder prevenirlas, los regímenes de temperaturas, etc.
- Un estudio edafológico que nos permita determinar las características más relevantes del suelo en relación con el riego que se va a utilizar. Con el objetivo de saber así qué tipos de cultivos se adaptan mejor y cuáles son los que nos convienen para obtener un mayor rendimiento de estos y en consecuencia le supongan al propietario una mayor rentabilidad.

- Un estudio del análisis del agua de riego, procedente del pantano del Grado, para determinar su nivel de calidad y su idoneidad para el riego.
- El cálculo de las dosis de agua de riego necesarias para varios cultivos a implantar en la parcela, para realizar una buena planificación y rotación de cultivos.
- El diseño de la distribución de la red de riego.
- Un presupuesto que nos permita conocer el coste de la transformación y analizar la viabilidad económica de la misma.

2. Condiciones del promotor

El propietario de la parcela, antes de realizar la transformación a regadío, establece las siguientes condiciones:

- Toda la parcela se ha de transformar a riego por aspersión con cobertura total enterrada, donde se procederá a la siembra de cultivos herbáceos extensivos propios de la zona.
- No es ningún problema el coste de la maquinaria o herramientas para los cultivos ya que el promotor posee toda la maquinaria necesaria para los cultivos extensivos, así como lugares de almacenaje para guardar tanto la maquinaria como la semilla, antes de venderla en los períodos en los que el precio es más elevado.
- La venta y comercialización del producto generado en la cosecha de los cultivos extensivos está garantizada y asegurada, ya que son productos propios de la zona.

3. Situación actual de la parcela

La parcela a proyectar tiene una superficie de aproximadamente 19 hectáreas, las cuales están declaradas en la actualidad como secano.

En esta parcela se han cultivado tradicionalmente cereales de invierno y se decide transformarla a riego por aspersión debido a las ventajas que ello reporta: comodidad, mejora del rendimiento, ahorro de maquinaria y mano de obra, etc.

3.1. Ubicación

La parcela se sitúa en su totalidad en el término municipal de Huerto, en la Comarca de Los Monegros, provincia de Huesca.

Se encuentra a unos 6 m de Huerto y a unos 2 km del núcleo urbano de La Venta de Ballerías, entidad perteneciente al municipio de Huerto. La parcela se ubica entre las zona de Sierra Morena, Valdearco y el Tozal de Chiquilín.

Las coordenadas geográficas de la parcela son 0° 8' 24 " Longitud W y 41° 53' 12" Latitud Norte, a una altitud de 351 metros sobre el nivel del mar.

3.2. Vías de comunicación

La parcela se encuentra en el término municipal de Huerto perteneciente a la Comarca de los Monegros. El término municipal de Huerto está situado a 34 km de Huesca en dirección sureste.

El acceso a la parcela se realiza, desde Huesca por la carretera A-131, dirección Sariñena, dejando a la izquierda el municipio Huerto y 2,3 km La Venta de Ballerías. Pasado el cruce entre la A-131 y la carretera A-1223, a unos 500m se gira a la izquierda, se toma el camino contiguo al Canal del Flumen y se sigue sin dejarlo 2,5 km, hasta llegar a la parcela. La parcela se localización exactamente a mano izquierda del camino y justo enfrente del inicio del colector del Reguero.

3.3. Superficie

La parcela tiene una extensión total de 19,53 hectáreas y esta compuesta por cuatro recintos. Tres de los recintos son de pasto arbustivo (0,36 hectáreas), así pues el área a proyectar solo ocupa el recinto de tierra arable y supone un total de 19,17 has.

3.4. Características generales de la parcela

CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA		
UBICACIÓN	Provincia	22 - Huesca
	Municipio	172 - Huerto
	Polígono	18
	Parcela	37
	X (m)	737.301,08
	Y (m)	4.641.130,60
	HUSO	30
Zona		Comarca de los Monegros. A 2km de La Venta de Ballerías. Entre las zonas de Sierra Morena, Valdearco y el Tozal de Chiquilín.
VÍAS DE COMUNICACIÓN Y ACCESO	Vías de comunicación	Desde Huesca, carretera A-131 dirección Sariñena.
	Acceso	Pasado el cruce entre la A-131 y la carretera A-1223, a unos 500m se gira a la izquierda, se toma el camino contiguo al Canal del Flumen y se sigue sin dejarlo 2,5km.
CARACTERISTICAS GENERALES	Superficie	19,17 Ha
	Pendiente	8%
	Uso anterior	Cereales en secano
ABASTECIMIENTO DE AGUA	Embalse	(El) Grado
	Canal	del Cinca
	Acequia	A-19
PUESTA EN RIEGO	Sistema de riego	Riego por aspersión con cobertura total enterrada.

Tabla. 1. Tabla resumen de las características de la parcela de estudio.

ANEJO 2

Estudio climatológico

Anejo 2: Estudio Climatológico

ÍNDICE

1. Introducción.....	2
2. Temperaturas	3
2.1. Régimen de heladas	7
2.2. Horas de frío	10
3. Elementos hídricos	12
3.1. Precipitaciones	12
3.2. Humedad relativa.....	14
3.3. Punto de rocío, rocío, escarcha y neblina o niebla.....	16
4. Viento	20
5. Radiación solar	24
6. Clasificaciones climáticas	27
6.1. Índice de Lang	27
6.2. Índice de Martonne	28
6.3. Índice de Dantín Cereceda y Revenga.....	29
6.4. Índice de Emberger	30
6.5. Diagrama ombrotérmico de Gaussen.....	34
6.6. Clasificación climática de Thornthwaite	36
7. Cálculo de la evapotranspiración.....	45
7.1. Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_0)	46
7.2. Cálculo del coeficiente de cultivo (K_C)	47
7.3. Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ET_C).....	54

1. Introducción

Para llevar a cabo una correcta transformación es importante diseñar una puesta en riego por aspersión e implantar los cultivos adecuados en función de la climatología y otros parámetros de la zona, ya que factores como la dosis de riego o el óptimo crecimiento del cultivo dependen directamente del clima, con lo cual es fundamental realizar un estudio climatológico detallado de la zona de estudio.

La parcela de estudio se sitúa en Los Monegros, comarca con acusados contrastes estacionales en las temperaturas, escasas e irregulares precipitaciones y fuertes vientos.

En el invierno, dependiendo de las borrascas atlánticas y la situación del anticiclón denominado de las Azores, el tiempo es frío por la mañana, con heladas más frecuentes en los meses de febrero y marzo y temperaturas en ascenso hacia el mediodía en ausencia de viento.

Al llegar la primavera, aumenta notablemente la temperatura y ligeramente la pluviometría. El tiempo se caracteriza por sus oscilaciones climáticas, con días de calor y otros de fuerte viento. El frío, menos intenso que en invierno, puede hacerse notar hasta bien metidos en el mes de mayo.

El verano se caracteriza por sus temperaturas altas y tiempo seco. El viento disminuye en intensidad. Las escasas tormentas estivales suavizan el elevado régimen de temperaturas.

El otoño es quizá la estación más estable térmicamente, las temperaturas son suaves y descienden progresivamente hacia el invierno. Las lluvias hacen acto de presencia, unas veces al inicio y otras al final de la estación. Los vientos son escasos y las nieblas son el fenómeno más destacable, alcanzando a toda la zona sin excepción.

Los datos meteorológicos empleados para la realización del presente estudio se han tomado de la estación meteorológica de Huerto, cuyas coordenadas son: 0° 8' 15" Longitud W y 41° 56' 53" Latitud Norte, a una altitud de 415 metros sobre el nivel del mar, dado que es la más cercana a la parcela objeto de la transformación.

Esta estación pertenece a la red del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante SIAR del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (<http://www.oficinaregante.aragon.es>)

Las coordenadas geográficas de la parcela son 0° 8' 24" Longitud W y 41° 53' 12" Latitud Norte, a una altitud de 351 metros sobre el nivel del mar.

La serie de datos meteorológicos tomada corresponde a un periodo de 10 años, de 2004 a 2013, suficiente para poder obtener la máxima precisión a la hora de determinar los datos climáticos necesarios para la elaboración de este proyecto.

Los parámetros climáticos que se estudian en este anejo van a influir tanto en la implantación del sistema de riego como en el tipo de cultivo a instaurar y además sirven para caracterizar el tipo de clima de la zona. Estos son: temperatura, precipitación, humedad relativa, punto de rocío, viento, radiación solar y evapotranspiración.

2. Temperaturas

En función de los datos diarios de temperatura registrados en la estación meteorológica de Huerto entre los años 2004 y 2013, se han realizado una serie de tablas, que sirven de base para realizar el estudio climatológico.

A partir de ellas, se puede considerar que en la Comarca de Los Monegros, y más concretamente en la zona de estudio, el **clima** se identifica como **mediterráneo continental**, con:

- **Temperatura media anual** de unos **14 °C**.
- Temperatura media del mes más frío superior a los **4 °C**.
- Temperatura media en los meses más cálidos de unos **23 °C- 24 °C**
- Período frío poco intenso pero de larga duración, alrededor de 5 a 7 meses, siendo diciembre y enero los meses más fríos y julio el más cálido.

TEMPERTURAS MEDIAS (°C)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	
2004	6,8	4,5	7,7	10,8	15,6	22,5	22,5	23,1	20,3	16,0	7,1	5,5	13,5	
2005	2,3	3,6	9,1	13,1	18,1	23,4	24,1	22,2	19,4	15,5	8,4	1,6	13,4	
2006	4,2	4,5	10,6	13,5	18,6	22,3	26,2	21,2	20,3	16,8	11,3	3,1	14,4	
2007	4,4	7,8	9,1	13,6	16,9	20,7	22,6	21,6	18,7	14,3	6,2	4,1	13,3	
2008	5,5	8,1	9,2	12,3	15,4	19,9	23,1	22,7	18,3	13,7	6,5	4,8	13,3	
2009	7,3	6,2	9,8	11,2	18,4	22,6	24,1	24,3	19,4	15,3	10,1	4,9	14,5	
2010	4,1	4,7	8,1	12,8	15,0	19,8	25,0	23,1	18,6	13,3	7,9	4,3	13,1	
2011	3,8	7,2	9,4	15,0	18,3	20,5	21,8	24,2	21,4	15,8	10,7	6,2	14,5	
2012	4,6	4,0	11,1	11,3	18,0	22,8	23,0	25,4	19,5	15,0	9,2	6,1	14,2	
2013	5,4	5,8	9,2	11,6	12,8	18,9	24,4	22,3	19,3	16,2	8,7	3,1	13,1	
MEDIA	4,8	5,7	9,3	12,5	16,7	21,3	23,7	23,0	19,5	15,2	8,6	4,4	13,7	

Tabla. 1. Valores medios mensuales y anuales de t^a media (°C), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

A partir de los datos medios de la tabla anterior, se ha elaborado la siguiente gráfica, en la que se puede observar claramente que la variación estacional de las temperaturas es característica de un clima continental, con mucha diferencia entre las temperaturas medias invernales y las temperaturas medias en verano.

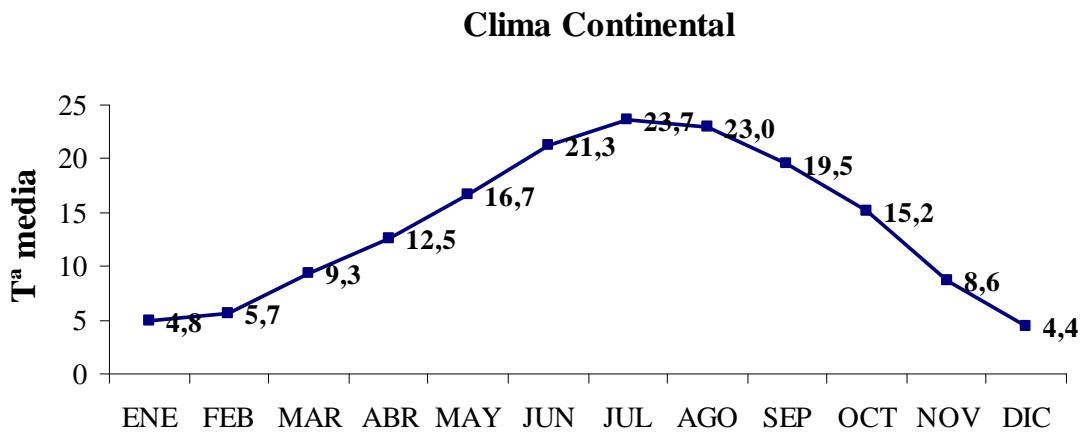


Figura.1. Gráfica Clima Continental.

TEMPERATURAS MEDIAS MÁXIMAS (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2004	12,4	9,9	14,3	16,7	22,2	30,3	29,6	29,9	27,6	22,2	12,9	10,3	19,9
2005	7,2	10,6	16,5	19,5	25,0	30,9	31,8	29,4	26,0	20,8	13,4	6,6	19,8
2006	8,1	10,6	16,5	20,9	25,9	30,2	34,0	28,5	26,5	22,1	15,8	7,9	20,6
2007	9,5	13,5	15,6	19,9	23,8	28,0	30,3	29,3	26,0	21,5	14,1	8,9	20,0
2008	10,7	13,9	15,6	19,2	21,2	27,1	30,8	30,2	25,1	19,8	12,4	9,9	19,7
2009	12,0	12,3	17,0	17,7	25,7	30,4	31,8	32,1	26,6	22,5	15,6	9,3	21,1
2010	8,4	9,8	14,4	19,5	22,0	27,4	33,1	30,5	25,6	20,0	13,3	9,1	19,4
2011	9,0	14,3	15,3	22,3	25,9	28,2	29,1	31,9	28,8	23,0	15,1	11,7	21,2
2012	11,3	12,4	18,9	17,4	25,3	30,8	30,9	33,3	26,5	21,1	14,3	11,8	21,2
2013	11,3	11,4	14,7	18,1	19,1	26,4	32,0	30,0	26,7	23,0	14,9	8,6	19,7
MEDIA	10,0	11,9	15,9	19,1	23,6	29,0	31,3	30,5	26,5	21,6	14,2	9,4	20,3

Tabla 2. Valores medios mensuales y anuales de *t^a* media máxima (°C), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

TEMPERATURAS MEDIAS MÍNIMAS (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2004	2,2	0,4	1,6	5,1	9,2	14,8	15,7	16,7	14,2	10,8	2,2	1,6	7,9
2005	-1,8	-2,4	2,4	6,7	11,2	16,1	16,5	15,5	12,9	10,8	3,9	-2,3	7,4
2006	0,7	-0,5	5,1	6,4	11,1	14,6	18,7	14,2	15,0	12,0	7,4	-0,4	8,7
2007	0,1	2,7	2,9	7,9	10,2	13,6	15,0	14,7	12,0	8,1	-0,5	-0,2	7,2
2008	1,3	3,1	3,5	5,5	10,4	12,9	15,7	15,6	12,4	8,6	1,9	0,9	7,7
2009	2,9	1,0	3,1	5,3	11,4	14,7	16,5	17,4	12,9	9,4	5,4	1,0	8,4
2010	0,8	0,3	2,5	6,3	8,3	12,7	17,5	15,5	12,1	7,9	3,3	0,2	7,3
2011	-0,7	1,5	4,1	8,3	10,9	13,2	14,4	16,7	14,5	9,4	7,6	2,1	8,5
2012	-0,8	-3,3	3,2	5,6	11,0	15,1	15,7	17,2	12,8	9,6	5,1	1,5	7,7
2013	1,0	1,1	4,2	5,4	6,7	11,5	17,4	15,4	12,4	10,5	3,7	-1,3	7,3
MEDIA	0,6	0,4	3,3	6,3	10,1	13,9	16,3	15,9	13,1	9,7	4,0	0,3	7,8

Tabla 3. Valores medios mensuales y anuales de *t^a* media mínima (°C), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

TEMPERATURAS MÁXIMAS ABSOLUTAS (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2004	19,0	15,2	22,1	23,5	29,0	37,5	36,0	35,4	32,0	30,5	19,0	15,2	26,2
2005	19,6	17,4	24,2	30,1	30,3	36,4	38,3	33,3	34,8	27,5	20,2	14,5	27,2
2006	16,4	16,6	23,7	25,2	34,1	34,6	37,2	32,7	34,8	26,8	20,7	19,3	26,8
2007	18,4	19,2	21,5	27,1	31,0	33,0	35,0	38,0	29,6	27,0	18,3	18,4	26,4
2008	18,2	19,1	23,4	28,2	29,8	34,3	36,0	38,0	31,9	25,4	17,5	14,4	26,4
2009	15,6	16,6	24,0	25,6	32,8	36,2	36,0	36,5	32,0	29,4	22,4	16,1	26,9
2010	13,0	14,7	21,3	27,2	29,8	33,4	38,4	36,2	32,1	26,3	21,7	18,3	26,0
2011	18,9	21,2	23,1	31,0	32,9	37,4	34,1	37,0	33,8	30,1	21,2	17,2	28,2
2012	19,0	21,6	25,3	23,7	33,3	38,2	36,0	39,5	31,8	29,5	18,7	16,8	27,8
2013	17,9	16,2	20,4	26,4	24,8	33,6	35,2	33,8	30,5	29,0	23,1	14,4	25,4
MEDIA	17,6	17,8	22,9	26,8	30,8	35,5	36,2	36,0	32,3	28,2	20,3	16,5	26,7

Tabla 4. Valores mensuales y anuales de t^a máxima absoluta (°C), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

TEMPERATURAS MÍNIMAS ABSOLUTAS (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2004	-3,7	-5,7	-5,0	-0,3	3,7	8,6	8,7	10,0	7,5	4,1	-4,3	-3,6	1,7
2005	-9,6	-10,7	-8,3	1,2	5,3	10,9	11,8	10,6	3,4	3,3	-2,8	-7,7	0,6
2006	-4,0	-4,4	-3,6	-0,7	5,6	6,5	12,8	10,8	8,8	7,2	0,9	-6,5	2,8
2007	-8,1	-2,2	-2,2	1,2	4,1	8,4	9,5	9,5	1,2	2,3	-10,5	-8,0	0,4
2008	-6,9	-1,6	-1,9	-1,0	5,9	7,0	9,9	10,6	6,6	1,5	-5,8	-3,0	1,8
2009	0,0	-2,7	-2,0	1,9	5,2	8,7	11,6	10,8	7,4	0,0	0,1	-8,5	2,7
2010	-5,6	-8,6	-6,1	-2,0	1,3	5,7	11,2	9,2	3,5	0,1	-4,5	-5,8	-0,1
2011	-8,1	-3,2	-3,6	3,9	5,7	7,0	9,9	0,0	8,4	0,9	2,9	-3,9	1,7
2012	-4,5	-9,8	-4,6	0,0	5,3	9,0	10,5	0,0	6,8	-1,8	-2,0	-4,8	0,3
2013	-2,5	-5,0	-1,8	0,0	1,4	6,6	13,5	10,4	7,6	0,2	-4,9	-6,1	1,6
MEDIA	-5,3	-5,4	-3,9	0,4	4,4	7,8	10,9	8,2	6,1	1,8	-3,1	-5,8	1,3

Tabla 5. Valores mensuales y anuales de t^a mínima absoluta (°C), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
Tm	4,8	5,7	9,3	12,5	16,7	21,3	23,7	23,0	19,5	15,2	8,6	4,4	13,7
Tmmax	10,0	11,9	15,9	19,1	23,6	29,0	31,3	30,5	26,5	21,6	14,2	9,4	20,3
Tmmin	0,6	0,4	3,3	6,3	10,1	13,9	16,3	15,9	13,1	9,7	4,0	0,3	7,8
TMa	17,6	17,8	22,9	26,8	30,8	35,5	36,2	36,0	32,3	28,2	20,3	16,5	26,7
Tma	-5,3	-5,4	-3,9	0,4	4,4	7,8	10,9	8,2	6,1	1,8	-3,1	-5,8	1,3

Tabla.6. Resumen de valores medios mensuales de t^a media (Tm), t^a media máxima (Tmmax), t^a media mínima (Tmmin), t^a máxima absoluta (TMa) y t^a mínima absoluta (Tma) en °C, resultantes de las tablas 1, 2, 3, 4 y 5.

2.1. Régimen de heladas

Se debe hacer un estudio del régimen de heladas para considerar, con criterio agronómico, en que periodos del año es posible el desarrollo óptimo de determinados cultivos o, en el caso de conocer el cultivo, comprobar si en periodos de bajas temperaturas habría algún impedimento para el crecimiento del cultivo establecido.

A partir de los datos diarios de las temperaturas mínimas registradas entre 2004 y 2013, se establecen los siguientes períodos de heladas.

INTERVALO	1^a HELADA	ÚLTIMA HELADA
2004-2005	1-nov	17-abr
2005-2006	5-nov	19-abr
2006-2007	27-nov	10-abr
2007-2008	1-nov	16-abr
2008-2009	2-nov	30-abr
2009-2010	4-nov	17-abr
2010-2011	3-nov	24-mar
2011-2012	23-nov	25-abr
2012-2013	1-nov	30-abr
PERIODO MEDIO	7-nov	17-abr

Tabla.7. Períodos de heladas, elaborados a partir de los datos diarios de t^a media mínima registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

Como se puede apreciar en la *Tabla.7* el **mayor periodo de heladas** queda comprendido entre el 1 de noviembre para la primera helada y el 30 de abril para la última helada, en total **180 días con riesgo de heladas y 185 días libres de heladas**.

El **menor periodo de heladas** esta comprendido entre el 27 de noviembre y el 24 de marzo con un total de **117 días con riesgo de heladas y 248 días libre de heladas**.

El **periodo medio de heladas**, correspondiente al intervalo entre el 7 de noviembre y el 17 de abril, suma un total de **161 días con riesgo de heladas y 204 días libres de heladas**.

Como no se dispone de datos directos de heladas, se emplean dos métodos distintos de estimación indirecta, los modelos propuestos por Emberger y Papadakis.

Régimen de heladas según Emberger

Divide el año en periodos según la probabilidad de producirse heladas, utiliza la media de las temperaturas mínimas (T_{mmin}) con el siguiente criterio:

A). **Período seguro de heladas:** Se produce cuando la temperatura media de las mínimas es inferior a 0 °C.

B). **Período frecuente de heladas:** Se produce cuando la temperatura media de las mínimas está comprendida entre 0 °C y 3 °C.

C). **Período poco frecuente de heladas:** Cuando la temperatura media de las mínimas está comprendida entre 3 °C y 7 °C.

D). **Período con heladas muy poco frecuentes:** Cuando la temperatura media de las mínimas es superior a 7 °C.

Por lo que a partir de nuestros datos de temperatura media mínima se puede deducir los siguientes periodos según Emberger.

RIESGO	T _{mmin} (°C)	INICIO	FIN	Nº DÍAS
Seguro	T _{mmin} < 0 °C	-	-	0
Frecuente	0° C < T _{mmin} < 3 °C	Diciembre	Febrero	90
Poco frecuente	3 °C < T _{mmin} < 7 °C	Noviembre	Abril	181
Muy poco frecuente	T _{mmin} > 7 °C	Mayo	Octubre	184

Tabla.8. Régimen de heladas según Emberger.

Estaciones libres de heladas según Papadakis

Tiene en cuenta las fechas del año en que se dan temperaturas mínimas absolutas (T_{ma}) menores o igual a 0 °C, a 2 °C y a 7 °C.

Con los valores de estas temperaturas se calcula el periodo medio, el periodo máximo y el periodo libre de heladas (la totalidad del año menos el periodo medio con heladas).

PERIODO	T _{ma} < 0 °C	T _{ma} < 2 °C	T _{ma} < 7 °C
Máximo	1 nov-17 abr (167 días)	12 oct-21 abr (191días)	18 sep-8 jun (263 días)
Medio	25 nov-2 abr (128 días)	30 oct-10 abr (162 días)	5 oct-24 may (231días)
Libre	237 días	203 días	134 días

Tabla.9. Periodos máximos y medios de heladas y periodos libres de heladas según Papadakis.

Así pues se establecen las siguientes estaciones libres de heladas según Papadakis:

- **Estación media libre de heladas (T > 0 °C): 237 días.**
- **Estación disponible libre de heladas (T > 2 °C): 203 días.**
- **Estación mínima libre de heladas (T > 7 °C): 134 días.**

2.2. Horas de frío

Las horas de frío se definen como el número de horas que pasa el cultivo, durante el periodo de reposo invernal, a temperaturas iguales o inferiores a un determinado umbral. Casi todos los trabajos utilizan como umbral la temperatura de 7°C, llamada **temperatura base**. La acumulación se realiza durante el periodo de reposo, y su duración se fija desde la caída de la hoja (fecha media de la primera helada) hasta unos días antes del desborre de las yemas (Marzo-Abril).

A falta de datos directos, para el cálculo de las horas de frío, emplearemos tres métodos simples distintos de estimación: Correlación de Weimberger, método de Mota y método de Tabuenca.

Correlación de Weimberger (1956)

Weimberger establece una correlación entre horas de frío (número de horas bajo 7 °C) y temperatura media de las medias de los meses de Diciembre y Enero, según la *Tabla.10* y aplicando la siguiente fórmula:

$$T = \frac{(TD + TE)}{2} \quad [1]$$

Siendo; TD = T^a media en diciembre y TE = T^a media en enero.

T	13,2	12,3	11,4	10,6	9,8	9,0	8,3	7,6	6,9	6,3
H	450	550	650	750	850	950	1050	1150	1250	1350

Tabla.10. Correlación de Weimberger entre la t^a media de las medias de Diciembre y Enero (T) y el número de horas de frío (H < 7 °C).

Siendo las temperaturas medias de 4,4° C y 4,8° C, para los meses de diciembre y enero, respectivamente.

$$T = \frac{(4,4 + 4,8)}{2} = 4,6^{\circ}C$$

Se puede deducir que el número de **horas frío** es **mayor a 1350 H.**

Método de Mota (1957)

Mota correlaciona las horas de frío (número de horas bajo 7 °C) y la temperatura media de los meses durante el periodo de reposo invernal, según la siguiente ecuación.

$$y = 485,1 - 28,5x \quad [2]$$

Siendo; y = N° mensual de horas de frío, x = Temperatura media mensual.

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	
X	15,2	8,6	4,4	4,8	5,7	9,3	12,5	$\square Y$
Y	52,0	239,3	360,5	346,9	324,0	218,9	128,3	1670,1

Tabla.11. Cálculo de las horas de frío según el método de Mota.

$\rightarrow Y = 1670$ horas de frío.

Método de Tabuena

Este método es una adaptación del método de Mota para el Valle del Ebro. En este caso, Tabuena utiliza las temperaturas medias entre el 1 de Noviembre y el 1 de abril, según la siguiente ecuación.

$$y = 700,1 - 48,6x \quad [3]$$

Siendo; y = N° mensual de horas de frío, x = Temperatura media mensual.

	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	
X	8,6	4,4	4,8	5,7	9,3	$\square Y$
Y	280,9	487,7	464,5	425,4	246,2	1904,7

Tabla.12. Cálculo de las horas de frío según el método de Tabuena.

$\rightarrow Y = 1905$ horas de frío.

3. Elementos hídricos

3.1. Precipitaciones

Nos encontramos en una zona en donde las mayores precipitaciones se localizan en dos épocas del año que son en otoño y primavera siendo. Siendo en primavera más intensas.

Los registros más bajos se dan en los meses de verano, aunque en este periodo tomado, las medias pluviométricas nos indican lo contrario. Hay que tener en cuenta que durante el verano los días de lluvia son menores pero estas caen con mayor intensidad debido a que se produce en forma de tormentas.

En las siguientes tablas se muestran las precipitaciones medias mensuales y el número de eventos de precipitación de cada mes entre los años 2004 y 2013.

PRECIPITACIÓN (mm)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2004	5,4	29,6	68,6	31,6	17,4	3,0	34,6	39,6	3,4	39,6	18,6	28,8	320,2	
2005	3,0	4,6	12,4	24,0	45,8	17,2	5,2	25,8	25,6	71,2	18,8	19,6	273,2	
2006	28,6	21,2	26,8	26,4	10,4	15,6	33,6	26,6	196,4	15,8	10,6	24,4	436,4	
2007	11,6	22,8	18,0	92,8	39,6	33,6	0,6	21,0	22,8	13,0	7,6	17,6	301,0	
2008	31,6	24,6	10,0	55,0	126,6	37,2	19,2	18,8	35,0	72,2	28,2	19,2	477,6	
2009	0,6	14,0	26,2	117,6	18,8	14,2	2,8	53,8	40,4	29,6	19,6	52,0	389,6	
2010	48,6	36,0	25,8	17,4	40,6	45,4	7,0	2,2	50,6	53,6	36,4	17,8	381,4	
2011	16,0	4,0	40,0	14,2	32,4	4,6	1,4	6,2	18,3	21,1	61,0	5,2	224,4	
2012	2,6	1,0	8,6	112,5	17,8	39,0	3,8	0,0	12,5	109,7	32,2	17,5	357,2	
2013	28,4	9,6	81,0	55,3	26,4	50,5	53,8	15,1	34,7	28,9	40,1	14,8	438,6	
MEDIA	17,6	16,7	31,7	54,7	37,6	26,0	16,2	20,9	44,0	45,5	27,3	21,7	360,0	

Tabla.13. Valores mensuales y anuales de precipitación (mm), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

Nº DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN (días)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2004	2	5	7	7	4	2	5	2	1	5	3	4	47	
2005	0	2	3	3	7	4	1	4	2	9	5	4	44	
2006	5	3	6	3	3	4	5	2	10	5	1	3	50	
2007	3	3	3	10	5	10	0	5	2	2	2	4	49	
2008	4	6	4	10	14	5	3	4	5	7	4	2	68	
2009	0	3	5	9	6	5	1	5	4	5	5	8	56	
2010	9	10	7	6	8	4	3	1	5	5	4	6	68	
2011	4	2	5	3	3	2	1	3	2	3	7	1	36	
2012	0	0	1	10	5	8	1	0	3	9	5	3	45	
2013	5	2	14	10	4	5	8	4	4	5	4	4	69	
MEDIA	3,2	3,6	5,5	7,1	5,9	4,9	2,8	3,0	3,8	5,5	4,0	3,9	53,2	

Tabla.14. Número de eventos de precipitación por mes y año (días), obtenidos a partir de los datos de precipitaciones diarias superiores a 1mm registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

El mes que presenta una mayor pluviometría es abril con una media de 54,7 mm. En cambio el mes menos lluvioso es julio, con una precipitación media de 16,2 mm, siguiéndole febrero y enero con 16,7 y 17,6 mm de media respectivamente.

En cuanto a precipitaciones anuales la máxima pluviometría registrada corresponde al año 2008 con un total de 477,6 mm totales, y el año menos lluvioso es el 2011 con 224,4 mm totales.

La mayor pluviometría mensual queda registrada en el mes de septiembre de 2006 con 196,4 mm.

El mes con mayor número de eventos de precipitación (días en los que la precipitación es superior a 1 mm) es abril con 7,1 días y el que presenta menor número de eventos de precipitación es julio con 2,8 días.

La **precipitación media anual** es de **360 mm** y el número de eventos de precipitación medio anual es de 53,2 días, repartidos por estaciones según se muestra en la siguiente tabla.

ESTACIÓN	MES	P_{media} (mm)	Nº Eventos de prec.	% Prec	% Eventos
Invierno	Diciembre	21,7	3,9	15,6	20,1
	Enero	17,6	3,2		
	Febrero	16,7	3,6		
Primavera	Marzo	31,7	5,5	34,4	34,8
	Abril	54,7	7,1		
	Mayo	37,6	5,9		
Verano	Junio	26,0	4,9	17,5	20,1
	Julio	16,2	2,8		
	Agosto	20,9	3,0		
Otoño	Septiembre	44,0	3,8	32,4	25,0
	Octubre	45,5	5,5		
	Noviembre	27,3	4,0		
TOTAL		360,0	53,2		

Tabla.15. Resumen de valores medios mensuales de precipitación media (P_{media}), número de eventos de precipitación y su reparto por estación (%), resultantes de las tablas 12 y 13.

Primavera es la estación con mayores lluvias y más constantes, seguida de otoño, también con abundantes lluvias, pero de manera menos frecuente.

En invierno y verano las lluvias son escasas y muy irregulares.

3.2. Humedad relativa

La humedad relativa es un dato meteorológico imprescindible a la hora de calcular la evapotranspiración de referencia (ET_0).

En la *Tabla.16* se puede observar que la **humedad relativa media** esta por encima del **67%**.

Los meses que presentan mayor humedad relativa son los meses de invierno y otoño, más concretamente Enero con un 82,1% y Diciembre con un 82%. El menor valor de humedad relativa media corresponde al mes de Julio con un valor de 54,6%.

HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	
2004	76,5	86,8	71,5	70,7	63,7	54,0	58,1	57,9	62,4	66,7	77,3	81,1	68,9	
2005	79,8	62,6	57,7	58,5	51,4	51,3	50,5	57,5	59,1	73,4	78,0	84,6	63,7	
2006	83,1	75,9	69,1	63,2	52,3	50,6	49,8	54,3	67,2	74,5	80,5	88,3	67,4	
2007	86,1	77,1	64,1	72,6	59,6	57,9	53,5	58,0	63,6	67,7	67,1	78,9	67,2	
2008	87,7	76,1	63,9	65,6	71,7	61,6	57,5	58,6	67,8	74,0	78,8	79,7	70,2	
2009	81,2	75,1	65,7	71,6	60,3	54,8	55,5	60,4	65,3	69,2	76,4	84,3	68,3	
2010	83,8	75,6	67,2	67,1	62,7	62,4	54,2	54,8	63,5	68,5	75,2	76,9	67,6	
2011	83,7	71,0	71,1	65,1	60,0	57,9	55,3	58,0	61,5	65,5	88,0	82,6	68,3	
2012	79,5	50,6	53,6	66,5	60,6	51,5	55,2	51,0	60,9	71,3	80,1	79,4	63,3	
2013	80,2	69,0	72,4	66,8	68,3	61,2	56,7	62,1	64,2	68,4	69,6	84,5	68,6	
MEDIA	82,1	72,0	65,6	66,8	61,1	56,3	54,6	57,3	63,5	69,9	77,1	82,0	67,4	

Tabla.16. Valores mensuales y anuales de humedad relativa media (%), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

HUMEDAD RELATIVA MÁXIMA (%)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	
2004	12,4	9,9	14,3	16,7	22,2	30,3	29,6	29,9	27,6	22,2	12,9	10,3	19,9	
2005	90,9	84,8	83,6	83,0	77,9	79,4	77,4	83,8	84,5	88,8	92,4	94,7	85,1	
2006	92,7	92,6	90,4	88,8	80,7	79,8	80,4	82,5	87,6	91,2	92,1	95,7	87,9	
2007	96,0	94,2	89,1	92,4	86,7	88,1	82,3	85,7	90,3	90,2	88,4	92,0	89,6	
2008	96,8	93,4	86,7	90,7	92,0	88,9	85,4	85,7	91,1	92,3	93,1	92,2	90,7	
2009	92,4	92,9	90,8	93,2	88,0	83,7	85,3	85,9	92,0	92,2	93,1	96,0	90,5	
2010	96,9	93,9	91,5	93,8	89,2	92,9	83,5	83,3	87,8	89,3	91,3	90,4	90,3	
2011	94,9	91,7	90,5	89,4	87,8	86,5	83,7	85,1	88,4	87,5	98,1	94,2	89,8	
2012	94,5	77,8	80,3	87,5	87,2	78,5	83,3	78,3	85,8	90,7	93,6	93,4	85,9	
2013	94,9	89,3	92,5	90,2	90,8	89,5	83,4	87,0	88,9	89,3	89,0	94,8	90,0	
MEDIA	86,2	82,1	81,0	82,6	80,3	79,8	77,4	78,7	82,4	83,4	84,4	85,4	82,0	

Tabla.17. Valores mensuales y anuales de humedad relativa máxima (%), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

HUMEDAD RELATIVA MÍNIMA (%)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	
2004	55,5	63,9	42,2	44,5	35,0	26,5	30,4	31,9	34,9	41,0	54,6	62,2	43,6	
2005	63,3	34,9	30,0	32,8	26,7	24,9	25,0	31,2	33,3	51,2	57,0	66,4	39,7	
2006	66,7	51,0	42,2	33,5	25,6	24,7	23,7	27,8	42,2	51,5	61,3	71,7	43,5	
2007	69,1	52,0	34,9	45,4	33,1	28,0	26,7	29,5	34,3	40,0	39,0	60,0	41,0	
2008	67,0	51,4	37,8	36,5	45,7	33,1	27,7	29,8	38,3	48,9	55,8	58,0	44,2	
2009	52,1	49,2	36,5	44,7	33,1	27,0	27,0	32,3	36,0	41,7	52,2	64,8	41,4	
2010	63,8	51,0	38,8	38,5	35,7	31,9	27,1	29,1	35,5	41,0	47,2	56,6	41,3	
2011	65,1	42,0	45,4	35,8	30,4	29,1	27,8	28,8	32,0	40,7	69,3	62,1	42,4	
2012	55,1	24,8	27,4	41,9	33,6	25,9	27,2	24,0	34,9	46,8	58,0	56,8	38,0	
2013	55,7	42,5	47,3	40,0	40,8	33,8	28,9	34,5	35,1	41,1	43,1	65,4	42,3	
MEDIA	61,3	46,3	38,3	39,4	34,0	28,5	27,1	29,9	35,7	44,4	53,7	62,4	41,7	

Tabla.18. Valores mensuales y anuales de humedad relativa mínima (%), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
HR _{med}	82,1	72,0	65,6	66,8	61,1	56,3	54,6	57,3	63,5	69,9	77,1	82,0	67,4
HR _{max}	86,2	82,1	81,0	82,6	80,3	79,8	77,4	78,7	82,4	83,4	84,4	85,4	82,0
HR _{min}	61,3	46,3	38,3	39,4	34,0	28,5	27,1	29,9	35,7	44,4	53,7	62,4	41,7

Tabla.19. Resumen de valores medios mensuales de humedad relativa media (HR_{med}), humedad relativa máxima (HR_{max}) y humedad relativa mínima (HR_{min}) en %, resultantes de las tablas 16, 17 y 18.

3.3. Punto de rocío, rocío, escarcha y neblina o niebla

El **punto de rocío** es la temperatura a partir de la cual empieza a condensarse el vapor de agua contenida en el aire, produciéndose rocío, neblina, niebla o escarcha.

Para una masa dada de aire, que contiene una cantidad dada de vapor de agua (humedad absoluta), se dice que la humedad relativa es la proporción de vapor

contenida en relación a la necesaria para llegar al punto de saturación, expresada en porcentaje. Cuando el aire se satura (humedad relativa igual al 100%) se llega al punto de rocío. La saturación se produce por un aumento de humedad relativa con la misma temperatura, o por un descenso de temperatura con la misma humedad relativa.

El **rocío** es el fenómeno físico-meteorológico en el que la humedad del aire se condensa en forma de gotas por la disminución brusca de la temperatura, o el contacto con superficies frías. Se habla de rocío cuando se trata de condensación sobre una superficie, usualmente sobre la cubierta vegetal.

La **escarcha** es la capa de hielo cristalino que se forma, en forma de escamas, agujas, plumas o abanicos, sobre superficies expuestas a la intemperie que se han enfriado lo suficiente como para provocar la deposición directa del vapor de agua contenido en el aire. Se origina cuando la temperatura de punto de rocío es inferior a 0°C.

La **neblina o niebla** son fenómenos meteorológicos consistentes en nubes muy bajas, cerca o a nivel del suelo y formadas por partículas de agua de pequeño volumen en suspensión.

- **Neblina:** referido a la suspensión de gotas pequeñas de agua producidas a humedades relativas de 80-90% y que provocan una visibilidad de 1 a 10 km.

- **Niebla:** referido a la suspensión de gotas pequeñas de agua producidas a humedades relativas de 90-100% y que provocan una visibilidad de menos de 1 km.

Para realizar una correcta caracterización agroecológica de la zona de estudio debemos conocer con exactitud los días de rocío, escarcha y neblina o niebla.

Para ello, antes es necesario obtener los valores de puntos o temperaturas de rocío, según se muestra en la *Tabla.20*, calculados a partir de la siguiente ecuación:

$$P_r = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} \cdot [112 + (0,9 \cdot T)] + (0,1 \cdot T) - 112 \quad [4]$$

Siendo; P_r = Punto de rocío (°C), T = Temperatura media (°C), H = Humedad relativa media (%).

PUNTO DE ROCÍO (°C)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	
2004	2,8	2,4	2,7	5,6	8,6	12,6	13,7	14,3	12,8	9,6	3,1	2,3	7,5	
2005	-1,4	-3,2	0,9	4,6	7,3	12,5	13,0	13,2	11,0	10,6	4,7	-0,8	6,0	
2006	1,5	0,4	5,0	6,4	8,3	11,2	14,6	11,5	13,8	12,1	8,0	1,2	7,8	
2007	2,2	3,8	2,5	8,5	8,7	12,0	12,6	12,8	11,5	8,2	0,2	0,5	6,9	
2008	3,6	4,1	2,6	5,8	10,0	12,0	14,0	14,1	12,1	9,0	2,9	1,4	7,6	
2009	4,2	2,0	3,5	6,1	10,4	12,8	14,5	15,9	12,6	9,4	6,0	2,4	8,3	
2010	1,5	0,6	2,2	6,6	7,6	12,2	14,9	13,3	11,3	7,4	3,7	0,4	6,8	
2011	1,1	2,2	4,3	8,3	10,2	11,7	12,4	15,2	13,5	9,0	8,7	3,3	8,3	
2012	1,0	-5,8	1,7	5,0	10,0	12,0	13,3	14,2	11,5	9,7	5,8	2,8	6,8	
2013	2,2	0,3	4,4	5,3	7,0	11,0	15,1	14,6	12,2	10,3	3,3	0,6	7,2	
MEDIA	1,9	0,7	3,0	6,2	8,8	12,0	13,8	13,9	12,2	9,5	4,6	1,4	7,3	

Tabla 20. Valores mensuales y anuales de temperatura o punto de rocío (°C), elaborados a partir de los datos diarios de temperatura media y humedad relativa media registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

A la hora de calcular el número de días de rocío, escarcha y neblina o niebla, se ha tenido las siguientes consideraciones:

- Los días con rocío son aquellos en los que la temperatura media mínima es igual o inferior al punto de rocío.
- Los días con escarcha son aquellos días de rocío en los que el punto de rocío es igual o inferior a 0°C.
- Los días de neblina o niebla son aquellos días de rocío en los que la humedad relativa media es igual o superior al 80%.

Nº DE DÍAS DE ROCÍO (días)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2004	21	26	22	21	12	3	2	3	7	9	22	23	171	
2005	22	13	8	8	2	0	0	2	3	20	21	29	128	
2006	21	21	14	13	4	1	0	2	10	19	18	27	150	
2007	28	21	12	20	8	5	4	5	11	20	22	22	178	
2008	28	24	12	18	14	11	5	6	16	20	23	15	192	
2009	5	21	18	22	12	5	4	11	14	15	18	25	170	
2010	21	18	15	17	13	13	2	2	11	16	18	20	166	
2011	28	19	18	17	12	8	0	7	9	14	25	25	182	
2012	26	9	9	12	11	4	1	2	8	18	22	23	145	
2013	20	11	20	16	18	13	1	11	14	15	16	25	180	
MEDIA	22,0	18,3	14,8	16,4	10,6	6,3	1,9	5,1	10,3	16,6	20,5	23,4	166,2	

Tabla.21. Número de días de rocío por mes y año, obtenidos a partir de los datos de la tabla 20 y las temperaturas medias mínimas registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

Nº DE DÍAS ESCARCHA (días)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2004	2	6	7	1	0	0	0	0	0	0	1	3	20	
2005	9	9	4	0	0	0	0	0	0	0	2	19	43	
2006	2	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12	24	
2007	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	10	21	
2008	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	3	13	
2009	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	8	
2010	4	5	4	0	0	0	0	0	0	0	3	5	21	
2011	8	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	17	
2012	3	5	1	0	0	0	0	0	0	1	0	6	16	
2013	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	10	18	
MEDIA	4,0	3,7	2,2	0,2	0	0	0	0	0	0,1	2,1	7,8	20,1	

Tabla.22. Número de días de escarcha por mes y año, obtenidos a partir de los datos de las tablas 20 y 21.

Nº DE DÍAS DE NEBLINA O NIEBLA (días)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2004	11	23	6	6	1	0	0	0	0	1	12	19	79	
2005	19	3	2	0	0	0	0	0	1	7	7	21	60	
2006	18	10	1	1	0	0	0	0	3	5	7	25	70	
2007	22	10	1	10	1	0	0	0	2	1	4	12	63	
2008	23	10	1	4	4	1	1	0	3	8	16	8	79	
2009	3	5	5	4	0	0	0	0	1	7	10	20	55	
2010	19	10	3	3	4	1	0	0	2	3	6	12	63	
2011	21	1	2	1	1	0	0	0	0	6	22	16	70	
2012	16	0	1	5	0	1	0	0	1	6	17	12	59	
2013	15	2	5	5	3	1	0	0	2	1	4	17	55	
MEDIA	16,7	7,4	2,7	3,9	1,4	0,4	0,1	0,0	1,5	4,5	10,5	16,2	65,3	

Tabla.23. Número de días de neblina o niebla, obtenidos a partir de los datos de la tabla 21 y las humedades relativas medias superiores al 80%, registradas entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

Los días de escarcha se concentran principalmente entre los meses de noviembre a marzo, siendo el mes de diciembre el de mayor número de días de escarcha, con 7, 8 días, seguido de enero y febrero con 4 y 3,7 días respectivamente.

Los meses de diciembre y enero son los meses con mayor número de días de niebla o neblina, 16,7 días y 16,2 días, respectivamente.

4. Viento

El viento es un factor que influye en gran medida en los cultivos, tanto por su fuerza, como por su dirección.

En la zona en la que se encuentra ubicada la parcela los vientos predominantes son el cierzo (viento normalmente frío y con dirección W-WN) y el Bochorno (viento normalmente cálido y de dirección E-SE).

A continuación se representa la variable U_{24} expresada en Km/día (velocidad diaria del viento como media de las 24 horas a 2 m sobre el nivel del suelo).

VELOCIDAD MEDIA DIARIA DEL VIENTO (Km/día)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2004	4,2	2,7	3,5	3,7	3,2	2,6	2,5	2,3	2,4	2,1	2,5	3,3
2005	3,0	4,0	3,2	4,5	3,6	3,1	2,8	2,7	2,2	2,5	2,8	2,2
2006	2,5	2,4	4,3	3,2	3,1	2,7	2,5	3,1	2,9	2,5	2,5	1,9
2007	2,7	3,3	4,5	2,5	4,0	2,8	2,8	2,5	2,2	2,0	2,2	3,2
2008	2,4	2,4	5,7	3,5	2,7	2,9	2,4	2,1	2,1	2,0	2,3	2,7
2009	4,1	2,8	3,2	3,3	3,4	2,4	2,4	1,9	2,0	2,3	3,5	3,2
2010	3,8	3,9	3,2	2,6	4,0	2,8	2,3	2,3	2,2	2,3	3,3	3,1
2011	1,9	3,5	3,4	3,0	2,8	2,6	2,9	2,2	2,1	2,3	2,1	3,6
2012	2,9	3,9	3,0	4,0	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,7	2,1	3,0
2013	4,3	5,2	3,9	3,1	4,1	2,9	2,2	2,0	2,1	2,0	3,4	2,0
U_{24} (m/s)	3,2	3,4	3,8	3,3	3,4	2,7	2,5	2,3	2,2	2,3	2,7	2,8
U_{24} (Km/día)	274	293	328	288	290	237	218	202	193	196	230	243

Tabla 24. Valores mensuales y anuales de velocidad media del viento a 2 m sobre el suelo (m/s y Km/día), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

Las curvas de variación diaria de la velocidad del viento durante el día presentan grandes diferencias en función de la situación meteorológica. En general, y cerca de la superficie, la velocidad del viento se incrementa rápidamente después de la salida del Sol debido a un aumento de la inestabilidad atmosférica, alcanza su máximo al mediodía y disminuye sensiblemente por la noche.

La velocidad del viento durante el día ($U_{día}$), en cualquier dirección a 2 m sobre el suelo se puede estimar a partir de la siguiente expresión (Doorenbos y Pruitt, 1977).

$$U_{día} = \left[2 \cdot U_{24} \cdot \left(\frac{U_d}{U_n} \right) \right] \div \left[1 + \left(\frac{U_d}{U_n} \right) \right] \quad [5]$$

Siendo; $U_{día}$ =Velocidad diurna diaria del viento (m/s), U_{24} = Velocidad diaria del viento como media de las 24 horas (m/s), U_d = Velocidad del viento diurna (m/s), U_n = Velocidad del viento nocturna (m/s).

En la siguiente tabla se calculan las medias mensuales de $U_{día}$.

VELOCIDAD DIURNA DIARIA DEL VIENTO (m/s)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2004	4,4	2,9	4,3	4,5	3,7	3,1	3,0	2,6	2,8	2,3	2,8	3,5
2005	3,0	4,4	3,6	5,2	4,3	3,4	2,9	3,0	2,4	2,6	3,1	2,6
2006	2,5	2,6	4,8	4,0	3,5	3,1	2,6	3,6	2,9	2,8	2,5	1,7
2007	2,9	3,9	5,3	3,0	4,8	3,1	3,1	2,6	2,3	2,3	2,4	3,1
2008	2,3	2,5	6,6	4,2	3,2	3,3	2,5	2,2	2,2	2,0	2,3	3,0
2009	4,0	3,3	3,6	4,0	3,9	2,7	2,7	1,9	2,2	2,5	4,0	3,4
2010	4,0	4,3	3,6	3,1	4,7	3,3	2,4	2,4	2,5	2,6	3,8	3,2
2011	2,2	4,2	3,9	3,5	3,3	2,8	3,4	2,4	2,4	2,3	2,1	3,8
2012	3,3	4,5	3,4	4,6	3,0	3,1	2,6	2,5	2,4	3,0	2,3	3,1
2013	4,8	5,9	4,4	3,4	5,0	3,5	2,2	2,2	2,5	2,2	3,9	1,8
$U_{día}$ (m/s)	3,3	3,9	4,3	3,9	3,9	3,1	2,7	2,5	2,5	2,5	2,9	2,9

Tabla.25. Valores mensuales de velocidad diurna diaria del viento a 2 m sobre el suelo (m/s), elaborados a partir de los datos diarios de U_{24} , U_d y U_n registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

El viento supone una pérdida de uniformidad del riego por aspersión, con lo cual habrá que tenerlo en cuenta a la hora de diseñar el sistema de tuberías. La idea es prever periodos en los que no será posible regar debido al viento.

Los datos de los vientos se representan en la *Tabla.26* (el sumatorio del número de veces que ha soplado el viento en una dirección dividido por los 12 meses del año da el porcentaje de veces que se ha observado con respecto al resto de direcciones).

DÍAS DE VIENTO MENSUALES (%)											
AÑO	N	NE	E	SE	SE	SW	W	WN	VIENTO	CALMA	
ENE	4,8	6,8	1,0	0,3	0,3	0,0	17,1	24,5	54,8	45,2	
FEB	5,4	8,2	5,7	0,4	0,0	0,4	18,2	36,1	74,3	25,7	
MAR	3,5	6,5	14,5	0,3	0,6	0,3	22,6	34,2	82,6	17,4	
ABR	4,0	5,0	26,0	1,7	0,3	0,3	22,0	27,0	86,3	13,7	
MAY	2,9	5,8	29,0	3,5	0,6	1,0	31,3	17,4	91,6	8,4	
JUN	1,3	3,0	23,3	9,7	2,7	2,3	32,7	10,7	85,7	14,3	
JUL	0,6	0,6	25,8	7,1	2,9	3,2	27,1	7,4	74,8	25,2	
AGO	0,3	0,6	24,8	3,5	0,3	0,6	31,0	4,2	65,5	34,5	
SEP	0,7	4,7	21,0	1,0	0,3	0,0	16,3	16,0	60,0	40,0	
OCT	2,6	6,8	20,3	0,3	0,0	0,6	10,3	20,3	61,3	38,7	
NOV	2,3	7,3	5,3	0,0	0,0	0,0	17,3	23,7	56,0	44,0	
DIC	2,6	8,4	1,3	0,0	0,0	0,0	15,5	23,2	51,0	49,0	
AÑO	2,6	5,3	16,5	2,3	0,7	0,7	21,8	20,4	70,3	29,7	

Tabla.26. Valores mensuales y anuales de días de viento (%), elaborados a partir de los datos diarios de dirección media del viento a 2 m sobre el suelo registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

El total de **días con viento** es del **70,3%** por lo que el periodo de **calma** supone solo un **29,7%**.

Si representamos los datos mensuales medios de los días de viento (%) para cada dirección de la *Tabla.26* en una gráfica de frecuencias radiales, obtenemos la denominada “Rosa de los vientos” de la zona de estudio.

En la *Figura.2* se puede observar de manera muy clara que el Cierzo, con dirección W-WN, es predominante.

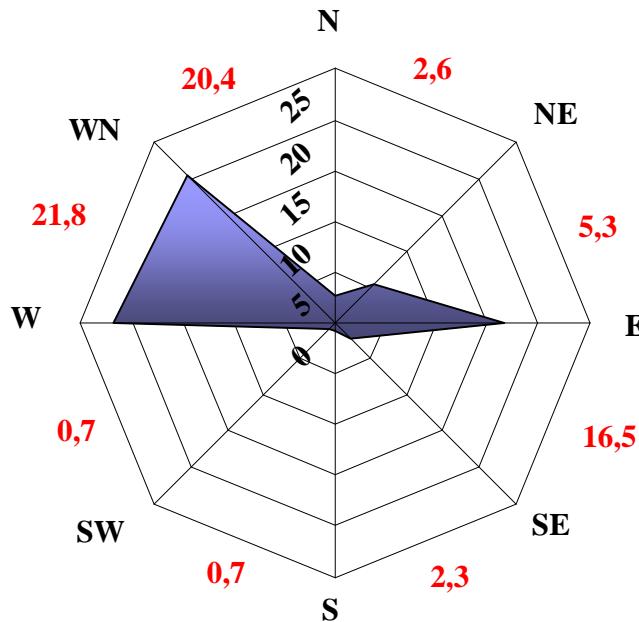


Figura.2. “Rosa de los vientos” descrita entre 2004 y 2013 en la zona de estudio.

5. Radiación solar

La **radiación solar extraterrestre**, R_A , es la radiación solar global media diaria que se recibe sobre una superficie horizontal situada en el límite superior de la atmósfera. Esta es función de la latitud y de la inclinación de la tierra, es decir del momento del año en el que nos encontramos.

Para poder calcular más adelante (Apartado 7) la evapotranspiración nos interesa conocer también la media mensual del **coeficiente de insolación n/N** , donde n son las **horas diarias de insolación reales** (parámetro que depende de la nubosidad), y N las **horas diarias de insolación teóricas** (parámetro que depende de la latitud) y el **porcentaje de horas de insolación diurnas mensuales respecto al total anual (p)**, que va a depender también de la latitud.

Los valores de N y p están tabulados en tablas y se pueden obtener a partir de la latitud, según Doorembos y Pruitt (1977), que para toda España es de 42° Latitud Norte.

Los valores de R_A y n los obtenemos a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto. (*Tabla.27* y *Tabla.28*, respectivamente)

Todos estos parámetros dependen del momento del año en el que nos encontramos, por lo que son diferentes para cada mes. En la *Tabla.29* se muestran los valores mensuales medios.

Radiación Solar extraterrestre (MJ/m ² · día)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2004	7,7	9,1	14,9	19,6	23,9	27,7	26,4	22,2	17,9	11,9	8,3	6,1
2005	6,7	12,7	16,9	21,6	23,8	26,2	27,5	23,0	19,0	11,0	7,9	6,2
2006	5,3	10,5	15,2	21,4	24,9	26,3	26,9	24,6	17,3	11,9	6,7	6,0
2007	6,0	9,9	16,4	17,8	23,9	27,0	27,3	23,1	18,9	13,5	9,8	6,4
2008	6,7	10,3	16,7	20,5	20,6	26,5	27,2	23,8	17,8	11,6	8,0	5,9
2009	7,0	11,1	16,2	19,2	24,6	25,8	27,1	23,6	18,7	12,9	8,1	5,3
2010	6,2	9,7	15,1	19,4	23,9	25,5	28,0	24,2	18,3	13,4	8,8	6,2
2011	6,6	12,4	15,6	22,4	26,1	27,8	28,3	24,4	20,2	14,1	6,4	7,2
2012	8,2	14,1	18,8	18,9	26,2	27,7	27,9	24,2	18,6	13,0	7,7	7,4
2013	8,6	12,3	15,3	19,7	24,7	25,7	26,9	24,0	19,3	13,1	9,2	6,1
R _A media	6,9	11,2	16,1	20,1	24,3	26,6	27,3	23,7	18,6	12,6	8,1	6,3

Tabla.27. Valores mensuales y anuales de radiación solar extraterrestre, R_A (MJ/m²· día), elaborados a partir de los datos diarios de radiación solar global media registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

Horas diarias de insolación reales (h)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2004	7,0	7,2	9,3	10,8	11,8	12,8	12,5	11,7	10,2	8,4	6,6	6,0
2005	5,5	8,7	9,9	11,2	11,9	12,6	12,7	11,4	10,4	8,1	6,9	6,0
2006	5,4	8,0	9,4	11,2	12,3	12,4	12,6	11,8	10,0	8,4	6,1	6,0
2007	5,6	7,9	9,6	10,3	12,0	12,7	12,7	11,5	10,5	9,1	7,7	6,3
2008	6,4	7,8	10,0	10,8	11,0	12,6	12,7	11,6	10,0	7,8	6,9	5,9
2009	7,0	8,1	9,4	10,4	12,2	12,4	12,6	11,8	10,5	8,7	7,1	5,1
2010	5,7	7,3	9,3	10,7	11,9	12,5	12,8	11,8	10,0	8,7	7,6	6,0
2011	5,9	8,5	9,2	11,2	12,1	12,6	12,6	11,9	10,7	8,9	6,0	6,3
2012	6,9	9,0	10,1	10,7	12,3	12,4	12,5	11,8	10,4	8,4	6,6	6,6
2013	7,2	8,6	9,2	9,7	11,2	11,3	11,6	11,2	9,7	8,0	6,7	4,8
n _{media}	6,2	8,1	9,5	10,7	11,9	12,4	12,5	11,6	10,2	8,5	6,8	5,9

Tabla.28. Valores mensuales y anuales de horas de insolación reales, n (h), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
R _A (MJ/m ² .día)	6,9	11,2	16,1	20,1	24,3	26,6	27,3	23,7	18,6	12,6	8,1	6,3
n (h)	6,2	8,1	9,5	10,7	11,9	12,4	12,5	11,6	10,2	8,5	6,8	5,9
N _{42ºLat.N} (h)	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,6	11,1	9,8	9,1
n/N	0,66	0,76	0,80	0,80	0,81	0,82	0,84	0,84	0,81	0,76	0,70	0,65
p _{Lat.N} (%)	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21

Tabla.29. Resumen de valores medios mensuales de Radiación extraterrestre, R_A y horas de insolación reales, n (resultantes de las tablas 27 y 28), horas de insolación teóricas, N, (Valores tabulados), coeficiente de insolación, n/N y porcentaje de horas de insolación respecto al total anual (Valores tabulados).

6. Clasificaciones climáticas

La desigual distribución de parámetros climáticos como: temperatura, precipitación, humedad relativa, radiación o evapotranspiración, origina los distintos climas del planeta.

A partir de los datos climáticos obtenidos en los apartados anteriores, se van a calcular una serie de índices climáticos, siguiendo los criterios de varios autores, que intentan caracterizar al clima en cuestión.

Los cuatro primeros (Índice de Lang, Índice de Martonne, Índice de Dantín Cereceda y Revenga e índice de Emberger) son los llamados índices de aridez o índices termopluviométricos, ya que todos consideran como datos fundamentales las precipitaciones caídas a lo largo del año (como fuente de agua) y las temperaturas (como indicador de la capacidad para evaporar del clima en cuestión).

6.1. Índice de Lang

El índice termopluviométrico de Lang se calcula mediante la siguiente expresión.

$$I_L = \frac{P}{T} \quad [6]$$

Siendo; I_L = Índice de Lang, P = Precipitación media anual (mm) y T = Temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$).

En nuestra zona de estudio la temperatura media anual es de $13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la pluviometría de 360 mm. Por lo tanto, el valor del índice de Lang es:

$$I_L = \frac{360}{13,7} = 26,27$$

La caracterización climática que propone Lang puede interpretarse en la siguiente tabla.

I_L	ZONAS CLIMÁTICAS
$0 \leq I_L < 20$	Desiertos
$20 \leq I_L < 40$	Zona árida
$40 \leq I_L < 60$	Zona húmeda de estepa y sabana
$60 \leq I_L < 100$	Zona húmeda de bosques ralos
$100 \leq I_L < 160$	Zona húmeda de bosques densos
$I_L \geq 160$	Zona hiperhúmeda de prados y tundras

Tabla.30. Zonas climáticas de Lang. Fuente: Urbano Terrón, P. (1995) "Tratado de fitotecnia general", 2^a edición, Ed. Mundi - Prensa, Bilbao.

Según esta clasificación, nos encontramos ante una **zona árida**.

6.2. Índice de Martonne

El índice termopluviométrico de Martonne se obtiene mediante la fórmula:

$$I_M = \frac{P}{T + 10} \quad [7]$$

Siendo; I_M = Índice de Martonne, P = Precipitación media anual (mm) y T = Temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$).

En nuestra zona de estudio la temperatura media anual es de $13,7 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ y la pluviometría de 360 mm. Por lo tanto, el valor del índice de Martonne es:

$$I_M = \frac{360}{13,7 + 10} = 15,19$$

Martonne propone la siguiente clasificación:

I_M	ZONAS CLIMÁTICAS
$0 \leq I_M < 5$	Desiertos
$5 \leq I_M < 10$	Semidesierto
$10 \leq I_M < 20$	Estepas y países secos mediterráneos
$20 \leq I_M < 30$	Regiones del olivo y de los cereales
$30 \leq I_M < 40$	Regiones subhúmedas de prados y bosques
$I_M \geq 40$	Zonas húmedas a muy húmedas

Tabla.31. Zonas climáticas de Martonne. Fuente: Urbano Terrón, P. (1995) "Tratado de fitotecnia general", 2^a edición, Ed. Mundi - Prensa, Bilbao.

Se trata, según esta clasificación, de una zona característica de **estepas y países secos mediterráneos**.

6.3. Índice de Dantín Cereceda y Revenga

El índice termopluviométrico de Dantín Cereceda y Revenga se calcula mediante la expresión:

$$I_{DR} = \frac{(100 \cdot T)}{P} \quad [8]$$

Siendo; I_{DR} = Índice de Dantín Cereceda y Revenga, P = Precipitación media anual (mm) y T = Temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$).

En nuestra zona de estudio la temperatura media anual es de 13,7 °C y la pluviometría de 360 mm. Por lo tanto, el valor del índice de Dantín Cereceda y Revenga es:

$$I_{DR} = \frac{(100 \cdot 13,7)}{360} = 3,81$$

Según el valor de este índice tenemos la siguiente clasificación:

I _{DR}	ZONAS CLIMÁTICAS
I _{DR} >4	Zonas áridas
4≥I _{DR} >2	Zonas semiáridas
I _{DR} ≤2	Zonas húmedas y subhúmedas

Tabla.32. Zonas climáticas de Dantín y Revenga. Fuente: Urbano Terrón, P. (1995)"Tratado de fitotecnia general", 2^a edición, Ed. Mundi - Prensa, Bilbao.

Siguiendo esta clasificación, se trata de una **zona semiárida**.

6.4. Índice de Emberger

El índice termopluviométrico de Emberger (1954) fue ideado para caracterizar las comarcas mediterráneas, con el objetivo de clasificar los distintos géneros de clima mediterráneo.

Se calcula mediante la expresión:

$$Q = \frac{(100 \cdot P)}{(M^2 - m^2)} \quad [9]$$

Siendo; Q = Índice de Emberger, P = Precipitación media anual (mm), M = Temperatura media máxima del mes más cálido ($^{\circ}\text{C}$) y m = Temperatura media mínima del mes más frío ($^{\circ}\text{C}$).

En nuestra zona de estudio la temperatura media máxima del mes más cálido, julio, es de $31,3\ ^{\circ}\text{C}$, la temperatura media mínima del mes más frío, diciembre, es de $0,3\ ^{\circ}\text{C}$ y la precipitación media anual es de 360 mm. Por lo tanto, el valor del índice de Emberger es:

$$Q = \frac{(100 \cdot 360)}{(31,3)^2 - (0,3)^2} = 36,75$$

Emberger propone una clasificación del clima mediterráneo, a partir de la confección de un climagrama, gráfica que relaciona los valores de **Q** (eje Y) y **m** (eje X) y permite distinguir cinco subregiones climáticas o **géneros**, delimitados en el gráfico (*Figura.3*).

Además, a cada género le corresponde una formación vegetal, como se muestra en la siguiente tabla.

GÉNERO	VEGETACIÓN
Mediterráneo árido	Matorrales
Mediterráneo semiárido	Pinus halepensis
Mediterráneo templado	Olivo, alcornoque, lentisco
Mediterráneo húmedo	Cedro, abeto mediterráneo, castaño
Mediterráneo de alta montaña	Cedro, abeto, pino, juníperus

Tabla.33. Formaciones vegetativas para cada género de clima mediterráneo.

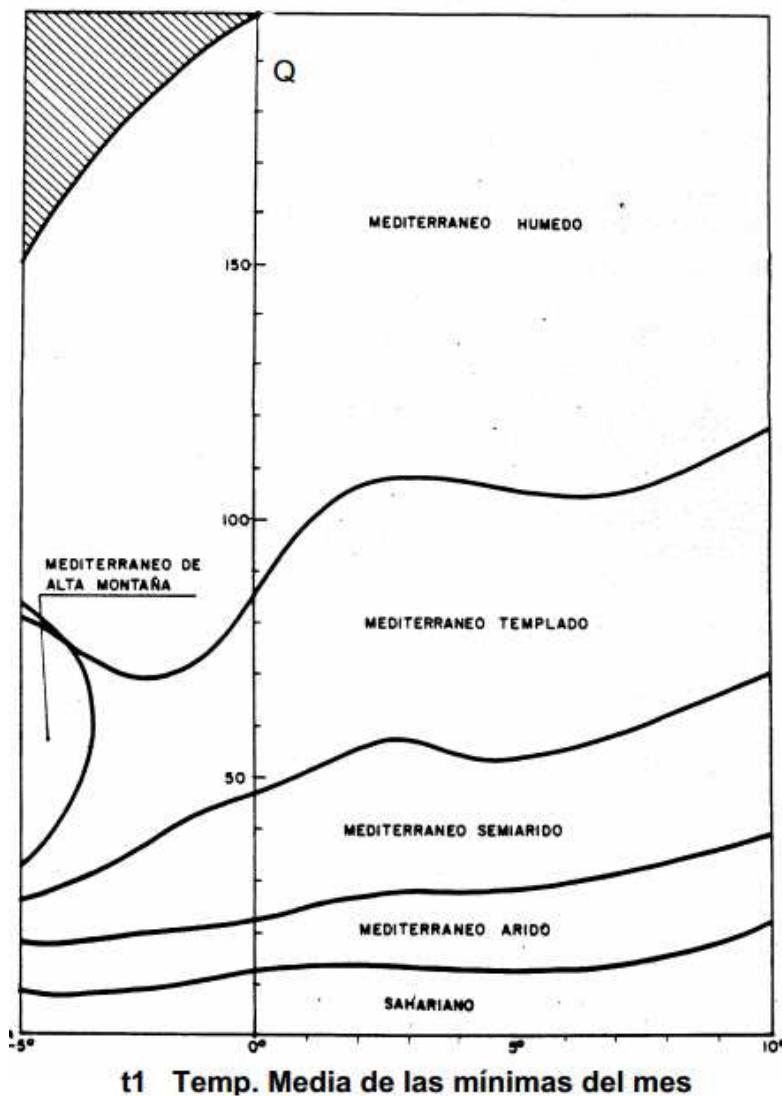


Figura.3. “Determinación del género de clima mediterráneo según Emberger”. Fuente: Vera (1989).

Dado que la temperatura media mínima del mes más frío (m) puede ser considerada un factor limitante, por estar íntimamente ligada con el rigor y la duración del periodo de heladas, los géneros pueden subdividirse en **especies** según el tipo de invierno caracterizado en función del valor de m . (*Tabla.34*).

ESPECIE (INVIERNO)	m (T ^a med min)	HELADAS
Muy frío	< -3	Muy frecuentes e intensas
Frío	de -3 a 0	Muy frecuentes
Fresco	de 0 a 3	Frecuentes
Templado	de 3 a 7	Débiles
Suave	> 7	No se producen

Tabla.34. Determinación de la especie de género en función del tipo de invierno y el valor de la t^a media min del mes más frío.

Así mismo, las especies también pueden subdividirse en **variedades** según el valor de Q dentro de cada género, en función de donde esté el punto de intersección de Q y la temperatura media mínima en la gráfica de definición de género (*Figura.3*). Las variedades pueden ser:

- **Superior:** Si la intersección Q-t1 está en la parte superior dentro del contorno del género dado.
- **Media:** Si la intersección está en la parte media.
- **Inferior:** Si la intersección está en la parte inferior.

Por último, también se definen las **formas** según la estación en la que se produzca el máximo de precipitaciones: **otoño, invierno o primavera**.

Siguiendo esta clasificación, a la zona de estudio le corresponde:

- Género: **Clima mediterráneo semiárido** (Vegetación: **Pinus halepensis ó pino carrasco**)
- Especie: **Fresco** (Heladas: **Frecuentes**)
- Variedad: **Superior**
- Forma: **Primavera**

6.5. Diagrama ombrotérmico de GausSEN

Los diagramas ombrotérmicos de GausSEN se utilizan para determinar gráficamente la existencia y duración de los **períodos secos**.

Sobre un diagrama cartesiano se llevan en abscisas los meses del año y en ordenadas las precipitaciones (mm) y temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) medias mensuales.

Los meses se clasifican como:

- **Mes seco:** la precipitación media es inferior a 2 veces la temperatura media ($P < 2T$).
- **Mes semihúmedo:** la precipitación media es superior a 2 veces la temperatura media ($P > 2T$).
- **Mes húmedo:** la precipitación media supera en 3 veces a la temperatura media ($P > 3T$).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	17,6	16,7	31,7	54,7	37,6	26,0	16,2	20,9	44,0	45,5	27,3	21,7
Tm ($^{\circ}\text{C}$)	4,8	5,7	9,3	12,5	16,7	21,3	23,7	23,0	19,5	15,2	8,6	4,4

Tabla.35.Valores mensuales de precipitación media (mm) y temperatura media ($^{\circ}\text{C}$), elaborados a partir de los datos diarios registrados entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

Según esta clasificación:

- Meses secos: Junio, julio y agosto.
- Meses semihúmedos: Febrero, mayo, septiembre y octubre.
- Meses húmedos: Enero, marzo, abril, noviembre y diciembre.

A partir de los datos de temperaturas y precipitaciones medias mensuales obtenidos en los Apartados 2 y 3.1, respectivamente (*Tabla.35*), se obtiene el siguiente diagrama ombrotérmico para la zona de estudio (*Figura.4*).

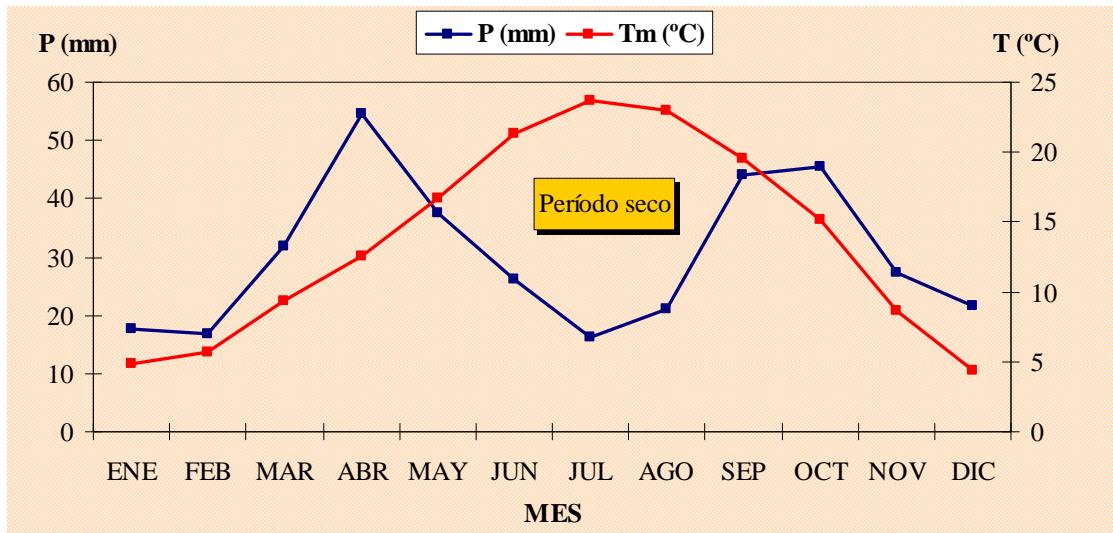


Figura.4. “Diagrama ombrotérmico de Gaussen” para la zona de estudio.

El clima puede clasificarse mediante estos diagramas siguiendo el siguiente criterio:

- **Clima axérico:** la curva pluviométrica va siempre por encima de la térmica, por lo que no hay ningún período seco
- **Clima monoxérico:** las curvas se cruzan originando tan solo un período seco a lo largo del año.
- **Clima bixérico:** las curvas se cruzan originando dos períodos secos a lo largo del año.

En el diagrama ombrotérmico obtenido (*Figura.4*) se observa un solo período seco en el que la curva pluviométrica está por debajo de la térmica. Por lo tanto el clima en la zona de estudio se define como **clima monoxérico**.

6.6. Clasificación climática de Thornthwaite

La clasificación climática de Thornthwaite (1949) supone un gran avance respecto a otras clasificaciones, ya que en lugar de medidas mensuales de parámetros climatológicos clásicos, a la hora de calcular parámetros que caractericen un clima en cuestión, tiene en cuenta la parte del clima que afecta directamente al suelo y a la planta, es decir, la evaporación, la transpiración y el agua disponible en el suelo.

Los parámetros utilizados por Thornthwaite para clasificar el clima de una determinada zona son:

- Índice de humedad.
- Eficacia térmica.
- Variación estacional de la humedad.
- Concentración térmica en verano.

Thornthwaite calcula estos parámetros a partir de sus trabajos previos en la estimación de la evapotranspiración potencial (ETP) y el balance de humedad del suelo.

Evapotranspiración potencial según Thornthwaite (1948)

La **evapotranspiración** es la acción combinada de la evaporación y la transpiración, es decir supone la suma de pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del suelo y por transpiración de los cultivos.

Es un parámetro que tiene varias definiciones:

- **Evapotranspiración potencial (ETP):** Es la que se produce cuando la planta tiene a su disposición toda el agua que necesita.

Thornthwaite, 1948→ETP: Evapotranspiración de una superficie extensa de un cultivo verde que sombra totalmente la superficie del suelo, de altura corta y uniforme y siempre bien provista de agua.

- **Evapotranspiración real (ETA):** Es la que se produce cuando la planta tiene menos agua de la que necesita. (Ésta siempre será igual o mayor a la ETP).

Los cálculos de Thornthwaite están basados en la determinación de la evapotranspiración potencial (ETP) mensual en función de la temperatura media, con una corrección en función del número de horas de insolación teóricas según la latitud y el número de días del mes, y se hallan a partir de las fórmulas expuestas a continuación.

La evapotranspiración potencial ya ajustada (ETP_{ajustada}) se calcula a partir de la fórmula:

$$ETP_{ajustada} = K \cdot ETP_{s/a} \quad [10]$$

Siendo; $ETP_{ajustada}$ = Evapotranspiración potencial ajustada (mm/mes), K = Coeficiente de corrección y $ETP_{s/a}$ = Evapotranspiración potencial sin ajustar (mm/mes).

A su vez el coeficiente de correlación (K), se calcula mediante la siguiente formula:

$$K = \frac{d}{30} \cdot \frac{N}{12} \quad [11]$$

Siendo; K = Coeficiente de corrección, d = Número de días del mes y N = Número de horas de insolación teóricas (depende de la latitud y es un dato tabulado).

La evapotranspiración potencial sin ajustar (ETP_{s/a}) a partir de la fórmula:

$$ETP_{s/a} = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a \quad [12]$$

Siendo;

- $ETP_{s/a}$ = Evapotranspiración potencial sin ajustar (mm/mes)
- t = Temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$)

■ $a = 6,75 \cdot 10^7 \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^5 \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49$ [13]

■ $I = \text{Índice de calor anual}$. $I = \sum_{i=1}^{12} i$ [14] ($i = \text{índice de calor mensual}$.

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad [15]$$

A partir de todas estas fórmulas y los datos de temperatura media mensual (*Tabla.1*) se obtienen los resultados que se recogen en la siguiente tabla.

	t	d	N	i	I	a	ETP_{s/a}	K	ETP_{ajustada}
Enero	4,8	31	9,4	0,95	60,9	1,447	11,50	0,81	9,31
Febrero	5,7	28	10,6	1,20	60,9	1,447	14,35	0,82	11,83
Marzo	9,3	31	11,9	2,58	60,9	1,447	29,69	1,02	30,42
Abril	12,5	30	13,4	4,01	60,9	1,447	45,36	1,12	50,65
Mayo	16,7	31	14,6	6,22	60,9	1,447	68,98	1,26	86,73
Junio	21,3	30	15,2	8,99	60,9	1,447	98,11	1,27	124,27
Julio	23,7	31	14,9	10,53	60,9	1,447	114,09	1,28	146,38
Agosto	23,0	31	13,9	10,09	60,9	1,447	109,54	1,20	131,12
Septiembre	19,5	30	12,6	7,85	60,9	1,447	86,19	1,05	90,50
Octubre	15,2	31	11,1	5,38	60,9	1,447	60,04	0,96	57,39
Noviembre	8,6	30	9,8	2,28	60,9	1,447	26,46	0,82	21,61
Diciembre	4,4	31	9,1	0,82	60,9	1,447	9,89	0,78	7,75
								767,96	mm/año

Tabla.36. Resumen de valores mensuales de temperatura media, t , número de días del mes, d , horas de insolación teóricas, N , (Valores tabulados), índice de calor mensual, i , índice de calor anual, I , valor de “ a ”, evapotranspiración potencial sin ajustar, $ETPs/a$, coeficiente de corrección, K , y evapotranspiración potencial ajustada, $ET a$.

La evapotranspiración potencial (ETP) total para la zona de estudio es de **767,96 mm/año**.

Balance de humedad del suelo

Para poder calcular el índice de humedad y la variación estacional de humedad, aparte de conocer la ETP anual es necesario desarrollar un **balance hídrico**.

Los parámetros utilizados (en mm) en la realización del balance hídrico son:

- P: Precipitaciones medias mensuales.
- ETP: Evapotranspiración potencial mensual.
- R: Reserva de agua del suelo. Varía entre 0 y 100 mm.
- VR: Variación de la reserva.
- ETA: Evapotranspiración real mensual.
- D: Déficit de agua.
- E: Exceso de agua.

A la hora de realizar los balances hay que tener en cuenta una serie de condiciones:

- La evapotranspiración real (ETA):
 - En los meses suficientemente húmedos, coincide con la ETP ($ETA_i = ETP_i$).
 - En los meses que por falta de humedad, no se alcanzan las condiciones potenciales, corresponde a la suma de la precipitación del mes y la reserva del suelo en el mes anterior ($ETA_i = P_i + R_{i-1}$).
- Existe déficit de agua (D) en los meses en que $ETA < ETP$ ($D_i = ETP_i - ETA_i$).
- Existe exceso de agua (E) en los meses en los que la reserva de agua acumulada en el suelo supera los 100 mm.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
P	17,6	16,7	31,7	54,7	37,6	26,0	16,2	20,9	44,0	45,5	27,3	21,7	360
ETP	9,3	11,8	30,4	50,7	86,7	124,3	146,4	131,1	90,5	57,4	21,6	7,8	768
R	28,0	32,9	34,2	38,2	0	0	0	0	0	0	5,7	19,6	
VR	8,3	4,9	1,3	4,0	-38,2	0	0	0	0	0	5,7	13,9	
ETA	9,3	11,8	30,4	50,7	71,8	26,0	16,2	20,9	44,0	45,5	21,6	7,8	356
D	0	0	0	0	15,0	98,2	130,2	110,2	46,5	11,9	0	0	412
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla.37. Balance hídrico según Thornthwaite.

Índice de humedad

Se halla a partir de la expresión:

$$I_h = I_E - 0,6 \cdot I_D \quad [16]$$

Siendo; I_h = Índice de humedad (%), I_E = Índice de exceso (%) e I_D = Índice de déficit (%).

Los Índices de exceso y déficit relacionan el exceso o déficit de agua hallados a partir del balance hídrico con la evapotranspiración potencial anual calculada (*Tabla.36*).

$$I_E = \frac{E}{ETP} \cdot 100 \quad [17]$$

$$I_D = \frac{D}{ETP} \cdot 100 \quad [18]$$

En nuestro caso:

$$I_E = \frac{0}{768} \cdot 100 = 0\% \qquad I_D = \frac{412}{768} \cdot 100 = 53,65\%$$

$$I_h = 0 - 0,6 \cdot 53,65 = -32,19\%$$

I_h	TIPO CLIMÁTICO	SIGLA
I _h ≥100	Perhúmedo	A
100 > I _h ≥80	Húmedo	B ₄
80> I _h ≥60		B ₃
60> I _h ≥40		B ₂
40> I _h ≥20		B ₁
20> I _h ≥0	Subhúmedo	C ₂
0> I _h ≥-20	Seco-subhúmedo	C ₁
-20> I _h ≥-40	Semiárido	D
I _h <-40	Árido	E

Tabla.38. “Tipos climáticos y siglas correspondientes al índice de humedad de Thornthwaite”.

Fuente: Urbano Terrón, P. (1995) “Tratado de fitotecnia general”, 2^a edición, Ed. Mundi - Prensa, Bilbao.

Siguiendo el criterio de clasificación climática anterior, para el índice de humedad resultante (-32,19%) le corresponde un **clima semiárido** → Sigla “**D**”

Eficacia térmica

$$\text{ETP}_{\text{anual}} (\text{mm}) = 767,96 \text{ mm}$$

$$\text{ETP}_{\text{anual}} (\text{cm}) = 76,79 \text{ cm}$$

Según la evapotranspiración potencial anual en cm o eficacia térmica se definen los tipos climáticos que aparecen en la *Tabla.39*.

ETP _{anual} (cm)	TIPO CLIMÁTICO	SIGLA
ETP ≥ 114	Megatérmico	A'
114 > ETP $\geq 99,7$	Mesotérmico	B' ₄
99,7 > ETP $\geq 85,5$		B' ₃
85,5 > ETP $\geq 71,2$		B' ₂
71,2 > ETP ≥ 57		B' ₁
57 > ETP $\geq 42,7$	Microtérmico	C' ₂
42,7 > ETP $\geq 28,5$		C' ₁
28,5 > ETP $\geq 14,2$	Tundra	D'
ETP < 14,2	Glacial	E'

Tabla.39. “Eficacia térmica según Thornthwaite”. Fuente: Urbano Terrón, P. (1995) ”Tratado de fitotecnia general”, 2^a edición, Ed. Mundi - Prensa, Bilbao.

Siguiendo este criterio de clasificación climática, para una evapotranspiración potencial anual de 76,79 cm le corresponde un **clima mesotérmico** → Sigla “B’2”

Variación estacional de la humedad

Para la distribución estacional de la humedad hay que fijarse en la falta de agua (I_D), para los climas que globalmente tienen exceso (Climas húmedos), y en el exceso (I_E), para los climas que tienen falta (Climas secos).

Según hemos determinado a partir de la *Tabla.38*, nos encontramos ante un clima semiárido con sigla “D”, perteneciente al grupo de climas secos, con un índice de exceso, I_E , del 0%.

Climas secos (C ₁ , D y E)		
I _E	TIPO CLIMÁTICO	SIGLA
10 > I _E ≥ 0	Nulo o pequeño exceso de humedad	d
20 > I _E ≥ 10	Moderado exceso de humedad	En verano s
		En invierno w
I _E ≥ 20	Gran exceso de humedad	En verano s ₂
		En invierno w ₂

Tabla.40. “Variación estacional de la humedad, según Thornthwaite”. Fuente: Urbano Terrón, P. (1995) “Tratado de fitotecnia general”, 2^a edición, Ed. Mundi - Prensa, Bilbao.

Según el criterio de la *Tabla.40*, estamos ante un **clima con nulo o pequeño exceso de humedad** → Sigla “d”.

Concentración térmica en verano

La concentración de la eficacia térmica en el verano se define como el porcentaje de ETP correspondiente al verano respecto a la ETP total anual, es decir:

$$C_V = \frac{ETP_{verano}}{ETP_{anual}} \cdot 100 \quad [19]$$

$$ETP_{junio} = 41,42 \text{ mm (del 21 al 31 de junio)}$$

$$ETP_{julio} = 146,38 \text{ mm}$$

$$ETP_{agosto} = 131,12 \text{ mm}$$

$$ETP_{septiembre} = 61,3 \text{ mm (del 1 al 21 de septiembre)}$$

$$ETP_{verano} = 380,22 \text{ mm}$$

$$C_V = \frac{380,22}{767,96} \cdot 100 = 49,51\%$$

C _v	TIPO CLIMÁTICO	SIGLA
C _v < 48	Baja concentración	a'
51,9 > C_v ≥ 48	Moderada concentración	b'₄
56,3 > C _v ≥ 51,9		b' ₃
61,6 > C _v ≥ 56,3		b' ₂
68 > C _v ≥ 61,6		b' ₁
76,3 > C _v ≥ 68	Alta concentración	c' ₂
88 > C _v ≥ 76,3		c' ₁
C _v ≥ 88	Muy alta concentración	d'

Tabla.41. “Concentración de la eficacia térmica en verano, según Thornthwaite”. Fuente: Urbano Terrón, P. (1995) “Tratado de fitotecnia general”, 2^a edición, Ed. Mundi - Prensa, Bilbao.

En función de la clasificación de la tabla anterior, para CV= 49,51%, tenemos un **clima con moderada concentración térmica en verano → Sigla “b'₄”**

Por lo tanto, la clasificación climática, según Thornthwaite de la zona objeto del proyecto es: **DB'₂db'₄ → “Clima semiárido, segundo mesotérmico, con nulo exceso de humedad tanto en el invierno como en el verano y cuarta moderación térmica en verano”.**

PARÁMETRO	SIGLA	TIPO CLIMÁTICO
Índice de humedad	D	Semiárido
Eficacia térmica	B' ₂	Mesotérmico
Variación estacional de la humedad	d	Nulo o pequeño exceso de humedad
Concentración térmica en verano	b' ₄	Moderada concentración térmica en verano

Tabla.42. Tabla resumen: Clasificación climática según Thornthwaite.

7. Cálculo de la evapotranspiración

El concepto de **evapotranspiración (ET)** combina los procesos de evaporación y transpiración, y se define como la pérdida de agua desde una superficie con cubierta vegetal (Elías y Castellvi, 1996).

Para poder conocer las necesidades hídricas de cada cultivo, como veremos más adelante en el anexo 7, es necesario conocer antes la Evapotranspiración de cultivo (ET_C).

La **evapotranspiración de cultivo (ET_C)** se define como la cantidad de agua perdida por un determinado cultivo a través de la evapotranspiración y de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona en la que se encuentre este.

Se ha calculado la evapotranspiración de cultivo (ET_C) a partir de la **fórmula de Allen et al. (1998)**, que obtiene este parámetro mediante el producto de la **evapotranspiración de referencia (ET_0)** y un **coeficiente propio del cultivo (K_C)**.

$$ET_C = ET_0 \cdot K_C \quad [20]$$

Siendo; ET_C = Evapotranspiración de cultivo (mm), ET_0 = Evapotranspiración de referencia (mm) y K_C = Coeficiente de cultivo (adimensional).

Los efectos de las distintas condiciones climatológicas de la zona se incluyen en la ET_0 , mientras que los efectos de las características que distinguen la superficie cultivada con un determinado cultivo de la superficie de referencia se integran en el coeficiente de cultivo (K_C).

La **evapotranspiración de referencia (ET_0)** utilizada, es la calculada para la estación meteorológica de Huerto por la red del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante SIAR del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, según el **método de FAO-56-Penman-Monteith (Doorenbos y Pruitt, 1977; Allen et al., 1998)**.

Los **coeficientes de cultivo (K_C)** que se han utilizado son los establecidos para la comarca agraria nº57 (Sariñena) definida por la Confederación Hidrográfica del Ebro y descritos por **Martínez-Cob (2005)** con alguna modificación.

7.1. Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_0)

En primer lugar hay que conocer la evapotranspiración de referencia (ET_0), parámetro que se obtiene en base a la información meteorológica de la zona en la que se encuentre el cultivo.

La ET_0 es la evapotranspiración de un cultivo hipotético o pasto de referencia de 12 cm de altura, una resistencia aparente de la cubierta vegetal de 70 s/m y un albedo de 0,23, de porte similar al de una gramínea pratense cubriendo total y uniformemente el suelo, libre de enfermedades y bien provisto de agua y nutrientes (Allen et al., 1998).

Existen varios métodos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, y aunque muchos son válidos aquí se va a utilizar el método de FAO-56-Penman-Monteith, que es uno de los más utilizados y actualmente es recomendado como el único método estándar para el cálculo de la ET_0 .

En nuestro caso, para la zona de estudio, los datos mensuales de ET_0 que se muestran en la *Tabla.43* han sido hallados a partir de los datos diarios de ET_0 de la estación SIAR de Huerto, calculados con el método citado anteriormente.

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA- ET_0 - (mm/mes)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2004	49,9	35,3	79,7	103,7	149,5	198,6	192,5	168,4	128,7	81,5	43,8	33,2	1264,8	
2005	39,6	63,5	99,3	133,8	182,7	211,7	216,3	176,3	125,0	74,7	40,3	24,5	1387,7	
2006	26,1	42,7	94,9	127,0	182,4	200,9	222,1	188,9	122,9	77,2	41,2	21,1	1347,4	
2007	29,6	53,2	99,0	104,3	168,1	183,9	203,2	171,3	119,8	80,0	48,6	37,4	1298,4	
2008	29,5	47,9	105,8	120,5	125,5	177,9	199,1	170,1	111,3	67,2	37,9	22,4	1215,1	
2009	9,8	47,8	93,5	103,2	172,8	188,3	204,1	174,4	118,9	83,1	50,8	29,0	1275,7	
2010	32,1	46,5	81,5	109,8	157,5	172,9	212,8	154,8	118,0	79,6	51,4	33,5	1250,4	
2011	26,5	61,6	83,5	133,5	173,8	187,4	201,3	178,5	135,5	89,3	32,2	38,1	1341,2	
2012	42,1	76,4	111,8	109,7	167,7	206,3	205,4	196,3	122,6	80,2	36,3	35,1	1389,9	
2013	42,4	61,7	80,8	107,8	136,8	171,3	201,3	165,4	123,3	81,6	59,6	24,5	1256,5	
MEDIA	32,8	53,7	93,0	115,3	161,7	189,9	205,8	174,4	122,6	79,4	44,2	29,9	1302,7	

Tabla.43. Valores mensuales y anuales de ET_0 (mm/mes), elaborados a partir de los datos diarios calculados con el método de FAO Penman- Monteith entre 2004 y 2013 en la estación meteorológica de Huerto.

El mes de julio es el de mayor ET_0 con un valor de 205,8 mm y diciembre con 29,9 mm, es el de menor valor. La **ET₀ anual** se sitúa en **1302,7 mm**. Esto supone un claro déficit hídrico anual de 942,7 mm.

7.2. Cálculo del coeficiente de cultivo (K_C)

El coeficiente de cultivo (K_C) es básicamente el cociente entre la evapotranspiración de cultivo (ET_C) y la evapotranspiración de referencia (ET_0), representando el efecto integrado de cuatro características principales (Altura del cultivo, albedo de la superficie del cultivo y el suelo, resistencia del cultivo y evaporación que ocurre en la parte expuesta del suelo) que diferencian a un cultivo en particular del cultivo hipotético o pasto de referencia (Allen et al., 2006).

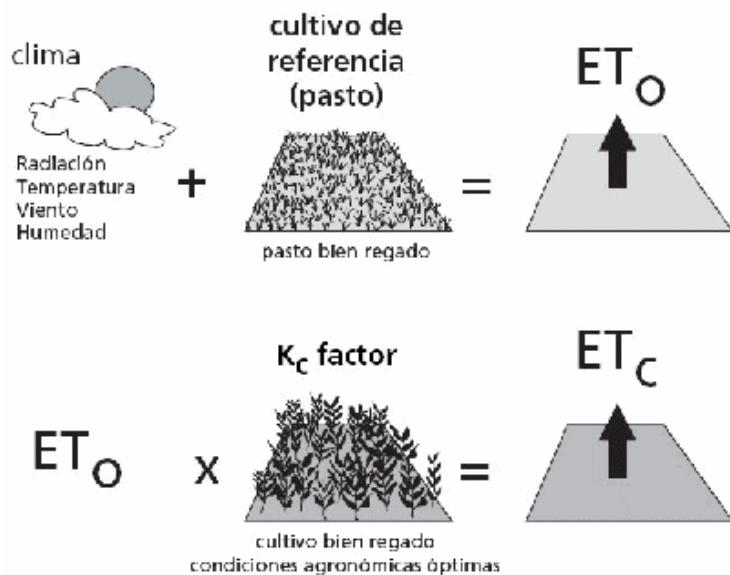


Figura.5. “Diferencia entre la Evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración de cultivo”.

En consecuencia, distintos cultivos poseen distintos valores de coeficiente de cultivo. Además, debido a las diferencias en evapotranspiración que se presentan durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, el valor de K_C correspondiente a un cultivo determinado, también varía a lo largo del período de crecimiento del mismo.

Este **período de crecimiento** se divide en cuatro **etapas: inicial, de desarrollo del cultivo, de mediados de temporada y de final de temporada**. (Allen et al., 2006).

En la *Figura.6* se muestra la secuencia general y la proporción de cada una de las etapas de crecimiento mencionadas, correspondientes a diferentes tipos de cultivo.

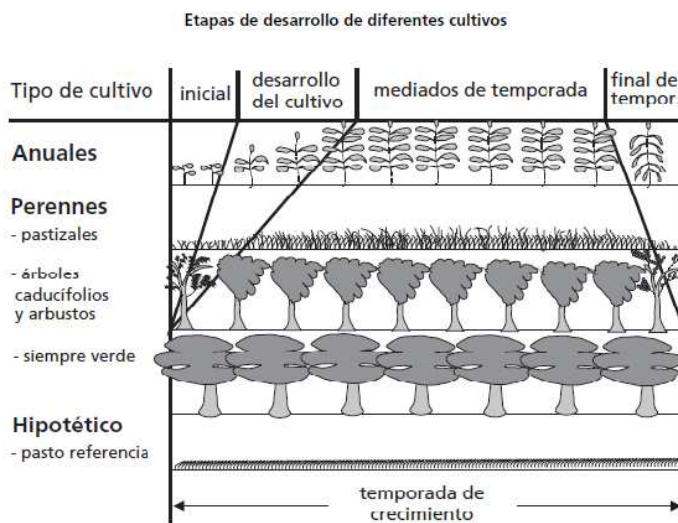


Figura.6. “Etapas de desarrollo de diferentes cultivos”.Fuente: Allen et al. “Evapotranspiración del cultivo-Estudio FAO Riego y drenaje-56”, Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma, 2006.

En la *Figura.7* se muestra la variación del K_c a lo largo del período de crecimiento en un cultivo herbáceo.

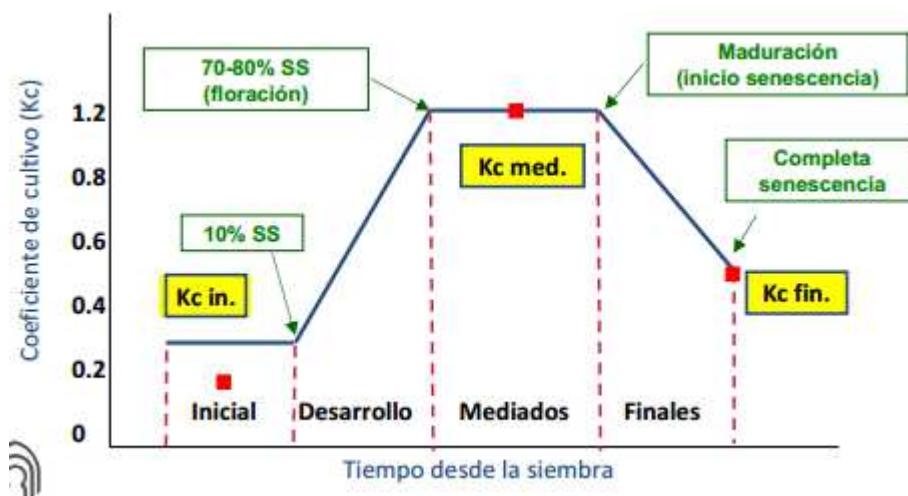


Figura.7. “Variación del coeficiente de cultivo con el desarrollo del mismo”

Martínez-Cob (2005) en su trabajo “Revisión de las necesidades hídricas netas de los cultivos de la cuenca del Ebro” propone unos valores medios mensuales de K_C para los principales cultivos de las diferentes comarcas agrarias de la cuenca del Ebro definidas por la Confederación Hidrográfica, mediante la elaboración de la **curva del coeficiente de cultivo** correspondiente (*Figura.7*).

Esta curva representa los cambios del coeficiente del cultivo a lo largo de la temporada de crecimiento del cultivo. La forma de la curva representa los cambios en la vegetación y el grado de cobertura del suelo durante el desarrollo de la planta y la maduración, los cuales afectan al cociente entre ET_C y ET_0 . A partir de esta curva se puede derivar el valor del coeficiente K_C , y en consecuencia el valor de ET_C , para cualquier período (en este caso mensual) de la temporada de crecimiento. (Allen et al., 2006).

Para construir dicha curva, Martínez-Cob establece unas **fechas de: siembra (D1), de inicio de la fase de desarrollo (D2), de inicio de la fase de mediados (D3), de inicio de la fase de finales de ciclo (D4) y de fin de ciclo (D5)**, que coincide con la madurez fisiológica, cosecha o caída total de las hojas, para determinar la duración de las etapas de desarrollo del cultivo, y calcula, siguiendo la **metodología FAO (Allen Et al., 1998)**, los **coeficientes de cultivo en la fase inicial (K_{Cini}), en la fase de mediados (K_{Cmed}) y en la fase final (K_{Cfin})**.

Los principales cultivos de regadío de la zona de estudio son herbáceos extensivos. El cultivo de maíz para grano es el más extendido, muchas veces como segundo cultivo después de cebada o guisante. El segundo cultivo respecto a superficie es la alfalfa. También se cultivan cereales de invierno como único cultivo, especialmente cebada y trigo. En la zona han cobrado especial importancia otros cultivos como el guisante para recolección en verde y el girasol. Además existe una importante superficie dedicada a otros cultivos forrajeros, además de la alfalfa, como es el ray-grass.

Así pues, siguiendo la tendencia habitual del área de estudio y conforme a su importancia económica y buen comportamiento respecto al clima de la zona, los **cultivos seleccionados** para el presente estudio son: **Maíz, alfalfa, cebada, trigo, guisante, girasol y ray-grass**. Estos serán estudiados con mayor detalle en el anexo 5.

Para los cultivos de cebada, trigo, guisante, girasol, alfalfa y ray-grass se han tomado las fechas de las etapas de crecimiento del cultivo establecidas por Martínez-Cob (2005) para la comarca agraria nº 57 (Sariñena). Mientras que para el maíz y el cultivo de maíz de segunda ocupación después de guisante y de cebada se han utilizado las fechas dadas por Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M. (2008), también para esta zona.

En las siguientes tablas (*Tabla.44* y *Tabla.45*) se presentan las fechas de las etapas de crecimiento de los cultivos herbáceos seleccionados.

FENOLOGIA DE LOS CULTIVOS HERBÁCEOS SELECCIONADOS					
CULTIVO	D1	D2	D3	D4	D5
CEBADA	1-dic	11-ene	2-mar	2-may	15-jun
TRIGO	15-nov	31-dic	24-feb	2-may	25-jun
GUISANTE VERDE	1-ene	11-feb	13-mar	26-abr	10-may
GIRASOL	20-abr	26-may	10-jun	17-agosto	20-septiembre
MAÍZ *	20-abr	25-mayo	4-julio	23-agosto	10-octubre
MAÍZ 2ª cosecha detrás de guisante*	1-jun	26-jun	31-jul	9-sept	31-oct
MAÍZ 2ª cosecha detrás de cebada*	10-jun	5-jul	4-agosto	8-sept	30-oct

Tabla.44. Fechas de las etapas de desarrollo de los cultivos seleccionados. Fuente: Martínez-Cob. (2005) para cebada, trigo, guisante verde y girasol. Para el maíz de 1ª y 2ª cosecha*. Fuente: Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M. (2008)"El manejo del riego por aspersión en los sectores XXXI 1º y 2º de la Comunidad de Regantes de Lasesa", Artículo técnico-Riegos y Drenajes XXI.

FECHAS DE SIEMBRA Y CORTES EN ALFALFA Y OTRAS FORRAJERAS						
CULTIVO	D1	C1	C2	C3	C4	C5
ALFALFA	26-mar	23-may	22-jun	22-jul	21-agosto	20-sept
RAY-GRASS	21-agosto	19-noviembre	31-marzo	30-abril	31-mayo	30-junio

Tabla.45. Fechas de inicio de actividad después de la parada invernal o fecha de siembra (D1) y fechas probables de corte a lo largo del año en alfalfa y otras forrajeras (C1 a C5), considerando que se efectúan cinco cortes. Fuente: Martínez- Cob., 2005.

A partir de las fechas de inicio y fin de las etapas de desarrollo de los cultivos de la *Tabla.44*, se ha determinado la **duración de la etapa inicial (L_{ini})**, **de desarrollo del cultivo (L_{des})**, **de mediados de temporada (L_{med})** y **de final de temporada (L_{fin})** de dichos cultivos.

DURACIÓN DE LAS ETAPAS DE DESARROLLO DE LOS CULTIVOS

CULTIVO	L_{ini}	L_{des}	L_{med}	L_{fin}	TOTAL
CEBADA	41	50	61	44	196
TRIGO	46	55	67	54	222
GUISANTE VERDE	41	30	44	14	129
GIRASOL	36	15	68	34	153
MAÍZ	35	40	50	48	173
MAÍZ 2ª cosecha detrás de guisante	25	35	40	52	152
MAÍZ 2ª cosecha detrás de cebada	25	30	35	52	142

Tabla.46. Duración de las etapas de desarrollo del cultivo calculadas a partir de las fechas de inicio y final dadas por Martínez-Cob y Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M. en la Tabla.44.

En el caso de los cultivos forrajeros (Alfalfa y ray-grass) como se producen varios cortes a lo largo del año, Martínez-Cob para describir su fenología tomo las fechas de cada corte y las fechas de ocurrencia de las cuatro etapas fenológicas definidas por Allen et al. (1998) dentro de cada ciclo de corte, es decir trató cada ciclo de corte como si fuera un cultivo.

DURACIÓN DE DESARROLLO ANUAL DE LOS CULTIVOS FORRAJEROS

CULTIVO	1º C	2º C	3º C	4º C	5º C	TOTAL
ALFALFA	58	30	30	30	30	178
RAY-GRASS	90	132	30	31	30	313

Tabla.47. Duración de los cultivos forrajeros entre cortes, calculada a partir de las fechas de inicio y final de cada corte dadas por Martínez-Cob en la Tabla.45.

Los valores de K_c correspondientes a los meses en los que esta presente cada cultivo son los hallados por Martínez-Cob (*Tabla.48*) o Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M. (*Tabla.49*).

K _c DE LOS CULTIVOS SELECCIONADOS (Martínez-Cob)													
CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
CEBADA	1,05	1,13	1,17	1,17	0,86	0,39							1,03
TRIGO	1,01	1,13	1,17	1,17	0,92	0,45						0,95	0,95
GUISANTE VERDE	0,82	0,89	1,14	1,16	1,13								
GIRASOL				0,30	0,31	0,72	1,15	1,08	0,57				
ALFALFA			0,30	0,80	0,98	0,89	0,86	0,86	1,14				
RAY-GRASS	1,04	1,04	1,04	0,84	0,82	0,78		0,15	0,71	1,03	0,97	0,93	

Tabla.48. Coeficientes de cultivo (K_c) para los cultivos seleccionados en la zona de estudio.

Fuente: Martínez-Cob., 2005.

K _c DE LOS CULTIVOS SELECCIONADOS (Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M.)													
CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
MAÍZ				0,21	0,23	0,74	1,20	1,18	0,78	0,43			
MAÍZ 2ª COSECHA DETRÁS DE GUISANTE						0,22	0,78	1,20	1,08	0,61			
MAÍZ 2ª COSECHA DETRÁS DE CEBADA						0,21	0,58	1,19	1,05	0,59			

Tabla.49. Coeficientes de cultivo (K_c) para los cultivos seleccionados en la zona de estudio.

Fuente: Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M., 2008.

Para los periodos (meses) y superficies sin cultivo se asignó un coeficiente del suelo desnudo (*Tabla.50*) determinado por Andrés, R. (2011), que tomo la metodología propuesta por Allen et al., (1998) para el calculo del K_c inicial, que depende del tipo de suelo, régimen de precipitaciones y de la ET₀ de la comarca agraria de estudio (Martínez-Cob, 2004).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
SUELO DESNUDO	0,98	0,50	0,29	0,35	0,28	0,17	0,12	0,15	0,25	0,48	0,78	1,04

Tabla.50. Coeficientes de suelo desnudo. Fuente: Andrés, R., 2011.

En el presente trabajo, se han hallado K_C mensuales en cada uno de los cultivos seleccionados para todo un año (*Tabla.52*), es decir a la hora de calcular los K_C mensuales se han tenido en cuenta tanto los meses en los que hay cultivo como en los que no lo hay (*Tabla.51*). Por lo que los coeficientes corresponden al cultivo en los meses en los que hay cultivo durante todo el mes, al suelo desnudo en los que no lo hay y a la combinación de ambos cuando el cultivo no ocupa la totalidad del mes.

Además, en los cultivos de Guisante o Cebada con Maíz como segunda cosecha, considerados como una única unidad de cultivo, los K_C mensuales son los correspondientes a ambos cultivos, dependiendo de si en un determinado mes esta presente uno u otro.

DURACIÓN MENSUAL DEL CULTIVO													
CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
CEBADA	31	28	31	30	31	15						30	196
TRIGO	31	28	31	30	31	25					15	31	222
GUISENTE VERDE	30	28	31	30	10								129
GIRASOL				10	31	30	31	31	20				153
ALFALFA				5	30	31	30	31	31	20			178
RAY-GRASS	31	28	31	30	31	30		10	30	31	30	31	313
MAÍZ				10	31	30	31	31	30	10			173
MAÍZ 2ªCOSECHA DETRÁS DE GUISENTE						29	31	31	30	31			152
MAÍZ 2ª COSECHA DETRÁS DE CEBADA						20	31	31	30	30			142
SUELO DESNUDO	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365

Tabla.51. Duración mensual de los cultivo de cebada, trigo, guisante verde, girasol, alfalfa y ray-grass según las fechas de las etapas de crecimiento del cultivo establecidas por Martínez-Cob (2005) y el cultivo de maíz de segunda ocupación después de guisante y de cebada según las fechas dadas por Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M. (2008).

K _C COMBINADA PARA LAS UNIDADES DE CULTIVO SELECCIONADAS												
UNIDAD DE CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
SUELO DESNUDO	0,98	0,50	0,29	0,35	0,28	0,17	0,12	0,15	0,25	0,48	0,78	1,04
CEBADA	1,05	1,13	1,17	1,17	0,86	0,28	0,12	0,15	0,25	0,48	0,78	1,03
TRIGO	1,01	1,13	1,17	1,17	0,92	0,40	0,12	0,15	0,25	0,48	0,86	0,95
GUISANTE VERDE	0,83	0,89	1,14	1,16	0,56	0,17	0,12	0,15	0,25	0,48	0,78	1,04
GIRASOL	0,98	0,50	0,29	0,33	0,31	0,72	1,15	1,08	0,46	0,48	0,78	1,04
ALFALFA	0,98	0,50	0,30	0,80	0,98	0,89	0,86	0,86	0,84	0,48	0,78	1,04
RAY-GRASS	1,04	1,04	1,04	0,84	0,82	0,78	0,12	0,15	0,71	1,03	0,97	0,93
MAÍZ	0,98	0,50	0,29	0,30	0,23	0,74	1,20	1,18	0,78	0,46	0,78	1,04
GUISANTE + MAÍZ	0,83	0,89	1,14	1,16	0,56	0,22	0,78	1,20	1,08	0,61	0,78	1,04
CEBADA + MAÍZ	1,05	1,13	1,17	1,17	0,86	0,27	0,58	1,19	1,05	0,59	0,78	1,03

Tabla.52. Coeficientes de cultivo (K_C) de las unidades de cultivo seleccionadas, resultantes de la combinación de los coeficientes de cultivo y de suelo desnudo.

7.3. Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ET_C)

Una vez conocida la evapotranspiración de referencia mensual de la zona (ET_0) y los coeficientes mensuales de los cultivos seleccionados (K_C) se procede a calcular la evapotranspiración de cultivo mensual (ET_C), en mm, a partir de la fórmula de Allen et al. (1998), que obtiene este parámetro mediante el producto de la evapotranspiración de referencia y el coeficiente de cultivo.

Como hemos visto en el apartado anterior, para calcular el K_C se han tenido en cuenta los meses en los que hay cultivo y los meses en los que hay suelo desnudo, por lo que a la hora de hallar la ET_C de cada uno de los cultivos seleccionados, tomaremos dichos valores y los valores de ET_0 mensuales de todo el año.

A continuación se exponen las evapotranspiraciones mensuales para cada cultivo o unidad de cultivo (Guisante + maíz y Cebada + maíz) seleccionados, en mm/mes, así como su evapotranspiración total a lo largo del año, en mm/año.

Cebada (Hordeum vulgare)

Para la cebada se establece la siembra el día **1 de diciembre** y la recolección el día **15 de junio**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **41-50-61-44** días, obteniendo una duración total del ciclo de **196 días** (Suelo desnudo: 169 días).

CEBADA			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	1,05	34,40
FEB	53,66	1,13	60,64
MAR	92,98	1,17	108,79
ABR	115,33	1,17	134,94
MAY	161,68	0,86	139,04
JUN	189,92	0,28	53,57
JUL	205,81	0,12	23,74
AGO	174,44	0,15	25,63
SEP	122,60	0,25	30,59
OCT	79,44	0,48	38,13
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,03	30,78
			714,73

Tabla.53. Evapotranspiraciones mensuales de la cebada.

CEBADA: ET_C = 562,15 mm

ET_{ANUAL} = 714,73 mm/año

Trigo (*Triticum aestivum*)

Para el trigo se establece la siembra el día **15 de noviembre** y la recolección el día **25 de junio**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **46-55-67-54** días, obteniendo una duración total del ciclo de **222 días**. (Suelo desnudo: 143 días).

TRIGO			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	1,01	33,09
FEB	53,66	1,13	60,64
MAR	92,98	1,17	108,79
ABR	115,33	1,17	134,94
MAY	161,68	0,92	148,75
JUN	189,92	0,40	76,73
JUL	205,81	0,12	23,74
AGO	174,44	0,15	25,63
SEP	122,60	0,25	30,59
OCT	79,44	0,48	38,13
NOV	44,21	0,86	38,24
DIC	29,88	0,95	28,39
			747,64

Tabla.54. Evapotranspiraciones mensuales del trigo.

TRIGO: ET_C = 629,55 mm

ET_{ANUAL} = 747,64 mm/año

Guisante verde (*Triticum aestivum*)

Para el guisante se establece la siembra el día **1 de enero** y la recolección el día **10 de mayo**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **41-30-44-14** días, obteniendo una duración total del ciclo de **129 días**. (Suelo desnudo: 236 días).

GUISANTE VERDE			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	0,83	27,03
FEB	53,66	0,89	47,76
MAR	92,98	1,14	106,00
ABR	115,33	1,16	133,78
MAY	161,68	0,56	89,99
JUN	189,92	0,17	33,06
JUL	205,81	0,12	23,74
AGO	174,44	0,15	25,63
SEP	122,60	0,25	30,59
OCT	79,44	0,48	38,13
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,04	30,97
			621,17

Tabla.55. Evapotranspiraciones mensuales del guisante verde.

GUISANTE VERDE: ET_C = 404,56 mm

ET_{ANUAL} = 621,17 mm/año

Girasol (*Helianthus annuus*)

Para el girasol se establece la siembra el día **20 de abril** y la recolección el día **20 de septiembre**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **36-15-68-34** días, obteniendo una duración total del ciclo de **153 días**. (Suelo desnudo: 212 días).

GIRASOL			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	0,98	31,99
FEB	53,66	0,50	26,85
MAR	92,98	0,29	27,37
ABR	115,33	0,33	38,26
MAY	161,68	0,31	50,12
JUN	189,92	0,72	136,74
JUL	205,81	1,15	236,68
AGO	174,44	1,08	188,40
SEP	122,60	0,46	56,78
OCT	79,44	0,48	38,13
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,04	30,97
			896,78

Tabla.56. Evapotranspiraciones mensuales del girasol.

GIRASOL: ET_C = 706,99 mm

ET_{ANUAL} = 896,78 mm/año

Alfalfa (*Medicago sativa*)

Para la alfalfa se establece la siembra el día **26 de marzo** y se hacen **cinco cortes** a lo largo del año (**23 de mayo, 22 de junio, 22 de julio, 21 de agosto y 20 de septiembre**). Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen dentro de cada corte, como si cada corte fuera un cultivo.

ALFALFA			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	0,98	31,99
FEB	53,66	0,50	26,85
MAR	92,98	0,30	27,46
ABR	115,33	0,80	92,26
MAY	161,68	0,98	158,45
JUN	189,92	0,89	169,03
JUL	205,81	0,86	177,00
AGO	174,44	0,86	150,02
SEP	122,60	0,84	103,37
OCT	79,44	0,48	38,13
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,04	30,97
			1040,00

Tabla.57. Evapotranspiraciones mensuales de la alfalfa.

ALFALFA: ET_C = 877,58 mm

ET_{ANUAL} = 1040,00 mm/año

Ray-grass (*Lolium multiflorum*)

En el ray-grass ocurre lo mismo que en el caso de la alfalfa. Se establece la siembra el día **21 de agosto** y se hacen en **cinco cortes** a lo largo del año (**19 de noviembre, 31 de marzo, 30 de abril, 31 de mayo y 30 de junio**).

RAY-GRASS			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	1,04	34,07
FEB	53,66	1,04	55,81
MAR	92,98	1,04	96,70
ABR	115,33	0,84	96,88
MAY	161,68	0,82	132,58
JUN	189,92	0,78	148,14
JUL	205,81	0,12	23,74
AGO	174,44	0,15	25,80
SEP	122,60	0,71	87,05
OCT	79,44	1,03	81,82
NOV	44,21	0,97	42,88
DIC	29,88	0,93	27,79
			853,26

Tabla.58. Evapotranspiraciones mensuales del ray-grass.

RAY-GRASS: ET_C = 829,51 mm

ET_{ANUAL} = 853,26 mm/año

Maíz (Zea mays)

Para el maíz como cultivo único se establece la siembra el día **20 de abril** y la recolección el día **10 de octubre**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **35-40-50-48** días, obteniendo una duración total del ciclo de **173 días**. (Suelo desnudo: 192 días).

MAÍZ			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	0,98	31,99
FEB	53,66	0,50	26,85
MAR	92,98	0,29	27,37
ABR	115,33	0,30	34,80
MAY	161,68	0,23	37,19
JUN	189,92	0,74	140,54
JUL	205,81	1,20	246,97
AGO	174,44	1,18	205,84
SEP	122,60	0,78	95,63
OCT	79,44	0,46	36,85
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,04	30,97
			949,48

Tabla.59. Evapotranspiraciones mensuales del maíz.

MAÍZ: ET_C = 797,82 mm

ET_{ANUAL} = 949,48 mm/año

Unidad de cultivo: Guisante + maíz

En este caso se tiene en cuenta para un mismo suelo la combinación a lo largo del año de dos cultivos, el guisante y el maíz. Para el **maíz como segundo cultivo tras el guisante** se establece la siembra el día **1 de junio** y la recolección el día **31 de octubre**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **25-35-40-52** días, obteniendo una duración total del ciclo de **152 días**. (**Guisante: 129 días + maíz: 152 días** + suelo desnudo: 84 días.

GUISANTE + MAÍZ			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	0,83	27,03
FEB	53,66	0,89	47,76
MAR	92,98	1,14	106,00
ABR	115,33	1,16	133,78
MAY	161,68	0,56	89,99
JUN	189,92	0,22	41,49
JUL	205,81	0,78	160,53
AGO	174,44	1,20	209,33
SEP	122,60	1,08	132,41
OCT	79,44	0,61	48,46
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,04	30,97
			1062,23

Tabla.60. Evapotranspiraciones mensuales de la unidad de cultivo: Guisante + maíz.

GUISANTE + MAÍZ: ET_C= 996,78 mm

ET_{ANUAL}= 1062,23 mm/año

Unidad de cultivo: Cebada + maíz

En este caso también se tiene en cuenta para un mismo suelo la combinación a lo largo del año de los cultivos de cebada y maíz. Para el **maíz como segundo cultivo tras la cebada** se establece la siembra el día **10 de junio** y la recolección el día **30 de octubre**. Los periodos de su ciclo vegetativo se distribuyen en: **25-30-35-52** días, obteniendo una duración total del ciclo de **142 días**. (**Cebada: 191 días + maíz: 142 días** + suelo desnudo: 32 días.

CEBADA + MAÍZ			
MES	ET ₀ (mm/mes)	K _C	ET _C (mm/mes)
ENE	32,76	1,05	34,40
FEB	53,66	1,13	60,64
MAR	92,98	1,17	108,79
ABR	115,33	1,17	134,94
MAY	161,68	0,86	139,04
JUN	189,92	0,27	51,28
JUL	205,81	0,58	119,37
AGO	174,44	1,19	207,58
SEP	122,60	1,05	128,73
OCT	79,44	0,59	46,59
NOV	44,21	0,78	34,48
DIC	29,88	1,03	30,78
			1096,62

Tabla.61. Evapotranspiraciones mensuales de la unidad de cultivo: Cebada + maíz.

CEBADA + MAÍZ: ET_C = 1062,13 mm

ET_{ANUAL} = 1096,62 mm/año

ANEJO 3

Estudio edafológico

Anejo 3: Estudio edafológico

ÍNDICE

1. Introducción.....	2
2. Muestreo	2
3. Caracterización del suelo.....	3
3.1. Preparación de las muestras para su análisis	4
3.2. Caracteres físicos del perfil edáfico.....	5
3.3. Caracteres hídricos del perfil edáfico	11
3.4. Caracteres químicos del perfil edáfico.....	17
4. Conclusiones del estudio realizado.....	28
4.1. Conclusiones de los caracteres físicos	28
4.2. Conclusiones de los caracteres hídricos.....	28
4.3. Conclusiones de los caracteres químicos	29
4.4. Cálculo de la enmienda orgánica de corrección	31
4.5. Mantenimiento de las enmiendas orgánicas y nutrientes.....	33

1. Introducción

El estudio que se realiza en el presente anejo tiene por objeto determinar y mostrar las principales características físicas, hídricas y químicas del suelo, de cara a demostrar la viabilidad de la transformación desde el punto de vista edáfico.

Este estudio edafológico sirve para, además de caracterizar el suelo de la parcela de estudio, poder hacer una buena elección de los cultivos a instaurar, el sistema de riego a emplear e incluso de la dosis de riego óptima para llevar a cabo un buen aprovechamiento del agua de riego.

Todo ello solo es posible si se conocen con exactitud características del suelo tales como: textura, estructura, porosidad, capacidad de retención de agua disponible, velocidad de infiltración y fertilidad.

El presente estudio edafológico está basado en los análisis de muestras obtenidas en el suelo de la parcela de estudio. Estos han sido realizados en el laboratorio agroambiental de l campus Aula Dei en Zaragoza.

2. Muestreo

Un muestreo representativo es imprescindible para que los resultados analíticos reflejen el estado real del suelo (Badía, D., Caracterización de Suelos; 2008)

Antes de recoger las muestras, es necesario dividir la parcela de estudio en subparcelas homogéneas de una superficie aproximada de cinco hectáreas. Dentro de cada subparcela se determinaron los puntos de muestreo al azar.

En cada una de las subparcelas se tomaron muestras de suelo alterado y en varias de estas se obtuvieron además muestras de suelo inalterado, necesario para determinar la densidad aparente.

Como el objetivo no era hacer un estudio de génesis y clasificación de suelos, no se abrieron perfiles y se muestreo solamente el horizonte laborable, Ap (de 0 a 25-35 cm) o zona máxima de desarrollo radicular.

Una vez obtenida la muestra de suelo alterada de todos los puntos de muestreo, se optó por mezclarla lo más homogéneamente posible, reduciendo la cantidad por cuarteamiento a unos 2Kg, cantidad suficiente para realizar todos los análisis. La muestra resultante se guardó en una bolsa resistente para trasladarla al laboratorio.

Para la extracción de las muestras de suelo inalterado se recurrió al método de los cilindros de Kopecki. Estos cilindros metálicos de 5 cm de diámetro, 5 cm de altura y biselados en una de sus caras se hincaron en el suelo con la ayuda de una maza y teniendo cuidado de no impactar sobre el suelo, para evitar que la muestra se compactase. A continuación se trajeron con cuidado los cilindros con la muestra dentro y con la ayuda de un cuchillo se nivelaron sus caras. Por último se cerraron con dos tapes de plástico en ambas caras para su adecuado transporte hasta al laboratorio y su posterior análisis.

La determinación de la velocidad de infiltración se llevó a cabo in situ, dividiendo la parcela total en subparcelas más pequeñas de unas 10 hectáreas y procediendo a realizar el método del doble anillo o de Müntz en el centro de cada una de ellas.

3. Caracterización del suelo

El análisis de las muestras tomadas en campo se ha realizado en el laboratorio agroambiental del campus Aula Dei en Zaragoza según la metodología de la Comisión de Métodos Oficiales de Análisis y Laboratorios (MAPA, 1994).

Los caracteres físicos determinados fueron: granulometría, densidad aparente, densidad real y porosidad.

Los caracteres hídricos determinados fueron: capacidad de campo, punto de marchitez permanente, capacidad de retención de agua útil y velocidad de infiltración.

Todos estos parámetros se obtuvieron a partir de muestras de suelo alterado, exceptuando la densidad aparente, que se realizó con muestra inalterada y la velocidad de infiltración que se realizó en campo.

Los caracteres químicas determinados fueron: reacción del suelo (pH), materia orgánica, nitrógeno total, salinidad, carbonatos totales, relación C/N, fósforo asimilable, intercambio catiónico y cationes solubles más intercambiables.

3.1. Preparación de las muestras para su análisis

Una vez transportadas las muestras de suelo alterado hasta el laboratorio y antes de proceder a su análisis, se llevaron a cabo una serie de procesos preparatorios: determinación del contenido de humedad, secado y tamizado (Badía, D., Caracterización de Suelos; 2008).

Determinación de contenido de Humedad

Se lleva a cabo en el momento de la toma de muestras (humedad actual) y se hace por gravimetría, calentando el suelo a 105°C hasta un peso constante.

El procedimiento es sencillo: Se pone una muestra de unos 100-150 g, en un platito de aluminio previamente tarado y se pesa. A continuación se coloca en la estufa a 105°C durante 24 horas, después se deja que la muestra se enfrie en el interior de un desecador para pesarla rápidamente antes de que pueda rehidratarse y por último se calcula el porcentaje de humedad del suelo mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P - P')}{P'} \cdot 100 \quad [1]$$

Siendo; P = Peso de suelo húmedo, en gramos y P' = Peso de suelo seco a 105°C, en gramos.

Secado

Se extienden las muestras sobre papeles no satinados (papel de periódico) y se dejan secar unos cuantos días hasta que se equilibra su humedad con la del ambiente (secado al aire). Una vez seca se pesa la tierra y se obtiene el peso total de tierra seca.

Tamizado

Se hace pasar la tierra seca por un tamiz criba o cedazo de 2 mm de malla, para separar la tierra fina (fracción constituida por partículas de diámetro aparente inferior a los 2 mm) de los elementos gruesos (fracción de tierra con una tamaño mayor a los 2mm y compuestos por piedras, gravas, restos de raíces, etc.). Para deshacer los terrones y agregados se utiliza un rodillo de madera que disgrega los elementos gruesos o nódulos de la muestra de suelo sin romperlos.

Tras pasar toda la tierra por el cedazo, se pesa por separado la fracción de tierra fina de los elementos gruesos y se calcula el porcentaje de elementos gruesos o pedregosidad del suelo, según la expresión:

$$\% \text{ Elementos gruesos} = \frac{P_{\text{elementos gruesos}}}{P_{\text{total de tierra seca}}} \cdot 100 \quad [2]$$

La tierra fina fue el material de partida para el resto de análisis.

3.2. Caracteres físicos del perfil edáfico

TEXTURA

La textura representa la proporción de arena, limo y arcilla que hay en el suelo.

Si predomina la arena sobre el resto, es arenoso y en el caso de la arcilla, arcilloso. Un suelo franco es aquel que está formado por una mezcla de estos tres tipos de partículas en proporciones equilibradas y es el suelo que presenta mejores condiciones para el desarrollo de los cultivos.

La textura influye en: la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad de infiltración. Cuando un suelo es arenoso, contiene una gran proporción de poros grandes que dejan pasar con facilidad el aire y el agua, por ello, está bien aireado y no se encharca, pero tiene poca capacidad de retención del agua. En cambio, un suelo arcilloso contiene una gran proporción de poros

pequeños por lo que el aire y el agua presentan dificultad para su paso. Por este motivo suele estar mal aireado y se encharca con facilidad, pero tiene una gran capacidad para retener agua.

La descripción de la textura del suelo, se realiza especificando los porcentajes de partículas minerales totales, cuyo tamaño está comprendido entre unos límites determinados, según diversos sistemas de clasificación de granulometría del suelo. Se utilizó uno de los más habituales, el Sistema Americano (USDA).

Para determinar la distribución por tamaño de las partículas se realizó una **granulometría por el método de sedimentación discontinua** basada en la separación de estas partículas por sedimentación en condiciones controladas, una vez han sido individualizadas las partículas, mediante la eliminación del contenido orgánico con H₂O₂, y se han dispersado las arcillas de la muestra con una dispersante calgón o hexametafosfato sódico (Badía, D., Caracterización de Suelos; 2008).

A partir de los análisis elaborados en el laboratorio, se obtuvieron los resultados de textura expuestos en siguiente tabla (*Tabla.1*)

El contenido de elementos gruesos, arena, limo y arcilla se expresa en porcentaje respecto al suelo seco (% p/p).

GRANULOMETRIA		
USDA	Ø APARENTE (mm)	%
Elementos gruesos	Ø > 2	24,3
Arena gruesa	0,5 < Ø < 2	13,5
Arena fina	0,05 < Ø < 0,5	34,0
Limo	0,002 < Ø < 0,05	24,8
Arcilla	Ø < 0,002	28,0

Tabla.1. Contenido de partículas totales del suelo, en porcentaje respecto al total de suelo seco, según el sistema de clasificación de granulometría USDA.

La clase textural se determina mediante el **diagrama triangular de USDA**.

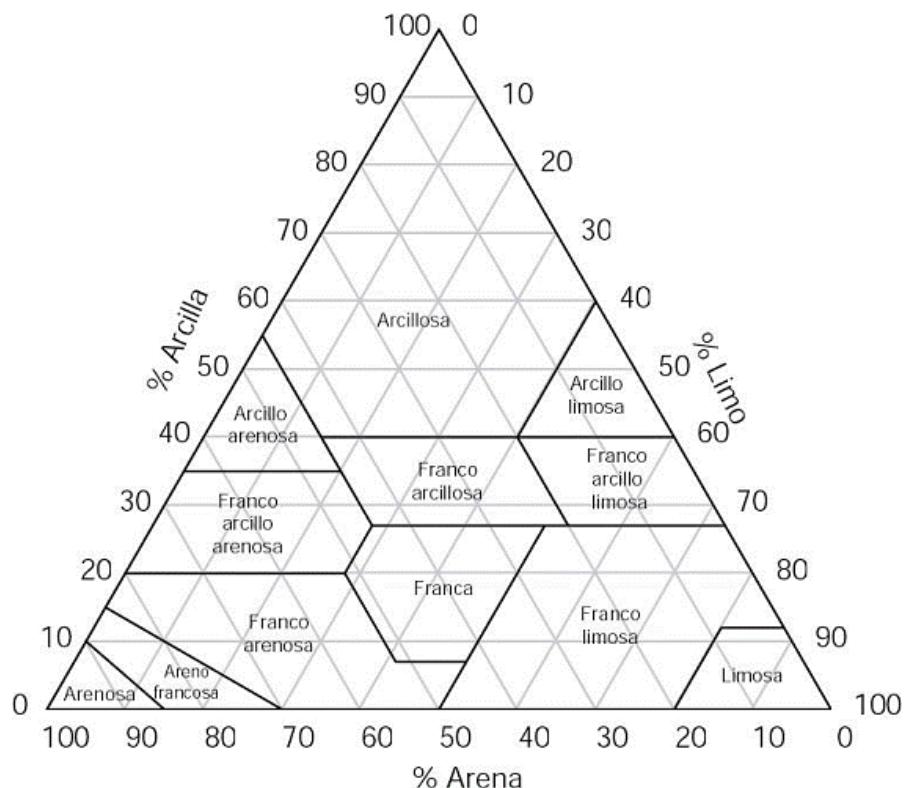


Figura.1. Diagrama triangular para la determinación de la clase textural USDA.

Entrando en el diagrama anterior con los valores correspondientes de arena ($13,5+34 = 47,5\%$), limo ($24,8\%$) y arcilla (28%) de la *Tabla.1* se obtiene que el suelo de estudio presenta una **textura del tipo franco-arcillo-arenosa**.

ESTRUCTURA

La textura hace referencia a la forma en la que se unen las partículas de arena, limo y arcilla en el suelo así como los espacios o poros ocupados por aire o agua que dejan entre sí. Por lo general, el aire ocupa los más grandes mientras que el agua ocupa los más pequeños.

En el suelo de estudio, como se ha visto en el punto anterior, hay abundancia tanto de poros grandes como de poros pequeños, con lo cual el aire, el agua y las raíces se pueden mover libremente a través de él, a la vez que una apreciable cantidad de agua queda retenida entre las partículas sólidas.

Densidad aparente

La densidad aparente es la relación entre masa y volumen de una muestra tal como es, es decir incluyendo el volumen ocupado por los poros.

Este parámetro se determina a partir del secado y la pesada de muestras de suelo inalterado tomadas en campo mediante **cilindros de Kopecki**.

Una vez llevada la muestra inalterada en los cilindros Kopecki al laboratorio, se extrae cuidadosamente el suelo del cilindro metálico y se deposita en la estufa a 105°C durante 24 horas para determinar el peso seco de suelo. Además se tara y mide la altura y el radio del cilindro para calcular su volumen.

La densidad aparente (Da) es igual a la relación del peso seco de la muestra (P) y el volumen del cilindro (V).

$$Da = \frac{P}{V} \quad [3]$$

Siendo; Da = Densidad aparente (g/cm^3), P = Peso seco de la muestra de suelo (g) y V = Volumen del cilindro (cm^3).

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad [4]$$

Siendo; V = Volumen del cilindro (cm^3), r = Radio del cilindro (cm) y h = Altura del cilindro (cm).

El cilindro que se utilizó tenía un radio de 2,5 cm y una altura de 5 cm, así pues:

$$V = \pi \cdot (2,5)^2 \cdot 5 = 98,17 \text{ cm}^3$$

El valor de **densidad aparente** resultante fue de **1,53 Tm/m³**

Como orientación se pueden tomar los siguientes datos:

- Suelos arenosos: La Da oscila entre 1,4 y 1,7 Tm/m³
- Suelos arcillosos: La Da varía entre 1 y 1,5 Tm/m³
- Suelos muy orgánicos: La Da suele ser inferior a 1 Tm/m³

Densidad real

La densidad real sólo tiene en cuenta las partículas sólidas del suelo.

La determinación de la densidad real o de partículas (Dr) se establece mediante un picnómetro o matraz aforado de gran precisión.

Este **método picnométrico** consiste en evaluar la densidad de las partículas sólidas del suelo midiendo el volumen de líquido que desplazan.

Se expresa como la relación de masa total de las partículas sólidas respecto a su volumen total, excluyendo el volumen ocupado por los poros entre partículas.

El valor de **densidad real** resultante fue de **2,62 Tm/m³**

Como orientación se pueden tomar los siguientes datos:

- Suelos minerales: La Dr oscila entre 2,6 y 2,7 Tm/m³
- Suelos muy orgánicos: La Dr varía entre 1,4 y 2 Tm/m³

Porosidad

La porosidad es el volumen de suelo ocupado por los poros, se expresa en porcentaje, suele variar entre el 40 y 60% y se puede calcular a partir de la densidad real (Dr) y la densidad aparente (Da) mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Porosidad} = \frac{Dr - Da}{Dr} \cdot 100 \quad [5]$$

Siendo; *Porosidad* = Volumen de suelo ocupado por poros (%), *Dr* = Densidad real (Tm/m^3) y *Da* = Densidad aparente (Tm/m^3).

Sustituyendo los valores hallados en los puntos anteriores ($Da = 1,53 \text{ T/m}^3$ y $Dr = 2,62 \text{ T/m}^3$) se obtiene una **porosidad del 41,6%**.

$$\text{Porosidad} = \frac{2,62 - 1,53}{2,62} \cdot 100 = 41,6\%$$

En cuanto a la estructura del suelo, a partir de los análisis descritos anteriormente se han obtenido los siguientes resultados:

ESTRUCTURA		
PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
Profundidad	metros	No se abrieron perfiles, se muestreo solo el horizonte laborable. $Ap=0,35\text{m}$
Densidad aparente (Da)	Tm/m^3	1,53
Densidad real (Dr)	Tm/m^3	2,6
Porosidad	% Volumen	41,6

Tabla.2. Tabla-resumen de los parámetros físicos que determinan la estructura del suelo.

3.3. Caracteres hídricos del perfil edáfico

Las plantas extraen del suelo el agua que necesitan y este tiene la capacidad de almacenar agua para, progresivamente, ir cediéndosela.

Es necesario, por tanto, conocer la cantidad de agua que es capaz de almacenar el suelo (Agua útil) con el fin de reponer la cantidad extraída mediante riego.

La cantidad de agua almacenada está relacionada con la distribución, cantidad y tamaño de poros en el suelo, características que a su vez se ven influenciadas por la textura, estructura y cantidad de materia orgánica de este.

Los suelos con mucho contenido en arcilla retienen más cantidad de agua que los arenosos, ya que en los poros pequeños es donde queda retenida el agua.

En función de la cantidad de agua almacenada se pueden dar las siguientes situaciones:

- Suelo saturado: Despues de un riego abundante o una lluvia copiosa, el agua ocupa todos los poros del suelo, tanto los grandes como los pequeños.
- Capacidad de campo: Es el estado de un suelo saturado en el cual, después de dos o tres días, se ha eliminado el exceso de agua por gravedad al subsuelo por su propio peso.
- Punto de marchitez permanente: Si el contenido de humedad del suelo desciende de un modo progresivo, las plantas encontrarán cada vez mayores dificultades para extraer el agua del suelo, llegando al punto en el que se iniciarán fenómenos de marchitez, es entonces cuando el nivel del agua del suelo ha llegado a ese punto.

Capacidad de campo (CC)

La capacidad de campo (CC) es la cantidad de agua máxima que un suelo retiene una vez a finalizado el drenaje interno. Este contenido de humedad se expresa en porcentaje de peso de suelo seco y se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$CC = 0,5 \cdot \% \text{ Arcillas} + 0,16 \cdot \% \text{ Limo} + 0,02 \cdot \% \text{ Arena} + 2,6$$

[6]

Sustituyendo en la fórmula anterior el contenido de arcilla (28%), limo (24,8%) y arena (47,5%) se obtiene una **capacidad de campo del 21,52%**.

$$CC = (0,5 \cdot 28) + (0,16 \cdot 24,8) + (0,02 \cdot 47,5) + 2,6 = 21,52\%$$

Punto de marchitez permanente (PMP)

El punto de marchitez permanente (PMP) es la cantidad de agua mínima que puede retener un suelo. Por debajo de este valor se inician los fenómenos de marchitez de las plantas. Este contenido de humedad se expresa en porcentaje de peso de suelo seco y se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$PMP = 0,3 \cdot \% \text{ Arcillas} + 0,1 \cdot \% \text{ Limo} + 0,015 \cdot \% \text{ Arena}$$
 [7]

Sustituyendo en la fórmula anterior el contenido de arcilla (28%), limo (24,8%) y arena (47,5%) se obtiene un **punto de marchitez permanente del 11,59%**.

$$PMP = (0,3 \cdot 28) + (0,1 \cdot 24,8) + (0,015 \cdot 47,5) = 11,59\%$$

Aqua útil (AU)

El agua útil es la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP), es decir, es el agua que puede ser asimilada por las plantas.

$$AU = CC - PMP$$
 [8]

Sustituyendo en la fórmula anterior el porcentaje de CC (21,52%) y PMP (11,59%) se obtiene un **porcentaje de agua útil del 11,59%**.

$$AU = 21,52 - 11,59 = 9,93\%$$

Desde el punto de vista de su uso por las plantas el agua del suelo puede ser de dos clases:

- Agua sobrante: Es la que no puede ser retenida por el suelo y cae por su propio peso hacia las capas más bajas. No puede ser utilizada por las plantas porque está situada en una región del suelo fuera del alcance de las raíces.
- Agua disponible: Es la que queda retenida en el suelo y puede ser absorbida por las plantas.

Capacidad de retención de agua disponible (CRAD)

La CRAD refleja la cantidad de agua retenida en el suelo después del drenaje del agua por gravedad, la cual es almacenada en forma de reserva para que pueda ser absorbida por los cultivos. Esta agua está retenida en el suelo con un potencial o tensión de 33 kPa a Capacidad de Campo hasta 1500 kPa en punto de marchitez permanente.

Este parámetro se puede calcular a partir de los valores de: punto de marchitez permanente (PMP), capacidad de campo (CC), porcentaje de elementos gruesos (EG), densidad aparente (Da) y profundidad del horizonte (p), mediante la siguiente expresión:

$$CRAD = \frac{AU}{100} \cdot \frac{100 - EG}{100} \cdot Da \cdot p \quad [9]$$

Siendo; $CRAD$ = Capacidad de retención de agua disponible (l/m^2 o mm), AU = Agua útil para las plantas ($AU = CC - PMP$) (% p/p), EG = Elementos gruesos (% p/p), Da = Densidad aparente (Kg/m^3) y p = profundidad del horizonte (m).

Sustituyendo en la fórmula anterior los valores obtenidos en apartados anteriores se obtiene una **CRAD** de **40,23 mm**, para el horizonte laborable Ap o zona de **máximo desarrollo radicular**.

$$CRAD = \frac{9,93}{100} \cdot \frac{100 - 24,3}{100} \cdot 1529 \cdot 0,35 = 40,23mm$$

Velocidad de infiltración

La infiltración designa el proceso de entrada, generalmente vertical, de agua a través de la superficie del suelo, lo cual constituye la primera etapa en el movimiento del agua del suelo.

El conocimiento de la velocidad de infiltración del agua es necesario para determinar la dosis de riego a emplear en la parcela con el objetivo de que los cultivos no sufran por sequía o exceso de agua.

La determinación de la velocidad de infiltración se llevó a cabo en campo, dividiendo la parcela total en dos subparcelas más pequeñas de unas 10 hectáreas y procediendo a realizar el método del doble anillo o de Müntz en el centro de cada una de ellas.

El resultado será la media aritmética de los resultados obtenidos en cada una de las dos subparcelas.

El **método del doble anillo o Müntz**, es el método más práctico y sencillo que existe para la determinación de la velocidad de infiltración. Este método consta de dos anillos cilíndricos de metal de distinto diámetro (el menor de 15 a 20 cm y el mayor de 50 a 60 cm de diámetro) que se colocan uno dentro del otro de forma concéntrica.

Los anillos se clavan en un suelo prehumectado y se llenan de agua de forma que el anillo interior siempre disponga de mayor nivel que el exterior.

En el anillo interior se mide la variación del nivel de la lámina de agua con respecto al tiempo, mediante un flotador y una regla, mientras que en el anillo exterior se mantiene un nivel de agua constante para controlar la infiltración lateral.

La velocidad de infiltración básica o final, expresada en mm/h, es la velocidad que se da en un régimen relativamente estabilizado, y se suele dar a al cabo de las 3 horas de haber iniciado el ensayo.

En el estudio de infiltración realizado (*Tabla.3*), se obtuvo que **la infiltración** se ralentiza a una **velocidad aproximada de 43,6 mm/ h** a las 3 hora, siendo esta velocidad ya casi estable a la hora de comenzar el ensayo (43,2mm/h), teniendo una altura de agua acumulada de 55,8 mm en la primera hora y 143,5 mm a las tres horas.

Los datos del ensayo se recogen en la siguiente tabla:

VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN							
Tiempo (min)	H absoluta (cm)	ΔT (min)	ΔH (cm)	ΔH (mm)	H acumulada (mm)	Infiltración (mm/h)	Relleno
0	82,20	0	0	0	0	0	
0,5	82,39	0,5	0,19	1,9	1,90	228,0	
1	82,52	0,5	0,13	1,3	3,20	156,0	
2	82,76	1	0,24	2,4	5,60	144,0	
5	83,23	3	0,47	4,7	10,30	94,0	
10	83,83	5	0,60	6,0	16,30	72,0	
20	84,79	10	0,96	9,6	25,90	57,6	
30	85,62	10	0,83	8,3	34,20	49,8	
60	87,78	30	2,16	21,6	55,80	43,2	
90	90,02	30	2,24	22,4	78,20	44,8	Relleno: Altura vacío: 90,02cm, Altura lleno:80,80cm
120	83,00	30	2,20	22,0	100,20	44,0	
150	85,15	30	2,15	21,5	121,70	43,0	
180	87,33	30	2,18	21,8	143,50	43,6	

Tabla.3. Datos del ensayo de infiltración por el método del doble anillo o Müntz.

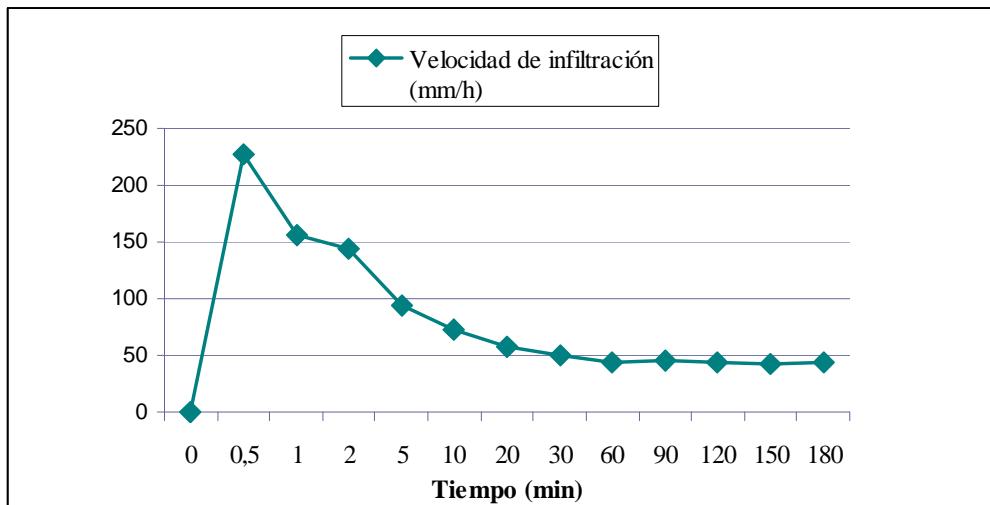


Figura.2. Gráfica de la velocidad de infiltración a lo largo del tiempo obtenida a partir de los datos de la tabla.3.

En la *Figura.2* se puede apreciar como a partir de la hora de haber comenzado el ensayo la velocidad de infiltración comienza a estabilizarse.

Para la interpretación de los resultados obtenidos se puede utilizar el siguiente criterio (*Tabla.4*)

VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (mm/h)	EVALUACIÓN
< 1	Adeuada para el cultivo de arroz. Riesgo de erosión de lavado.
1-5	Lenta. Riesgo de erosión importante. Hipoxia.
5 - 20	Moderadamente lenta. Óptima para el riego de superficie.
20 - 60	Moderada. Adeuada para riego de superficie.
60 - 125	Moderadamente rápida. Baja eficiencia de riego, lavado de nutrientes.
125 - 250	Rápida; marginal para riego en superficie.
> 250	Muy rápida. Se requiere riego localizado.

Tabla.4. Evaluación de la velocidad de infiltración.

La velocidad de infiltración obtenida (43,6 mm/h) se encuentra en un intervalo moderado, por lo que es adecuada para cualquier cultivo y para el riego por aspersión, además no va a suponer ninguna limitación a la hora de dimensionarlo y elegir la dosis óptima de riego.

En cuanto a los caracteres hídricos del suelo, a partir de los cálculos y ensayos descritos anteriormente se han obtenido los siguientes resultados:

CARACTERES HÍDRICOS DEL SUELO		
PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
Capacidad de campo (CC)	% p/p	21,52
Punto de marchitez permanente (PMP)	% p/p	11,59
Agua útil (AU)	% p/p	9,93
Capacidad de retención de agua disponible (CRAD)	l/m ² o mm	40,23
Velocidad de infiltración	mm/h	43,6

Tabla.5. Tabla-resumen de los caracteres hídricos obtenidos para el perfil edáfico de estudio.

3.4. Caracteres químicos del perfil edáfico

Hacen referencia a diferentes elementos químicos (N, P, K, Ca, Mg, Na...) cuya presencia en el suelo es fundamental para conferirle a éste unas características que hará viable o no la implantación de diferentes cultivos.

Reacción del suelo o pH

El pH es la medida de la concentración de H^+ en la solución del suelo y es un parámetro indicativo de los procesos de hidrólisis, movilidad de nutrientes, actividad biológica, etc.

El pH se determinó mediante un **método potenciométrico** en el laboratorio, con electrodo de vidrio, en una suspensión de 1:2,5 de suelo/agua.

El resultado obtenido en el análisis es el valor de pH actual o **pH (H₂O)** del suelo y éste fue de **7,8**, valor **moderadamente básico**, según la clasificación AFES (1995).

pH (H ₂ O) 1:2,5	CLASE
4,2 - 5,0	Muy ácida
5,1 - 6,5	Ácida
6,6 - 7,5	Neutra
7,6 - 8,7	Básica
> 8,7	Muy básica

Tabla.6. Descripción de la reacción del suelo, en superficie (30cm), según AFES; 1995.

Materia orgánica

La cantidad de materia orgánica que contiene un suelo, en un momento dado, es la diferencia entre la biomasa total recibida y la biomasa mineralizada de forma rápida y el humus mineralizado de forma lenta.

La cantidad de materia orgánica se determina a partir un **método de oxidación vía húmeda**. Este método se basa en la oxidación de la materia orgánica del suelo por el ión Cr⁺⁶ en medio ácido (sulfúrico y fosfórico) y la valoración del exceso de ácido crómico por medio de una sal de hierro (Sal de Mhor). Esquemáticamente:



(Ácido crómico + materia orgánica ↔ cromo reducido + CO₂ + crómico en exceso)

Este método cuantifica realmente el Carbono orgánico (%C), así que, para obtener el porcentaje de materia orgánica, hay que utilizar el factor de Van Bemmelen:

$$\% MO = 1,724 \cdot \% C \quad [10]$$

Siendo; %MO = % de materia orgánica (Para muestras no muy orgánicas; Si %C <5,8), $1,724 = 100/58$ (El 58% de la materia orgánica corresponde al Carbono orgánico) y %C = % Carbono orgánico.

A partir de las analíticas hechas en el laboratorio donde se obtuvo un porcentaje de Carbono orgánico del 0,75%, y sustituyendo en la fórmula anterior se alcanza un valor de **materia orgánica del 1,3%**.

$$\% MO = 1,724 \cdot 0,75 = 1,3\%$$

Este porcentaje en materia orgánica oxidable del suelo es, según muestra la **Tabla.7** característico de horizontes laborables Ap de secano.

% MATERIA ORGÁNICA	CLASES	HORIZONTES Y CAPAS
< 0,2	Inapreciable	R
0,2 - 1	Muy bajo	C, B
1,1 - 2	Bajo	Ap de secano
2,1 - 5	Medio	Ap de regadío
5,1 - 10	Abundante	Ah de praderas, bosques
> 10	Muy abundante	Ah, H

Tabla.7. Contenido de materia orgánica y horizontes en los que suele encontrarse.

Además, para los suelos agrícolas peninsulares con contenido media de arcilla (10-30%), como es el caso del suelo de estudio, con 28% de arcilla, puede considerarse la siguiente norma de diagnóstico de la materia orgánica (**Tabla. 8**).

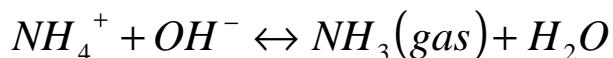
% M.O	NIVEL				
	Muy pobre	Pobre	Medio	Rico	Muy rico
	0 - 1	1-2	2 - 2,5	2,5 - 3,5	3,5

Tabla.8. Norma de diagnóstico de la materia orgánica en horizontes superficiales de suelos agrícolas peninsulares.

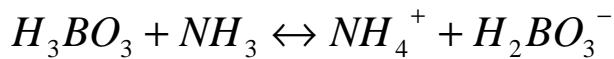
Por tanto, según la tabla anterior, el suelo de estudio posee un **nivel ligeramente pobre en materia orgánica**.

Nitrógeno total

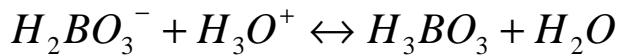
La cantidad de Nitrógeno total contenido en el suelo se determina a partir del **método Kjeldahl**. Este método es un procedimiento de oxidación por vía húmeda que tiene por objeto transformar las diversas formas de nitrógeno combinado a la forma amoniacal mediante una digestión ácida, en presencia de un catalizador en pastilla (K_2SO_4 , Selenio o $CuSO_4$). El amonio formado se trata con una base fuerte en exceso, en concreto sosa, $Na(OH)$, para liberar el amonio y formar amoníaco (gas):



El amoníaco así obtenido se destila sobre un exceso no medido de ácido bórico:



La base fuerte obtenida puede valorarse con una disolución patrón de ácido sulfúrico de concentración conocida:



A partir de las analíticas hechas en el laboratorio donde se obtuvo un porcentaje de **Nitrógeno total del 0,14%** y según la *Tabla.9*, el suelo de estudio posee un **nivel medio en nitrógeno total**.

% N _{TOTAL}	NIVEL				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
	< 0,05	0,06 - 0,10	0,11 - 0,20	0,21 - 0,30	> 0,30

Tabla.9. Norma de diagnóstico del nitrógeno total en los suelos agrícolas.

Relación C/N

La mayor parte del nitrógeno total corresponde al Nitrógeno orgánico, por tanto no está a disposición de las plantas cultivadas ya que éstas sólo pueden absorber tal elemento en forma nítrica, y en menor grado, la amoniacal. Por lo tanto, el contenido en Nitrógeno total de un suelo no es muy útil como parámetro de la fertilidad nitrogenada del suelo.

Por ello, es necesario conocer la relación C/N, interpretación conjunta del Nitrógeno total y la materia orgánica, para poder hacer una evaluación indirecta del estado de la materia orgánica y de la biomasa edáfica.

$$C/N = \frac{\% MO}{\% N_{TOTAL}} \quad [11]$$

Este parámetro puede detectar la existencia de algún factor que haya podido frenar la actividad biológica de un suelo.

Si se tiene una relación C/N:

- Alta → Oxidación de los compuestos carbonatados, obtención de energía y desprendimiento de CO₂.
- Baja → Nitrificación de nitrógeno orgánico, que queda disponible para las plantas o que se puede perder por lixiviación.

Sustituyendo los valores obtenidos en materia orgánica (1,3%) y Nitrógeno total (0,14%) en la fórmula [11] se obtiene una **relación C/N de 9,29**.

Ciñéndose a suelos agrícolas, el humus de calidad suele presentar una relación C/N inferior a 10 y al contrario, relaciones C/N muy elevadas son propias de un mal funcionamiento de la biomasa microbiana y de una baja calidad de la materia orgánica.

Como se puede observar en la siguiente tabla, el suelo de estudio posee una **relación C/N correcta y frecuente en horizontes agrícolas superficiales, Ap.**

C/N	INTERPRETACIÓN	HORIZONTES Y CAPAS
< 8	Baja. Puede indicar agotamiento del suelo, sobrefertilización nitrogenada o inhibición de la nitrificación.	Horizontes profundos (Bw, C).
8 < C/N < 10	Correcta	Horizontes agrícolas superficiales, Ap.
10 < C/N < 15	Alta. Puede indicar problemas de mineralización en suelos agrícolas.	Suelos forestales y algunos pastos y prados.
C/N >15	Muy alta. Puede indicar que existe materia orgánica fresca o bloqueo de la actividad biológica y, por tanto, de la mineralización orgánica.	Pastos

Tabla.10. Escala de interpretación de la relación C/N.

Carbonatos totales

Los carbonatos totales se midieron volumétricamente en un calcímetro de Bernard utilizando un ataque ácido de la muestra con ácido clorhídrico 1N y patrón de carbonato cálcico puro (CaCO_3).

El **método del calcímetro de Bernard** se basa en la descomposición de los carbonatos por el ácido clorhídrico (HCl) que da lugar al desprendimiento de dióxido de carbono. Después se mide el volumen de gas (CO_2) desprendido, ya que la cantidad de este gas es proporcional al contenido en carbonatos del suelo. Esquemáticamente:



A partir de las analíticas hechas en el laboratorio donde se obtuvo un porcentaje de **CaCO_3 del 22,2%** e interpretando los datos según la *Tabla.11*, el suelo de estudio posee un **contenido moderadamente alto de carbonato cálcico**.

% CaCO ₃	CONTENIDO						
	Nulo	Muy bajo	Bajo	Medio	Mod. Alto	Alto	Muy alto
	< 0,2	0,2 - 5	6 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 40	> 40

Tabla.11. Diagnóstico del contenido de carbonato cálcico equivalente (Herrero et al., 1993).

Salinidad

Los suelos afectados por sales son aquellos que presentan una acumulación de sales más solubles que el yeso, en concentración suficiente para interferir en el crecimiento de las plantas no especializadas (suelos salinos); o bien contiene suficiente sodio intercambiable para afectar a los cultivos y la estructura de los suelos (Suelos sódicos).

La cuantificación de la salinidad se basa en una estimación indirecta del contenido de sales solubles del suelo a través de la medida de la **conductividad eléctrica** que presenta un extracto acuoso de suelo.

Está se cuantifica midiendo la conductividad eléctrica a 25°C del extracto 1:5 (suelo: agua).

A partir de las analíticas hechas en el laboratorio donde se obtuvo una **conductividad eléctrica de 1,4 dS/m** y según la *Tabla.12*, el **suelo de estudio** se puede considerar **no salino**.

CE a 25°C (dS/m)	CLASIFICACIÓN	DESARROLLO DE CULTIVOS
0 - 2	No salino	Normal
2 - 4	Ligeramente salino	Afectados los más sensibles
4 - 8	Moderadamente salino	Afectados la mayoría
> 8	Muy salino	Desarrollo de tolerancias

Tabla.12. Cuadro general de salinidad de suelos y desarrollo de los cultivos.

Fósforo asimilable o fósforo Olsen

El método más generalizado para determinar el contenido de fósforo asimilable del suelo es **el método Olsen** (1954).

A partir de este método se pretende determinar la cantidad de fósforo que hay en el suelo en formas disponibles para las plantas, mediante la extracción de éste con un reactivo, bicarbonato sódico (NaHCO_3), que intenta solubilizar sólo la parte de fósforo que la planta podría absorber. Existe una alta correlación entre el fósforo extraído con dicho reactivo y la absorción de fósforo por las plantas.

La cantidad de fósforo solubilizado mediada en el laboratorio fue de **9 mg/kg o ppm, valor** que según la *Tabla.13*, se considera **normal**.

P-Olsen (ppm)	NIVEL	APORTACIÓN
0 - 3	Muy pobre	2 veces la cantidad que extraen las cosechas, y siempre que se a posible de manera localizada en función del cultivo.
3-5	Pobre	2 veces la cantidad que extraen las cosechas.
5 -11	Normal	La cantidad que extraen las cosechas más un 10-20%
11-20	Rico	Aportar la extracción
> 20	Muy rico	Aportar menos que la extracción y, en algunos casos, no aportar.

Tabla.13. Niveles de P (Olsen) en el suelo (ppm) y necesidades de abonado.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Cuando las partículas sólidas del suelo entran en contacto con la solución acuosa de éste, las especies iónicas presentes en la fase líquida pueden ser captadas por la fase sólida, liberándose a su vez otros iones que inicialmente se encontraban asociados a esta última. Es el denominado fenómeno de intercambio iónico. El responsable del proceso de intercambio catiónico es el denominado complejo de cambio o complejo adsorbente, constituido por arcillas y la materia orgánica humificada (complejo húmico-arcilloso). El complejo de intercambio catiónico posee carga positiva la cual permite adsorber

caciones. La cantidad total de cationes que puede retener en su superficie el complejo de cambio recibe el nombre de capacidad de intercambio catiónico (CIC). En ocasiones se habla CIC_{total} para distinguir las aportaciones de la CIC_{humus} y CIC_{arcillas}.

Conocer la CIC es importante porque afecta al movimiento y a la retención de cationes del suelo, a la nutrición de la planta, al poder de recuperación del suelo, a su pH potencial y a su capacidad amortiguadora.

Dado que los principales responsables del proceso de intercambio catiónico son las arcillas y la materia orgánica humificada, la CIC puede calcularse mediante estimación indirecta a partir de la siguiente fórmula descrita por Badia et al (Suelos agrícolas del Baix Segre)

$$CIC_{SUELO} = 0,106 \cdot \% ARC + 0,1 \cdot \% LIMO + 1,269 \cdot \% MO + 0,426$$

[12]

Siendo; CIC_{SUELO} = Capacidad de intercambio catiónico del suelo (cmol/kg), $\%ARC$ = Contenido granulométrico de arcillas en el suelo, $\%LIMO$ = Contenido granulométrico de limos en el suelo y $\%MO$ = Cantidad de materia orgánica.

Sustituyendo los valores obtenidos en contenido en arcilla (28%), limo (24,8%) y materia orgánica (1,3%) en la formula [12] se obtiene una **CIC de 7,5 cmol/Kg.**

$$CIC_{SUELO} = 0,106 \cdot 28 + 0,1 \cdot 24,8 + 1,269 \cdot 1,3 + 0,426 = 7,5 \text{ cmol / kg}$$

Este valor de CIC, según la tabla siguiente, corresponde a una **clase baja**.

CIC (cmol/kg)	CLASE				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
	< 6	6 - 12	13 - 25	26 - 40	> 40

Tabla.14. Clases de Capacidad de Intercambio Catiónico, CIC (cmol/kg), en superficie (30 cm), según Herrero et al. (1993).

Cationes solubles más intercambiables (Sodio, potasio y magnesio)

La determinación del **sodio y el potasio** intercambiables en extractos de suelo se establece por **fotometría de llama**.

La determinación del **magnesio** se establece por **complexometría**, método basado en la formación de quelatos con los cationes divalentes del extracto y el ácido etilendiaminotetra-acético (EDTA), aprovechando las diferencias constantes de equilibrio según el pH de la solución.

Para referir los cálculos obtenidos en estos cationes de cambio a un peso de suelo hace falta considerar que el volumen utilizado en el análisis corresponde a un peso concreto de suelo, por lo tanto los resultados se deben expresar en meq de Na^+ , K^+ o Mg^{2+} / 100 g de suelo.

Así pues, la **cantidad de sodio, potasio y magnesio de cambio** mediadas en el laboratorio fueron de **0,33, 0,32 y 1,7 meq/100g, respectivamente**.

Para interpretar estas cantidades se utilizan las siguientes tablas:

Na^+ (meq/100g)	NIVEL
0 - 0,3	Muy bajo
0,3 - 0,6	Bajo
0,6 - 1,0	Normal
1,0 - 1,5	Alto
> 1,5	Muy alto

Tabla 15. Interpretación de los niveles de sodio intercambiable en el suelo. Fuente: Rioja Molina, A. (2002) "Apuntes de fitotecnia General", E.U.I.T.A, Ciudad Real.

Como el contenido de sodio es de 0,33 meq/100g, según la tabla anterior se trata de un suelo con un **nivel en sodio bajo**.

K⁺ (meq/100g)	NIVEL
0 - 0,3	Muy bajo
0,3 - 0,6	Bajo
0,6 - 0,9	Normal
0,9 - 1,5	Alto
1,5 - 2,4	Muy alto

Tabla.16. Interpretación de los niveles de potasio intercambiable en el suelo. Fuente: Rioja Molina, A. (2002)"Apuntes de fitotecnia General", E.U.I.T.A, Ciudad Real.

Como el suelo posee un contenido en potasio de 0,32 meq/100g, se trata de un suelo con un **nivel en potasio bajo**.

Mg⁺² (meq/100g)	NIVEL
0 - 0,6	Muy bajo
0,6 - 1,5	Bajo
1,5 - 2,5	Normal
2,5 - 4,0	Alto
> 4,0	Muy alto

Tabla.17. Interpretación de los niveles de magnesio intercambiable en el suelo. Fuente: Rioja Molina, A. (2002)"Apuntes de fitotecnia General", E.U.I.T.A, Ciudad Real.

El contenido de magnesio en el suelo es de 1,7 meq/100g, por lo tanto tenemos un suelo con un **nivel en magnesio normal**.

En cuanto a los caracteres químicos del suelo, a partir de los cálculos y ensayos descritos anteriormente se han obtenido los siguientes resultados:

CARACTERES QUÍMICOS DEL SUELO		
PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
pH (Extracto 1:2,5 suelo /agua)	-	7,8
Materia orgánica	%	1,3
Nitrógeno total	%	0,14
Relación C/N	%	9,29
Carbonatos totales	%	22,2
Salinidad (CE a 25°C)	dS/m	1,4
Fósforo Olsen	ppm	9,0
CIC (Capacidad de intercambio catiónico)	meq/100g	7,50
Sodio intercambiable (Na^+)	meq/100g	0,33
Potasio intercambiable (K^+)	meq/100g	0,32
Magnesio intercambiable (Mg^{2+})	meq/100g	1,7

Tabla.18. Tabla-resumen de los caracteres químicos obtenidos para el perfil edáfico de estudio.

4. Conclusiones del estudio realizado

4.1. Conclusiones de los caracteres físicos

En lo que respecta a la textura y estructura del suelo, se obtiene que éstas son aceptables para los cultivos que se desea implantar. El suelo de estudio posee una textura franco-arcillo- arenosa y los parámetros de densidad aparente, densidad real y porosidad presentan valores medios, por lo tanto no son factores limitantes.

4.2. Conclusiones de los caracteres hídricos

La capacidad de campo y el punto de marchitez obtenidos analíticamente dan unos valores que permiten que la capacidad de retención de agua útil en el suelo sea aceptable.

La velocidad de infiltración obtenida se encuentra dentro de un intervalo moderado, por lo que es adecuada para cualquier cultivo y para el riego por aspersión,

además no va a suponer ninguna limitación a la hora de dimensionarlo y elegir la dosis óptima de riego.

4.3. Conclusiones de los caracteres químicos

pH:

El valor obtenido es moderadamente básico (básico tendiendo a neutro), debido a la presencia generalizada de carbonatos (Contenido de CaCO_3 moderadamente alto), y la posible existencia de numerosos microorganismo activos en el suelo (bacterias nitrificantes o fijadoras de nitrógeno), presentes cuando abundan los carbonatos.

El pH afecta a la solubilidad de los elementos químicos y por lo tanto a la nutrición mineral de las plantas. En este tipo de suelo elementos como Mn, Fe y Zn son poco solubles y por tanto serán más difíciles de asimilar.

El valor obtenido es un valor aceptable para nuestros cultivos, valores más altos supondrían indicios de presencia de características sódicas.

Materia orgánica:

El bajo valor obtenido es característico del horizonte laborable de secano.

El suelo de estudio posee un nivel ligeramente pobre en materia orgánica, que junto a el exceso de carbonatos, provocan en éste una baja capacidad de absorción y retención de agua y nutrientes, por lo que resulta necesario hacer una enmienda húmica a partir de estiércol animal, la cual se calculará en el apartado siguiente, para incrementar los niveles a largo plazo de materia orgánica en un 2-2,5%, nivel normal y adecuado para el regadío y el desarrollo de los cultivos.

Nitrógeno total:

El suelo posee un nivel medio y adecuado en nitrógeno total, por lo que no será necesario ningún aporte adicional.

Relación C/N:

Posee un nivel de relación C/N normal, correcto y frecuente en los horizontes agrícolas superficiales.

El valor obtenido indica que la materia orgánica (húmus) es de calidad y que existe un buen funcionamiento de la biomasa microbiana, es decir existe una buena liberación de nitrógeno (nitrificación) por parte de la materia orgánica, que queda disponible para las plantas.

Carbonatos totales:

El contenido moderadamente alto en CaCO_3 que posee el suelo, le dan a éste un cierto carácter alcalino.

Salinidad:

El valor obtenido en conductividad eléctrica es bajo, por lo que el suelo de estudio no presenta problemas de salinidad y se considera no salino. La influencia de sales sobre los cultivos es inapreciable y no altera el adecuado desarrollo de éstos. Por lo tanto no se deberá tomar ninguna medida al respecto, incluso esta cantidad de sales solubles se verá reducida con la frecuencia de riego.

Fósforo Olsen:

El suelo posee un nivel normal de fósforo, por lo que no será necesaria la realización de ningún aporte, ya que se encuentra en cantidad suficiente.

Capacidad de intercambio catiónico:

El suelo presenta una baja capacidad de intercambio catiónico.

Este fenómeno puede ser debido a la presencia de carbonatos y el bajo contenido en materia orgánica en el suelo, que provocan en éste una baja capacidad de retención de algunos cationes.

Cationes solubles más intercambiables:

El nivel en magnesio es normal y aceptable para el desarrollo de los cultivos, por lo que no es necesario realizar ninguna corrección.

Los niveles en sodio y potasio son un poco bajos, debido a la presencia de carbonatos y el bajo contenido en materia orgánica, que afectan a la retención y adsorción de estos cationes.

Mediante el aporte de materia orgánica citado anteriormente, los niveles en sodio y potasio del suelo se verán incrementados.

4.4. Cálculo de la enmienda orgánica de corrección

En este apartado se van a calcular los aportes necesarios de materia orgánica que deben realizarse en la parcela de estudio para obtener niveles óptimos para el desarrollo de los cultivos.

En suelos de regadío, los niveles óptimos de materia orgánica deben estar entre un 2% y un 3%. El contenido en materia orgánica del suelo de estudio es de 1,3%, por lo que es necesario hacer una enmienda húmica de corrección para elevar el contenido inicial hasta aproximadamente un 2%, con lo cual éste ha de elevarse un 0,7%.

La dosis de enriquecimiento o enmienda para elevar el nivel de materia orgánica (ΔMO) en el suelo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Delta MO = 10^4 \cdot p \cdot Da \cdot \frac{(MO_f - MO_i)}{100} \quad [13]$$

Siendo; ΔMO = Variación total de materia orgánica (Tm/ha), p = profundidad del suelo considerada para elevar el contenido de materia orgánica (Se ha decidido que esta sea de 0,2 m más de superficie), Da = Densidad aparente (Tm/m³), MO_f = Porcentaje de materia orgánica final (%) y MO_i = Porcentaje de materia orgánica final (%).

Sustituyendo los valores en profundidad (0,2m), densidad aparente (1,53 Tm/m³), materia orgánica final (2%) y materia orgánica inicial (1,3%) en la *fórmula [13]* se obtiene una **ΔMO de 21,42 Tm/ha**.

$$\Delta MO = 10^4 \cdot 0,2 \cdot 1,53 \cdot \frac{(2-1,3)}{100} = 21,42 Tm / ha$$

Para realizar dicha corrección húmica se utiliza estiércol bovino, fertilizante orgánico que mejora la estructura del suelo y hace una aportación significativa de elementos fertilizantes.

Estiércol	H ₂ O (%)	N(%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O(%)	CaO(%)
Caballo	713	5,8	2,8	5,3	2
Vaca	775	3,4	1,6	4,0	3
Oveja	646	8,3	2,3	6,7	3
Cerdo	724	4,5	1,9	6,0	0,8
Valor medio	750	5	1,5	6	2,2

Figura.3. Composición media de diversos estiércoles según Wolf. Fuente: Urbano Terrón (1999) "Tratado de Fitotecnia General".

Como se puede observar en la figura anterior, la composición del estiércol de vaca tiene la siguiente composición:

- Materia seca = 22,5%
- Contenido en nitrógeno = 0,34%
- Contenido en P₂O₅ = 0,16%
- Contenido en K₂O = 0,4%

La cantidad de estiércol que es necesario aplicar por hectárea para conseguir el equilibrio húmico se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{\Delta MO}{K \cdot \% Ms} \quad [14]$$

Siendo; C = Cantidad de estiércol que hay que suministrar (Tm/ha), ΔMO = Variación total de materia orgánica (Tm/ha), K = Coeficiente isohúmico (Cantidad de humus que puede formarse a partir de 1kg de materia seca, en el caso del estiércol se considera del 0,5, es decir el 50% de su peso se transforma en materia orgánica) y $\%MS$ = Porcentaje de materia seca del estiércol (%/100).

El valor humígeno se estima para un estiércol bien descompuesto en el 11,5% de su peso (23% de materia seca y coeficiente isohúmico de 0,5), es decir cada tonelada de estiércol natural podrá generar del orden de 115 kg de humus, con lo cual la **cantidad de estiércol** que habrá que aportar será de **186,26 Tm/ha**.

$$C = \frac{21,42}{0,5 \cdot 0,23} = 186,26 \text{ Tm / ha}$$

4.5. Mantenimiento de las enmiendas orgánicas y nutrientes

En el apartado anterior se ha calculado la dosis necesaria de estiércol de vacuno a aplicar antes de sembrar algún cultivo, es decir antes de comenzar la rotación.

Las condiciones del suelo cambian conforme pasa el tiempo, por lo que en la rotación se recomienda alternar cultivos con efectos antagónicos sobre el suelo. A los cultivos que tengan una elevada profundidad radicular deben seguirles otros que tengan poca y a los que tengan altas necesidades nutricionales deben seguirles otros menos exigentes.

Además es importante incluir en la rotación de cultivos ciertas leguminosas (Alfalfa, Guisante o Veza) que aporten una importante cantidad de nitrógeno al suelo y usar los restos vegetales de cosecha de los cereales como enmienda orgánica.

Se recomienda también, después de cada campaña, hacer un aporte de materia orgánica por medio de compost realizado de excrementos de animales explotados en extensivo y restos vegetales de cosechas como paja de cereales. Este aporte debe ser realizado en relación con los análisis que se hagan del suelo para aportar las cantidades necesaria

ANEJO 4

Calidad del agua de riego

Anejo 4: Calidad del agua de riego

ÍNDICE

1.	Introducción.....	2
2.	Resultados analíticos	3
3.	Índices de primer grado	9
3.1.	pH.....	9
3.2.	Conductividad eléctrica.....	9
3.3.	Presión osmótica del agua.....	10
3.4.	Sales disueltas totales (SDT).....	10
3.5.	Iones más importantes existentes en el agua de riego	11
3.6.	Sales más importantes existentes en el agua de riego	11
4.	Índices de segundo grado	13
4.1.	Relación de absorción del sodio (SAR)	13
4.2.	Relación de sodio	14
4.3.	Índice de Kelly o relación de calcio	14
4.4.	Dureza del agua.....	15
4.5.	Índice de Eatón o carbonatos sódicos residuales (CSR)	16
5.	Evaluación de la calidad del agua de riego.....	17
5.1.	Salinidad.....	17
5.2.	Sodicidad.....	19
5.3.	Toxicidad	21
5.4.	Alcalinidad	22
6.	Caracterización de la calidad del agua de riego.....	25
6.1.	Normas Riverside.....	25
6.2.	Normas H.Greene-FAO	27
6.3.	Normas L.V.Wilcox	28
6.4.	Recomendaciones de Tames	29
7.	Conclusiones.....	30

1. Introducción

El agua es el elemento principal para la nutrición de las plantas, en ella existen gran cantidad de sustancias disueltas, y de las concentraciones de estas sustancias depende la calidad de la misma para su uso.

La calidad del agua utilizada para riego afecta tanto a los rendimientos de los cultivos como a las condiciones físicas del suelo, incluso si todas las demás condiciones y prácticas de producción son favorables.

Por tanto, es muy importante realizar un análisis del agua de riego y evaluar su calidad antes de emplearla para conocer si es óptima para la parcela de estudio y para los cultivos que en ella se quieren instaurar, ya que dependiendo de los resultados que se obtengan será factible o no la puesta en riego.

La calidad del agua puede variar significativamente de acuerdo a la época del año (época seca/ época de lluvias), así que es recomendable tomar gran cantidad de muestras en distintos períodos de tiempo.

Los parámetros que determinan la calidad del agua de riego se dividen en tres categorías: químicos, físicos y biológicos. En este estudio, se abordan tan solo las propiedades químicas, sin considerar las relaciones que se establecen entre el agua y el medio en el que es consumida.

Las características químicas del agua de riego se refieren al contenido de sales solubles, así como a los parámetros derivados de la composición de estas sales; parámetros tales como: pH, conductividad eléctrica, relación de absorción del sodio, dureza del agua, etc.

La principal fuente natural de las sales minerales en el agua es la erosión y descomposición de las rocas y minerales del suelo. También existen otras fuentes secundarias tales como la deposición atmosférica de sales oceánicas, la intrusión de aguas salinas en los acuíferos de las aguas subterráneas o incluso la lixiviación de fertilizantes en las aguas de drenaje.

Las aguas de riego aportan sales al suelo y las aguas de drenaje las eliminan. Cuando la cantidad de sales incorporadas al suelo es mayor que la cantidad eliminada se incrementa el nivel de salinidad, pudiendo llegar a límites peligrosos.

Cuanto mayor es el contenido de sales en la disolución del suelo, mayor es el esfuerzo que la planta tiene que hacer para absorber el agua, por lo tanto la capacidad de la planta para obtener el agua disminuye a medida que aumenta la concentración de sales. Además, algunas sales deterioran las buenas cualidades físicas del suelo, son tóxicas para los cultivos u ocasionan desequilibrios en la absorción de nutrientes.

Para caracterizar la calidad del agua de riego se van a seguir los métodos más utilizados, que por otra parte, son los que mas pueden ayudar a dar un criterio adecuado.

En ello las variables que definen la calidad del agua son: salinidad, sodicidad, toxicidad y alcalinidad.

En cada caso lo que se valora es el riesgo potencial del uso de agua, es decir, la mayoría de las aguas consideradas peligrosas tienen un contenido actual de sales que en sí mismo no es demasiado perjudicial; el problema se presenta cuando esas aguas evolucionan en el suelo.

2. Resultados analíticos

El suministro de agua de riego en este proyecto procede del pantano del Grado. Esta agua circula por el Canal del Cinca y llega a la parcela de estudio a través de la Acequia A-19.

Los datos de calidad de agua empleados para la realización del presente estudio se han tomado del punto de muestreo Nº441 (Canal del Cinca/Embalse del Grado) de la red de Control del Estado de las Masas de Aguas Superficiales (CEMAS) de la Confederación Hidrográfica del Ebro (<http://www.chebro.es/>).

La serie de datos tomados corresponde a un periodo de 10 años, de 2004 a 2013, el mismo que se utilizó en el Anejo 2 para determinar los datos climáticos.

A partir de las analíticas obtenidas por CEMAS entre 2004 y 2013 en el punto de muestro Nº441 (*Tabla.2*) se calcularon los valores medios para cada uno de los parámetros empleados en el presente anexo con el objetivo de poder evaluar la calidad del agua de riego a emplear en la parcela de estudio (*Tabla.1*).

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
T ^a del agua	°C	12,9
pH	-	8,2
Conductividad a 20 °C	µS/cm	266
Sólidos en suspensión	mg/L	< 4
Amoniaco Total	mg/L NH ₄	< 0,12
Calcio	mg/L Ca ⁺²	45,9
Magnesio	mg/L Mg ⁺²	7,1
Sodio	mg/L Na ⁺	4,3
Potasio	mg/L K ⁺	1,1
Boro	mg/L B ⁺³	< 0,009
Cobre	mg/L Cu	< 0,002
Hierro	mg/L Fe	0,012
Cromo	mg/L Cr	< 0,002
Cloruros	mg/L Cl ⁻	7,2
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	29,4
Nitratos	mg/L NO ₃ ⁻	1,3
Fosfatos	mg/L PO ₄ ³⁻	0,07
Carbonatos	mg/L CO ₃ ²⁻	15,9
Bicarbonatos	mg/L HCO ₃ ⁻	109,8
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	120,0

Tabla. 1. Valores medios de los parámetros empleados para evaluar la calidad del agua de riego, elaborados a partir de los valores obtenidos entre 2004 y 2013 por CEMAS-CHE.

RED DE CONTROL DEL ESTADO DE LAS MASAS DE AGUAS SUPERFICIALES- CHE- PUNTO DE MUESTREO N°441 CINCA/EMBALSE DEL GRADO																				
T°agua °C	pH	CE 20 °C μS/cm	Sól. en susp. mg/L	Amoniaco mg/L NH ₄	Calcio mg/L Ca ⁺²	Magnesio mg/L Mg ⁺²	Sodio mg/L Na ⁺	Potasio mg/L K ⁺	Boro mg/L B ⁺³	Cobre mg/L Cu	Hierro mg/L Fe	Cromo mg/L Cr	Cloruros mg/L Cl ⁻	Sulfatos mg/L SO ₄ ²⁻	Nitratos mg/L NO ₃ ⁻	Fosfatos mg/L PO ₄ ³⁻	Carbonatos mg/L CO ₃ ²⁻	Bicarbonatos mg/L HCO ₃ ⁻	Alcalinidad mg/L CaCO ₃	
26-01-04	7,8	8,3	290	<3	<0,13	56,9	8,3	<3	1,0	-	-	-	-	<7	30,3	3,5	0,05	-	-	151
23-02-04	7,7	8,1	280	<3	<0,13	-	-	-	-	-	-	-	4,7	-	1,7	0,06	-	-	-	
24-03-04	8,8	8,3	300	<3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27-04-04	9,0	8,2	310	<3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19-05-04	10,5	8,4	300	<3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15-06-04	13,0	8,3	290	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14-07-04	15,0	8,3	250	<3	<0,13	49,7	<7	3,8	<1	-	<0,002	<0,03	<0,002	<7	21,3	<2	<0,05	-	-	110
24-08-04	19,3	8,2	180	<3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21-09-04	20,3	8,3	230	<3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26-10-04	17,7	8,3	210	<3	<0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	<7	-	<2	<0,05	-	-	
23-11-04	12,2	8,3	270	<5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15-12-04	10,1	8,3	260	<5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24-01-05	7,2	8,3	280	<5	<0,13	50,6	7,6	4,4	<1	-	-	-	-	<7	30,5	1,4	0,06	-	-	134
28-02-05	6,0	8,0	280	<5	<0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	<7	-	1,3	<0,05	-	-	
28-03-05	7,2	8,1	270	<5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20-04-05	9,5	8,1	260	<5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29-06-05	17,3	8,3	261	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12-07-05	19,2	8,2	252	<1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	3,5	-	1,5	<0,1	-	-	
31-08-05	21,8	8,3	284	<1	0,15	43,6	6,6	4,4	<1	-	<0,002	0,0120	<0,002	7,7	34,3	1,5	<0,1	10,4	105,9	-
27-09-05	18,8	8,4	286	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26-10-05	14,5	8,2	286	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24-11-05	10,9	8,2	260	<2	<0,1	-	-	-	-	<0,01	<0,002	0,0130	<0,002	5,5	34,0	2,1	<0,1	-	-	-
19-12-05	7,9	8,2	268	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
09-01-06	6,6	8,1	279	<1	<0,1	46,5	7,3	5,7	<2	-	-	-	-	6,0	33,1	2,1	<0,1	<5	142,1	-
06-02-06	5,8	8,1	280	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06-03-06	6,1	8,4	283	<1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8	-	2,3	<0,1	-	-	

11-04-06	8,6	8,4	282	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11-05-06	11,2	8,3	298	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27-06-06	17,3	8,3	250	<1	<0,1	-	-	-	-	<0,01	-	<0,01	<0,002	-	36,4	1,2	<0,1	<5	-	-
27-07-06	21,0	8,1	250	<1	<0,1	42,3	6,9	2,6	<1	-	<0,002	<0,01	<0,002	3,8	27,9	1,1	<0,1	-	136,7	-
28-08-06	21,0	8,2	255	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27-09-06	17,7	7,9	280	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09-10-06	17,4	8,2	276	6	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	6,6	-	1,6	<0,1	-	-	-
14-11-06	14,1	8,5	250	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27-12-06	9,3	8,3	266	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22-01-07	8,6	8,3	270	<1	<0,1	45,4	6,3	4,3	<2	-	-	-	-	4,2	24,9	1,1	<0,1	5,5	142,8	-
22-02-07	8,4	8,4	260	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22-03-07	9,0	8,5	261	<1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	14,8	-	1,8	<0,1	-	-	-
26-04-07	10,5	8,4	277	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31-05-07	12,1	8,4	281	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21-06-07	13,7	8,4	278	2	<0,1	-	-	-	-	<0,01	<0,002	<0,01	<0,002	3,2	27,2	0,9	<0,1	-	-	-
23-10-07	17,5	8,5	244	<2,5	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	4,1	-	0,8	<0,1	-	-	-
01-04-08	10,1	8,5	274	<2	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	-	1,2	<0,1	-	-	-
13-05-08	11,5	8,3	297	<2	<0,1	-	-	-	-	<0,01	<0,002	0,0130	<0,002	3,7	35,6	1,0	<0,1	-	-	-
03-09-08	18,4	8,1	229	<2	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	2,7	-	0,8	<0,1	-	-	-
23-02-09	7,4	8,3	281	7	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	33,6	-	2,8	<0,1	-	-	-
29-04-09	9,9	8,3	485	<2	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	6,2	-	1,1	<0,1	-	-	-
20-05-09	12,8	8,4	307	<2	<0,1	-	-	5,3	-	-	<0,002	0,0100	-	4,5	31,1	1,2	<0,1	-	-	-
29-06-09	14,4	8,2	241	<2	<0,1	-	-	2,8	-	-	<0,002	<0,01	-	2,8	22,5	7,4	<0,1	-	-	-
16-07-09	16,1	8,2	228	<2	<0,1	36,7	5,8	2,5	<2	-	-	-	-	3,0	23,7	0,9	<0,1	<5	130,0	-
25-08-09	20,3	8,1	229	4	<0,1	42,9	6,9	3,7	<2	-	-	-	-	-	24,9	1,2	<0,1	<5	117,9	-
15-09-09	21,3	8,1	232	<2	<0,1	40,6	6,9	3,7	<1	-	-	-	-	-	26,5	1,2	<0,1	<5	120,8	-
17-11-09	14,5	8,4	250	<2	<0,1	39,3	6,7	4,0	<1	<0,01	<0,002	0,0110	<0,002	5,4	30,6	1,4	<0,1	<5	126,7	-
14-12-09	10,2	8,4	258	<2	<0,1	47,5	7,8	4,9	<2	-	-	-	-	-	28,2	1,2	<0,1	<5	129,6	-
27-01-10	-	8,3	269	-	<0,13	47,2	7,7	4,8	<1	-	-	-	-	<7	32,3	1,3	-	0,0	123,0	123
15-02-10	-	8,2	274	-	<0,13	47,5	7,8	5,3	<1	-	-	-	-	<7	33,5	1,3	-	0,0	122,0	122
22-02-10	7,7	8,4	230	<5	<0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	<7	-	1,3	<0,05	-	-	-
22-03-10	10,0	8,1	260	<5	<0,13	-	-	5,4	-	-	<0,002	0,0100	-	<7	34,5	1,4	<0,05	-	-	-

29-03-10	7,7	8,4	291	<5	<0,13	48,5	8,0	5,0	<1	-	-	-	-	<7	34,3	1,4	0,14	-	-	-	131
26-04-10	12,1	8,1	310	<5	<0,13	-	8,6	5,2	<1	-	-	-	-	<7	34,4	1,4	-	-	-	-	147
26-04-10	8,2	8,4	312	<5	<0,13	53,7	-	-	-	-	-	-	-	<7	-	1,4	-	-	-	-	-
24-05-10	15,3	8,3	280	<5	<0,13	-	7,7	3,5	<1	0,006	-	0,0090	<0,002	<7	28,5	1,2	<0,05	-	-	-	-
24-05-10	11,8	8,4	286	<5	<0,13	51,1	-	3,6	-	-	<0,002	-	-	<7	28,2	1,3	0,15	-	-	-	141
28-06-10	14,2	7,8	244	<5	<0,13	44,0	6,2	3,0	<1	-	-	-	-	<7	21,1	1,0	<0,05	-	-	-	131
26-07-10	15,1	8,2	233	<5	<0,13	41,5	5,7	<3	<1	-	-	-	-	<7	18,4	1,0	<0,05	-	-	-	115
29-07-10	17,2	8,1	220	<5	<0,13	-	-	<3	-	-	<0,002	0,0080	-	<7	18,3	<1	0,05	-	-	-	-
30-08-10	18,3	8,1	219	<5	<0,13	38,9	5,7	<3	<1	-	-	-	-	<7	18,9	<1	<0,05	-	-	-	103
27-09-10	18,8	8,3	232	<5	<0,13	38,4	5,9	<3	<1	-	-	-	-	<7	21,0	<1	<0,05	-	-	-	101
25-10-10	16,6	8,3	235	<5	<0,13	39,1	6,2	3,2	<1	-	-	-	-	<7	22,6	<1	0,05	-	-	-	108
18-11-10	13,8	8,2	240	<5	<0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	<7	-	<1	<0,05	-	-	-	-
30-11-10	11,3	8,3	249	<5	<0,13	41,1	6,5	3,8	3,8	-	-	-	-	<7	25,0	1,0	0,05	-	-	-	105
20-12-10	9,2	8,3	257	5	<0,13	42,0	6,9	4,1	<1	-	-	-	-	<7	26,6	1,0	<0,05	-	-	-	114
04-01-11	8,0	8,2	260	<5	<0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	<7	-	1,1	<0,05	-	-	-	-
25-01-11	6,8	8,3	278	<5	<0,13	44,4	7,2	5,1	<1	-	-	-	-	<7	29,4	1,1	<0,05	-	-	-	117
28-02-11	7,6	8,3	275	<5	<0,13	44,3	7,3	4,3	1,3	-	-	-	-	<7	30,0	1,1	<0,05	14,0	104,0	118	
01-03-11	9,5	8,2	240	<5	<0,13	-	-	4,3	-	-	<0,002	0,0080	-	<7	30,0	1,1	<0,05	-	-	-	-
30-03-11	8,6	8,3	292	<5	<0,13	47,6	7,7	5,4	<1	-	-	-	-	<7	32,3	1,2	<0,05	20,0	104,0	124	
05-04-11	10,8	8,2	270	<5	<0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	7,1	-	1,1	<0,05	-	-	-	-
26-04-11	8,8	8,4	292	<5	<0,13	49,7	8,1	4,2	<1	-	-	-	-	<7	32,9	1,2	0,05	38,0	88,0	126	
16-05-11	10,8	8,2	250	<5	0,17	-	-	4,2	-	-	<0,002	<0,005	-	<7	32,3	1,3	0,06	-	-	-	-
31-05-11	11,9	8,1	289	<5	<0,13	49,4	8,1	4,0	<1	-	-	-	-	<7	31,8	1,1	<0,05	-	-	-	126
30-06-11	16,3	8,2	261	<5	<0,13	45,4	7,1	3,5	<1	-	-	-	-	<7	28,3	1,1	<0,05	-	-	-	121
05-07-11	18,5	8,1	240	<5	<0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	<7	-	1,0	<0,05	-	-	-	-
13-07-11	16,0	8,2	246	<5	<0,13	42,5	6,5	3,2	<1	-	-	-	-	<7	25,1	1,0	<0,05	14,0	98,0	112	
31-08-11	22,8	8,2	241	<5	<0,13	40,6	6,8	3,5	3,5	-	-	-	-	<7	26,2	<1	<0,05	-	-	-	106
06-09-11	22,1	8,3	245	<5	<0,13	-	-	3,3	-	0,007	<0,002	0,0120	<0,002	<7	25,4	<1	<0,05	-	-	-	-
28-09-11	20,9	8,2	260	<5	<0,13	41,2	7,3	4,1	<1	-	-	-	-	<7	31,4	<1	<0,05	-	-	-	110
17-10-11	16,6	8,4	293	<5	<0,13	45,9	8,2	6,9	<1	-	-	-	-	9,9	37,1	1,1	<0,05	8,0	111,0	119	
18-10-11	17,4	8,2	290	<5	<0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	10,0	-	1,0	<0,05	-	-	-	-
09-11-11	13,0	8,4	311	<5	<0,13	47,6	8,5	8,3	<1	-	-	-	-	11,8	38,6	1,1	<0,05	24,0	91,0	115	

14-11-11	13,3	8,2	265	<5	<0,13	-	-	8,1	-	-	<0,002	0,0200	-	11,8	38,8	1,1	<0,05	-	-	-	
07-12-11	10,1	8,4	293	<5	<0,13	47,0	7,7	6,5	<1	-	-	-	-	9,6	34,2	1,3	<0,05	18,0	102,0	120	
18-01-12	7,3	7,8	200	<5	<0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	7,3	-	1,2	<0,05	-	-	-	
25-01-12	6,8	8,3	289	<5	<0,13	48,2	7,6	6,0	<1	-	-	-	-	7,8	31,1	1,2	<0,05	20,0	102,0	122	
22-02-12	6,0	8,2	290	<5	<0,13	49,6	7,6	6,0	<1	-	-	-	-	8,5	32,7	1,3	<0,05	-	-	119	
26-03-12	8,5	8,2	250	<5	<0,13	50,4	7,6	5,4	<1	-	-	-	-	7,2	32,5	1,3	<0,05	12,0	113,0	125	
07-05-12	10,5	8,2	260	<5	<0,13	49,7	7,7	6,2	<1	0,009	<0,002	<0,005	<0,002	8,4	34,7	1,1	<0,05	-	-	122	
30-05-12	13,1	8,4	295	<5	<0,13	49,9	7,6	5,1	<1	-	-	-	-	<7	37,0	1,1	<0,05	36,0	85,0	121	
27-06-12	16,4	8,6	250	<5	<0,13	47,2	6,7	3,5	<1	-	<0,002	0,0100	-	<7	29,9	1,0	<0,05	14,0	105,0	119	
16-07-12	18,1	7,9	220	<5	<0,13	42,7	6,1	3,1	<1	-	-	-	-	<7	27,0	1,0	<0,05	-	-	111	
22-08-12	23,0	8,3	241	<5	<0,13	42,0	6,9	3,3	<1	-	-	-	-	<7	28,6	<1	<0,05	-	-	107	
26-09-12	19,3	8,2	348	<5	<0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	11,4	-	<1	<0,05	-	-	-	
29-10-12	12,9	8,2	260	<5	<0,13	-	-	6,7	-	-	0,0023	0,0170	-	9,2	36,3	1,0	<0,05	-	-	-	
26-11-12	12,3	7,9	293	<5	<0,13	44,2	6,3	4,1	<1	-	<0,002	0,0340	-	<7	27,6	1,1	<0,05	-	-	111	
04-12-12	9,9	8,2	264	<5	<0,13	44,5	6,3	4,5	<1	-	-	-	-	<7	28,6	1,2	<0,05	-	-	107	
23-01-13	7,8	7,9	250	<5	<0,13	45,4	6,5	4,2	<1	-	-	-	-	<7	28,0	1,3	<0,05	16,0	97,0	113	
13-03-13	7,0	8,2	283	<5	<0,13	49,5	7,1	5,1	<1	-	-	-	-	<7	31,2	1,4	<0,05	-	-	122	
25-03-13	10,0	8,0	200	<5	<0,13	47,9	7,0	4,4	<1	-	-	-	-	<7	30,5	1,3	<0,05	22,0	102,0	124	
15-04-13	8,8	7,9	235	<5	<0,13	52,5	8,0	4,7	<1	-	-	<0,005	-	<7	34,6	1,4	<0,05	-	-	143	
21-05-13	11,4	8,3	320	<5	<0,13	55,6	8,5	4,1	<1	0,009	<0,002	0,0050	<0,002	<7	32,7	1,3	<0,05	42,0	98,0	140	
12-06-13	13,1	8,3	286	<5	<0,13	52,2	7,9	3,6	<1	-	-	-	-	<7	29,0	1,1	<0,05	48,0	88,0	136	
10-07-13	14,7	8,4	249	<5	<0,13	46,2	6,3	<3	<1	-	-	-	-	<7	23,3	1,0	<0,05	-	-	123	
18-09-13	18,2	8,1	228	<5	<0,13	43,9	6,4	3,0	5,0	-	-	-	-	-	7,4	24,9	1,1	<0,05	-	-	101
02-10-13	18,9	8,1	232	<5	<0,13	43,7	6,9	3,0	<1	-	<0,002	<0,005	-	<7	26,2	1,1	0,08	-	-	116	
11-12-13	10,5	8,1	252	<5	<0,13	44,0	6,4	3,3	<1	-	<0,002	<0,005	-	<7	25,7	1,0	<0,05	32,0	80,0	112	

Tabla 2. Valores de los parámetros empleados para evaluar la calidad del agua de riego obtenidos entre 2004 y 2013 por CEMAS-CHE en el punto de muestreo N° 441 Cinca /Embalse del Grado.

3. Índices de primer grado

3.1. pH

El valor óptimo de pH para el agua de riego se encuentra entre 7,5 y 8,5 por lo que en este caso, con un **pH de 8,2**, se ha considerado que el **agua empleada es apta para el riego**.

3.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE), mide la concentración de sales en el agua de riego, dando con este contenido su calidad.

Ésta se basa en el hecho de que las sales contenidas en una disolución salina dejan pasar corriente eléctrica con más facilidad que el agua de por sí. La conductividad eléctrica depende directamente de la temperatura a la que se mida, aumenta en un orden del 3% por cada grado centígrado.

Para caracterizar la conductividad del agua de riego se va a tener en cuenta la siguiente relación:

CALIDAD DE AGUA	CE a 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Excelente	0 - 1000
Buena a marginal	1000 - 3000
Inaceptable	CE > 3000

Tabla. 3. Calidad del agua de riego en función de la conductividad eléctrica a 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986)"Calidad agronómica de las aguas de riego.

Como la conductividad eléctrica que posee el agua de riego es de **266 $\mu\text{S}/\text{cm}$** a **20°C**, a **25°C** equivaldría a **308,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$** , valor que según la tabla anterior corresponde a una **calidad de agua excelente**.

3.3. Presión osmótica del agua

La presión osmótica depende de la concentración de sales que contiene el agua, a mayor concentración, mayor es la presión osmótica que ejerce el agua. Se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$P_O = K \cdot CE \quad [1]$$

Siendo; P_O = Presión osmótica (atm), CE = Conductividad eléctrica a 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y K = Constante de proporcionalidad (0,00036 si la conductividad eléctrica se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Para una conductividad eléctrica media de 308,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se obtiene una **presión osmótica del agua de 0,111 atm**:

$$P_O = 0,00036 \cdot 308,37 = 0,111 \text{ atm}$$

3.4. Sales disueltas totales (SDT)

La cantidad de sales disueltas es proporcional a la conductividad eléctrica y se estima indirectamente a través de la relación:

$$SDT = K \cdot CE \quad [2]$$

Siendo; SDT = Concentración de sales disueltas totales (mg/L), CE = Conductividad eléctrica a 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y K = Constante de proporcionalidad (0,64 si la conductividad eléctrica se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Para una conductividad eléctrica media de 308,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se obtiene una **concentración de sales de 197,36 mg/L**:

$$SDT = 0,64 \cdot 308,37 = 197,36 \text{ mg/L}$$

3.5. Iones más importantes existentes en el agua de riego

A continuación se enumeran los iones más importantes que presenta el agua en disolución, expresados en mg/L y su equivalencia en meq/L.

CATIONES	mg/L	meq/L	ANIONES	mg/L	meq/L
Calcio (Ca ⁺²)	45,9	2,29	Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	109,8	1,80
Sodio (Na ⁺)	4,3	0,19	Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	29,4	0,61
Magnesio (Mg ⁺²)	7,1	0,58	Carbonatos (CO ₃ ²⁻)	15,9	0,53
Potasio (K ⁺)	1,1	0,03	Cloruros (Cl ⁻)	7,2	0,20
Amoniaco total (NH ₄ ⁺)	0,12	0,007	Nitratos (NO ₃ ⁻)	1,3	0,021
TOTAL		3,097	TOTAL		3,161

Tabla. 4. Valores de los iones más importantes disueltos en el agua de riego expresados en meq/L.

Para que el agua sea considerada de buena calidad, la suma de aniones debe coincidir, aproximadamente, con la de cationes, ambas expresadas en meq/L, permitiéndose un error del 7%, tanto por defecto como por exceso.

$$Error = \left(\frac{3,161 - 3,097}{3,097} \right) \cdot 100 = 2,1\%$$

Al ser el **porcentaje de error (2,1%) mucho menor del 7%** se considera que el **agua es de buena calidad**.

3.6. Sales más importantes existentes en el agua de riego

Las sales que probablemente existan en el agua de riego pueden determinarse a partir de los valores que, para cada uno de los iones haya dado el análisis:

- Cloruro sódico y magnésico: NaCl y MgCl₂

- Sulfato sódico, cálcico y magnésico: Na_2SO_4 , CaSO_4 y MgSO_4
- Carbonato sódico: Na_2CO_3
- Bicarbonato cálcico y magnésico: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ y $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$

Para determinar estas sales se aplicarán las siguientes reglas:

1^a- Sumar por separado los meq de calcio y magnesio, y los de sulfatos y bicarbonatos. La menor de estas sumas se toma como representativa del contenido en bicarbonatos más sulfatos de calcio y magnesio:

- $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = 2,29 + 0,58 = 2,87 \text{ meq/L} = A$
- $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-) = 0,61 + 1,80 = 2,41 \text{ meq/L} = B$
- $B = \text{CaSO}_4 + \text{MgSO}_4 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 = 2,41 \text{ meq/L}$

2^a- Si en las sumas anteriores, los cationes superan a los aniones, el exceso se atribuye a cloruro magnésico (MgCl_2) y se interpreta que no hay sulfato sódico (Na_2SO_4).

- $\text{MgCl}_2 = A - B = 2,87 - 2,41 = 0,46 \text{ meq/L}$
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0 \text{ meq/L}$

3^a- Si hubiese carbonatos (CO_3^{2-}), todos ellos se atribuyen a carbonato sódico.

- $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 0,53 \text{ meq/L}$

4^a- La diferencia entre los cloruros (Cl^-) dados por el análisis y los posibles MgCl_2 calculados en la regla 2^a, se atribuye al cloruro sódico (NaCl).

- $\text{NaCl} = \text{Cl}^- - \text{MgCl}_2 = 0,20 - 0,46 = -0,26 \text{ meq/L}$ (No hay Cloruro sódico)

En definitiva **las sales que estarían probablemente presentes en el agua analizada serían:**

- Sulfato cálcico y magnésico: **CaSO_4 y MgSO_4**
- Bicarbonato cálcico y magnésico: **$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ y $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$**

- Cloruro magnésico: $MgCl_2$

- Carbonato sódico: Na_2CO_3

4. Índices de segundo grado

4.1. Relación de absorción del sodio (SAR)

Es el parámetro utilizado para determinar el riesgo de sodificación del complejo de cambio (degradación de la estructura del suelo). Indica la cantidad de ión Na^+ que hay en el agua de riego, en relación con los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} . El calcio y el magnesio tienden a contrarrestar el efecto negativo del sodio.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} [3]$$

Donde las concentraciones de los cationes se expresan en meq/L.

Cuando al analizar un agua se encuentran valores de SAR superiores a 10, se puede decir que esa agua es muy alcalina (tiene un pH elevado), siendo mayor el riesgo de alcalinización cuanto mayor es este valor.

$$SAR = \frac{0,19}{\sqrt{\frac{2,29 + 0,58}{2}}} = 0,159$$

En este caso el valor de **SAR** obtenido es de **0,159** y por tanto el **agua** se puede considerar **de escaso poder de sodificación y óptima para el riego**.

4.2. Relación de sodio

Esta relación muestra la proporción del contenido de ión sodio que hay en un agua respecto a los restantes cationes y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$RS = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Na^+ + Mg^{2+}} \quad [4]$$

Donde las concentraciones de los cationes se expresan en meq/L.

Sustituyendo los valores en la fórmula anterior se obtiene un valor de **RS** de **0,062 meq/L**.

$$RS = \frac{0,19}{2,29 + 0,19 + 0,58} = 0,062 \text{ meq / L}$$

4.3. Índice de Kelly o relación de calcio

Esta relación muestra la proporción del contenido de ión calcio que hay en un agua respecto a los restantes cationes y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$RC = \frac{Ca^{2+}}{Ca^{2+} + Na^+ + Mg^{2+}} \quad [5]$$

Donde las concentraciones de los cationes se expresan en meq/L.

Sustituyendo los valores en la fórmula anterior se obtiene un valor de **RC** de **0,748 meq/L**.

$$RS = \frac{2,29}{2,29 + 0,19 + 0,58} = 0,748 \text{ meq / L}$$

4.4. Dureza del agua

El grado de dureza permite clasificar el agua de riego en función del contenido de los cationes de calcio y magnesio y se calcula mediante la siguiente expresión:

$${}^{\circ}F = \frac{([Ca^{2+}] \cdot 2,5) + ([Mg^{2+}] \cdot 4,12)}{10} \quad [6]$$

Siendo; ${}^{\circ}F$ = Grados hidrométricos franceses, $[Ca^{2+}]$ = Concentración del catión calcio (mg/L) y $[Mg^{2+}]$ = Concentración del catión magnesio (mg/L).

Sustituyendo en la expresión anterior las concentraciones de calcio y de magnesio en (mg/l) se obtiene un valor de **dureza del agua de riego** de **14,40 ${}^{\circ}F$** .

$${}^{\circ}F = \frac{(45,9 \cdot 2,5) + (7,1 \cdot 4,12)}{10} = 14,40$$

Según Ros Orta. S (2001) en función de los grados hidrométricos franceses (${}^{\circ}F$) se puede hacer la siguiente clasificación del agua:

TIPOS DE AGUA	Grados hidrométricos franceses (${}^{\circ}F$)
Muy dulce	<7
Dulce	7-14
Medianamente dulce	14-22
Medianamente dura	22-32
Dura	32-54
Muy dura	>54

Tabla. 5. Clasificación del agua en función de los grados hidrométricos franceses (${}^{\circ}F$); Ros Orta. S, 2001.

Según el valor obtenido (14,40 ${}^{\circ}F$) se trata de un agua **medianamente dulce**, óptima para el riego.

4.5. Índice de Eatón o carbonatos sódicos residuales (CSR)

Este índice predice la acción degradante del agua sobre las plantas y el suelo. Indica la peligrosidad del sodio una vez que han reaccionado los cationes de calcio y magnesio con los aniones carbonato y bicarbonato, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$CSR = ([CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]) - ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) \quad [7]$$

Siendo; CSR = Carbonatos sódicos residuales, $[CO_3^{2-}]$ = Concentración del anión carbonato (meq/L), $[HCO_3^-]$ = Concentración del anión bicarbonato (meq/L), $[Ca^{2+}]$ = Concentración del catión calcio (meq/L) y $[Mg^{2+}]$ = Concentración del catión magnesio (meq/L).

Sustituyendo los valores de las concentraciones de los iones en la expresión anterior, se obtiene un **CSR** de **-0,54 meq/L**.

$$CSR = (0,53 + 1,80) - (2,29 + 0,58) = -0,54 \text{ meq / L}$$

Según el CSR que haya en el agua, Urbano Terrón. P (1995) hace la siguiente clasificación:

TIPOS DE AGUA	CSR (meq/L)
Recomendable	<1,25
Poco recomendable	1,25 < CSR < 2,5
No recomendable	CSR > 2,5

Tabla. 6. Tipos de agua en función del CSR; Urbano Terrón. P, 1995.

Según la clasificación anterior y para un valor de CSR menor a 1,25 meq/L se puede considerar que **el agua es buena y recomendable para el riego**.

5. Evaluación de la calidad del agua de riego

En este apartado se va a evaluar el agua de riego en función de las variables que definen su calidad: salinidad, sodicidad, toxicidad y alcalinidad a partir de algunos los índices de primer y segundo grado calculados en los apartados anteriores y conforme a las clasificaciones dadas por diversos autores.

5.1. Salinidad

El riesgo de salinidad es un problema derivado de las sales contenidas en el agua de riego y afecta directamente a la disponibilidad del agua para el cultivo.

La salinidad del agua se refiere a la cantidad total de sales disueltas en el agua, pero no indica que sales están presentes.

El nivel alto de sales en el agua de riego reduce la disponibilidad del agua para el cultivo, debido a la presión osmótica, y causa la reducción del rendimiento.

Cuanto mayor es el contenido de sales en el agua del suelo, tanto mayor es el esfuerzo que la planta tiene que hacer para absorberla, por lo tanto la capacidad de la planta para obtener el agua disminuye a medida que aumenta la concentración de sales.

Los parámetros más comunes para determinar la calidad del agua de riego, en relación con su salinidad, son la conductividad eléctrica (CE) y la concentración de sales disueltas totales (SDT).

Clasificación de Richards

En la *Tabla.7* se muestra la clasificación del agua de acuerdo con el riesgo de salinidad, en función de la conductividad eléctrica (CE) y según Richards.

CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	RIESGO DE SALINIDAD	USO DEL AGUA
100 < CE < 250	Bajo	Se puede usar en la mayor parte de los cultivos y en casi todos los suelos
250 < CE < 750	Medio	Puede usarse siempre que exista un grado moderado de lavado del suelo, en cultivos moderadamente tolerables a las sales
750 < CE < 2.250	Alto	No puede usarse en suelos con drenaje deficiente. Aun con drenaje adecuado, se deben seleccionar cultivos muy tolerables a las sales
CE > 2.250	Muy alto	No es apropiada para el riego en condiciones ordinarias

Tabla. 7. Clasificación del agua de acuerdo con el riego de salinidad según Richards.

Para una conductividad eléctrica de 308,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (a 25°C) y según esta clasificación, no encontramos ante un **riesgo de salinidad medio**.

Clasificación de la FAO

En la *Tabla.8* se muestra la clasificación del agua de acuerdo con el riesgo de salinidad, según la FAO, y en función de la conductividad eléctrica (CE).

CE (mmho/cm)	RIESGO DE SALINIDAD
CE < 0,75	Sin problemas
0,75 < CE < 3,0	Problemas crecientes
CE > 3,0	Problemas serios

Tabla. 8. Clasificación del agua de acuerdo con el riego de salinidad según la FAO.

Para una conductividad eléctrica de 0,308 mmho/cm (a 25°C) y según esta clasificación, **no tendremos problemas de riesgo de salinidad.**

Otras clasificaciones

Para determinar los problemas de salinidad, Urbano Terrón P, (1995): R.S Ayers y D.W Westcot (1987), utilizando la conductividad eléctrica del agua y la concentración total de sales disueltas en ella propone la siguiente escala:

CE a 25°C (dS/m)	SDT(mg/L)	SALINIDAD
< 0,7	450	Ninguna
0,7 - 3	450 - 2000	Ligera a moderada
>3	> 2000	Severa

Tabla. 9. Clasificación del agua de acuerdo con el riego de salinidad según R.S Ayers y D.W Westcot (1987).

Según esta clasificación para un valor de CE a 25°C de 0,308 dS/m y una concentración salina de 197,36 mg/L se puede decir que dicha agua **no presenta problema alguno de salinidad.**

5.2. Sodicidad

La sodicidad se expresa mediante la relación de absorción de sodio (SAR), parámetro que representa la posible influencia del ión sodio, presente en el agua de riego, sobre el suelo. Una elevada proporción relativa de este elemento frente al calcio y magnesio puede inducir en el suelo la degradación del mismo con la consiguiente pérdida de estructura y permeabilidad.

Además un contenido alto de sodio y bajo de calcio y magnesio en el suelo significa que sus agregados tienden a dispersarse en partículas más pequeñas, lo que ocasiona la disminución de la velocidad de infiltración del agua, ya que estas partículas

pequeñas taponan los poros dificultando el paso a través de ellos. En cambio, el calcio y el magnesio, de por sí, favorecen la buena estructura del suelo y facilitan la infiltración de agua y aire.

Irónicamente, cuanta más alta es la salinidad (CE), menor será el efecto negativo del sodio sobre la estructura del suelo. Así, cuando los niveles de sodio en el suelo son altos en relación con el calcio y el magnesio, es decir, el SAR es alto, lavar el suelo con agua de buena calidad sólo empeorará el problema.

Clasificación de la FAO

La FAO establece los siguientes límites a la hora de evaluar si la salinidad (CE) y la sodicidad (SAR) del agua de riego suponen algún tipo de restricción sobre el agua a usar para el riego:

UNIDADES	RESTRICCIÓN SOBRE EL AGUA DE RIEGO		
	NINGUNA	DE LIGERA A MODERADA	SEVERA
SAR 0-3 Y CE	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
SAR 3-6 Y CE	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
SAR 6-12 Y CE	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
SAR 12-20 Y CE	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
SAR 20-40 Y CE	> 5,0	5 - 2,9	< 2,9

Tabla. 10. Restricciones sobre el agua de riego en función del SAR y la CE, según FAO.

Teniendo en cuenta que se ha obtenido un SAR de 0,159 y una conductividad eléctrica de 0,308 mmhos/cm, según la FAO, se tiene que **el agua de riego requiere de ligera a moderada restricción.**

5.3. Toxicidad

La calidad del agua de riego también puede ser determinada por la toxicidad de iones específicos.

Algunos iones cuando se acumulan en cantidades excesivas resultan tóxicos para los cultivos u ocasionan desequilibrio en la absorción de nutrientes.

Los iones más peligrosos y más comunes que pueden causar un problema de toxicidad son el sodio, el cloruro y el boro.

Un nivel tóxico de tan solo uno de estos iones en el agua podría hacerla inadecuada para el riego.

Clasificación de la FAO

En la *Tabla.11* se indican las directrices para evaluar los problemas de toxicidad según la FAO.

IÓN (meq/L)	TOXICIDAD		
	NINGUNA	DE LIGERA A MODERADA	SEVERA
SODIO (Na^+)	< 3	> 3	> 9
CLORURO (Cl^-)	< 3	> 3	> 10
BORO (B^{+3})	< 0,7	0,7 - 3	> 3

Tabla. 11. Determinación de la toxicidad del agua de riego, según FAO.

Para las siguientes concentraciones de iones obtenidos en los análisis:

- $\text{Na}^+ = 0,19 \text{ meq/L}$

- $\text{Cl}^- = 0,20 \text{ meq/L}$

- $\text{B}^{+3} = < 0,0025 \text{ meq/L}$

Y según la clasificación según FAO, **no existe ningún riego de toxicidad** usando esta agua para riego.

5.4. Alcalinidad

La alcalinidad es la suma de las cantidades de bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-) en el agua y se expresa como mg/l de CaCO_3 . La alcalinidad del agua es una medida de la capacidad del agua de resistir a cambios repentinos en el pH.

Los suelos alcalinos son suelos arcillosos con pH elevado (>9), estructura pobre y densa, baja capacidad de infiltración y lenta permeabilidad. Poseen a menudo una capa calcárea compacta a una profundidad de 0,5 - 1 m y son difíciles de cultivar.

La influencia sobre la permeabilidad del suelo que tiene un agua de riego no depende sólo de la relación entre los cationes sodio, calcio y magnesio, sino que está relacionada también con la presencia en la composición del agua de iones bicarbonato, y carbonato; cuya actividad da lugar a la precipitación del agua de iones magnesio y, en consecuencia, a la disminución de la concentración de estos elementos en beneficio de la acción degradante que tiene el sodio en el suelo.

Para evaluar el riesgo de alcalinización de un suelo, R.S. Ayers y D.W. Westcot en 1976, consideraron que el conocido índice SAR no era representativo, debido a la precipitación de los carbonatos y bicarbonatos cálcicos y magnésicos y del sulfato cálcico, quedando en solución el carbonato sódico que aumentaba de forma muy importante la proporción relativa de sodio.

Proponen un valor de SAR ajustado (SAR_{aj}) que puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$\text{SAR}_{aj} = \text{SAR} \cdot [1 + (8,4 - \text{pH}_c)] \quad [8]$$

Siendo; SAR_{aj} = Relación de absorción de sodio ajustada, SAR = Relación de absorción de sodio sin ajustar y pH_c = Valor teórico calculado para el pH del agua de riego con cal y en equilibrio con el CO₂ de la atmósfera del suelo.

El valor pH_c se determina mediante la siguiente fórmula:

$$pH_c = (pK'_2 - pK'_c) + p(Ca^{2+} + Mg^{2+}) + p(Al_k) \quad [9]$$

Siendo; pH_c = Valor teórico calculado para el pH del agua de riego con cal y en equilibrio con el CO₂ de la atmósfera del suelo, pK'_2 = Logaritmo decimal, cambiado de signo, de la segunda constante de disociación del H₂CO₃, pK'_c = Logaritmo decimal, cambiado de signo, de la constante de solubilidad del CaCO₃, $p(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ = Logaritmo decimal, cambiando el signo, de la concentración molar de Ca²⁺ y Mg²⁺, y $p(Al_k)$ = Logaritmo decimal, cambiando el signo, de la concentración equivalente de HCO₃⁻ + CO₃²⁻.

Para el cálculo del pH_c se hace uso de la *Tabla.12* expuesta a continuación, pero para poder trabajar con ella se requiere hacer previamente los siguientes cálculos:

1. $(pK'_2 - pK'_c) = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+) = 2,29 + 0,58 + 0,19 = 3,06 \text{ meq/L}$
2. $p(Ca^{2+} + Mg^{2+}) = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) = 2,29 + 0,58 = 2,87 \text{ meq/L}$
3. $p(Al_k) = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) = 1,80 + 0,53 = 2,33 \text{ meq/L}$
4. Suma concentraciones = $(pK'_2 - pK'_c) + p(Ca^{2+} + Mg^{2+}) + p(Al_k) = 3,06 + 2,87 + 2,33 = 8,26 \text{ meq/L}$

Con el valor obtenido en la suma de concentraciones se entra en la tabla y para dicho valor (8,26 meq/L) se interpolan los valores de $(pK'_2 - pK'_c)$, $p(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ y $p(Al_k)$.

TABLA PARA CALCULAR pHc			
Suma concentración (meq/l)	(pK'₂ - pK'c)	p(Ca²⁺ + Mg²⁺)	p(Alk)
0,05	2,0	4,6	4,3
0,10	2,0	4,3	4,0
0,15	2,0	4,1	3,8
0,20	2,0	4,0	3,7
0,25	2,0	3,9	3,6
0,30	2,0	3,8	3,5
0,40	2,0	3,7	3,4
0,50	2,1	3,6	3,3
0,75	2,1	3,4	3,1
1,00	2,1	3,3	3,0
1,25	2,1	3,2	2,9
1,50	2,1	3,1	2,8
2,00	2,2	3,0	2,7
2,50	2,2	2,9	2,6
3,00	2,2	2,8	2,5
4,00	2,2	2,7	2,4
5,00	2,2	2,6	2,3
6,00	2,2	2,5	2,2
8,0	2,3	2,4	2,1
10,0	2,3	2,3	2,0
12,50	2,3	2,2	1,9
15,00	2,3	2,1	1,8
20,00	2,4	2,0	1,7
30,00	2,4	1,8	1,5
50,00	2,5	1,6	1,3
80,00	2,5	1,4	1,1

Tabla. 12. Tabla para calcular el valor del pHc.

Los valores obtenidos a partir de anterior tabla son los siguientes:

- $(pK'_2 - pK'_c) = 2,3 \text{ meq/L}$
- $p(Ca^{2+} + Mg^{2+}) = 2,39 \text{ meq/L}$
- $p(Al_k) = 2,09 \text{ meq/L}$

Con estos valores se calcula el valor de pH_c :

$$pH_c = 2,3 + 2,39 + 2,09 = 6,78$$

Así pues, el valor de SAR_{aj} aplicando la *fórmula [8]* escrita anteriormente, es:

$$SAR_{aj} = 0,159 \cdot [1 + (8,4 - 6,78)] = 0,417$$

Para este valor de SAR ajustado, y en función de la *Tabla.13* se obtiene que para el agua de riego **no existe riesgo de alcalinización**.

SAR _{aj}	CALIFICACION DEL AGUA
SAR_{aj} ≤ 6	No hay riesgo de alcalinización
6 < SAR _{aj} < 9	Moderado riesgo de alcalinización
9 < SAR _{aj}	Grave riesgo de alcalinización

Tabla. 13. Determinación de la alcalinidad del agua de riego, según FAO.

6. Caracterización de la calidad del agua de riego

Son numerosos los criterios que se utilizan para caracterizar la calidad del agua de riego, pero aquí, solamente se han empleado los de mayor aceptación, basados en la utilización combinada de algunos de los índices descritos en los apartados anteriores.

6.1. Normas Riverside

Relacionan la conductividad eléctrica y el SAR_{aj}. Según estos dos índices se establecen dieciséis clases de aguas en función del riesgo de salinización y alcalinización.

Utilizando los dos parámetros anteriores, el agua se caracteriza mediante una fórmula tipo C_i-S_j, en la que los valores de C, son los correspondientes a la CE y los valores de S, los del SAR_{aj}. Los subíndices varían entre 1 y 4.

Si se entra en el siguiente diagrama (*Figura.1*) con los valores de $SAR_{aj} = 0,42$ y CE (a 25°C) = $308,37 \mu\text{mhos/cm}$:

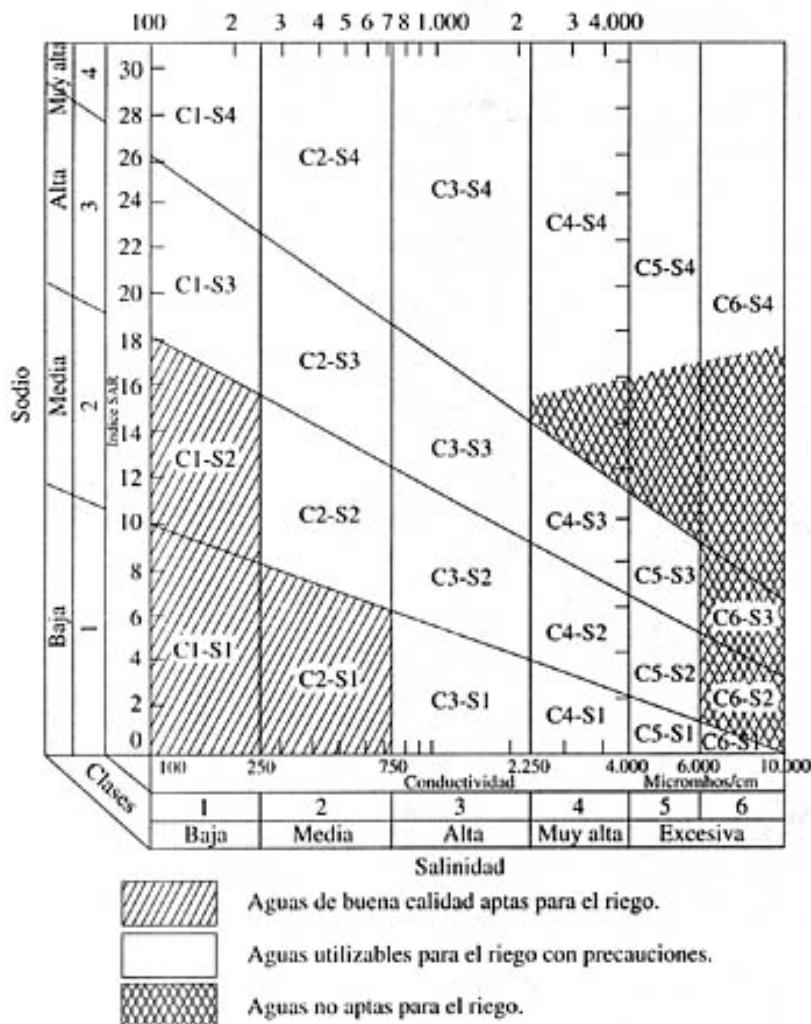


Figura.1. Normas de Riverside. Diagrama para la clasificación de aguas de riego (U. S. Soil Salinity Laboratory)

Se obtiene una clase de agua **C₂-S₁**, que indica un **riesgo medio de salinización del suelo pero muy bajo de alcalinización** y considera el **agua de buena calidad y apta para el riego**.

6.2. Normas H.Greene-FAO

Esta norma clasifica el agua de riego según la cantidad de sodio expresado en porcentaje con respecto al total de cationes contenidos y la concentración total de sales disueltas en el agua (meq/L).

A partir de la *Tabla.4* del apartado 3.5, podemos calcular:

- Porcentaje de sodio con respecto a todos los demás cationes a partir de la siguiente expresión:

$$\% [Na^+] = \frac{[Na^+]}{\sum Cationes} \cdot 100 \quad [10]$$

$$\% [Na^+] = \frac{0,19}{3,097} \cdot 100 = 6,13\%$$

- Concentración total de cationes y de aniones disueltos en el agua de riego:

$$[Total] = \sum [Cationes] + \sum [Aniones] \quad [11]$$

$$[Total] = 3,097 + 3,161 = 6,26 \text{ meq / L}$$

Con estos dos valores obtenidos se entra en la siguiente gráfica:

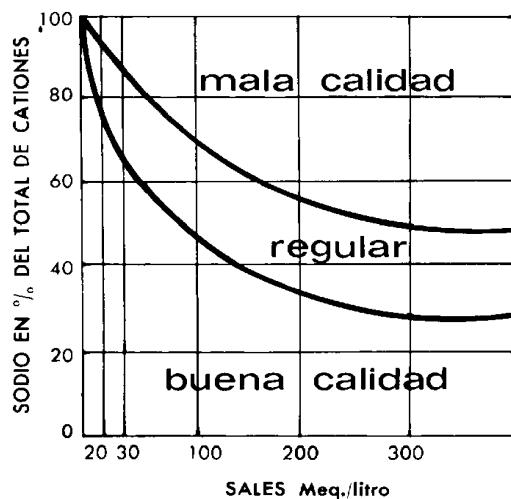


Figura.2. Normas de H. Greene-FAO. Diagrama para la clasificación de aguas de riego.

Según la gráfica, se obtiene como resultado un **agua de buena calidad para el riego.**

6.3. Normas L.V.Wilcox

Esta norma clasifica el agua de riego según la cantidad de sodio expresado en porcentaje con respecto al total de cationes contenidos y la conductividad eléctrica.

La cantidad de sodio respecto al total de cationes contenidos en el agua es de 6,13%, valor obtenido en el apartado anterior y la conductividad eléctrica a 25°C es de 308,37 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$.

Con estos dos datos, se entra en la gráfica siguiente:

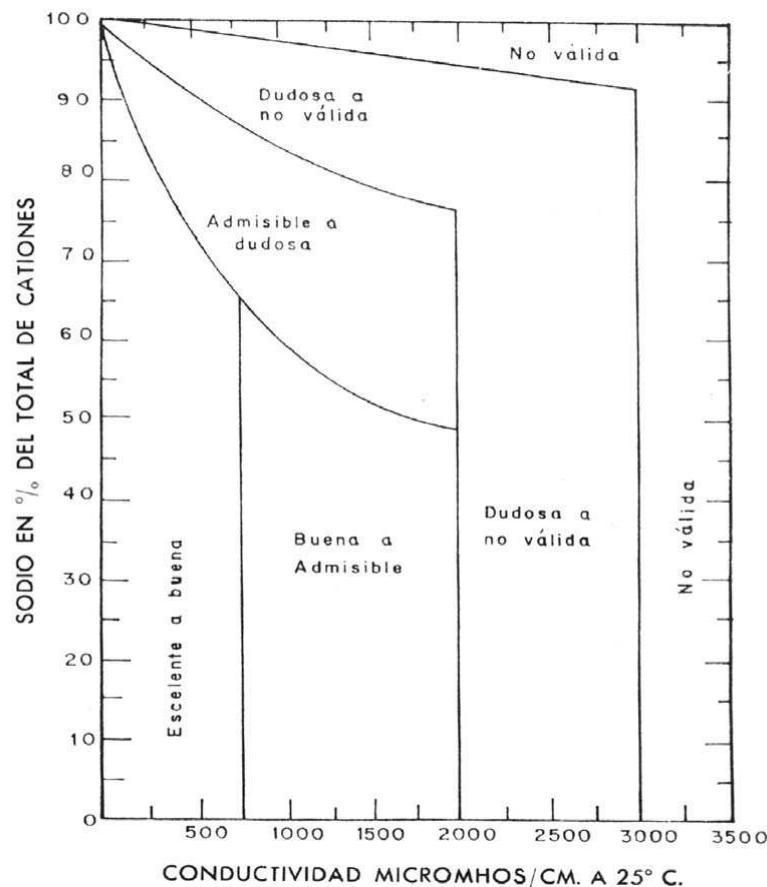


Figura.3. Normas L.V. Wilcox. Diagrama para la clasificación de aguas de riego.

Se obtiene **un agua de riego de excelente a buena calidad.**

6.4. Recomendaciones de Tames

Propone un sistema de clasificación en el que los diferentes riesgos quedan definidos por las siguientes relaciones:

- **Riesgo de salinidad:** Considera los sólidos disueltos, en g/L o su equivalencia en conductividad eléctrica.
- **Riesgo de alcalinización:** Considera dos índices:
 - Índice de Eaton o carbonatos sódicos residuales (CRS).
 - Índice de Kelly o relación de calcio.
- **Riesgo de fitotoxicidad:** Considera el contenido en Boro.

De acuerdo con todo ello, los criterios para la clasificación propuesta por Tamés son los siguientes:

PARÁMETRO	Aguas positivamente buenas	Aguas positivamente malas
Sólidos disueltos (g/L)	< 0,5	> 12
Índice de Eaton o CRS (meq/L)	< 1,25	> 2,5
Índice de Kelly o Relación de calcio (%)	> 35	< 35
Contenido en Boro (mg/L)	< 0,33	> 3,75

Tabla. 14. Determinación de la calidad del agua de riego, según Recomendaciones de Tames.

Utilizando los parámetros obtenidos en apartados anteriores:

- Sólidos disueltos: $< 4 \text{ mg/L} = < 0,004 \text{ g/L}$
- Índice de Eaton o CRS: -0,54 meq/L
- Índice de Kelly o Relación de calcio: 0,748 (en tanto por uno) = 74,8%
- Contenido en Boro: $< 0,0025 \text{ meq/L}$

Se obtiene un **agua positivamente buena y apta para el riego.**

7. Conclusiones

Con todo lo expuesto en este anexo, se llega a la conclusión de que el agua de riego no causará ningún problema sobre el desarrollo de los cultivos ni sobre el suelo de la parcela, ya que cumple todos los requisitos mínimos de calidad.

Por lo tanto se puede decir, que el agua de la acequia A-19 con la que se va a regar es óptima para el riego sin ningún tipo de limitación, con lo cual se aconseja el desarrollo del presente proyecto.

ANEJO 5

Rotación de cultivos

Anejo 5: Rotación de cultivos

ÍNDICE

1. Introducción.....	2
2. Cultivos seleccionados	3
2.1. Fechas de siembra y recolección de los cultivos seleccionados	10
3. Factores a tener en cuenta para la rotación de cultivos	11
4. Propuesta de rotación de cultivos	12

1. Introducción

Los cultivos modifican química, física y biológicamente el suelo en el que habitan, así pues cada cultivo está influenciado por su predecesor. Para evitar que el rendimiento de estos descienda y prevenir posibles problemas fitosanitarios es conveniente ordenarlos adecuadamente en el espacio o en el tiempo.

Una **rotación de cultivos** es una sucesión de cultivos ordenados en el tiempo sobre una misma superficie.

Tanto en los cultivos hortícolas intensivos como en los herbáceos extensivos de secano es prácticamente obligado el uso de rotaciones si se quiere obtener de ellos un desarrollo adecuado y un rendimiento óptimo y regular a lo largo del tiempo.

En el caso de los cultivos herbáceos de regadío lo habitual es la práctica del **monocultivo**, que consiste en la repetición de cultivos durante largos períodos de tiempo con el fin de alcanzar la especialización y mecanización de todas las operaciones de producción, disminuyendo así los gastos en insumos y mano de obra y consiguiendo rendimientos más rentables y regulares a lo largo del tiempo.

Este tipo de práctica provoca en los suelos: erosión, agotamiento y empobrecimiento de las reservas de agua y nutrientes, desequilibrio en la fauna microbiana e intoxicación por excreciones radicales originadas por alelopatías; así como la proliferación de plagas, enfermedades y malas hierbas.

Para corregir estas malas prácticas agrícolas la agricultura basada en el monocultivo abusa del uso de agua, abonos, fertilizantes y gran cantidad de productos fitosanitarios que provocan la contaminación del medio ambiente.

Por lo que hay razones suficientes para justificar la necesidad de hacer rotación de cultivos también en la agricultura de regadío.

En el presente anexo se describen en mayor detalle los cultivos seleccionados en el Anejo 2, considerados los más óptimos a desarrollar en la parcela de estudio y los que mayores rendimientos y rentabilidad van a generar, y además se proponen posibles rotaciones de cultivo, teniendo en cuenta una serie de factores que influyen directamente en la elección de la distribución más adecuada.

2. Cultivos seleccionados

Para la elección de los cultivos se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- La capacidad del propietario de comercializar los productos.
- Cierta flexibilidad en la rotación para que el agricultor pueda introducir cultivos no previstos que interesen en un determinado momento.
- Adaptación de los cultivos al clima y suelo (cultivos de la zona).
- La capacidad del parque de maquinaria que tenga el agricultor, para poder trabajar con los cultivos propuestos.
- La condición mejorante o esquilmando de los cultivos sobre el suelo.
- La combinación de distintas especies para evitar la proliferación de malas hierbas y parásitos específicos.

En el presente estudio, teniendo en cuenta los factores anteriores y sobre todo siguiendo la tendencia habitual del área de estudio y conforme a su importancia económica y buen comportamiento respecto al clima de la zona, los **cultivos seleccionados** son: **Maíz, alfalfa, cebada, trigo, guisante, girasol y ray-grass**.

A continuación se describen, para cada uno de los cultivos seleccionados, las prácticas de cultivo usuales en la zona y de mayor importancia para el presente trabajo, establecidas por Andrés, R. (2011) a partir de encuestas realizadas a agricultores de la zona.

Maíz (Zea mays)

El maíz es el cultivo más extendido en la zona, como cultivo único o como segundo cultivo después de cebada o guisante.

El cultivo de uno u otro se hace en función de la disponibilidad de agua y los precios de compra de cereales, abonos y fitosanitarios del año en cuestión.

En años con buena pluviometría y sin restricciones de riego, se opta por el cultivo de maíz como cultivo único, ya que éste produce mayores rendimientos. Mientras que en años de sequía se producen cambios en las tendencias de siembra, aumentando las siembras directas de maíz como segundo cultivo y disminuyendo el maíz como cultivo único. El acusado descenso de las precipitaciones primaverales y la ausencia de manto nival en el Pirineo provocan que los embalses que abastecen a los sistemas de Riego reciban aportaciones por debajo de la media y éstos en consecuencia hagan restricciones en el agua disponible por hectárea.

La cosecha se hace normalmente en octubre, se consume un volumen de agua de riego de 7.000 a 10.000 m³/ha para todo el cultivo y los rendimientos que se obtienen oscilan entre 11.000 y 14.500 kg/ha, dependiendo del fuerte calor del verano, del momento y modo de siembra y por supuesto de si se trata de maíz convencional o transgénico (Andrés, R., 2011).

Maíz como cultivo único

Al maíz como cultivo único se le suele aplicar un abonado de presiembra ("fondo") en torno a la primera quincena de abril. Los agricultores que tienen cerdos, aplican el purín entre enero y marzo. Posteriormente se labra la tierra con rotocultivador ("fresadora o rotovator") para dejar el suelo preparado para la siembra.

La fecha de siembra es normalmente durante la segunda quincena de abril utilizándose variedades de ciclo semilargo (ciclo 600 y 700). La dosis media de siembra es de 86.000 plantas/ha. Inmediatamente después de la siembra se aplica herbicida de pre-emergencia.

Los riegos por aspersión, se suceden cada 2-3 días y en cada riego se aplica una media de 150 m³/ha. El primer riego se hace una semana después de la siembra (final de abril) y el último en la 1^a quincena de septiembre.

La primera cobertura se aplica la segunda quincena de mayo cuando la planta tiene 8 hojas. En junio se trata con herbicida de post-emergencia, sólo en aquellas zonas del campo con presencia de Sorghum halepense. Con los riegos de junio se aplica una segunda cobertura de abono líquido y en algunos casos se aplica una tercera, incluso una cuarta cobertura en julio, antes del penacho.

Se cosecha en octubre, con unos rendimientos en torno a los 14.000 kg/ha (14% de humedad). Es habitual la realización de un secado artificial excepto cuando se deja secar en la planta hasta enero o febrero. En los meses de noviembre y diciembre se pica el rastrojo de maíz. El orden y fecha de estas labores depende de cada agricultor (Andrés, R., 2011).

Maíz como segundo cultivo después de guisante

En el caso de maíz sembrado después de guisante para industria, lo que varía respecto al maíz como cultivo único, son las labores previas a la siembra y las fechas de cultivo. El guisante se cosecha a finales de la primera quincena de mayo. En el plazo de una semana se labra el rastrojo del guisante con un subsolador, o dos pasadas con un "chisel", seguidas de rotocultivador y se siembra el maíz.

La fecha de siembra por tanto es a finales de mayo o principios de junio. Se siembran ciclos más cortos (ciclo 500 y 400).

El primer riego es uno o dos días después de la siembra y el último la 1^a semana de octubre. Con los riegos de junio se aplica una primera cobertura de abono líquido y una segunda en julio. En algunos casos esta segunda cobertura es en agosto.

Se cosecha a finales de octubre o principios de noviembre, con unos rendimientos en torno a los 13.000 kg/ha, en las condiciones ya señaladas (Andrés, R., 2011).

Maíz como segundo cultivo después de cebada

Evidentemente, en el caso de maíz con siembra directa sobre el rastrojo de cebada no hay labores previas a la siembra. La cebada se cosecha a finales de la primera quincena de junio y acto seguido se siembra, abona y riega el maíz.

La primera cobertura se aplica cuando la planta tiene 5 hojas y la segunda antes del penacho. Las dos se aplican con abono líquido diluido en los riegos.

Se cosecha también a finales de octubre o principios de noviembre, con unos rendimientos en torno a los 11.500 kg/ha (Andrés, R., 2011).

Alfalfa (*Medicago sativa*)

Tras un mínimo de dos años de descanso, normalmente ocupados por maíz, se prepara la cama de siembra mediante pase de subsolador y rotocultivador.

Algunos agricultores esperan a la primavera para sembrar y otros adelantan la siembra al otoño. Se aplica un abonado de fondo. Se utilizan dosis de 40 kg/ha de semilla. Cuando la alfalfa ya está implantada, del 2º año en adelante, recibe dos o tres abonados de cobertura en abril, junio y agosto con dosis bajas de N. Normalmente la alfalfa se mantiene en el campo unos cinco años y recibe cinco cortes al año, el primero a final de mayo y el último a final de septiembre, con un intervalo entre cortes de 30 días.

La alfalfa recibe unos cincuenta riegos durante la campaña. La producción en materia seca es de 16.500 kg/hectárea·año y se consume un volumen de agua de riego de unos 10.500 m³/ha para todo el cultivo.

Toda la producción se destina a deshidratado en plantas locales. Se considera un cultivo muy interesante, ligado a las ayudas a deshidratadoras y un importante mercado en la península Arábiga (Andrés, R., 2011).

Cebada (*Hordeum vulgare*)

La cebada de 2 carreras es la que ocupa mayor superficie, la cebada de 6 carreras no se cultiva prácticamente ni en secano ni en regadío.

En noviembre, tras la cosecha del maíz, el rastrojo se pica y luego, se dan dos pasadas con un "chisel". Antes de la siembra se aplica el abonado de fondo.

La siembra de la cebada se hace normalmente a finales de noviembre o principios de diciembre con un "tren de siembra", formado por un rotocultivador y una sembradora. Algunos agricultores realizan las labores por separado. La dosis de siembra es de 220 kg/ha.

Recibe 15 riegos de media y el consumo de agua de riego oscila entre 2.500 y 4.000 m³/ha para todo el cultivo, en función de la pluviometría. Se pueden realizar

riegos en otoño para preparar el suelo y facilitar la nascencia, así en primavera en la fase de cuajado. En marzo se da una aplicación de herbicida, y días más tarde se aplica la primera cobertura. El abono de las coberturas es mucho más rico en nitrógeno que el de fondo. La cosecha se suele realizar en la primera quincena de junio.

Los rendimientos oscilan entre 6.000 y 7.500 kg/ha, al 12% de humedad. En general, el cultivo siguiente es maíz.

La paja se puede empacar dependiendo de si su volumen dificulta la siembra directa del maíz, del precio de la paja y de la costumbre del agricultor. Actualmente lo habitual es empacar la paja y después hacer la siembra directa del maíz. El 80% de la superficie cultivada con cebada tras su recolección se pasan a maíz en siembra directa (Andrés, R., 2011).

Trigo (*Triticum aestivum*)

El trigo es muy minoritario en la zona y se cultiva principalmente en pequeñas parcelas. Las prácticas agrícolas que se realizan en el trigo son similares a las de la cebada.

En noviembre, tras la cosecha del maíz, el rastrojo se pica y luego, se dan dos pasadas con un "chisel". Antes de la siembra se aplica el abonado de fondo.

La siembra del trigo se hace normalmente a mediados con un “tren de siembra”, formado por un rotocultivador y una sembradora. Algunos agricultores realizan las labores por separado.

La dosis de siembra es de 260 kg/ha. Recibe unos 20 riegos de media y el consumo de agua de riego oscila entre 2.500 y 4.000 m³/ha para todo el cultivo, en función de la pluviometría. Se pueden realizar riegos en otoño para preparar el suelo y facilitar la nascencia, así en primavera en la fase de cuajado. La primera cobertura se aplica a mediados de enero y en febrero y marzo se dan aplicaciones de herbicidas.

La cosecha se suele realizar en la segunda quincena de junio. Los rendimientos oscilan entre 7.000 y 8.000 kg/ha, al 12% de humedad. En general, el cultivo siguiente es maíz.

La paja se puede empacar dependiendo de si su volumen dificulta la siembra directa del maíz, del precio de la paja y de la costumbre del agricultor (Andrés, R., 2011).

Guisante verde (*Triticum aestivum*)

El guisante para congelado es un cultivo contratado con empresas de La Rioja y Navarra. Se labra la tierra en diciembre mediante dos pasadas con un “chisel”. Luego se aplica un abonado de presiembra en torno a la primera quincena de enero, y tras éste se labra la tierra con rotocultivador para dejar el suelo preparado para la siembra.

La semilla es suministrada por las empresas conserveras. La fecha de siembra es normalmente a principios de enero utilizando un “tren de siembra”. La dosis media de siembra es de 220 kg/ha.

Algún agricultor aplica el purín en febrero. A primeros de abril se le da un tratamiento fungicida. El primer riego se hace cinco días después de la siembra (final de enero) y el último en la segunda quincena de mayo. Los riegos se suceden cada 11 días.

Se cosecha por maquinas propiedad de las empresas conserveras a mediados de mayo, con unos rendimientos que oscilan entre 4.000 y 6.000 kg/ha, pudiéndose llegar hasta rendimientos de 8.000 kg/ha. Se suele sembrar maíz a continuación (Andrés, R., 2011).

Girasol (*Helianthus annuus*)

Se trata de un cultivo minoritario en la zona. Su cultivo siempre esta sujeto a la evolución de los precios del mercado y a la pluviometría. En épocas de sequía en las que se hacen restricciones de agua de riego, es una alternativa al maíz.

Actualmente si los diversos proyectos relativos a la producción de biodiesel siguen adelante, podría llegar a ocupar un lugar en la alternativa.

La siembra se suele realizar al mismo tiempo que la del maíz, en la segunda semana de abril y se cosecha a finales de septiembre.

Tras cereal, se levanta el suelo con labores profundas (subsolador) y durante el otoño y hasta la siembra se hacen pases de cultivador. En ocasiones, en grandes superficies se hace mínimo laboreo o siembra directa, sustituyendo labores por herbicidas totales para mantener al inicio el cultivo limpio de malas hierbas.

La densidad de siembra oscila entre 50.000 y 70.000 plantas/ha en función de la disponibilidad de agua y los rendimientos de cosecha oscilan entre 3.000 y 4.000 kg/ha.

Puesto que el girasol tiene mucho menor rendimiento por hectárea que el maíz, también necesita menor cantidad de agua para obtener la cosecha, entorno a 4.700 m³/ha.

Ray-grass (*Lolium multiflorum*)

El ray-grass es un cultivo minoritario en la zona y se suele cultivar en terrenos de baja calidad como cultivo forrajero.

Actualmente en Aragón se está convirtiendo en una buena alternativa forrajera en regadío. El más utilizado es el ray- grass westerwold, una estirpe seleccionada a partir del ray grass italiano, indicado especialmente para praderas de siega, aunque admite bien el pastoreo (Buñuel Martín, M., Oviaragón, 2011)

Lo normal es dar de cuatro a cinco cortes que se henifican y se empacan para engorde de ganado. También se destina para producción de semilla. En algunos casos se pica en verde y se transporta a plantas deshidratadoras de alfalfa.

Es un cultivo con notable necesidad de aporte de agua y abonado, especialmente de nitrógeno. Se siembra a finales de agosto utilizando dosis de siembra de 35 a 40 kg/ha y la producción en materia seca ronda los 12.000 kg/ha entre todos los cortes.

Tras el ray-gras, a la hora de implantar el siguiente cultivo, se debe tener en cuenta que deja muy expoliado el terreno, sobre todo de nitrógeno, y se debe de aportar una buena dosis de abonado o de estiércol.

2.1. Fechas de siembra y recolección de los cultivos seleccionados

Las fechas de siembra y recolección para los cultivos de cebada, trigo, guisante, girasol, alfalfa y ray-grass son las establecidas por Martínez-Cob (2005) para la comarca agraria nº 57 (Sariñena). Mientras que las del maíz y el cultivo de maíz de segunda ocupación después de guisante y de cebada son las dadas por Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M. (2008), también para esta zona. Estas pueden variar de un año a otro en función del clima y dependen de la variedad que se cultive.

Estas fechas, utilizadas en el Anejo 2 para calcular la evapotranspiración anual de cada cultivo con el objetivo de conocer las necesidades hídricas (Anejo 7) y poder dimensionar el riego que se va a instalar (Anejo 8), sirven ahora para elaborar rotaciones de cultivos.

CULTIVO	FECHA-SIEMBRA	FECHA-RECOLECCIÓN
MAÍZ	20-abr	10-oct
MAÍZ 2ª cosecha detrás de guisante	1-jun	31-oct
MAÍZ 2ª cosecha detrás de cebada	10-jun	30-oct
ALFALFA	26-mar	De mayo a septiembre
CEBADA	1-dic	15-jun
TRIGO	15-nov	25-jun
GUISANTE VERDE	1-ene	10-may
GIRASOL	20-abr	20-sep
RAY-GRASS	21-agosto	De noviembre a junio

Tabla.1. Fechas de siembra y recolección de los cultivos seleccionados. Fuente: Martínez-Cob. (2005) para cebada, trigo, guisante verde y girasol. Para el maíz de 1ª y 2ª cosecha*. Fuente: Andrés, R.; Mur, R.; Faci, J.M. (2008)"El manejo del riego por aspersión en los sectores XXXI 1º y 2º de la Comunidad de Regantes de Lasesa", Artículo técnico-Riegos y Drenajes XXI.

3. Factores a tener en cuenta para la rotación de cultivos

Los factores a tener en cuenta a la hora de realizar una correcta rotación de cultivos son:

- No cultivar dos veces seguidas el mismo cultivo e intentar que se sucedan cultivos que no pertenezcan a la misma familia botánica, ya que las especies que pertenecen a la misma familia tiene necesidades nutritivas similares.

De este modo evitaremos:

- La permanezcan y proliferen en la parcela de las mismas enfermedades, plagas y malas hierbas, que al ser tan específicas afectarán de nuevo al siguiente cultivo.
- El agotamiento del suelo en agua y nutrientes, ya que las especies que pertenecen a una misma familia tiene una absorción de nutrientes preferida y al tener su sistema radicular similar exploran las mismas capas del suelo.
- No cultivar especies seguidas que exploren el mismo perfil del terreno, es decir a cultivos de raíces profundas y pivotantes (Alfalfa, guisante y girasol) deben sucederles cultivos de sistema radicular superficial y raíces fasciculadas (Maíz, cebada, trigo y ray-grass).
- Intercalar entre cultivos exigentes y **esquilmandos** que empobrecen el suelo en agua y nutrientes (Gramíneas: maíz, cebada, trigo y ray-grass), otros que no lo sean (Girasol) o incluso que estén considerados como **mejorantes** (Leguminosas: alfalfa y guisante), porque fijan el nitrógeno atmosférico al suelo y lo dejan en condiciones de fertilidad aumentada.
- Intentar evitar sucesiones de cultivos con idéntico aprovechamiento (No hoja tras hoja o semilla tras semilla).
- Procurar que a un cultivo de ciclo largo le suceda otro de desarrollo rápido y a la inversa.

- Alternar cultivos con un cierto carácter elástico para poder reaccionar ante las posibles fluctuaciones del mercado durante el transcurso de los años.

Siguiendo las recomendaciones anteriores se puede conseguir, entre otras cosas, aprovechar mejor el abonado y el riego, al utilizar plantas con necesidades nutritivas distintas y sistemas radiculares diferentes, controlar mejor las malas hierbas, plagas y enfermedades, y en consecuencia reducir el empleo de abonos, fertilizantes, herbicidas y productos fitosanitarios.

4. Propuesta de rotación de cultivos

Las rotaciones de cultivos que se plantean a continuación son orientativas para el agricultor, no quiere decir que éste deba cumplirlas, podrá modificarlas si lo cree conveniente o si obtiene una mejor rentabilidad y unos mejores rendimientos con otras rotaciones.

Con los datos de permanencia de cada cultivo en campo (*Tabla.1*), y teniendo en cuenta los factores expuestos en el apartado anterior, se pueden realizar varias distribución de los cultivos a través de los años.

Se han diseñado dos cuadros de rotación de cultivos diferente para 10 años, uno teniendo en cuenta todos los cultivos seleccionados (*Figura.1*) y otro en función de la tendencia habitual de la zona de estudio (*Figura.2*).

En ambos cuadros se han incumplido alguna de las recomendaciones expuestas en el apartado 3, como es la sucesión de cultivos de la misma familia botánica o de cultivos con el mismo aprovechamiento, pero se trata siempre de cultivos tolerantes (maíz) y medianamente tolerantes (Cebada y trigo) a la repetición, es más en ellos es típica la práctica del monocultivo.

En la *Figura.1*, en el año 7, podría parecer que se pierde un cultivo, pero si se quiere sembrar cebada, no se debe cultivar antes ningún cultivo mejorante, ya que este cereal no tolera bien el exceso de nitrógeno, por lo que la mejor alternativa es el girasol.

Figura. 1. Cuadro de rotación de cultivos ideal utilizando todos los cultivos seleccionados.

CUADRO DE ROTACIÓN DE CULTIVOS IDEAL UTILIZANDO TODOS LOS CULTIVOS SELECCIONADOS																							
AÑO 1			AÑO 2			AÑO 3			AÑO 4														
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ALFALFA												TRIGO											
AÑO 6			AÑO 7			AÑO 8			AÑO 9			AÑO 10											
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
TRIGO		MAÍZ	2 ^a C		GIRASOL	CEBADA			MAÍZ		GUISANTE		MAÍZ		GUISANTE		RAY-GRASS						

Figura. 2. Cuadro de rotación de cultivos más habitual en la zona.

ANEJO 6

Justificación y características del sistema de riego elegido

Anejo 6: Justificación y características del sistema de riego elegido

ÍNDICE

1. Introducción.....	2
2. Justificación de la conversión a regadío	2
2.1. Climatología.....	2
2.2. Rendimiento de la cosecha (Producción).....	3
2.3. Edafología	3
2.4. Agua de riego.....	4
2.5. Topografía y contorno de la parcela	4
3. Características generales del riego por aspersión	4
3.1. Cobertura total enterrada	6
3.1.1. Características	6
3.1.2. Elección del marco de colocación de los aspersores	6
3.1.3. Elección del aspersor.....	7
3.1.4. Características de los aspersores	9

1. Introducción

En el presente anexo además de justificar el tipo de sistema de riego elegido, riego por aspersión con cobertura total enterrada, también se van a explicar las ventajas e inconvenientes que presenta dicho sistema y las características de los elementos que lo constituyen.

2. Justificación de la conversión a regadío

La agricultura de regadío es la única vía posible para incrementar la producción agrícola, especialmente en zonas de clima árido y semiárido.

El regadío permite obtener mayores rendimientos que la agricultura de secano y además supone una actividad económicamente más rentable.

Así pues, los beneficios socioeconómicos ligados al regadío son incuestionables. Actualmente, en España el regadío supone el 13% de la superficie agrícola útil y proporciona el 50% de la producción agraria total.

Por todo ello, la transformación a regadío de una parcela de secano en una zona de clima semiárido, con posibilidades de desarrollo, queda justificada; siempre y cuando se pueda obtener de ella una rentabilidad acorde con la inversión que se ha efectuado; y ésta esté condicionada por alguno de los factores que se cintan a continuación.

2.1. Climatología

Atendiendo a las condiciones climatológicas de la zona (Anejo 3) se puede observar que se trata de una zona de clima semiárido con una precipitación media anual (360 mm) bastante escasa para el sustento de los cultivos.

Este hecho, justifica por sí solo, la necesidad de implantar un sistema de riego para poder cultivar una amplia gama de cultivos, ya que exceptuando la escasa precipitación que se produce en la zona objeto de este proyecto, el resto de factores

climatológicos son óptimos para el desarrollo y crecimiento de todo tipo de cultivos herbáceos extensivos propios de la zona.

2.2. Rendimiento de la cosecha (Producción)

Para obtener un máximo rendimiento de la cosecha es fundamental un buen aporte hídrico, tanto en cantidad como en homogeneidad. Este aporte debe estar bien repartido a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo para lograr una buena producción.

El buen reparto del agua de riego y la homogeneidad a nivel de parcela va a estar condicionado por el sistema de riego que se elija, y de ello dependerá también el rendimiento de la cosecha que se vaya a obtener de la parcela.

El sistema de riego elegido para el desarrollo de este proyecto, riego por aspersión, proporcionará un buen reparto del agua de riego y homogeneidad a nivel de parcela, ya que con la instalación de este tipo de sistema, además de obtenerse mayores rendimientos, se hace de manera más eficiente que con la utilización de sistemas de riego tradicionales.

2.3. Edafología

Atendiendo a los caracteres físicos, hídricos y químicos del suelo de la parcela de estudio (Anejo 3) se puede observar que se trata de un suelo con una textura franco-arcillo-arenosa, buena porosidad, infiltración moderada y en general fértil por lo que posee una gran capacidad de retención de agua a la vez que un buen drenaje de ésta, no tiene problemas de salinidad y es adecuado para cualquier cultivo y para el riego por aspersión, ya que no presenta ninguna limitación a la hora de dimensionar y elegir la dosis óptima.

2.4. Agua de riego

Atendiendo al estudio del agua de riego proveniente del Canal del Cinca, realizado en el Anejo 4, se puede deducir que ésta es de buena calidad y no presenta ningún problema ni limitación a la hora de ser empleada mediante riego por aspersión.

2.5. Topografía y contorno de la parcela

La parcela de estudio presenta una extensión de aproximadamente 19 hectáreas, las cuales tienen un contorno bastante regular.

La pendiente media es de aproximadamente el 8%, pero ésta no va a presentar limitación alguna a la hora de implantar el riego por aspersión en la parcela, ya que este tipo de sistema permite el riego de terrenos con pendiente, sin la necesidad de tener que nivelar el terreno, y la escorrentía que se pudiera producir por elevadas pendientes es mínima.

3. Características generales del riego por aspersión

Se ha elegido la aspersión como sistema de riego, por sus características técnicas hacen posible esta transformación.

El aporte de agua a las plantas mediante este sistema de riego por aspersión es en forma de lluvia artificial empleando emisores rotativos. Los aspersores son los elementos encargados de la distribución del agua en la parcela y necesitan de una cierta presión para que salga a través de los orificios o boquillas de los mismos.

Las principales características que definen el riego por aspersión son:

- Distribución del agua en forma de lluvia, de manera uniforme sobre el suelo.
- Permite el riego de terrenos con pendiente sin la necesidad de realizar nivelaciones en el terreno.

- Conducción del agua por el interior de tuberías a presión, sin ningún tipo de pérdidas en su distribución.
- Distribución del agua sobre el terreno a medida que se va infiltrando, pudiendo aplicar solo las dosis necesarias para el cultivo, con el consiguiente ahorro de agua.
- Se evitan las pérdidas de agua por escorrentía, así se evita la erosión del suelo fértil.
- Con el propio sistema de riego se pueden aplicar tratamientos fitosanitarios y aporte de fertilizantes.
- Se adapta a la mayoría de los cultivos incrementando su producción respecto a los sistemas de riego tradicionales.
- La exigencia de mano de obra disminuye en comparación con otros sistemas de riego tradicionales.
- La eficiencia de riego es mucho más alta que en riegos tradicionales.

Las características citadas anteriormente suponen las ventajas del riego por aspersión, pero éste también presenta ciertos inconvenientes, tales como:

- La mala compatibilidad del viento con la eficiencia de aplicación del riego, disminuyendo esta considerablemente, por lo que deberá evitarse el riego en días con velocidades de viento elevadas.
- El coste elevado de implantación, que se ve compensado con un aumento de producción considerable.

3.1. Cobertura total enterrada

3.1.1. Características

Además de las características antes citadas, el riego por aspersión con cobertura total enterrada evita infraestructuras superficiales que separan y enmarcan la parcela, y en consecuencia, evita pérdidas en la superficie cultivada.

Principalmente se caracteriza por constar de:

- Un **elemento filtrante** que se instalará en el edificio de control de mandos y estará compuesto por filtros de malla automáticos.
- Una **válvula hidráulica** en la entrada de cada módulo (conjunto de emisores o aspersores de riego que funcionan al mismo tiempo) comandada por una llave de tres vías, la cual puede ser accionada manualmente con tres posiciones, la tercera se corresponde al modo automático.
- Una **red de tuberías** de distintos diámetros que variarán en función del caudal que transporten. Esta se encuentra totalmente enterrada a mayor profundidad que la de la labor de los aperos, saliendo solo a superficie el porta-emisor, que puede ser de diferentes medidas, y el emisor o aspersor, que también puede ser de diversos tipos.
- Un **controlador de riego** que controlará el conjunto del equipo de riego y estará instalado en el edificio de mandos.

3.1.2. Elección del marco de colocación de los aspersores

El marco de colocación de los aspersores viene dado por las distancias existentes, por un lado entre dos ramales contiguos de aspersores, y por otro lado por la distancia entre dos aspersores consecutivos dentro de un mismo ramal. Es muy importante la distribución de los aspersores, que se suelen colocar siguiendo generalmente tres disposiciones: en rectángulo, en cuadrado y en triángulo o tresbolillo.

Se opta por una distribución del marco en forma triangular, en donde los aspersores ocupan los vértices de una red de triángulos. Este tipo de disposición es el que mejor aprovecha el agua, pues la uniformidad de distribución del agua es mucho menor cuando hay vientos dominantes.

En esta distribución triangular la distancia entre dos aspersores de un mismo lateral de riego será de 18 metros y la separación entre dos laterales de riego contiguos será igualmente de 18 metros, lo que dará una red de triángulos equiláteros.

La causa por la que se toma este marco triangular de colocación de los aspersores es principalmente por la uniformidad, y en segundo plano, por la adaptabilidad a la gran mayoría de herramientas, pues generalmente se trabaja con anchuras múltiples de tres metros.

Otra condición a tener en cuenta, es que en los extremos o márgenes de las parcelas coinciden normalmente distancias irregulares entre los aspersores, por lo que se tomará la mediad de retirar el aspersor hacia la parte interna de la parcela hasta una distancia de 12 metros, y se colocará, para no perder uniformidad en el riego, un aspersor más en el margen de la parcela siguiendo la trayectoria del ramal de aspersores, si la distancia se encuentra entre 9 y 12 metros del margen, y si la distancia al margen es inferior a 9 metros, este aspersor será retirado hacia el margen siguiendo la trayectoria del ramal de aspersores del que se alimenta.

De esta manera se consigue que las cabeceras de las parcelas tengan mayor maniobrabilidad, quedando una anchura asegurada de 12 metros.

3.1.3. Elección del aspersor

Los aspersores y sus boquillas son los encargados de que la distribución del agua sobre el suelo sea de forma uniforme.

Los factores que se han tenido en cuanta para la elección del aspersor han sido los siguientes:

- Un tipo de aspersor con cuyo **caudal** se redujeran costes, adaptándose al marco de distribución elegido, en el ancho de las calles.
- La **densidad de aspersión** debe estar ser menor que la permeabilidad máxima del suelo o velocidad de infiltración de la parcela, para evitar escorrentía.
- La **presión** de funcionamiento del aspersor ha de ser la necesaria para que haya una buena uniformidad del riego.
- El **recubrimiento** del aspersor deberá estar comprendido entre el 55 y 65%.
- El **coeficiente de uniformidad** debe estar por encima del 80% con vientos de hasta 2,5 m/s, según la **regla de Christiansen**. Un aspersor no distribuye el agua de manera totalmente uniforme, recibiendo más agua la zona más próxima al aspersor y menos agua a medida que nos alejamos de aquel.
- El **grado de pulverización** debe tener un valor comprendido entre 0,1 y 0,3. Para medir el grado de pulverización se usa el **índice de Tenda**.

Este índice se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$K = \frac{D}{h} \quad [1]$$

Donde D = Diámetro de la boquilla y h = Presión de trabajo en metros de columna de agua.

- La **eficiencia** del aspersor, es la relación entre el alcance en metros, y la presión en la boquilla en metros de columna de agua. Debe estar por debajo del valor de 0,7 para gotas finas, según el **índice de Poggi**.

3.1.4. Características de los aspersores

Caudal del aspersor

El caudal del aspersor está íntimamente relacionado con el diámetro de las boquillas y con la presión de funcionamiento.

Los caudales usuales de los aspersores varían desde 1000 a 3000 l/h.

Alcance del aspersor

El alcance del aspersor, que determina el radio de área mojada, depende del ángulo de inclinación de la boquilla y de la presión de funcionamiento. Se obtiene un valor máximo del radio del área mojada cuando el ángulo de inclinación de la boquilla es de 45°. Sin embargo, este ángulo no suele utilizarse debido a que el chorro sería muy afectado por el viento, con lo que la uniformidad de riego se vería perjudicada.

Pulverización

El tamaño de las gotas de agua que arroja el aspersor es un factor importante para el riego, ya que si no es el adecuado puede afectar a las plantas, al suelo y a la uniformidad de riego.

Las gotas gruesas pueden producir daños en cultivos delicados y afectar directamente a su producción, y además provocan la compactación de determinados suelos y la consiguiente disminución de la velocidad de infiltración.

La eficiencia y uniformidad del riego disminuye cuando las gotas son demasiado finas, ya que de esta manera las pérdidas por evaporación o arrastre por el viento, son mayores.

Densidad de aspersión o intensidad de aspersión

La densidad de aspersión o intensidad de aspersión de un aspersor expresa la intensidad de riego, y se mide por altura de la capa de agua recibida por la tierra durante un tiempo determinado. Hay que tener en cuenta que ésta debe ser inferior a la permeabilidad del terreno, ya que en caso contrario podrían producirse encharcamientos y erosiones.

La densidad de aspersión se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$i = \frac{q}{S_a} \quad [2]$$

Siendo; i = Intensidad de lluvia o densidad de aspersión (mm/h), q = Caudal nominal del aspersor (L/h) y S_a = Superficie regada asignada a cada aspersor (m^2).

La pluviometría más frecuente en riego por aspersión oscila entre 3 y 20 mm/h.

Todos los sistemas de riego deben tener una densidad de aspersión comprendida entre 5 y 7 mm/h. Además esta debe ser menor que la permeabilidad máxima del suelo o velocidad de infiltración, para evitar escorrentía.

En función de las características técnicas de los aspersores descritas en el apartado anterior, y teniendo en cuenta el aspecto económico, a continuación se describen los aspersores y porta-aspersores que se van a colocar en la parcela de estudio.

Aspersor circular

- Características generales: Aspersor circular de impacto agrícola de medio caudal y media presión, con conexión macho o hembra de 3/4”, fabricado en latón y con dos boquillas.
- Caudal emitido por el aspersor: 1790 L/h
- Presión nominal: 3,5 kg/cm²
- Boquilla principal: De latón, con un ángulo de trayectoria de 26° y un diámetro de 11/64” (4,36 mm).
- Boquilla secundaria: De latón, con ranura deflectora vertical, con un ángulo de trayectoria de 26° y un diámetro de 3/32” (2,38 mm).
- Alcance: 15 m
- Altura máxima del chorro: 2,4m
- Velocidad de rotación: 0,88 min/rev
- Coeficiente de uniformidad: 18X18T: 91%
- Grado de pulverización (Índice de Tenda): $K = 4,36 \text{ mm} / 35 \text{ mca} = 0,1246$
- Eficiencia del aspersor (Índice de Poggi): $15,7 \text{ m} / 35 \text{ mca} = 0,4486$
- Densidad de aspersión: $i = 1790 \text{ L/h} / 324 \text{ m}^2 = 5,52 \text{ mm /h}$



Figura.1. Aspersor circular.

Aspersor sectorial

- Características generales: Aspersor sectorial de impacto agrícola de medio caudal y media presión, con conexión macho o hembra de 3/4”, fabricado en latón y con dos boquillas.
- Caudal emitido por el aspersor: 1790 L/h
- Presión nominal: 3,5 kg/cm²
- Boquilla principal: De latón, con un ángulo de trayectoria de 26° y un diámetro de 11/64” (4,36 mm).
- Boquilla secundaria: De latón, con ranura deflectora vertical, con un ángulo de trayectoria de 26° y un diámetro de 3/32” (2,38 mm).
- Alcance: 15,5 m
- Altura máxima del chorro: 2,4m
- Velocidad de rotación: 0,73 min/rev
- Coeficiente de uniformidad: 18X18T: 92%
- Grado de pulverización (Índice de Tenda): $K = 4,36 \text{ mm} / 35 \text{ mca} = 0,1246$
- Eficiencia del aspersor (Índice de Poggi): $15,7 \text{ m} / 35 \text{ mca} = 0,4486$
- Densidad de aspersión: $i = 1790 \text{ L/h} / 324 \text{ m}^2 = 5,52 \text{ mm/h}$



Figura.2. Aspersor sectorial.



Figura.3. Boquilla principal y secundaria.

Porta-aspersores

- Los porta-aspersores circulares tendrán una altura máxima de 2,4 m.
- Los porta-aspersores sectoriales tendrán una altura máxima de 2,4 m y estarán dotados de un deflector, que consiste en una chapa atornillada en la cabeza del porta-aspensor para evitar que vaya el agua a carreteras o caminos.
- Se dotarán de válvulas de bola o grifos a aquellos porta-aspersores que lo necesiten para cortar el caudal y realizar las reparaciones u operaciones que sean oportunas.
- Los porta-aspersores serán de acero galvanizado con conexión macho o hembra de 3/4".

ANEJO 7

Cálculo agronómico

Anejo 7: Cálculo agronómico

ÍNDICE

1. Introducción.....	2
2. Necesidades de agua de riego	3
2.1. Necesidades netas	3
2.2. Necesidades reales	10
3. Dimensionado del riego por aspersión	16
3.1. Dosis máxima de riego	17
3.2. Dosis útil de riego	18
3.3. Dosis real de riego	19
3.4. Cálculo del riego	20
3.4.1. Espaciamiento entre riegos o Periodo de riego	20
3.4.2. Número de riegos por mes	22
3.4.3. Densidad de aspersión o intensidad de aspersión.....	22
3.4.4. Duración del riego	24
3.4.5. Caudal a la entrada de la cobertura	25
3.5. Organización del riego	26
3.5.1. Número teórico de aspersores por módulo de riego.....	27

1. Introducción

En el presente anexo, se van a calcular las necesidades de agua para el sistema de riego por aspersión y para todo el período vegetativo de los cultivos seleccionados en el Anejo 5.

Las precipitaciones son parte del agua necesaria para cubrir las necesidades de los cultivos, pero como ya se ha justificado en el Anejo 6, tratándose de una zona con clima semiárido, éstas no son suficientes. Por lo tanto es necesario un aporte de agua mediante riego, el cual se diseñará y dimensionará a partir de los datos obtenidos en este anexo.

Para conocer la cantidad de agua que hay que aportar, es necesario conocer las necesidades que tienen cada uno de los cultivos seleccionados para poder llevar a cabo su óptimo desarrollo, y la cantidad de agua que puede aportar la lluvia durante el período de crecimiento.

La diferencia entre las necesidades del cultivo y la cantidad de agua aportada por la lluvia, calculada en el Anejo 2, supone la cantidad de agua que ha de ser cubierta por el riego.

$$\text{Necesidades de riego} = \text{Necesidades del cultivo} - \text{Precipitación}$$

Una vez se obtengan las necesidades reales de riego, se procederá al dimensionado de la instalación del riego por aspersión con cobertura total enterrada, es decir al cálculo de: la dosis de riego, el intervalo entre riegos, el período de riego, el número de riegos por mes, la duración del riego, el caudal a la entrada de las coberturas y el número de módulos de riego, de aspersores totales y de máximo de aspersores por módulo.

2. Necesidades de agua de riego

Para el cálculo de las necesidades hídricas se parte de la disposición del agua del Canal del Cinca. Esta agua, analizada y caracterizada en el Anejo 4, presenta una buena calidad y se considera óptima para el riego.

2.1. Necesidades netas

En la práctica y en este tipo de proyecto, para establecer las necesidades de agua de riego, no se suelen utilizar las expresiones que recogen los balances hídricos de agua del suelo, dada su complejidad.

A partir de un balance hídrico las necesidades se calcularían mediante la siguiente expresión compleja:

$$N = (ET_C + P_p) - (P_e + C_a + \Delta\theta) \quad [1]$$

Siendo; N = Necesidades de agua de riego, ET_C = Evapotranspiración del cultivo, P_p = Percolación profunda, P_e = Precipitación efectiva, C_a = Aporte del ascenso capilar y $\Delta\theta$ = Variación de la humedad del suelo.

En su lugar, y frente al cálculo de necesidades de agua anterior, establecido mediante un balance de cinco variables, las necesidades netas de agua de riego se pueden calcular a partir de la siguiente expresión sencilla:

$$N_n = ET_C - P_e \quad [2]$$

Donde, la ET_C es el agua útil almacenada en la zona radicular y consumida por la evapotranspiración y P_e es el agua útil procedente de la precipitación natural, por lo tanto N_n constituye el agua utilizada en el proceso de evapotranspiración del cultivo.

Así pues, las **necesidades netas** para un mes determinado son:

$$N_n(\text{mensual}) = ET_C - P_e \quad [3]$$

Siendo; N_n = Necesidades netas mensuales (mm/mes), ET_C = Evapotranspiración mensual del cultivo (mm/mes) y P_e = Precipitación efectiva (mm/mes).

La **precipitación efectiva**, desde el punto de vista agronómico, se define como la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de consumo de agua de los cultivos, quedando por tanto excluidas: la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo (FAO-92).

Depende de muchos factores, tales como:

- Lluvia: Cantidad, intensidad, frecuencia y distribución en la parcela.
- Otros parámetros meteorológicos: Temperatura, radiación, humedad relativa y velocidad del viento.
- Terreno: Topografía, pendiente y uso del suelo.
- Suelo: Profundidad, textura, estructura, densidad y contenido en materia orgánica.
- Agua del suelo: Cantidad, sólidos en suspensión, viscosidad, temperatura y contenido total en sales disueltas.
- Gestión del suelo: Tipo de laboreo, grado de nivelación y tipo de terreno.
- Cultivos: Tipo de cultivo, profundidad del sistema radicular, grado de cobertura del suelo y fase de desarrollo del cultivo.

La determinación rigurosa de este parámetro encierra especiales dificultades, debido a la cantidad de parámetros de los que depende, por lo que es necesario recurrir a

métodos simplificados. En este trabajo se ha utilizado el método elaborado por el Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de Estados Unidos y descrito por Cuenca (1989), el **Método de cálculo USDA SCS (P, ET)**, en el que los valores de precipitación efectiva mensual se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$P_e = (1,25 \cdot P_t^{0,824} - 2,93) \cdot 10^{0,000955 \cdot ETc} \cdot f \quad [4]$$

Siendo; P_e = Precipitación efectiva (mm/mes), P_t = Precipitación total (mm/mes), ETc = Evapotranspiración de los cultivos (mm/mes) y f = Factor de corrección.

El **factor de corrección** depende de la dosis de riego neta, se aplica cuando el agua almacenada en el suelo en el momento riego es diferente de 75mm y se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$f = 0,53 + (0,0116 \cdot \Delta_s) - (8,94 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta_s^2) + (2,32 \cdot 10^{-7} \cdot \Delta_s^3) \quad [5]$$

[5]

Siendo; f = Factor de corrección (mm) y Δ_s = dosis de riego neta (mm).

Se consideró un **factor de corrección de 1**, al suponer que la altura de agua consumida entre riegos es de 75 mm.

A partir de los datos de precipitaciones medias mensuales y evapotranspiraciones de cultivo mensuales, obtenidas en el Anejo 2, y aplicando las fórmulas descritas anteriormente para el cálculo de la precipitación efectiva mensual y las necesidades netas mensuales, se obtienen los siguientes resultados, para cada uno de los cultivos seleccionados:

CEBADA				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
DIC	21,69	13,75	30,78	17,04
ENE	17,64	11,19	34,40	23,21
FEB	16,74	11,21	60,64	49,42
MAR	31,74	23,70	108,79	85,08
ABR	54,68	41,53	134,94	93,41
MAY	37,58	29,71	139,04	109,34
JUN	26,03	17,33	53,57	36,24
	206,10	148,42	562,15	413,73

Tabla.1. Necesidades netas mensuales de la cebada (mm/mes), obtenidas a partir de la Evapotranspiración del cultivo (ET_C) y la Precipitación efectiva (P_e).

TRIGO				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
NOV	27,31	17,56	38,24	20,68
DIC	21,69	13,67	28,39	14,71
ENE	17,64	11,16	33,09	21,93
FEB	16,74	11,21	60,64	49,42
MAR	31,74	23,70	108,79	85,08
ABR	54,68	41,53	134,94	93,41
MAY	37,58	30,35	148,75	118,40
JUN	26,03	18,24	76,73	58,50
	233,41	167,42	629,55	462,13

Tabla.2. Necesidades netas mensuales del trigo (mm/mes), obtenidas a partir de la Evapotranspiración del cultivo (ET_C) y la Precipitación efectiva (P_e).

GUISANTE VERDE				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
ENE	17,64	11,01	27,03	16,02
FEB	16,74	10,90	47,76	36,86
MAR	31,74	23,56	106,00	82,44
ABR	54,68	41,42	133,78	92,36
MAY	37,58	26,67	89,99	63,32
	158,38	113,56	404,56	290,99

Tabla.3. Necesidades netas mensuales del guisante verde (mm/mes), obtenidas a partir de la Evapotranspiración del cultivo (ET_C) y la Precipitación efectiva (P_e).

GIRASOL				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
ABR	54,68	33,58	38,26	4,68
MAY	37,58	24,43	50,12	25,69
JUN	26,03	20,81	136,74	115,93
JUL	16,20	15,94	236,68	220,74
AGO	20,91	18,73	188,40	169,67
SEP	43,97	28,68	56,78	28,11
	199,37	142,17	706,99	564,82

Tabla.4. Necesidades netas mensuales del girasol (mm/mes), obtenidas a partir de la Evapotranspiración del cultivo (ET_C) y la Precipitación efectiva (P_e).

ALFALFA				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
ENE	17,64	11,13	31,99	20,86
FEB	16,74	10,41	26,85	16,44
MAR	31,74	19,82	27,46	7,64
ABR	54,68	37,81	92,26	54,45
MAY	37,58	31,00	158,45	127,44
JUN	26,03	22,34	169,03	146,69
JUL	16,20	13,98	177,00	163,02
AGO	20,91	17,21	150,02	132,80
SEP	43,97	31,77	103,37	71,60
OCT	45,47	28,38	38,13	9,74
NOV	27,31	17,42	34,48	17,07
DIC	21,69	13,75	30,97	17,22
	359,96	255,03	1040,00	784,97

Tabla.5. Necesidades netas mensuales de la alfalfa (mm/mes), obtenidas a partir de la Evapotranspiración del cultivo (ET_C) y la Precipitación efectiva (P_e).

RAY-GRASS				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
AGO	20,91	13,10	25,80	12,70
SEP	43,97	30,65	87,05	56,40
OCT	45,47	31,25	81,82	50,58
NOV	27,31	17,74	42,88	25,14
DIC	21,69	13,66	27,79	14,13
ENE	17,64	11,18	34,07	22,89
FEB	16,74	11,09	55,81	44,71
MAR	31,74	23,08	96,70	73,62
ABR	54,68	38,20	96,88	58,68
MAY	37,58	29,29	132,58	103,29
JUN	26,03	21,34	148,14	126,80
	343,76	240,57	829,51	588,94

Tabla.6. Necesidades netas mensuales del Ray-Grass (mm/mes), obtenidas a partir de la Evapotranspiración del cultivo (ET_C) y la Precipitación efectiva (P_e).

MAÍZ				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
ABR	54,68	33,32	34,80	1,48
MAY	37,58	23,75	37,19	13,44
JUN	26,03	20,98	140,54	119,56
JUL	16,20	16,31	246,97	230,66
AGO	20,91	19,46	205,84	186,38
SEP	43,97	31,23	95,63	64,39
OCT	45,47	28,30	36,85	8,54
	244,84	173,36	797,82	624,46

Tabla.7. Necesidades netas mensuales del maíz (mm/mes), obtenidas a partir de la Evapotranspiración del cultivo (ET_C) y la Precipitación efectiva (P_e).

GUISANTE + MAÍZ				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
ENE	17,64	11,01	27,03	16,02
FEB	16,74	10,90	47,76	36,86
MAR	31,74	23,56	106,00	82,44
ABR	54,68	41,42	133,78	92,36
MAY	37,58	26,67	89,99	63,32
JUN	26,03	16,88	41,49	24,62
JUL	16,20	13,48	160,53	147,05
AGO	20,91	19,61	209,33	189,72
SEP	43,97	33,86	132,41	98,54
OCT	45,47	29,04	48,46	19,42
	310,96	226,44	996,78	770,34

Tabla.8. Necesidades netas mensuales del Guisante + Maíz de 2^a cosecha (mm/mes), obtenidas a partir de la Evapotranspiración del cultivo (ET_C) y la Precipitación efectiva (P_e).

CEBADA + MAÍZ				
MES	P _{TOTAL} (mm)	P _e (mm)	ET _C (mm/mes)	Nn (mm/mes)
DIC	21,69	13,75	30,78	17,04
ENE	17,64	11,19	34,40	23,21
FEB	16,74	11,21	60,64	49,42
MAR	31,74	23,70	108,79	85,08
ABR	54,68	41,53	134,94	93,41
MAY	37,58	29,71	139,04	109,34
JUN	26,03	17,24	51,28	34,04
JUL	16,20	12,32	119,37	107,05
AGO	20,91	19,54	207,58	188,05
SEP	43,97	33,59	128,73	95,14
OCT	45,47	28,92	46,59	17,67
	332,65	242,70	1062,13	819,44

Tabla.9. Necesidades netas mensuales de la cebada + Maíz de 2^a cosecha (mm/mes), obtenidas a partir de la Evapotranspiración del cultivo (ET_C) y la Precipitación efectiva (P_e).

2.2. Necesidades reales

Para el cálculo de las necesidades reales de los cultivos se tienen en cuenta las necesidades netas (N_n), la eficiencia de aplicación del sistema de riego a emplear (E_a), y las necesidades de lavado de sales (F_L).

La **eficiencia de aplicación del sistema** incluye las pérdidas de agua por percolación, evaporación y escorrentía, además del coeficiente de uniformidad del sistema de riego elegido.

En este caso, al tratarse de un riego por aspersión, solo existen pérdidas por evaporación, arrastre y percolación.

La eficiencia de aplicación del riego, para sistemas de riego por aspersión con cobertura total enterrada en climas semiáridos a áridos, está entre 65% y 85%.

En este caso, se ha considerado una **eficiencia de aplicación del 68%**, valor determinado por Andrés, R. (2011) para la Comunidad de regantes LASESA, dada la proximidad de ésta a la zona de estudio.

La **fracción o necesidad de lavado de sales** se calcula como $(1-F_L)$, y solo se aplica fuera de los meses de máximas necesidades, para no sobredimensionar la red de riego, y no causar de esta manera un gasto innecesario en la instalación.

El estudio edafológico desarrollado en el Anejo 3, nos indica que el suelo de estudio se considera no salino y no presenta ningún problema de salinidad, pero aún así es necesario calcular la fracción de lavado debido a la concentración de sales en el agua, para evitar el depósito de las mismas.

La fracción de lavado (F_L), para riego por aspersión de baja frecuencia, se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$F_L = \frac{CE_W}{5 \cdot CE_e - CE_W} \quad [6]$$

Siendo; F_L = Fracción de lavado de sales (adimensional), CE_W = Conductividad eléctrica del agua de riego (mmhos/cm) y CE_e = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (máximo que tolera un cultivo determinado sin que se produzca reducción del rendimiento de cosecha, en mmhos/cm).

El valor de CE_W , que equivale a la conductividad eléctrica del agua de riego a 25°C obtenida en el Anejo 4, es de 0,308 mmhos/cm.

Los valores de CE_e característicos para cada cultivo a implantar en la parcela, son los dados por Ayers y Westcot (1985).

Aplicando la fórmula [6], se obtiene, para cada cultivo, los siguientes valores de fracción de lavado de sales:

CULTIVO	CE _W	CE _e	F _L
MAÍZ	0,308	1,7	0,038
ALFALFA	0,308	2,0	0,032
CEBADA	0,308	8,0	0,008
TRIGO	0,308	6,0	0,010
GUISANTE VERDE	0,308	1,5	0,043
GIRASOL	0,308	1,7	0,038
RAY-GRASS	0,308	5,6	0,011

Tabla.10. Cálculo de la Fracción de lavado de sales (F_L) a partir de la conductividad eléctrica del agua de riego (CE_W), expresada en mmhos/cm y la tolerancia a las sales de los cultivos agrícolas seleccionados, expresado como la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (CE_e), en mmhos/cm.

Así pues, las **necesidades reales** pueden calcularse mediante la siguiente expresión:

$$N_r = \frac{N_n}{Ea \cdot (1 - F_L)} \quad [7]$$

Siendo; N_r = Necesidades reales (mm/mes), N_n = Necesidades netas (mm/mes), Ea = Eficiencia de aplicación (en tanto por 1) y F_L = Fracción de lavado de sales (adimensional).

A partir de las necesidades netas calculadas en el apartado anterior, las fracciones de lavado de sales obtenidas en la *Tabla.10* y para una eficiencia de riego de 0,68, se procede a calcular las necesidades reales para cada uno de los cultivos seleccionados, durante su periodo vegetativo.

CEBADA		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
DIC	17,04	25,25
ENE	23,21	34,40
FEB	49,42	73,25
MAR	85,08	126,10
ABR	93,41	138,44
MAY	109,34	162,05
JUN	36,24	53,71
	413,73	613,19

Tabla.11. Necesidades reales mensuales de la cebada (mm/mes), obtenidas a partir de las necesidades netas mensuales (Nn), la eficiencia de aplicación del riego ($Ea=0,68$) y la fracción de lavado de sales (FL).

TRIGO		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
NOV	20,68	30,73
DIC	14,71	21,86
ENE	21,93	32,59
FEB	49,42	73,44
MAR	85,08	126,44
ABR	93,41	138,80
MAY	118,40	175,94
JUN	58,50	86,92
	462,13	686,72

Tabla.12. Necesidades reales mensuales del trigo (mm/mes), obtenidas a partir de las necesidades netas mensuales (Nn), la eficiencia de aplicación del riego ($Ea=0,68$) y la fracción de lavado de sales (F_L).

GUISANTE VERDE		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
ENE	16,02	24,61
FEB	36,86	56,63
MAR	82,44	126,66
ABR	92,36	141,90
MAY	63,32	97,28
	290,99	447,08

Tabla.13. Necesidades reales mensuales del guisante verde (mm/mes), obtenidas a partir de las necesidades netas mensuales (Nn), la eficiencia de aplicación del riego ($Ea=0,68$) y la fracción de lavado de sales (F_L).

GIRASOL		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
ABR	4,68	7,16
MAY	25,69	39,25
JUN	115,93	177,15
JUL	220,74	337,30
AGO	169,67	259,26
SEP	28,11	42,95
	564,82	863,07

Tabla.14. Necesidades reales mensuales del girasol (mm/mes), obtenidas a partir de las necesidades netas mensuales (Nn), la eficiencia de aplicación del riego ($Ea=0,68$) y la fracción de lavado de sales (F_L).

ALFALFA		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
ENE	20,86	31,68
FEB	16,44	24,97
MAR	7,64	11,60
ABR	54,45	82,71
MAY	127,44	193,57
JUN	146,69	222,80
JUL	163,02	247,60
AGO	132,80	201,71
SEP	71,60	108,75
OCT	9,74	14,80
NOV	17,07	25,92
DIC	17,22	26,15
	784,97	1192,26

Tabla.15. Necesidades reales mensuales de la alfalfa (mm/mes), obtenidas a partir de las necesidades netas mensuales (Nn), la eficiencia de aplicación del riego ($Ea=0,68$) y la fracción de lavado de sales (F_L).

RAY-GRASS		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
AGO	12,70	18,89
SEP	56,40	83,87
OCT	50,58	75,21
NOV	25,14	37,39
DIC	14,13	21,02
ENE	22,89	34,04
FEB	44,71	66,49
MAR	73,62	109,48
ABR	58,68	87,27
MAY	103,29	153,60
JUN	126,80	188,57
	588,94	875,83

Tabla.16. Necesidades reales mensuales del Ray-Grass (mm/mes), obtenidas a partir de las necesidades netas mensuales (Nn), la eficiencia de aplicación del riego ($Ea=0,68$) y la fracción de lavado de sales (F_L).

MAÍZ		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
ABR	1,48	2,26
MAY	13,44	20,54
JUN	119,56	182,69
JUL	230,66	352,46
AGO	186,38	284,79
SEP	64,39	98,40
OCT	8,54	13,06
	624,46	954,20

Tabla.17. Necesidades reales mensuales del maíz (mm/mes), obtenidas a partir de las necesidades netas mensuales (Nn), la eficiencia de aplicación del riego ($Ea=0,68$) y la fracción de lavado de sales (F_L).

GUISANTE + MAÍZ		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
ENE	16,02	24,61
FEB	36,86	56,63
MAR	82,44	126,66
ABR	92,36	141,90
MAY	63,32	97,28
JUN	24,62	37,61
JUL	147,05	224,69
AGO	189,72	289,89
SEP	98,54	150,58
OCT	19,42	29,68
	770,34	1179,54

Tabla.18. Necesidades reales mensuales del guisante + maíz 2ª cosecha (mm/mes), obtenidas a partir de las necesidades netas mensuales (Nn), la eficiencia de aplicación del riego ($Ea=0,68$) y la fracción de lavado de sales (F_L).

CEBADA + MAÍZ		
MES	Nn (mm/mes)	Nr (mm/mes)
DIC	17,04	25,25
ENE	23,21	34,40
FEB	49,42	73,25
MAR	85,08	126,10
ABR	93,41	138,44
MAY	109,34	162,05
JUN	34,04	50,44
JUL	107,05	163,58
AGO	188,05	287,34
SEP	95,14	145,37
OCT	17,67	27,00
	819,44	1233,22

Tabla.19. Necesidades reales mensuales de la cebada + maíz 2ª cosecha (mm/mes), obtenidas a partir de las necesidades netas mensuales (Nn), la eficiencia de aplicación del riego ($Ea=0,68$) y la fracción de lavado de sales (F_L).

3. Dimensionado del riego por aspersión

En este apartado se va a dimensionar el riego por aspersión con cobertura total enterrada que se desea instalar en la parcela de estudio.

A la hora de calcular el caudal a la entrada de la cobertura, te tendrá en cuenta tan solo el cultivo más exigente en el mes de máximas necesidades, con el objetivo de dimensionar el riego de tal forma que se pueda regar sin problemas en el mes más desfavorable de todos, o lo que es lo mismo, en el mes de máximas necesidades hídricas.

En este caso, el **cultivo más exigente** es el **maíz**, con una ET_C de **246,97 mm** en el mes de julio y una profundidad radicular media de aproximadamente 60 cm.

3.1. Dosis máxima de riego

La **dosis máxima** es el volumen de agua de riego por unidad de superficie y riego que es necesaria para elevar el contenido de humedad del suelo desde el punto de marchitez permanente (PMP) hasta la capacidad de campo (CC).

La expresión para calcular la dosis máxima de riego es la siguiente:

$$D_m = 10000 \left(\frac{m^2}{Ha} \right) \cdot h \cdot \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) \cdot D_a \quad [8]$$

Siendo; D_m = Dosis máxima (m^3/Ha y riego), h = Profundidad efectiva de la zona radicular del cultivo (m), CC = Capacidad de campo (en % en volumen), PMP = Punto de marchitez permanente (en % en volumen) y D_a = Densidad aparente del suelo (Tm/m^3).

Aplicando la expresión anterior, y sustituyendo los datos por los valores de CC, PMP y D_a calculados en el Anejo 3, y la profundidad efectiva de las raíces por los valores dados por FAO-56, se obtiene la siguiente tabla para los diferentes cultivos seleccionados:

CULTIVO	h (m)	CC (%)	PMP (%)	D_a (Tm/m^3)	D_m ($m^3/Ha\cdot riego$)	D_m (mm/riegos)
CEBADA	0,90	21,52	11,59	1,53	1367,36	136,74
TRIGO	0,80	21,52	11,59	1,53	1215,43	121,54
GUISANTE VERDE	0,40	21,52	11,59	1,53	607,72	60,77
GIRASOL	0,90	21,52	11,59	1,53	1367,36	136,74
ALFALFA	1,20	21,52	11,59	1,53	1823,15	182,31
RAY-GRASS	0,60	21,52	11,59	1,53	911,57	91,16
MAÍZ	0,60	21,52	11,59	1,53	911,57	91,16

Tabla.20. Dosis máxima de los cultivos seleccionados, en $m^3/ha\cdot riego$ y mm/riegos, obtenida a partir de los valores de CC, PMP, D_a y profundidad efectiva del sistema radicular de los cultivos, según FAO-56.

3.2. Dosis útil de riego

Es la efectividad con la que la planta extrae agua del suelo y depende del contenido en humedad del mismo. A mayor contenido en humedad mayor es la efectividad en la extracción del agua. Por ello, para evitar el descenso de rendimiento de los cultivos, interesa mantener siempre el contenido de humedad del suelo muy por encima del punto de marchitez permanente, y eso obliga a regar dosis más pequeñas que la dosis máxima y hacerlo con una frecuencia elevada.

A efectos de cálculo, la **dosis útil** se calcula a partir de la siguiente expresión, donde a la dosis máxima se le multiplica un factor reductor, para evitar agotar toda la capacidad de agua del suelo y asegurarse así de no llegar al punto de marchitez permanente.

$$D_u = a \cdot D_m \quad [9]$$

Siendo; D_u = Dosis útil de riego ($\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{riego}$), a = factor reductor en riego por aspersión y D_m = Dosis máxima de riego ($\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{riego}$).

Aplicando la expresión anterior, y sustituyendo los datos por los valores de dosis máxima de riego y **factor de reducción**, que toma el **valor de 0,2** para sistemas fijos, se obtiene la siguiente tabla para los diferentes cultivos seleccionados:

CULTIVO	D_m ($\text{m}^3/\text{Ha} \cdot \text{riego}$)	a	D_u ($\text{m}^3/\text{Ha} \cdot \text{riego}$)	D_u (mm/riego)
CEBADA	1367,36	0,2	273,47	27,35
TRIGO	1215,43	0,2	243,09	24,31
GUISANTE VERDE	607,72	0,2	121,54	12,15
GIRASOL	1367,36	0,2	273,47	27,35
ALFALFA	1823,15	0,2	364,63	36,46
RAY-GRASS	911,57	0,2	182,31	18,23
MAÍZ	911,57	0,2	182,31	18,23

Tabla.21. Dosis útil de los cultivos seleccionados, en $\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{riego}$ y mm/riego, obtenida a partir de los valores de Dosis máxima ($\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{riego}$) y el factor reductor (a) 0,2.

3.3. Dosis real de riego

El agua aplicada en el riego no es aprovechada en su totalidad, ya que existen pérdidas por evaporación, percolación y escorrentía. En el caso del riego por aspersión solo hay pérdidas de evaporación y mínimas de percolación, las pérdidas por escorrentía se consideran nulas. Así pues, para compensar dichas pérdidas y dejar disponible la dosis útil en la zona radicular de la planta, es necesario aplicar una dosis de riego superior a la dosis útil, la **dosis real de riego**.

La relación entre la dosis útil y la real es la eficiencia de aplicación del riego (E_a), por lo tanto la dosis real de riego, que supone el volumen de agua por unidad de superficie y riego que se aplica desde los emisores sobre la superficie cultivada, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_r = D_u / E_a \quad [10]$$

Siendo; D_r = Dosis real de riego (m^3/ha y riego), D_u = Dosis útil de riego (m^3/ha y riego) y E_a = Eficiencia de aplicación para riego por aspersión.

Aplicando la expresión anterior, y sustituyendo los datos por los valores de dosis útil de riego y eficiencia de aplicación, considerada en este estudio del 68%, se obtiene la siguiente tabla para los diferentes cultivos seleccionados:

CULTIVO	D_u ($m^3/Ha\cdot riego$)	E_a	D_r ($m^3/Ha\cdot riego$)	D_r (mm/riegos)
CEBADA	273,47	0,68	402,17	40,22
TRIGO	243,09	0,68	357,48	35,75
GUISANTE VERDE	121,54	0,68	178,74	17,87
GIRASOL	273,47	0,68	402,17	40,22
ALFALFA	364,63	0,68	536,22	53,62
RAY-GRASS	182,31	0,68	268,11	26,81
MAÍZ	182,31	0,68	268,11	26,81

Tabla.22. Dosis real de los cultivos seleccionados, en $m^3/ha\cdot riego$ y mm/riegos, obtenida a partir de los valores de Dosis útil ($m^3/ha\cdot riego$) y la eficiencia de aplicación (E_a) 0,68.

3.4. Cálculo del riego

Para el cálculo de las necesidades netas de los cultivos se desprecia la precipitación y solo se tiene en cuenta la evapotranspiración de los cultivos, ya que hay que ponerse siempre en el caso más desfavorable, y así el dimensionamiento de la instalación queda del lado de la seguridad.

Por lo tanto, para obtener las necesidades diarias de los cultivos, se tomaran las mayores necesidades mensuales de éstos, es decir su ET_C , en los meses más críticos y se dividirán por el número de días de dichos meses.

Las necesidades netas diarias de cada cultivo para el mes más crítico se expresan en la siguiente tabla:

CULTIVO	Mes crítico	Necesidades mensuales (mm/mes)	Días del mes crítico	Necesidades diarias (mm/día)
CEBADA	MAYO	139,04	31	4,49
TRIGO	MAYO	148,75	31	4,80
GUISANTE VERDE	ABRIL	133,78	30	4,46
GIRASOL	JULIO	236,68	31	7,63
ALFALFA	JULIO	177,00	31	5,71
RAY-GRASS	JUNIO	148,14	30	4,94
MAÍZ	JULIO	246,97	31	7,97
MAÍZ 2ª cosecha tras guisante	AGOSTO	209,33	31	6,75
MAÍZ 2ª cosecha tras cebada	AGOSTO	207,58	31	6,70

Tabla.23. Necesidades diarias de los cultivos seleccionados, en mm/día, obtenidas a partir de los valores de las necesidades mensuales en los meses más críticos y los días de estos.

3.4.1. Espaciamiento entre riegos o Periodo de riego

El **espaciamiento entre riegos o periodo de riego** se define como el tiempo que ha de transcurrir entre dos riegos consecutivos en una misma parcela.

El periodo de riego se define con la letra “T”, se mide en días y resulta del cociente entre la dosis útil y las necesidades netas.

Así pues, se expresa con la siguiente fórmula:

$$T = D_u / N_n \quad [11]$$

Siendo; T = Espaciamiento entre riegos o periodo de riego (días), D_u = Dosis útil de riego (mm/riego) y N_n = Necesidades netas del cultivo en el mes de máximas necesidades o mes crítico (mm/día).

Aplicando la expresión anterior, y sustituyendo los datos por los valores de dosis útil de riego y necesidades netas diarias de los cultivos en los meses críticos, se obtiene la siguiente tabla:

CULTIVO	D _u (mm/mes)	Necesidades diarias (mm/día)	T (días)
CEBADA	27,35	4,49	6
TRIGO	24,31	4,80	5
GUISANTE VERDE	12,15	4,46	3
GIRASOL	27,35	7,63	4
ALFALFA	36,46	5,71	6
RAY-GRASS	18,23	4,94	4
MAÍZ	18,23	7,97	2
MAÍZ 2 ^a cosecha tras guisante	18,23	6,75	3
MAÍZ 2 ^a cosecha tras cebada	18,23	6,70	3

Tabla.24. Espaciamiento entre riegos o periodo de riego (T) de los cultivos seleccionados, en días, obtenido a partir de los valores de dosis útil y las necesidades diarias en los meses más críticos.

3.4.2. Número de riegos por mes

El **número de riegos por mes**, “n”, es el cociente entre los días del mes de máximas necesidades y el espaciamiento entre riegos. Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$n = \frac{N}{T} \quad [12]$$

Siendo; n = número de riegos por mes (riegos/mes), N = Número de días del mes de máximas necesidades (días) y T = Espaciamiento entre riegos (días).

Aplicando la expresión anterior, se obtienen los siguientes valores:

CULTIVO	N (días)	T (días)	n (riegos/mes)
CEBADA	31	6	5
TRIGO	31	5	6
GUISANTE VERDE	30	3	11
GIRASOL	31	4	9
ALFALFA	31	6	5
RAY-GRASS	30	4	8
MAÍZ	31	2	14
MAÍZ 2ª cosecha tras guisante	31	3	11
MAÍZ 2ª cosecha tras cebada	31	3	11

Tabla.25.Número de riegos por mes (n) de los cultivos seleccionados, obtenido a partir de los valores de días del mes crítico (N) y periodo de riego (T).

3.4.3. Densidad de aspersión o intensidad de aspersión

La **densidad de aspersión**, también llamada **intensidad de aspersión o lluvia** “i”, se define como la cantidad de agua (caudal) aportada por un aspersor por unidad de superficie y hora.

La intensidad de aspersión (i) no va referida a la superficie mojada, si no a una superficie regada (S_a) por un aspersor con un determinado caudal nominal (q).

La densidad de aspersión se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$i = \frac{q}{S_a} \quad [13]$$

Siendo; i = Intensidad de lluvia o densidad de aspersión (mm/h), q = Caudal nominal del aspersor (L/h) y S_a = Superficie regada asignada a cada aspersor (m^2).

La superficie regada (S_a) es distinta a la superficie mojada ($A = \pi r^2$). Así pues la superficie regada es:

$$S_a = S_m \cdot S_I \quad [14]$$

Siendo; S_a = Superficie regada del aspersor (m^2), S_m = Separación entre laterales (m) y S_I = Separación entre dos aspersores consecutivos dentro de un lateral (m).

Se opta por un marco de plantación de los aspersores de 18 x 18T, por lo que se obtiene una **superficie regada** del aspersor de **324 m²**.

$$S_a = 18 \cdot 18 = 324 m^2$$

El **caudal del aspersor**, descrito en el anexo 6, es de **1790 L/h**.

Aplicando la fórmula [13], y sustituyendo los datos por los valores de $S_a = 324 m^2$ y $q = 1800 L/h$, se obtiene una **densidad de aspersión de 5,52 mm/h**.

$$i = \frac{1790}{324} = 5,52 mm/h$$

Todos los sistemas de riego deben tener una densidad de aspersión comprendida entre 5 y 7 mm/h. Además esta debe ser menor que la permeabilidad máxima del suelo o velocidad de infiltración, para evitar escorrentía.

En suelos franco-arenosos esta permeabilidad es de 10,9 mm/h, por lo que el resultado obtenido ($i = 5,52 \text{ m/h} < V_{\text{Infiltración}} = 10,9 \text{ mm/h}$) se encuentra dentro de los valores recomendados.

3.4.4. Duración del riego

La **duración del riego** puede definirse como el tiempo que debe estar en funcionamiento un aspersor para aportar al suelo la dosis real de riego.

El cálculo de la duración del riego (T_r) se hace mediante la siguiente fórmula:

$$T_r = \frac{D_r}{i} \quad [15]$$

Siendo; T_r = Duración del riego (horas/riego), D_r = Dosis real de riego (mm/riego) e i = Densidad de aspersión (mm/h).

Aplicando la expresión anterior, y sustituyendo los datos por los valores de dosis real de riego y densidad de aspersión (5,52 mm/h), se obtiene la siguiente tabla para los diferentes cultivos seleccionados:

CULTIVO	D_r (mm/riego)	i (mm/h)	T_r (horas/riego)	T_r (tiempo /riego)
CEBADA	40,22	5,52	7,29	7 h y 17 min
TRIGO	35,75	5,52	6,48	6 h y 29 min
GUISANTE VERDE	17,87	5,52	3,24	3 h y 14 min
GIRASOL	40,22	5,52	7,29	7 h y 17 min
ALFALFA	53,62	5,52	9,71	9 h y 43 min
RAY-GRASS	26,81	5,52	4,86	4 h y 52 min
MAÍZ	26,81	5,52	4,86	4 h y 52 min
MAÍZ 2ª cosecha tras guisante	26,81	5,52	4,86	4 h y 52 min
MAÍZ 2ª cosecha tras cebada	26,81	5,52	4,86	4 h y 52 min

Tabla.26. Duración del riego (T_r) de los cultivos seleccionados, obtenida a partir de los valores de dosis real (D_r) y densidad de aspersión (i).

Estos valores de duración obtenidos son orientativos, ya que todos los datos son teóricos, incluida la densidad de aspersión calculada, que no coincide con la del propio aspersor elegido para la puesta en riego, que viene dada por el fabricante.

3.4.5. Caudal a la entrada de la cobertura

El **caudal ficticio continuo** representa las necesidades reales de riego calculadas mes a mes (para todo el periodo de riegos) y expresadas en forma de caudal continuo, es decir, en litro/segundo y hectárea.

En particular, al caudal ficticio continuo del mes de máximas necesidades o mes crítico del cultivo más exigente se le llama **caudal característico** y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$q_c = \frac{N_n}{E_a} \cdot \frac{1}{8,64 \cdot N} \quad [16]$$

Siendo; q_c = Caudal característico (L/s·Ha), N_n = Necesidades netas del cultivo más exigente en el mes crítico (mm/mes), E_a = Eficiencia de aplicación del sistema de riego (en tanto por uno) y N = Número de días del mes crítico.

En este caso, el cultivo más exigente es el maíz, con una ET_C de 246,97 mm y unas necesidades netas de 230,66 mm/mes en el mes de julio.

Aplicando la expresión anterior, y sustituyendo los datos por los valores de necesidades netas del maíz en el mes de julio (230,66 mm/mes), eficiencia de aplicación (0,68) y número de días del mes crítico (31 días); se obtiene un **caudal característico de 1,27 L/s·Ha**.

$$q_c = \frac{230,66}{0,68} \cdot \frac{1}{8,64 \cdot 31} = 1,27 \text{ L/s} \cdot \text{Ha}$$

Este caudal ficticio calculado no se aplica realmente a través del sistema de riego, ya que considera que la instalación riega de forma continua durante todo el mes crítico, es decir supone hábiles todos los días del mes.

Al se considerar 3 días hábiles de riego por cada 4 días del mes, el valor del caudal ficticio continuo debe aumentarse un 25%, por lo que éste es, realmente, de **1,59 L/s·Ha**.

El **caudal continuo en la parcela**, directamente relacionado con el caudal en toma, se obtiene multiplicando el caudal característico por la superficie de la parcela.

$$Q_c = S \cdot q_c \quad [17]$$

Siendo; Q_c = Caudal continuo en la parcela (L/s), S = Superficie de la parcela (Ha) y q_c = Caudal característico (L/s·Ha).

Aplicando la fórmula [17], y sustituyendo los datos por los valores de $q_c = 1,59$ L/s·Ha y $S = 19,17$ Ha, se obtiene un **caudal continuo para la parcela de estudio de 30,48 L/s**.

$$Q_c = 19,17 \cdot 1,59 = 30,48 L/s$$

3.5. Organización del riego

Para la organización del riego nos vamos a centrar en los siguientes factores:

- El **cultivo más exigente**, es decir el que tiene mayores necesidades hídricas, es el **maíz**, con una ET_C de 246,97 mm/mes en el mes de julio.
- El **periodo de tiempo crítico**, es decir con mayores necesidades hídricas, es **julio**, con unas **necesidades netas de Nn = 230,66 mm/mes** para el maíz.
- El **número de riegos teóricos** a aportar en dicho mes es de **n = 14 riegos**.
- La **dosis real de riego** es de **D_r = 26,81 mm/riego**.

- La **duración del riego** es de $T_r = 4,86 \text{ h}$ / riego = **4 horas y 52 min.**
- La **densidad de aspersión** es de $i = 5,52 \text{ mm/h}$ tanto para los aspersores circulares como para los aspersores sectoriales.
- El **Caudal continuo para la parcela de estudio** es de $Q_c = 30,48 \text{ L/s.}$

El riego se organiza a la demanda, se comienza a regar primeramente por el módulo de riego más lejano, y una vez éste ha finalizado se comienza a regar el siguiente, y así sucesivamente hasta el último.

Por tanto, según los cálculos teóricos y conociendo que la duración del riego para el maíz es de 4,86 horas, suponiendo que se riega todo el día, se pueden regar unos 4,94 sectores y teniendo en cuenta que el espaciamiento entre riegos es de 2 días, se obtiene un total de **10 módulos de riego** funcionando durante todo el mes crítico.

3.5.1. Número teórico de aspersores por módulo de riego

El sistema de riego a dimensionar debe poder permitir el funcionamiento individual de un módulo, y una vez acabado este módulo comenzará el siguiente módulo y así sucesivamente ya que se trata de un sistema de riego a la demanda.

A la hora de determinar el número máximo de aspersores por unidad de riego, se considerará como unidad de riego el conjunto de todos los aspersores abastecidos por una misma toma de riego. Para establecer dicho número de aspersores por unidad de riego o módulo se calculará de forma que se puedan regar todos los sectores cubriendo todas las necesidades de cada cultivo.

Así pues, para saber el número de aspersores por módulo se establece una división entre el caudal continuo necesario para toda la parcela de estudio ($Q_c = 30,48 \text{ L/s.}$) y el caudal emitido por el aspersor, descrito en el anexo 6 ($1790 \text{ L/h} = 0,4972 \text{ L/s.}$).

$$n^{\circ} \text{ aspersores / módulo} = \frac{Q_c}{Q_{aspesor}} \quad [18]$$

Por lo que el resultado son unos **62 aspersores por módulo de riego.**

El número de módulos y el número de aspersores por módulo es teórico, hace falta tener en cuenta la forma y geometría de la parcela, y también la división de los sectores de riego. El resultado real de número de módulos de riego y aspersores se obtiene en el siguiente anexo, cálculo hidráulico.

También se puede saber el número de aspersores por módulo estableciendo una división entre el número de aspersores totales y el número de módulos de riego, calculado en el apartado anterior.

Número máximo de aspersores:

$$n^{\circ} \text{ aspersores max} = \frac{S_{total}}{S_a} \quad [19]$$

Sustituyendo los valores en la fórmula anterior, se obtienen **592 aspersores totales.**

$$n^{\circ} \text{ aspersores max} = \frac{191700}{324} = 591,66 = 592$$

Numero de aspersores por módulo de riego:

$$n^o \text{ aspersores / módulo} = \frac{n^o \text{ aspersores}_{totales}}{n^o \text{ módulos}} \quad [20]$$

Sustituyendo los valores en la fórmula anterior, se obtienen **60 aspersores por módulo**, valor similar al obtenido mediante la fórmula [18].

ANEJO 8

Cálculo hidráulico de la red de riego

Anejo 8: Cálculo hidráulico de la red de riego

ÍNDICE

1. Introducción.....	2
2. Distribución de caudales en la red de riego y número de módulos en la red de riego .	2
3. Elección de materiales	3
3.1. Diámetros comerciales.....	4
3.2. Timbrado de las tuberías.....	6
3.3. Uniones	6
3.4. Sobrepresiones en la red de riego	6
4. Cálculo hidráulico de la red de riego	7
4.1. Método de cálculo utilizado.....	8
4.2. Cálculo de las pérdidas de carga en los laterales de riego y en las tuberías terciarias	9
4.2.1. Cálculo en los módulos de riego	9
4.2.2. Pérdidas de carga en los laterales de riego y en los porta-aspersores.	11
4.2.3. Cálculo de las tuberías terciarias.....	12
4.2.4. Cálculo de las tuberías secundarias	26
5. Movimiento de tierras.....	28
5.1. Definición de zanjas.....	28
5.2. Excavación de la zanja de los laterales de riego	29
5.3. Excavación de la zanja de las tuberías terciarias	29
5.4. Excavación de la zanja de las tuberías secundarias	30
5.5. Excavación de la zanja de la tubería primaria	30
5.6. Resumen del movimiento de tierras.....	30

1. Introducción

En el presente anexo se van a calcular las pérdidas de carga que existen en la red de riego y así como el dimensionamiento de la red. Para realizar estos cálculos utilizamos una hoja Excel que abarca todas las fórmulas a utilizar.

Primero calcularemos las pérdidas de carga en cada módulo de riego, dividiéndolo en sus correspondientes sectores (tuberías terciarias). Posteriormente calcularemos las tuberías secundarias que van desde los módulos hasta el hidrante o toma de riego.

Solo calcularemos el tramo con mayores pérdidas de carga (el último lateral de riego de cada módulo) y el resto de los tramos tendrán el mismo diámetro obtenido para el tramo crítico.

2. Distribución de caudales en la red de riego y número de módulos en la red de riego

El sistema de riego a dimensionar debe permitir el funcionamiento individual de un módulo, y una vez que ha acabado éste comience el siguiente módulo y así sucesivamente, ya que se trata de un riego con cobertura total a la demanda.

Para establecer el número de aspersores por unidad de riego se calculará de forma que se pueda regar todos los sectores cubriendo las necesidades de cada cultivo.

El cultivo que requiere unas mayores necesidades es el maíz, que según lo expuesto en el Anejo 7, tiene un intervalo entre riegos de 2 días, por lo que en teoría habrá que regar la totalidad de la parcela en 2 días. Debido a la experiencia en otros proyectos con estos cultivos y en la zona en cuestión, se aconseja tomar como intervalo entre riegos 4 días, ya que se sabe que tiene buen funcionamiento y además no se sobredimensiona la red de riego.

Por lo tanto con un intervalo de riego de 4 días, los aspersores que tenemos por módulo de riego y sus caudales son los siguientes:

Módulos	Nº de aspersores totales	Caudal aspersor (L/h)	Caudal total en el módulo (L/s)
1	60	1790	29,83
2	64	1790	31,82
3	67	1790	33,31
4	66	1790	32,82
5	67	1790	33,31
6	66	1790	32,82
7	67	1790	33,31
8	66	1790	32,82
9	67	1790	33,31
10	77	1790	38,29

Tabla.1. Características de los módulos de riego.

Se puede observar que el módulo que más caudal requiere es el módulo 10, el cual necesita en total **38,29 l/s.**

A cada módulo es asignado un número y dentro de cada módulo se encuentran una serie de submódulos, a los cuales se les asigna el número del módulo al que corresponden y una letra, según la posición en la que se encuentran dentro de cada módulo.

3. Elección de los materiales

Los materiales utilizados en la red de distribución son el polietileno (PE) de alta densidad, para los laterales de riego y el policloruro de vinilo (PVC) para las tuberías, tanto secundarias, terciarias y tubería primaria.

La elección de materiales plásticos como el polietileno y el policloruro de vinilo para la red de riego se justifican por sus características:

- El polietileno presenta la ventaja de ser flexible, con lo que puede amoldarse a las curvas sin perder sección útil.
- El funcionamiento hidráulico de estos plásticos presenta coeficientes de fricción bajos, reduciendo los diámetros de las tuberías.

- Presentan una gran facilidad de reparación ya que existe una gran cantidad de piezas especiales en el mercado que facilitan estas operaciones.
- Las tuberías plásticas permiten el montaje fuera de zanja, con lo que el coste del mismo es mínimo.

3.1. Diámetros comerciales

Los diámetros comerciales existentes de tubería de **PVC** según la norma U.N.E. 53-112 son:

PVC	Serie de presiones nominales			
	0,4 MPa	0,6 MPa	1 MPa	1,6 MPa
Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)
16	-	-	-	13,6
20	-	-	-	17,0
25	22,6	22,6	22,0	21,2
32	29,6	29,6	20,4	27,2
40	37,2	36,4	36,0	34,0
50	47,2	46,4	45,2	42,6
63	59,4	59,2	57,0	53,6
75	71,4	70,6	67,8	63,8
90	86,4	86,6	81,4	76,6
110	105,6	103,6	99,4	93,6
125	120,0	117,6	113,0	106,4
140	134,4	131,8	126,6	119,2
160	153,6	150,6	144,6	136,2
180	172,8	169,4	162,8	153,2
200	192,0	188,2	180,8	170,4
250	240,2	235,4	226,2	213,0
315	302,6	296,6	285,0	268,2
400	384,2	376,6	361,8	340,6
500	480,4	470,8	452,2	425,8

Tabla.2. Diámetros comerciales para tuberías de PVC.

Los diámetros comerciales existentes de tubería de PE son:

PE	Serie de presiones nominales			
	0,4 MPa	0,6 MPa	1 MPa	1,6 MPa
Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (mm)
25	-	-	21,00	20,4
32	-	-	28,00	26,2
40	-	36	35,2	32,6
50	-	46	44,0	40,8
63	-	58,2	55,4	51,4
75	-	69,2	66,0	61,4
90	-	83	79,2	73,6
110	-	101,6	96,8	90,0
125	118,8	115,4	110,2	102,2
140	133,0	129,2	123,4	114,6
160	152,0	147,6	141,0	127,6
180	171,2	166,2	158,6	150,8
200	190,2	184,6	176,2	163,6
225	118,0	207,8	198,2	184,0
250	237,6	230,8	220,4	204,6
280	266,2	258,6	246,8	229,2
315	299,6	290,8	277,6	257,8
355	337,6	327,8	312,8	290,4
400	380,4	369,4	352,6	327,2
450	428,0	415,6	396,6	368,0
500	475,4	461,8	440,8	409,0
560	532,6	517,2	493,6	458,2
630	599,2	581,8	555,2	515,4
710	675,2	655,6	626,0	-
800	760,8	738,8	705,2	-
900	856,0	830,6	794,2	-
1000	951,2	923	882,4	-
1200	1141,4	1107,6	-	-

Tabla.3. Diámetros comerciales para tuberías de PE.

3.2. Timbrado de las tuberías

La presión máxima de la red para el correcto funcionamiento del sistema será de 45 m.c.a., mientras que la presión mínima será de unos 30 m.c.a. en la base de los aspersores.

Por lo tanto el **timbrado** que se adopta para todas las tuberías es de **6 atm** (6 kg/cm²), es decir **tuberías de presión nominal 0,6 MPa**.

Con este timbrado se pretende proteger la red de las posibles sobrepresiones, generadas por la circulación del agua y el suelo que cubrirá las tuberías.

3.3. Uniones

Todas las series comerciales de **tubería de PVC** disponen de tres tipos de unión: junta elástica, adhesivo y unión roscada. En este caso se opta por la **unión mediante junta elástica**, por su fácil montaje y buena estanqueidad.

Las **tuberías de PE** deberán ser unidas mediante soldadura por termofusión o por accesorios de ajuste mecánico. En caso de utilizar **accesorios o uniones con junta elástica sin resistencia axial**, debido al alto coeficiente de dilatación de la tubería, deberá preverse que no pueda producirse desacople de la unión.

3.4. Sobrepresiones en la red de riego

La red de riego ha de aguantar las sobrepresiones generadas en el transcurso del agua, además de las presiones estáticas existentes. Las causas más importantes por las que se generan estas sobrepresiones son las siguientes:

- Cierre de válvulas de mariposa que aíslan los ramales.
- Cierre de un hidrante.
- Acumulación de aire en la red.

- Llenado de la red.

Las medidas de seguridad que se toman para evitar o reducir las posibles sobrepresiones son las siguientes:

- Para evitar la sobrepresión por el cierre rápido de las válvulas (golpe de ariete) se colocan válvulas de cierre lento.
- Para evitar las acumulaciones de aire en las conducciones se colocan ventosas en los puntos más altos de la conducción.
- Para evitar fuertes sobrepresiones en el llenado de la red, el caudal se limitará a 1/10 del caudal nominal.

4. Cálculo hidráulico de la red de riego

En primer lugar se fija la velocidad del agua circulante por las tuberías en 2 m/s obteniendo de esta forma un diámetro de predimensionado mediante la **ecuación de continuidad:**

$$Q = A \cdot V = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4} \right) \cdot V \quad [1]$$

Siendo; Q = Caudal, D = Diámetro de la conducción y V = Velocidad del fluido.

Con este diámetro se elige el diámetro comercial de la tubería cuyo diámetro interior se ajuste al obtenido en el predimensionado.

A partir de aquí se calculan las pérdidas de carga por rozamiento continuo en la tubería.

4.1. Método de cálculo utilizado

Para el **cálculo de las pérdidas de carga** en la tubería por rozamiento continuo se utiliza la fórmula general propuesta por **Darcy-Weisbach**, que responde a la siguiente expresión:

$$hr = J \cdot L = f \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad [2]$$

Siendo; hr = Pérdidas de carga por rozamiento continuo (m.c.a), J = Pérdida de carga unitaria (m/m), L = Longitud de la conducción (m), f = Factor de fricción, V = Velocidad del fluido dentro de la tubería (m/s), D = Diámetro interior de la conducción (m) y g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

El **factor de fricción f** se ha calculado con la fórmula logarítmica de **Jain** para régimen turbulento en zona de transición:

$$\sqrt{f} = -2 \log \left(\frac{5,73}{Re^{0,9}} \right) + \frac{K}{(3,71 \cdot D)} \quad [3]$$

Siendo; Re = Número de Reynolds, K = Rugosidad absoluta de la conducción que depende del tipo de material de que se trate (mm) (Para el PE $K=0,002$ y para PVC $K= 0,02$ mm) y D = Diámetro de la conducción (mm).

Pérdidas de carga accidentales o singulares

Los elementos singulares dispuestos a lo largo de la red de distribución de agua provocan también una pérdida de carga en la conducción.

Esta pérdida se denomina **pérdida de carga singular (h_s)**, para su cálculo se ha mayorado la **pérdida de carga por rozamiento en un 20%** (se ha tomado este valor basándose en la experiencia de otros proyectos).

4.2. Cálculo de las pérdidas de carga en los laterales de riego y en las tuberías terciarias

4.2.1. Cálculo en los módulos de riego

Los módulos pertenecen a un sistema fijo de cobertura total enterrada, su dimensionado debe hacerse siguiendo la **regla de Christiansen** a todo el conjunto de tuberías que funcionan simultáneamente. Esta regla establece que “*la variación máxima de caudal entre dos aspersores de una unidad de riego ha de ser menor o igual al 10% del caudal nominal del aspersor*”.

Esta regla llevada a la relación entre caudal y presión indica que la variación máxima de presión entre dos aspersores dentro de la misma unidad de riego no puede superar el 20% de la presión nominal del aspersor.

Estos módulos están constituidos por una tubería central, que es la **tubería terciaria de PVC**, con tramos telescópicos en función del caudal a transportar de distancias variables según el caso.

A ambos lados lleva laterales de riego de **PEBD Ø 32** en los cuales se colocan los porta-aspersores.

Para calcular las pérdidas de carga en cada módulo se ha seguido el siguiente procedimiento:

1. Se aplica la **regla de Christiansen** indicada anteriormente, así se determina la variación máxima de presión admisible en la unidad de riego.

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = 0,2 \cdot \frac{P_N}{\gamma} = 0,2 \cdot 30 \text{mca} = 6 \text{mca} \quad [4]$$

2. Se determinan las causas de la variación de presión en la unidad de riego. Las causas de la ΔP son las pérdidas de carga y la diferencia de cotas pero en este caso solo afecta a la variación de presión las pérdidas de carga.

De esta forma se determinan las pérdidas de carga admisibles:

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = (a \cdot h_r)_{UD} \quad [5]$$

En este caso se igualan las dos expresiones anteriores, y entonces la pérdida de carga total admisible en la unidad de riego es de:

$$(a \cdot h_r)_{UD} = 6 \text{mca} \quad [6]$$

Tomando z positiva cuando la pendiente es ascendente y z negativa cuando la pendiente es descendente.

3. Se trasladan las pérdidas de carga admisibles en la unidad a las tuberías que forman los laterales de riego y la tubería terciaria.

$$(a \cdot hr)_{UD} = (a \cdot hr)_{TT} + (a \cdot hr)_{LR} = 6 \text{mca} \quad [7]$$

A partir de esta fórmula y una vez conocidas las pérdidas de carga en los laterales de riego obtenemos las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria por rozamiento continuo.

Las pérdidas de carga en el lateral de riego vienen determinadas por el diámetro de la tubería de la instalación que es el PE Ø 32 con un **diámetro interior de 28 mm**. Estas pérdidas se calculan utilizando la **ecuación de continuidad** de donde se determina la **velocidad del agua**, calculando **el número de Reynolds**, y posteriormente se determina el **factor de fricción** mediante la **fórmula logarítmica de Jain**. Una vez conocido todo lo anterior se calculan **las pérdidas de carga** mediante la ecuación de **Darcy-Weisbach**.

4. Una vez determinadas las pérdidas de carga en el último lateral de riego y conocida la perdida de carga admisible en la unidad, se obtienen las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria.
5. Determinadas las pérdidas de carga máximas en la tubería terciaria y conociendo la longitud de cada módulo se calcula la pérdida de carga unitaria.
6. A partir de la perdida de carga unitaria, se procede al cálculo hidráulico de la tubería terciaria tramo a tramo.

4.2.2. Pérdidas de carga en los laterales de riego y en los porta-aspersores.

Las **pérdidas de carga en los porta-aspersores** se calculan utilizando la **fórmula de Scobey**, que es la indicada en el caso de tuberías de acero y aluminio. De esta forma las pérdidas de carga que se presentan en un porta-aspersor son:

$$hr = 0,717 \cdot K \cdot L \cdot \left[\frac{Q^{1,9}}{D^{4,9}} \right] \quad [8]$$

Siendo; hr = Pérdida de carga (m.c.a), K = Coeficiente para acero = 0,42, D = Diámetro hidráulico (mm), Q = Caudal (L/h) y L = Longitud de la tubería (en el caso del porta- aspersor) (m).

Sustituyendo los valores correspondientes en la expresión anterior, con los datos que nos facilita el fabricante del aspersor elegido en el Anejo 6:

$$hr = 0,717 \cdot 0,42 \cdot 2,4 \cdot \left[\frac{1790^{1,9}}{19^{4,9}} \right] = 0,59 \text{ mca}$$

A este valor hay que sumarle la altura del porta-aspersor que es de 2,4 m por lo que las pérdidas de carga totales en los porta-aspersores es de **hr = 2,99 m.c.a.**

Para calcular los valores del cálculo de las pérdidas de carga en los últimos laterales de riego, las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria, así como el valor de la pendiente hidráulica se tiene en cuenta:

- Diámetro interior = 28 mm
- Sección transversal = 6,16E-04
- K para el PE = 0,002
- V agua (15 °C) = 1,14 E-06
- a = 1,2

4.2.3. Cálculo de las tuberías terciarias

Para el cálculo de las tuberías terciarias de cada módulo, se ha tenido en cuenta el cumplimiento de **la regla de Christiansen**, por lo que la máxima pérdida de carga admisible en la unidad de riego no debe ser mayor del 20% de la presión nominal del aspersor.

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = 0,2 \cdot \frac{P_N}{\gamma} = 0,2 \cdot 30 \text{ mca} = 6 \text{ mca} \quad [9]$$

Se determinan las causas de la variación de presión en la unidad de riego. Las causas de la ΔP son las pérdidas de carga y la diferencia de cotas, pero en este caso al tratarse de una parcela llana, solo afecta a la variación de presión las pérdidas de carga. De esta manera se determinan las pérdidas de carga admisibles en la unidad de riego.

$$\left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)_{UD} = (a \cdot hr)_{UD} \quad [10]$$

En este caso se igualan las dos expresiones anteriores, y entonces la pérdida de carga total admisible en la unidad de riego es de:

$$(a \cdot hr)_{UD} = 6mca \quad [11]$$

Se trasladan las pérdidas de carga admisibles en la unidad a las tuberías que forman los laterales de riego y la tubería terciaria.

$$(a \cdot hr)_{UD} = (a \cdot hr)_{TT} + (a \cdot hr)_{LR} = 6mca \quad [12]$$

A partir de esta fórmula y una vez conocidas las pérdidas de carga en los laterales de riego obtenemos las pérdidas de carga admisibles en la tubería terciaria por rozamiento continuo.

$$(Hr \max)_{TT} = (a \cdot hr) / 1,2 \quad [13]$$

Los resultados del cálculo de las pérdidas de carga por rozamiento continuo en cada uno de los módulos, se adjuntan a continuación:

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
1	1A	1	18	0,04861	0,87498	2	1796	3592	3592	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,5901	2,40E+04	0,025792524	0,1776	0,8750	0,6974
		2	18	0,04861	0,87498	2	1796	3592	7184	63	59,2	0,02	1,14E-06	0,7250	37648,4745	0,02326987	0,1895	0,8750	0,6854
		3	18	0,04861	0,87498	2	1976	3952	11136	75	70,6	0,02	1,14E-06	0,7902	48935,86707	0,021939829	0,1780	0,8750	0,6970
		4	18	0,04861	0,87498	2	1976	3952	15088	90	86,6	0,02	1,14E-06	0,7115	54052,59514	0,021335243	0,1144	0,8750	0,7605
		5	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	21016	90	86,6	0,02	1,14E-06	0,9911	75289,59037	0,020080514	0,2090	0,8750	0,6660
		6	18	0,04861	0,87498	2	1976	3952	24968	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1775	89447,58719	0,019498185	0,2864	0,8750	0,5886
		7	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	30896	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,0181	92522,05442	0,019200145	0,1762	0,8750	0,6987
		8	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	36824	125	117,6	0,02	1,14E-06	0,9417	97146,33184	0,018922056	0,1309	0,8750	0,7441
																1,4621		5,5378	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
1	1B	1	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	7184	63	59,2	0,02	1,14E-06	0,7250	37648,4745	0,02326987	0,1895	0,7776	0,5881
		2	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	14368	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,0195	63138,51814	0,020938637	0,2828	0,7776	0,4948
		3	18	0,0432	0,7776	5	1796	8980	23348	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1011	83643,95489	0,019719454	0,2533	0,7776	0,5243
		4	18	0,0432	0,7776	5	1796	8980	32328	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,5246	115814,7068	0,018708109	0,4607	0,7776	0,3169
		5	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	39512	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,3020	118323,777	0,01843634	0,2768	0,7776	0,5008
		6	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	30532	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,0061	91432,0095	0,019239132	0,1725	0,7776	0,6051
		7	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	35920	125	117,6	0,02	1,14E-06	0,9186	94761,46643	0,019003645	0,1251	0,7776	0,6525
		8	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	41308	140	131,8	0,02	1,14E-06	0,8410	97234,75508	0,018822048	0,0927	0,7776	0,6849
		9	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	46696	140	131,8	0,02	1,14E-06	0,9507	109917,5492	0,01842683	0,1159	0,7776	0,6617
																1,9692		5,0292	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
2	2A	1	18	0,04861	0,87498	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,8750	0,5070
		2	18	0,04861	0,87498	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,8750	0,3510
		3	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	18500	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,3127	81296,11537	0,02005532	0,4491	0,8750	0,4259
		4	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	26404	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,2452	94592,0415	0,019318916	0,3173	0,8750	0,5576
		5	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	24428	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1520	87513,04309	0,019569554	0,2751	0,8750	0,5998
		6	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	32332	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,5248	115829,0367	0,018707754	0,4608	0,8750	0,4142
		7	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	38260	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2608	114574,5016	0,018531509	0,2608	0,8750	0,6141
		8	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	46164	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,5212	138244,0484	0,017996115	0,3688	0,8750	0,5062
																3,0240		3,9759	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
2	2B	1	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,7776	0,4096
		2	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,7776	0,2536
		3	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	17960	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,2744	78923,14768	0,020153472	0,4253	0,7776	0,3523
		4	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		5	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,4399	109380,5564	0,018874661	0,4146	0,7776	0,3630
		6	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		7	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,0061	91432,0095	0,019239132	0,1725	0,7776	0,6051
		8	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	37716	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2428	112945,4235	0,018574292	0,2541	0,7776	0,5235
		9	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	43104	125	117,6	0,02	1,14E-06	1,1023	113713,7597	0,01842537	0,1747	0,7776	0,6029
																2,9133		4,0851	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
3	3A	1	18	0,04861	0,87498	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,8750	0,5070
		2	18	0,04861	0,87498	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,8750	0,3510
		3	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	18500	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,3127	81296,11537	0,02005532	0,4491	0,8750	0,4259
		4	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	26404	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,2452	94592,0415	0,019318916	0,3173	0,8750	0,5576
		5	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	24428	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1520	87513,04309	0,019569554	0,2751	0,8750	0,5998
		6	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	32332	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,5248	115829,0367	0,018707754	0,4608	0,8750	0,4142
		7	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	38260	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2608	114574,5016	0,018531509	0,2608	0,8750	0,6141
		8	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	46164	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,5212	138244,0484	0,017996115	0,3688	0,8750	0,5062
															3,0240			3,9759	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
3	3B	1	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,7776	0,4096
		2	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,7776	0,2536
		3	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	17960	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,2744	78923,14768	0,020153472	0,4253	0,7776	0,3523
		4	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		5	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,4399	109380,5564	0,018874661	0,4146	0,7776	0,3630
		6	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		7	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,0061	91432,0095	0,019239132	0,1725	0,7776	0,6051
		8	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	37716	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2428	112945,4235	0,018574292	0,2541	0,7776	0,5235
		9	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	43104	125	117,6	0,02	1,14E-06	1,1023	113713,7597	0,01842537	0,1747	0,7776	0,6029
															2,9133			4,0851	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
4	4A	1	18	0,04861	0,87498	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,8750	0,5070
		2	18	0,04861	0,87498	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,8750	0,3510
		3	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	18500	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,3127	81296,11537	0,02005532	0,4491	0,8750	0,4259
		4	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	26404	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,2452	94592,0415	0,019318916	0,3173	0,8750	0,5576
		5	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	24428	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1520	87513,04309	0,019569554	0,2751	0,8750	0,5998
		6	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	32332	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,5248	115829,0367	0,018707754	0,4608	0,8750	0,4142
		7	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	38260	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2608	114574,5016	0,018531509	0,2608	0,8750	0,6141
		8	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	46164	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,5212	138244,0484	0,017996115	0,3688	0,8750	0,5062
															3,0240			3,9759	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
4	4B	1	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,7776	0,4096
		2	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,7776	0,2536
		3	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	17960	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,2744	78923,14768	0,020153472	0,4253	0,7776	0,3523
		4	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		5	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,4399	109380,5564	0,018874661	0,4146	0,7776	0,3630
		6	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		7	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,0061	91432,0095	0,019239132	0,1725	0,7776	0,6051
		8	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	37716	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2428	112945,4235	0,018574292	0,2541	0,7776	0,5235
		9	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	43104	125	117,6	0,02	1,14E-06	1,1023	113713,7597	0,01842537	0,1747	0,7776	0,6029
															2,9133			4,0851	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
5	5A	1	18	0,04861	0,87498	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,8750	0,5070
		2	18	0,04861	0,87498	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,8750	0,3510
		3	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	18500	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,3127	81296,11537	0,02005532	0,4491	0,8750	0,4259
		4	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	26404	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,2452	94592,0415	0,019318916	0,3173	0,8750	0,5576
		5	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	24428	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1520	87513,04309	0,019569554	0,2751	0,8750	0,5998
		6	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	32332	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,5248	115829,0367	0,018707754	0,4608	0,8750	0,4142
		7	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	38260	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2608	114574,5016	0,018531509	0,2608	0,8750	0,6141
		8	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	46164	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,5212	138244,0484	0,017996115	0,3688	0,8750	0,5062
															3,0240			3,9759	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
5	5B	1	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,7776	0,4096
		2	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,7776	0,2536
		3	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	17960	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,2744	78923,14768	0,020153472	0,4253	0,7776	0,3523
		4	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		5	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,4399	109380,5564	0,018874661	0,4146	0,7776	0,3630
		6	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		7	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,0061	91432,0095	0,019239132	0,1725	0,7776	0,6051
		8	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	37716	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2428	112945,4235	0,018574292	0,2541	0,7776	0,5235
		9	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	43104	125	117,6	0,02	1,14E-06	1,1023	113713,7597	0,01842537	0,1747	0,7776	0,6029
															2,9133			4,0851	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
6	6A	1	18	0,04861	0,87498	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,8750	0,5070
		2	18	0,04861	0,87498	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,8750	0,3510
		3	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	18500	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,3127	81296,11537	0,02005532	0,4491	0,8750	0,4259
		4	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	26404	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,2452	94592,0415	0,019318916	0,3173	0,8750	0,5576
		5	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	24428	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1520	87513,04309	0,019569554	0,2751	0,8750	0,5998
		6	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	32332	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,5248	115829,0367	0,018707754	0,4608	0,8750	0,4142
		7	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	38260	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2608	114574,5016	0,018531509	0,2608	0,8750	0,6141
		8	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	46164	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,5212	138244,0484	0,017996115	0,3688	0,8750	0,5062
															3,0240			3,9759	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
6	6B	1	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,7776	0,4096
		2	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,7776	0,2536
		3	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	17960	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,2744	78923,14768	0,020153472	0,4253	0,7776	0,3523
		4	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		5	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,4399	109380,5564	0,018874661	0,4146	0,7776	0,3630
		6	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		7	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,0061	91432,0095	0,019239132	0,1725	0,7776	0,6051
		8	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	37716	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2428	112945,4235	0,018574292	0,2541	0,7776	0,5235
		9	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	43104	125	117,6	0,02	1,14E-06	1,1023	113713,7597	0,01842537	0,1747	0,7776	0,6029
															2,9133			4,0851	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
7	7A	1	18	0,04861	0,87498	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,8750	0,5070
		2	18	0,04861	0,87498	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,8750	0,3510
		3	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	18500	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,3127	81296,11537	0,02005532	0,4491	0,8750	0,4259
		4	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	26404	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,2452	94592,0415	0,019318916	0,3173	0,8750	0,5576
		5	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	24428	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1520	87513,04309	0,019569554	0,2751	0,8750	0,5998
		6	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	32332	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,5248	115829,0367	0,018707754	0,4608	0,8750	0,4142
		7	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	38260	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2608	114574,5016	0,018531509	0,2608	0,8750	0,6141
		8	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	46164	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,5212	138244,0484	0,017996115	0,3688	0,8750	0,5062
																3,0240		3,9759	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
7	7B	1	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,7776	0,4096
		2	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,7776	0,2536
		3	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	17960	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,2744	78923,14768	0,020153472	0,4253	0,7776	0,3523
		4	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		5	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,4399	109380,5564	0,018874661	0,4146	0,7776	0,3630
		6	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		7	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,0061	91432,0095	0,019239132	0,1725	0,7776	0,6051
		8	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	37716	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2428	112945,4235	0,018574292	0,2541	0,7776	0,5235
		9	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	43104	125	117,6	0,02	1,14E-06	1,1023	113713,7597	0,01842537	0,1747	0,7776	0,6029
																2,9133		4,0851	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
8	8A	1	18	0,04861	0,87498	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,8750	0,5070
		2	18	0,04861	0,87498	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,8750	0,3510
		3	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	18500	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,3127	81296,11537	0,02005532	0,4491	0,8750	0,4259
		4	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	26404	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,2452	94592,0415	0,019318916	0,3173	0,8750	0,5576
		5	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	24428	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1520	87513,04309	0,019569554	0,2751	0,8750	0,5998
		6	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	32332	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,5248	115829,0367	0,018707754	0,4608	0,8750	0,4142
		7	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	38260	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2608	114574,5016	0,018531509	0,2608	0,8750	0,6141
		8	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	46164	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,5212	138244,0484	0,017996115	0,3688	0,8750	0,5062
															3,0240			3,9759	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
8	8B	1	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,7776	0,4096
		2	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,7776	0,2536
		3	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	17960	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,2744	78923,14768	0,020153472	0,4253	0,7776	0,3523
		4	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		5	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,4399	109380,5564	0,018874661	0,4146	0,7776	0,3630
		6	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		7	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,0061	91432,0095	0,019239132	0,1725	0,7776	0,6051
		8	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	37716	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2428	112945,4235	0,018574292	0,2541	0,7776	0,5235
		9	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	43104	125	117,6	0,02	1,14E-06	1,1023	113713,7597	0,01842537	0,1747	0,7776	0,6029
															2,9133			4,0851	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
9	9A	1	18	0,04861	0,87498	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,8750	0,5070
		2	18	0,04861	0,87498	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,8750	0,3510
		3	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	18500	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,3127	81296,11537	0,02005532	0,4491	0,8750	0,4259
		4	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	26404	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,2452	94592,0415	0,019318916	0,3173	0,8750	0,5576
		5	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	24428	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1520	87513,04309	0,019569554	0,2751	0,8750	0,5998
		6	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	32332	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,5248	115829,0367	0,018707754	0,4608	0,8750	0,4142
		7	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	38260	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2608	114574,5016	0,018531509	0,2608	0,8750	0,6141
		8	18	0,04861	0,87498	4	1976	7904	46164	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,5212	138244,0484	0,017996115	0,3688	0,8750	0,5062
															3,0240			3,9759	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
9	9B	1	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,7776	0,4096
		2	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	12572	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,2687	65884,83037	0,021004462	0,5240	0,7776	0,2536
		3	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	17960	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,2744	78923,14768	0,020153472	0,4253	0,7776	0,3523
		4	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		5	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,4399	109380,5564	0,018874661	0,4146	0,7776	0,3630
		6	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		7	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	30532	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,0061	91432,0095	0,019239132	0,1725	0,7776	0,6051
		8	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	37716	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2428	112945,4235	0,018574292	0,2541	0,7776	0,5235
		9	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	43104	125	117,6	0,02	1,14E-06	1,1023	113713,7597	0,01842537	0,1747	0,7776	0,6029
															2,9133			4,0851	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
10	10A ₁	1	18	0,04861	0,87498	3	1796	5388	5388	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,8851	36025,69543	0,023758191	0,3680	0,8750	0,5070
		2	18	0,04861	0,87498	3	1796	5388	10776	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,0875	56472,71175	0,021570532	0,3953	0,8750	0,4797
		3	18	0,04861	0,87498	2	1976	3952	14728	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,4863	77183,56521	0,020465533	0,7006	0,8750	0,1743
		4	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	20656	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,4657	90770,4086	0,019702132	0,5500	0,8750	0,3250
		5	18	0,04861	0,87498	2	1976	3952	18680	90	86,6	0,02	1,14E-06	0,8809	66920,8959	0,020505707	0,1686	0,8750	0,7064
		6	18	0,04861	0,87498	3	1976	5928	24608	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1605	88157,89113	0,01954551	0,2789	0,8750	0,5961
		7	18	0,04861	0,87498	2	1976	3952	28560	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,3469	102315,8879	0,019075073	0,3666	0,8750	0,5084
		8	18	0,04861	0,87498	2	1976	3952	32512	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,5333	116473,8848	0,018691821	0,4655	0,8750	0,4095
															3,2936			3,7063	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
10	10A ₂	1	18	0,0432	0,7776	2	1796	3592	3592	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,5901	24017,13028	0,025792524	0,1776	0,7776	0,6000
		2	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	8980	63	59,2	0,02	1,14E-06	0,9062	47060,59312	0,022295481	0,2838	0,7776	0,4938
		3	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	14368	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,4500	75296,949	0,020547056	0,6695	0,7776	0,1081
		4	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	19756	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,4018	86815,46244	0,019842599	0,5067	0,7776	0,2709
		5	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	25144	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,1858	90078,10527	0,01947541	0,2901	0,7776	0,4875
		6	18	0,0432	0,7776	2	1796	3592	17960	90	86,6	0,02	1,14E-06	0,8470	64341,50376	0,02065259	0,1570	0,7776	0,6206
		7	18	0,0432	0,7776	2	1796	3592	21552	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,0164	77209,80452	0,019992522	0,2188	0,7776	0,5588
		8	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	26940	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,2705	96512,25565	0,019255625	0,3293	0,7776	0,4483
		9	18	0,0432	0,7776	2	1796	3592	30532	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,4399	109380,5564	0,018874661	0,4146	0,7776	0,3630
															3,0472			3,9512	

Módulo	Submódulo	Tramo	Longitud	J (m/m)	hr admisibles	nº aspersores	Q (1 aspersor)	Q parcial	Q acumulado	Dcomercial	diámetro	K	μ	v	Re	f	HR	hr admisibles	exceso
10	10B	1	18	0,0432	0,7776	2	1796	3592	3592	50	46,4	0,02	1,14E-06	0,5901	24017,13028	0,025792524	0,1776	0,7776	0,6000
		2	18	0,0432	0,7776	2	1796	3592	7184	63	59,2	0,02	1,14E-06	0,7250	37648,4745	0,02326987	0,1895	0,7776	0,5881
		3	18	0,0432	0,7776	2	1796	3592	10776	63	59,2	0,02	1,14E-06	1,0875	56472,71175	0,021570532	0,3953	0,7776	0,3823
		4	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	16164	75	70,6	0,02	1,14E-06	1,1470	71030,83291	0,020513971	0,3507	0,7776	0,4269
		5	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	21552	90	86,6	0,02	1,14E-06	1,0164	77209,80452	0,019992522	0,2188	0,7776	0,5588
		6	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	17960	90	86,6	0,02	1,14E-06	0,8470	64341,50376	0,02065259	0,1570	0,7776	0,6206
		7	18	0,0432	0,7776	3	1796	5388	23348	110	103,6	0,02	1,14E-06	0,7694	69918,5955	0,02017834	0,1058	0,7776	0,6718
		8	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	30532	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,0061	91432,0095	0,019239132	0,1725	0,7776	0,6051
		9	18	0,0432	0,7776	4	1796	7184	37716	110	103,6	0,02	1,14E-06	1,2428	112945,4235	0,018574292	0,2541	0,7776	0,5235
															2,0212		4,9772		

La presión necesaria al comienzo de cada módulo se ha calculado sumando a la presión de funcionamiento de los aspersores (30 m.c.a.) las pérdidas de carga que se producen en el módulo (las del tramo más desfavorable), más las pérdidas de carga singular (piezas especiales), y las del porta-aspersor.

Así pues en la siguiente tabla se muestran las pérdidas de carga que se producen en cada módulo y submódulo, así como la presión necesaria en el origen de cada uno de ellos, que será la del submódulo que tenga mayores pérdidas de carga y esa será la presión necesaria en el origen de la unidad de riego.

- $(a \cdot hr)_{LR}$ → Pérdidas de carga en el último lateral de riego.
- $(a \cdot hr)_{TT}$ → Pérdidas de carga en la tubería terciaria.
- (P_n / Y) → Presión nominal de funcionamiento de los aspersores.
- ha → Pérdida de carga del porta-aspersor.
- (P_o / Y) → Presión necesaria al comienzo de cada módulo.

Todas las unidades de la tabla siguiente se encuentran en metros.

Módulo	Submódulo	$(a \cdot hr)_{LR}$	$(a \cdot hr)_{TT}$	(Pn/\square)	ha	(P_0/\square)
1	A	1,05	1,75	30	2,99	35,80
	B	1,98	2,36	30	2,99	37,33
2	A	1,32	3,63	30	2,99	37,94
	B	1,16	3,50	30	2,99	37,65
3	A	1,45	3,63	30	2,99	38,07
	B	1,57	3,50	30	2,99	38,06
4	A	0,43	3,63	30	2,99	37,05
	B	1,47	3,50	30	2,99	37,96
5	A	0,80	3,63	30	2,99	37,42
	B	2,73	3,50	30	2,99	39,22
6	A	1,84	3,63	30	2,99	38,46
	B	0,80	3,50	30	2,99	37,29
7	A	0,88	3,63	30	2,99	37,50
	B	2,44	3,50	30	2,99	38,93
8	A	2,26	3,63	30	2,99	38,88
	B	2,00	3,50	30	2,99	38,49
9	A	2,31	3,63	30	2,99	38,93
	B	2,18	3,50	30	2,99	38,67
10	A₁	2,18	3,95	30	2,99	39,12
	A₂	2,29	3,66	30	2,99	38,94
	B	2,35	2,43	30	2,99	37,77

Tabla.4. Pérdidas de carga en los módulos y presión necesaria.

4.2.4. Cálculo de las tuberías secundarias

El cálculo de las tuberías secundarias se realiza a partir del dato conocido de la presión necesaria en un módulo de riego por aspersión.

Las tuberías secundarias conducen el agua hasta la entrada de cada módulo de riego. En nuestro caso, solo hay un tramo de tubería secundaria, que alimenta a todos los módulos.

Una vez dimensionadas estas tuberías y conociendo sus pérdidas de carga, sumadas a la presión necesaria en la entrada para cada módulo se puede calcular la presión a la que debe funcionar la red. Además, para el correcto dimensionado se deben

tener en cuenta los diversos elementos singulares tales como válvulas, filtros, codos, derivaciones, etc.

El dimensionado de estas tuberías se realiza utilizando la fórmula empírica de **Veronese**, que es la que se utiliza para el PVC.

Para ello se parte de la condición de que en la toma de riego debe haber una presión de 45 m.c.a. A partir de este dato, y conociendo la presión de los módulos (en este caso se toma la mayor) se conoce la pérdida de carga máxima para esa tubería secundaria.

Una vez conocida la pérdida de carga se establece la pérdida unitaria mínima que se puede presentar, y a partir de este dato se calcula el diámetro teórico (dependiente del caudal a transportar) de la tubería en cuestión. Una vez determinado este diámetro se ajusta al comercial. En este caso se adoptan tuberías de PVC PN 0,6 MPa.

El proceso seguido es el siguiente:

$$\text{Veronese} \rightarrow (hr/L) = J = 0,365 \cdot (Q^{1,8} / D^{4,8}) \rightarrow D_{\text{teórico}} = (0,365 \cdot (Q^{1,8} / J))^{1/4,8} \rightarrow C_{\text{comercial}}$$

Una vez conocidas las máximas pérdidas que pueden darse, se procede a la determinación de la pendiente hidráulica J. Los resultados pueden verse en la siguiente tabla:

A continuación adjuntamos las tablas utilizadas en el cálculo:

Tramo	L (m)	Ho (m)	Ho-Hi (m)	J (m/m)
1	654	39	9	0,013761468

Tabla.5. Cálculo de la pendiente hidráulica.

Con los datos de la J de la tabla anterior se procede al dimensionado de las tuberías, cuyos resultados se pueden ver en la tabla siguiente:

Tramo	L (m)	Q (L/s)	J min (M/M)	D teórico (mm)	D COMERCIAL
1	654	38,29	0,013761468	167,4401631	180

Tabla.6. Cálculo del diámetro comercial.

5. Movimiento de tierras

La instalación de una red fija de tuberías en un riego por aspersión conlleva un movimiento de tierras. Los volúmenes de tierra a mover variaran en función de la tubería a colocar y de las longitudes de los tramos.

De este modo, los movimientos de tierra se calculan tramo a tramo para las tuberías colocadas en toda la parcela.

5.1. Definición de zanjas

Para la colocación de las tuberías en el terreno se hace necesaria la excavación de una zanja y cuyas dimensiones varían en función del diámetro a colocar. Las dimensiones correspondientes son:

Diámetro exterior de la tubería (mm)	Anchura de la zanja (m)	Profundidad de la zanja (m)
$\emptyset \leq 200$	$\emptyset (m) + 0,6$	$\emptyset (m) + 0,9$
$\emptyset > 200$	$\emptyset (m) + 0,7$	$\emptyset + 0,9$

Tabla.7. Dimensiones de la zanja.

La sección tipo de la tubería se compone de una cama de arena de espesor 10 + Ø/10 cm. Desde la generatriz inferior hasta 30 cm por encima de la generatriz superior, se rellenara con material seleccionado de tamaño menor de 2 cm. La parte superior se rellena con material procedente de la excavación.

5.2. Excavación de la zanja de los laterales de riego

Se calculan los volúmenes de tierra a mover para cada tipo de tubería. De la misma forma los laterales o ramales de riego que se componen en su totalidad por PEBD Ø32, ha sido inyectado por medio de una oruga subsolador, a una profundidad de 0,9 metros.

Los resultados son los siguientes:

MÓDULO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL (m)
Metros de PEBD Ø 32 inyectados	666	756	756	756	756	756	756	756	756	792	7506

Tabla.8. Metros de PEBD inyectados.

5.3. Excavación de la zanja de las tuberías terciarias

En la siguiente tabla se muestran los datos de los tipos de tubería empleados en las terciarias, así como el volumen de movimiento de tierras que han generado.

Tubería PVC	Longitud (m)	Anchura (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
Ø 50	360	0,650	0,950	222,300
Ø 63	360	0,663	0,963	229,849
Ø 75	378	0,675	0,975	248,771
Ø 90	1080	0,690	0,990	737,748
Ø 110	684	0,710	1,010	490,496
Ø 125	180	0,725	1,025	133,763
Ø 140	36	0,740	1,040	27,706

Tabla.9. Volumen de tierra generado en las tuberías terciarias.

5.4. Excavación de la zanja de las tuberías secundarias

Tubería PVC	Longitud (m)	Anchura (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
180	654	0,780	1,080	550,930

Tabla.10. Volumen de tierra generado en la tubería secundaria.

5.5. Excavación de la zanja de la tubería primaria

Tubería PVC	Longitud (m)	Anchura (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
180	1181	0,780	1,080	994,874

Tabla.11. Volumen de tierra generado en la tubería primaria.

5.6. Resumen del movimiento de tierras

Los metros totales de PEBD Ø32 inyectados en la totalidad de la parcela son 7506 m, y los metros cúbicos que se han excavado de zanja en toda la parcela son 1545,8 m³

ANEJO 9

**Elementos singulares de
la red de riego**

Anejo 9: Elementos singulares de la red de riego

ÍNDICE

1. Introducción.....	2
2. Válvulas	2
2.1. Válvulas hidráulicas.....	2
2.2. Válvulas de esfera.....	5
2.3. Válvulas de ventosa	6
2.4. Válvulas de mariposa.....	8
2.5. Tomas de riego.....	9
3. Filtros.....	10
4. Codos	12
5. Reducciones.....	13
6. Piezas de derivación	13
7. Anclajes	14
8. Desagües.....	17
8.1. Desagües de la red de riego	17
8.2. Desagües fin de tramo.....	18
9. Fertirrigación	18
9.1. Equipo de inyección.....	19
9.2. Características técnicas	19
9.3. Elementos y accesorios	20
9.4. Automatización.....	20
10. Contadores	21
11. Programadores de riego	22
12. Automatismos de la red de riego	23

1. Introducción

Los elementos singulares que se disponen a lo largo de la red de riego tienen la misión de control y regulación de los caudales circulantes así como el control y mantenimiento de la presión en la red de riego, el filtrado del agua y la evacuación de aire.

En este anejo se van a calcular y describir los elementos singulares de los que consta la instalación de la red de riego: válvulas, filtros, anclajes, codos y reducciones y otros elementos como: desagües, elementos de fertirrigación y otros automatismos necesarios para el funcionamiento de la red de riego.

2. Válvulas

2.1. Válvulas hidráulicas

Una de las principales funciones va a ser poder abrir y cerrar el paso del agua a un módulo de riego determinado, para lo cual se ha de instalar una válvula hidráulica en cada conexión de cada módulo con la tubería secundaria.

La parte superior de la válvula hidráulica está constituida por una cavidad dividida en dos cámaras mediante una membrana flexible o diafragma integral, el cual a su vez se une a un vástagos mediante una pletina metálica.

El vástagos comunica con la cavidad superior con la inferior por la cual se establece el flujo de agua y se encuentran unidos a un disco cuyo desplazamiento vertical materializa las operaciones de apertura y cierre.

En la cavidad superior de la válvula, la cámara inferior está conectada permanentemente mediante un orificio a la atmósfera (presión atmosférica). La cámara superior puede conectarse, a través de una válvula de tres vías, bien a la atmósfera o bien a la propia tubería a presión.

Habitualmente la cámara superior se encontrará conectada, a través de la válvula de tres vías, con la atmósfera por lo que la única fuerza neta sobre el vástagos será la

debida a la presión hidráulica, mayor siempre aguas arriba que abajo. Dicha fuerza originará el ascenso del disco y la apertura de la válvula.

Si mediante un accionamiento manual o electrónico la cámara superior se conecta, mediante una válvula de tres vías, a la presión aguas arriba, la mayor fuerza desarrollada por la membrana, en relación a la desarrollada por el disco, originará el descenso del vástagos hasta conseguir el asiento del disco y el cierre de la válvula.

Se ha elegido la **válvula hidráulica bridada con diafragma integral de caucho natural**, con cuerpo y tapa de hierro fundido con recubrimiento de poliéster y comandada por una llave de tres vías, que abre y cierra la válvula mediante la presión del agua existente en la red. Su simplicidad de construcción elimina prácticamente el mantenimiento.

Algunas ventajas de estas válvulas son:

- Simplicidad constructiva, ya que posee pocos componentes.
- Fácil instalación y reducidas necesidades de mantenimiento.
- Mínima pérdida de carga, consigue una baja pérdida de presión en altos caudales debido a su estructura y su diseño.
- Cierre gradual y hermético, sin provocar golpes de ariete. Se reducen las sobrepresiones de ariete debido a la lentitud del cierre, favoreciendo incluso el hecho de que a mayor presión en la tubería con menor rapidez se produce el cierre.
- Carácter multifuncional: regulación de caudal (regula desde caudal 0 hasta máximos caudales sin necesidad de utilizar dispositivos de reducción de paso de agua o válvulas by-pass), regulación de nivel y medición de caudal.
- Diversas alternativas de control: manual, hidráulico o eléctrico.

**Figura.1.** Válvula hidráulica.

La elección de las válvulas hidráulicas se basa exclusivamente en el caudal que debe circular por ellas con independencia del diámetro nominal de la conducción. Por ello la elección se realizará en función del diagrama de flujo suministrado por el fabricante.

Estas válvulas se encuentran en una amplia gama, diferenciándose en una serie de características. En la tabla siguiente se presentan a modo de ejemplo las características técnicas que tienen las válvulas hidráulicas de diámetros interiores: 4", 6" y 10".

Características técnicas de válvulas hidráulicas de hierro fundido			
Diámetro interior	4"	6"	10"
Presión máxima de trabajo (atm)	16	16	16
Presión mínima de trabajo (atm)	1	1	1
Q máximo (m^3/h)	150	300	800
Q mínimo (m^3/h)	30	50	80
Longitud (mm)	305	387	535
Altura (mm)	230	280	410
Conexión	Brida 4"	Brida 6"	Brida 10"
Pérdidas de carga (mca)	0,4	0,5	0,5

Tabla.1. Características técnicas de válvulas hidráulicas de hierro fundido de diámetros interiores 4", 6" y 10".

Se han elegido 10 válvula de “4”, una para cada módulo de riego, porque, según el cálculo del Anejo 8, el **módulo que mayor caudal necesita es el 10 con 140,04 m³/h y el que menos caudal necesita es el módulo 1 con 107,38 m³/h.**

2.2. Válvulas de esfera

Como su nombre indica, en estas válvulas el elemento de cierre es una esfera en la cual se ha practicado un taladro cilíndrico horizontal que materializará la capacidad de paso de la misma.

La esfera tiene posibilidad de giro respecto a un eje vertical. Gracias a ello es posible ubicarla en posición de apertura o cierre: cuando el eje del taladro esta alineado con el eje de la tubería la válvula esta abierta, cuando el eje del taladro se dispone perpendicularmente a la tubería la válvula está cerrada.

Se instalan válvulas de esfera de dos materiales:

Válvulas de esfera de PVC: para la instalación de fertirrigación serán necesarias una por cada depósito y además las necesarias para dirigir el fertilizante por las tuberías correspondientes. Están fabricadas en PVC y son de accionamiento manual. Se podrán instalar válvulas hidráulicas de 2” en caso de necesidad de automatismo total en el cabezal de riego.



Figura.2. Válvula de esfera de PVC.

Válvulas de esfera metálicas: Fabricadas en latón niquelado, se colocarán una delante de cada válvula de ventosa y otra en cada aspersor que por algún motivo

requiera su cierre temporal (proximidad a caminos, edificaciones, etc.). Al igual que las anteriores son de accionamiento manual.



Figura.3. Válvula de esfera de latón niquelado.

2.3. Válvulas de ventosa

Son válvulas de protección que se disponen en las tuberías a presión para evacuar o incorporar aire a las mismas.

El tipo de válvula ventosa elegido es la **válvula de doble efecto o trifuncional**. Este tipo de válvula es capaz de realizar hasta tres funciones: expulsar aire contenido en la conducción, administrar aire durante el vaciado de la conducción y expulsar pequeñas cantidades de aire que se acumulan en la conducción al ser liberadas por el agua.

Este tipo de ventosas poseen dos orificios para la evacuación y admisión de aire y uno o dos flotadores. Durante el llenado de las tuberías el agua va empujando al aire que se evaca a la atmósfera a través del orificio grande. El otro orificio, mucho más pequeño permanece cerrado durante este proceso.

Cuando la tubería se llena completamente, los dos orificios se cierran por la acción del agua sobre él o los flotadores. Una vez la instalación ha alcanzado la presión normal de trabajo, el aire que se acumula en la válvula ventosa va siendo evacuado a través del orificio más pequeño.

El orificio mayor permanece cerrado completamente y no se vuelve a abrir hasta que el sistema es drenado o aparece una presión negativa. En tal caso el flotador del orificio mayor caerá inmediatamente, abriendo el orificio y permitiendo la entrada de

aire a la tubería. En este momento la válvula ventosa está nuevamente lista para evacuar aire otra vez. Este ciclo se repetirá tantas veces como sea necesario.



Figura.4. Válvula de ventosa de doble efecto o trifuncional.

Para la elección del diámetro de la ventosa se tiene en cuenta el diámetro de la tubería, el caudal trasegado por la misma, la presión de funcionamiento y la función a realizar. Relacionando el diámetro de la tubería con el diámetro de la ventosa se tiene:

Diámetro tubería (mm)	Diámetro ventosa (pulgadas)
0 - 100	3/4"
100 - 150	1"
150 - 200	1 1/4"
200 - 250	1 1/2"
250 - 450	3"
450 - 1000	4"

Tabla.2. Relación de diámetros de conducción y diámetros de ventosa.

Para la localización de la ventosa se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- En los puntos de la red en los que la línea de corriente varía respecto a la línea piezométrica de la tubería.

- En los “picos” o “puntos convexos” de la red.
- En los puntos finales de tubería en alto.
- A la entrada de instrumentos de medición (contadores).
- Depresiones en la línea de corriente.
- En cada una de las piezas especiales en derivación para las válvulas hidráulicas de los diferentes sectores.

Para la correcta instalación de las válvulas ventosa se recomienda la colocación de una válvula manual de bola antes de la misma para poder desmontar la ventosa en caso de reparación o comprobación, sin afectar al funcionamiento de la instalación.

2.4. Válvulas de mariposa

En las válvulas de mariposa el elemento de cierre es un disco que gira hasta 90° alrededor de un eje coincidente con su diámetro vertical el cual acciona la palanca. La válvula está abierta cuando el plano del disco contiene al eje de la tubería y está cerrada cuando dicho plano es perpendicular al eje del tubo.

Las de accionamiento por palanca se fabrican hasta diámetros de 200 mm en timbraje de 10 a 16 atmósferas.



Figura.5. Válvula de mariposa con palanca.

Se han colocado válvulas de mariposa, todas las necesarias para dejar aislado entramo de la red de distribución con objeto de aislar los ramales de la red para así poder regar en caso de avería.

Las válvulas de mariposa se colocarán del mismo diámetro al que corresponda la tubería en las cuales se han de colocar. Las válvulas van alojadas en arquetas prefabricadas de hormigón.

2.5. Tomas de riego

La conexión de la red general con el sistema de riego utilizado en la parcela se realiza mediante tomas de riego o hidrantes.

La toma de riego tipo que abastece a la parcela está constituida por cinco partes básicas:

- Arqueta, normalmente rectangular, constituida con un prefabricado de hormigón y con una tapa de metal para evitar manipulaciones inadecuadas y que el agua de lluvia o riego estropee el conjunto de elementos que van alojados que su interior.
- Filtro de malla autolimpiable.
- Cuello de cisne: tramo curvo de tubería de acero que va desde la red hasta la válvula de mariposa.
- Válvula de mariposa.
- Válvula hidráulica, la cual consta de:
 - Regulador mecánico de presión.
 - Limitador mecánico de caudal.
 - Controlador o caudalímetro incorporado.

El diámetro de la válvula elegida para la toma es:

Toma de 40 L/s a 144 m³/h → válvula de 4"

3. Filtros

Los filtros son necesarios para evitar la obturación de los aspersores lo cual es muy frecuente este problema en los riegos por aspersión. Para su prevención se colocan los correspondientes elementos de filtrado en los cuales se quedan las partículas retenidas.

Se ha elegido el **filtro de malla autolimpiable**, que realizan un tamizado superficial del agua, reteniendo las partículas mayores que los orificios de la malla y evitándose así la obturación de las boquillas, y será instalado en la toma de riego para la fertilización.

Este tipo de filtro presenta las siguientes características:

- No necesitan energía externa para su funcionamiento.
- La limpieza se efectúa de forma automática mediante un comandamiento de un presostato diferencial.
- Control del tiempo de autolavado, evitando ciclos innecesarios.
- No se interrumpe el proceso de filtración durante el autolavado.
- Las pérdidas de carga dependerán del grado de impurezas del agua a filtrar.
En este caso como el agua de riego procede del pantano del Grado, es relativamente buena en cuanto a impurezas, por lo que podemos instalar este tipo de filtrado sin ningún problema.



Figura.6. Filtro de malla autolimpiable.

Para la elección del filtro, se optará por uno de 3" de cartucho extraíble y se colocará en la toma de riego para la fertilización.

Características técnicas del filtro de 3":

- Área filtrante: 1012 cm².
- Conexión entrada y salida: bridas.
- Malla filtrante: Acero inoxidable de 80 a 300 micrones.
- Tipo de malla: Cilindro perforado acero inoxidable.
- Presión máxima de trabajo durante el lavado: 80 mca.
- Válvula de drenaje: 3".
- Caudal de lavado: 40 m³/h.

Materiales constructivos:

- Cuerpo del filtro: acero inoxidable con recubrimiento "epoxi"
- Tapa: aluminio

- Malla: acero inoxidable 304
- Válvula de drenaje: fundición con recubrimiento epoxi
- Juntas: poliuretano, caucho, nitrilo, NBR, VBR, poliacetal polietileno

Su modo de filtración es de adentro hacia afuera. Cada filtro está provisto en su tapa de una toma de hilo para conectar una válvula que permita el lavado a chorro.

La limpieza de estos filtros es automática por medio de presostatos diferenciales, que conectados entre la entrada y salida del filtro.

Proceso de filtración:

El agua fluye a través de la malla de tamiz cuya función es separar los sólidos de mayor tamaño y a continuación pasa a través de una malla fina que es la que define realmente el grado de filtración.

El nivel de suciedad en el filtro viene controlado por un preostato diferencial conectado entre la entrada y la salida del filtro. Cuando la diferencia de presión excede de los 3 mca, se activa el mecanismo de autolavado.

4. Codos

Los codos son piezas especiales destinadas a conseguir las alineaciones de la tubería deseadas. Dependiendo de la curva que describa la tubería se colocarán codos de 45 o 90º.



Figura.7. Codos de 45º y de 90º.

5. Reducciones

Los cambios de sección de la tubería a lo largo de la red se consiguen mediante la colocación de piezas tronco-cónicas que sirven de conexión entre las tuberías de distinto diámetro.

La relación entre la longitud de la pieza y la diferencia entre los diámetros de las tuberías tiene que ser lo mayor posible para reducir las pérdidas de carga singulares en estos elementos.



Figura.8. Reducción

6. Piezas de derivación

La división de la vena líquida circulante por la tubería se consigue mediante la colocación de piezas “T” e “Y” y cruces. Dependiendo del diámetro y la posición pueden necesitar anclajes especiales.

Las piezas en “T”, “Y” y cruces utilizadas en la red de riego son del mismo material que las tuberías en las que van colocadas.



Figura.9. “T”.

7. Anclajes

En determinados puntos de la red como son los cambios de sección, cambios de dirección, derivaciones en té y tapones terminales se producen empujes en la tubería debido a la presión hidrostática. Para evitar el desplazamiento de la tubería en estos puntos, se han colocado macizos de hormigón que sirven de anclaje a la conducción.

Para el diseño de los anclajes según su finalidad se ha seguido la norma NTE relacionada con las instalaciones de abastecimiento. La fuerza de reacción del agua es la que debe calcularse para establecer las dimensiones de los macizos de hormigón que impidan los desplazamientos de la tubería. Los macizos son de hormigón HA-250 armado con acero B-500S.

Los puntos de la red en los que se prevén desplazamientos de la tubería son:

- Codos y reducciones
- Llaves de paso
- Piezas especiales en T

En la norma relativa a los anclajes para las tuberías se describen las dimensiones de los mismos para diámetros de la tubería ≤ 400 mm. Para el resto de los diámetros, en este caso 500, 560 y 600 se utiliza la fórmula siguiente para el cálculo del empuje:

$$F = K \cdot P \cdot S \quad [1]$$

Siendo; F = Empuje (Kp), K = Coeficiente según la dirección, P = Presión interior de prueba 1,4 (Presión de trabajo en Kp/cm^2) y S = Sección interna del tubo (cm^2).

Las dimensiones del elemento de anclaje se obtienen a partir de la siguiente fórmula:

$$F = A \cdot P \quad [2]$$

Siendo; F = Empuje (Kp), A = Superficie de anclaje en contacto con el terreno en la dirección del empuje (cm^2) y ρ = Resistencia del terreno (kg/cm^2).

Codos y reducciones

Para cambiar la alineación de una tubería se coloca un codo. De esta forma el agua circulante experimenta una variación en la dirección de su vector velocidad. El cambio de dirección se establece por la fuerza ejercida por el codo sobre el fluido, este responde con una fuerza de igual dirección e intensidad pero de sentido contrario.

En los cambios de sección debidos a las reducciones se produce un empuje cuya dirección es la del eje de la conducción, en el sentido de circulación del agua.

Las dimensiones de los elementos necesarios para el anclaje son las que se indican en la siguiente tabla:

PIEZA	Diámetro de la tubería (mm)	Dimensiones (cm)		
		A	B	C
Codo 45°	63 a 225	30	40	15
	250 a 400	50	60	25
Codo 90°	63 a 225	50	40	20
	250 a 400	65	60	20
Reducción	63 a 225	40	30	15
	250 a 400	50	40	25

Tabla.3. Dimensiones de los codos de 45° y 90° y las reducciones.

Llaves de paso

Las dimensiones de los anclajes de hormigón y la disposición de las armaduras necesarias son las que se indican en la siguiente tabla:

Diámetro de la tubería (mm)	Dimensiones (cm)				Posición de las armaduras		
	A	B	C	E	1 (Ø)	2 (n-Ø)	3 (n-Ø)
90	50	15	30	15	6	2-12	5-6
110	60	20	35	15	6	4-12	5-6
125	70	25	35	15	6	4-12	5-6
140	70	25	35	15	6	4-12	5-6
160	80	30	40	15	6	6-12	5-6
180	90	30	40	15	6	6-12	5-6
200	100	35	40	15	8	8-12	5-8
250	120	40	50	15	8	5-16	5-8
315	140	50	60	15	8	6-16	5-8
355	140	50	65	15	8	8-16	5-8
400	160	65	70	15	10	6-20	5-10
500	210	80	75	25	12	6-22	8-10
560	240	90	75	25	12	8-22	8-12
600	260	95	80	25	14	10-22	8-14

Tabla.4. Dimensiones de las llaves de paso.

Piezas especiales en T

Las dimensiones de los anclajes de hormigón y la disposición de las armaduras necesarias son las que se indican en la siguiente tabla:

Diámetro de la tubería (mm)	Dimensiones (cm)				Posición de las armaduras	
	A	B	C	E	1 (\emptyset)	2 (n-\emptyset)
90	60	40	30	15	10	2-10
110	70	45	30	15	10	4-10
125	80	50	35	15	10	4-10
140	80	50	35	15	10	4-10
160	90	60	35	15	10	4-10
180	100	65	40	15	10	4-10
200	110	65	40	15	12	4-12
250	140	70	40	15	12	6-12
315	150	80	45	15	12	8-12
355	160	90	50	25	12	8-12
400	170	95	55	25	12	10-12
500	220	105	60	25	12	12-12
560	250	105	60	25	14	12-14
600	270	110	65	25	14	12-14

Tabla.5. Dimensiones de las Tés.

8. Desagües

8.1. Desagües de la red de riego

Para el vaciado de la red o de tramos aislados se han colocado desagües a lo largo de la red de distribución. En su colocación se ha tenido en cuenta que estuvieran situados en los puntos terminales de los perfiles de las tuberías descendentes y en los “mínimos” de dicho perfil. También se tiene en cuenta que exista una zona para su desagüe por gravedad. Con la colocación de desagües se permite el vaciado y limpiado de la tubería mediante el escape violento de agua a través de estas válvulas.

Las dimensiones dependen del diámetro de la tubería y están compuestos por una válvula de esfera y una arqueta.

8.2. Desagües fin de tramo

Al final de cada tramo de la tubería terciaria de cada módulo se colocará una prolongación de la misma con salida al exterior consistente en doble codo 90º con 1 m. de tubería de 50 mm de diámetro, con tape final macho roscado, todo en PVC.

Este desagüe permite la expulsión de elementos extraños en la red durante los primeros riegos al comenzar la campaña de riego para evitar obturaciones en los emisores, al igual que el vaciado de la red en caso de ser necesario.

9. Fertirrigación

La gran mayoría de los fertilizantes se pueden aplicar en forma sólida mediante abonadoras, salvo en los cultivos que por su naturaleza o por su porte no permiten la entrada al cultivo con maquinaria en el momento de aplicar la dosis necesaria.

Una de las principales ventajas que presentan los riegos por aspersión, es la posibilidad de aportar los nutrientes que precisan las plantas, disueltos en agua de riego. A estas técnicas se las conoce con el nombre de fertirrigación. Pero no solo consiste en el aporte de abonos junto con el agua de riego, sino también en el fraccionamiento y aplicación de los mismos en los momentos más idóneos para el desarrollo de las plantas.

La aplicación de fertilizantes con el agua de riego puede abaratar en gran medida los costes de la explotación, reduciendo la mano de obra para su aplicación.

Para ello es necesario disponer de aparatos que permitan la inyección de abonos en la red de tuberías posibilitando el control de las cantidades de abono aplicadas y de la automatización del proceso.

En nuestro caso en vez de instalar un depósito de abonado, se llevará el fertilizante mediante cubas proporcionadas por las casas de fertilizantes. Así abaratamos relativamente el coste de la instalación de la red de riego.

9.1. Equipo de inyección

Ante las distintas posibilidades existentes en el mercado (inyectores Venturi, bombas dosificadoras eléctricas, bombas dosificadoras hidráulicas), se opta por la **bomba hidráulica**. En nuestro caso, como el depósito de fertilizante es móvil (cubeta remolque) se utilizará una bomba que sea de fácil montaje.

Las ventajas de este equipo inyector de fertilizantes y productos químicos son:

- Va accionado por un motor hidráulico que funciona con la propia presión hidráulica del sistema de riego.
- El inyector es resistente a los productos químicos usuales en agricultura.
- La cantidad a inyectar es fácilmente regulable.
- El inyector realiza su función de inyección en cualquier diámetro de la tubería.
- Su puesta en marcha y detención puede realizarse de forma manual o automática.

9.2. Características técnicas

- Caudal de inyección: según la presión en la tubería de alimentación del motor hidráulico.
- Presión de inyección: Doble de la presión del agua que hace funcionar el motor hidráulico.
- Presión máxima de trabajo: 8 kg/cm^2 .

- Presión mínima de trabajo: 1kg/cm².
- Consumo de agua: 3 veces el producto inyectado.
- Peso bruto: 5 kg.

9.3. Elementos y accesorios

- Dado que el caudal es proporcional a la presión de agua en la tubería de alimentación del motor eléctrico, este caudal se ajustará regulando dicha presión mediante una **válvula manual de ¾"**, instalada en la tubería de alimentación mencionada.
- **Válvula de purga de aire** para asegura que el aire que se acumula en la cámara de la bomba entre los ciclos de fertilización no evitará la operación normal de bombeo.
- **Contador de productos químicos.**
- **Electroválvula** instalada en la tubería de alimentación del motor hidráulico del inyector.

9.4. Automatización

Como el sistema de riego está automatizado la solución más idónea para controlar la cantidad del producto a inyectar es la de instalar un contador de productos químicos. Este transmitirá la información al programa de riego, el cual tendrá fijada en una base de datos la cantidad de producto químico a inyectar. Una vez determinada dicha cantidad, el programador actuará sobre la electroválvula instalada en la tubería de alimentación del motor hidráulico del inyector, cerrándola, con lo que finalizará la inyección.

10. Contadores

Como indicamos en el apartado de fertirrigación, para la automatización de ésta, es necesario un contador de productos químicos a la salida del inyector.

Las características hidráulicas para el contador proporcional de 3" o de diámetro de ¾" de transmisión magnética son:

- Caudal nominal: 2500 L/h.
- Caudal nominal: 2.500 L/h.
- Caudal máximo: 5.000 L/h.
- Caudal mínimo: 200 L/h.
- Error caudal mínimo < caudal < caudal de transición (%): ± 5.
- Caudal de transición < caudal < caudal de máximo (%): ± 2.
- Presión nominal: 10 atm.
- Temperatura máxima: 40 °C.

Las características técnicas son:

- Cuerpo de PVC.
- Turbina y partes internas de polipropileno.
- Emisor de pulsos: Además de acumular datos de volumen de líquido, es necesario el envío de una señal eléctrica al programador para procesar la información concerniente a los caudales. El contador elegido puede dotarse de emisores de pulsos que proporciona un pulso cada 1, 10 o 100 litros. Las características del emisor son: Carga máxima 2 VA, intensidad máxima 50 mA y voltaje máximo 28 V.

11. Programadores de riego

El programador de riego elegido permite realizar el control total de la red de riego, activando de forma automática cada uno de los sectores de riego, ya sea en base volumétrica o temporal. Asimismo, controla la fertilización y la apertura o cierre de la toma de riego.

El programa almacena los diferentes parámetros de riego, tanto actuales como acumulados.

Las principales características de este programador son:

- Control simultáneo de varias líneas principales definidas por el usuario.
- Operación simple y fácil, mediante teclado numérico y funcional y con pantalla de cristal líquido.
- La aplicación de agua y fertilizantes puede realizarse en base temporal o volumétrica.
- Menú de ayuda con información e instrucciones de funcionamiento en pantalla, accesible desde cualquier punto del programa.
- Acumulación de cantidades de agua y fertilizantes aplicadas en cada válvula.
- Programas de riego independientes para cada válvula.
- Capacidad de actuación de las válvulas de forma manual.
- Batería auxiliar de mantenimiento de programas e información en el caso de fallo de la tensión de alimentación.
- Condiciones de arranque, paro y espera independientes para cada sistema de riego.
- Autotest y programa de diagnóstico, tanto para el hardware como para el software.
- Capacidad de comunicación con un ordenador central vía cable o vía radio.

El modelo de programador elegido es el “AGRONIC 2500”, que posee 9, 18 y 27 salidas configurables para sectores de riego, más 6 entradas digitales en la base. Limpieza de hasta 4 grupos de filtros independientes. Permite la posibilidad de enlace al ordenador personal, avisos vía SMS, etc.

Este programador se alimenta a 12V.



Figura.10. Programador de riego.

12. Automatismos de la red de riego

Están formados por todo el conjunto de elementos que hacen que: las válvulas se abran y cierren de forma automática por medio de la orden del programador de riego, o la diferencia de presión entre dos presostatos.

Por lo que por cada válvula se necesitan los siguientes elementos:

- **Llave de tres vías**, conecta el diafragma de la válvula hidráulica con la atmósfera (comando manual) o con el solenoide de control de la misma, (comando automático).



Figura.11. Llaves de tres vías.

- **Solenoide**, llave de respuesta si o no, en función del impulso que le llega del ordenador, es un electroimán que actúa sobre un eje longitudinal, a la vez que este envía el paso de agua o vaciado a la llave de tres vías, la cual actúa sobre la válvula.



Figura.12. Solenoides.

- **Microtubos de comando**, tubos de polietileno de 8 mm que conectan las válvulas, llaves y solenoides entre sí para las distintas funciones antes descritas, (llenado y vaciado del diafragma de las válvulas hidráulicas) por ellos circula agua de la misma red de riego. Se instalan a la vez que las tuberías, en las mismas zanjas y se cubren a la vez que estas.



Figura.13. Microtubos.

ANEJO 10

Estudio de viabilidad económica

Anejo 10: Estudio de viabilidad económica

ÍNDICE

1. Introducción.....	2
2. Situación actual	2
3. Datos considerados para el estudio económico	3
3.1. Rendimientos de los cultivos	3
3.2. Subvenciones de la PAC.....	3
3.3. Precios de las producciones de los cultivos	3
4. Costes de producción de los cultivos.....	4
5. Ingresos anuales.....	8
6. Flujo destruido.....	8
7. Coste del agua de riego.....	9
8. Estudio de rentabilidad de la inversión	9
8.1. Consideraciones previas	9
8.2. Estudio de rentabilidad	12
8.3. Estudio de viabilidad	13
9. Conclusiones.....	14

1. Introducción

Con el objeto de analizar si este proyecto es viable económicoamente, se analizan varias variables económicas que reflejan si la inversión es rentable o no.

Se van a calcular los siguientes ratios económicos:

- **VAN (Valor Actual Neto):** Indicador de rentabilidad absoluta.
- **TIR (Tasa Interna de Rentabilidad):** Indicador de rentabilidad relativa.

El VAN dice si una inversión es rentable y viable cuando el valor es mayor de cero. El TIR es el tipo de interés que hace que el VAN de una inversión sea igual a cero, representa las unidades monetarias que se ganan por cada unidad monetaria invertida y año.

Para calcular los ratios citados anteriormente, se considera una **vida útil de la inversión de 25 años**, sobre el cual se define la corriente de pagos y cobros analizando toda su superficie en conjunto.

La rotación de cultivos se repite cada 10 años, como se indica en el Anejo 5, por lo tanto **se hará de 2,5 ciclos**.

Los precios de los productos pertenecen a datos de las campañas de los años anteriores; se tendrán en cuenta los ingresos provenientes de la PAC previstos por la AGENDA 2010, ya que los precios de los productos varían y este año puede ir más cara o más barata la producción que los años próximos.

2. Situación actual

Actualmente en la parcela de estudio se viene cultivando cereal de invierno de secano, normalmente cebada.

Por los motivos expresados en el Anejo 1 se plantea la necesidad de transformar a regadío la parcela de estudio de este proyecto, y así de esta forma procurar un

aumento de los rendimientos de la misma con la consiguiente mejora del nivel de vida del propietario de la misma.

3. Datos considerados para el estudio económico

3.1. Rendimientos del cereal de secano

Estos datos se considerarán a la hora de calcular el flujo destruido. Los rendimientos medios que se vienen obtienen son:

Cebada:

- **Grano: 1,8 Tm/ha**
- **Paja: 1,1 Tm/ha**

3.2. Subvenciones de la PAC

La parcela en la cual vamos a realizar la transformación a riego por aspersión está en el término municipal de Huerto, perteneciente a la comarca de los Monegros. La subvención que está recibiendo dicha parcela es el pago único que engloba una media de la subvención recibida en los años 2000, 2001 y 2002, más el desacoplamiento que en estos años se pagaban. En conclusión la subvención es siempre la misma indistintamente del cultivo que se siembre.

Con lo cual el pago único depende solo de lo que la parcela estuviera sembrada esos tres años 2000, 2001, 2002. Se ha optado por un **pago único de 160 €/ha**

3.3. Precios de las producciones de los cultivos

El precio de la producción, no es un precio fijo todos los años, ni a lo largo del mismo año, se producen muchas fluctuaciones, tanto subidas como bajadas. Por este

mismo motivo se va a hacer una media de los precios tomados como referencia años anteriores.

Los valores son los siguientes:

CULTIVO	PRECIO (€/Tm)
TRIGO BLANDO	208
CEBADA	164
MAÍZ	229
GIRASOL	480
GUISANTE	250
ALFALFA (CLASE 1^a)	138
RAY-GRASS	78

Tabla.1. Precios de las producciones de los cultivos en Aragón durante las campañas del 2012 y el 2013.

4. Costes de producción de los cultivos

TRIGO	
LABORES	PRECIO (€/ha)
Subsolador	41,0
Grada de discos	40,0
Cultivados-molón	28,0
Semilla (260 Kg/ha a 0,27 €/kg)	70,2
Sembrar	24,0
Aplicación de herbicidas, insecticidas y producto.	27,0
Abono (300 kg/ha a 0,28 €/kg)	84,0
Urea 46% (150 kg/ha a 0,20 €/kg)	30,0
Aplicación de fertilizantes	9,0
Agua de riego (4.621 m ³ /ha a 0,0115 €/m ³)	53,1
Costes CR (amortización, reparaciones y sueldos de los trabajadores)	34,0
Recolección	60,0
Transporte	5,0
Impuestos, I.B.I, seguros, etc	18,8
TOTAL	524,14
TOTAL ha (19,17 ha)	10.047,79 €

Tabla.2. Coste de producción del trigo blando.

CEBADA	
LABORES	PRECIO (€/ha)
Subsolador	41,0
Grada de discos	40,0
Cultivados-molón	28,0
Semilla (220 Kg/ha a 0,24 €/kg)	52,8
Sembrar	24,0
Aplicación de herbicidas, insecticidas y producto.	27,0
Abono (300 kg/ha a 0,28 €/kg)	84,0
Urea 46% (150kg/ha a 0,20 €/kg)	30,0
Aplicación de fertilizantes	9,0
Agua de riego (4.137 m ³ /ha a 0,0115 €/m ³)	47,6
Costes CR (amortización, reparaciones y sueldos de los trabajadores)	34,0
Recolección	60,0
Transporte	5,0
Impuestos, I.B.I., seguros, etc	18,8
TOTAL	501,18
TOTAL ha (19,17 ha)	9.607,53 €

Tabla.3. Coste de producción de la cebada.

MAÍZ (Cultivo único)	
LABORES	PRECIO (€/ha)
Subsolador	41,0
Grada de discos	40,0
Cultivados-molón o rotovator	28,0
Desinfección del suelo	5,0
Semilla (80.000 plantas/ha a 3€/1.000 plantas)	2400
Sembrar	42,0
Aplicación de herbicidas, insecticidas y producto.	30,0
Abono (900 kg/ha a 0,28 €/kg)	252,0
Inyección de nitrato en red de riego (700 kg/ ha a 0,22 €/kg)	154,0
Aplicación de abono	9,0
Agua de riego (6.245 m ³ /ha a 0,0115 €/m ³)	71,8
Costes CR (amortización, reparaciones y sueldos de los trabajadores)	34,0
Recolección	60,0
Transporte	10,0
Impuestos, I.B.I, seguros, etc	20,0
TOTAL	1.036,82 €
TOTAL ha (19,17 ha)	19.875,79 €

Tabla.4. Coste de producción del maíz.

GIRASOL	
LABORES	PRECIO (€/ha)
Subsolador	41,0
Grada de discos	40,0
Cultivados-molón o rotovator	28,0
Desinfección del suelo	9,0
Semilla (60.000 plantas/ha a 100 €/150.000 plantas)	40,0
Sembrar	42,0
Aplicación de herbicidas, insecticidas y producto.	30,0
Abono (250 kg/ha a 0,28 €/kg)	70,0
Aplicación de abono	9,0
Agua de riego (5.648 m ³ /ha a 0,0115 €/m ³)	65,0
Costes CR (amortización, reparaciones y sueldos de los trabajadores)	34,0
Recolección	60,0
Transporte	5,0
Impuestos, I.B.I, seguros, etc	20,0
TOTAL	492,95
TOTAL ha (19,17 ha)	9.449,89 €

Tabla.5. Coste de producción del girasol.

GUISANTE VERDE	
LABORES	PRECIO (€/ha)
Subsolador	41,0
Fresadora	28,0
Cultivados-molón	28,0
Semilla (220 Kg/ha a 0,33 €/kg)	72,6
Sembrar con sembradora a golpes	30,0
Aplicación de herbicidas, insecticidas y producto.	40,0
Abono (400 kg/ha a 0,28 €/kg)	112,0
Aplicación de abono	9,0
Agua de riego (2.910 m ³ /ha a 0,0115 €/m ³)	33,5
Costes CR (amortización, reparaciones y sueldos de los trabajadores)	34,0
Recolección	60,0
Transporte	10,0
Impuestos, I.B.I, seguros, etc	20,0
TOTAL	518,07 €
TOTAL ha (19,17 ha)	9.931,31 €

Tabla.6. Coste de producción del guisante verde.

ALFALFA	
LABORES	PRECIO (€/ha)
Subsolador	41,0
Cultivados-molón o rotovator	28,0
Desinfección del suelo	9,0
Semilla (40 Kg/ha a 4 €/kg)	160,0
Sembrar	24,0
Aplicación de herbicidas, insecticidas y producto (por año)	60,0
Abono (500 kg/ha a 0,28 €/kg)	140,0
Abono de mantenimiento (400kg/ha * 4 años)	84,0
Aplicación de abono	9,0
Agua de riego (7.850 m ³ /ha a 0,0115 €/m ³)	90,3
Costes CR (amortización, reparaciones y sueldos de los trabajadores)	34,0
Trabajos de segar, rastrillar, recoger, etc (5 cortes año)	375,4
Impuestos, I.B.I, seguros, etc	20,0
TOTAL	1.074,68 €
TOTAL ha (19,17 ha)	20.601,52 €

Tabla.7. Coste de producción de la alfalfa.

RAY-GRASS	
LABORES	PRECIO (€/ha)
Subsolador	41,0
Cultivados-molón	28,0
Semilla (35 Kg/ha a 3 €/kg)	105,0
Sembrar	24,0
Aplicación de herbicidas, insecticidas y producto.	60,0
Abono (300 kg/ha a 0,28 €/kg)	84,0
Urea 46% (150kg/ha a 0,20 €/kg)	30,0
Aplicación de fertilizantes	9,0
Agua de riego (5.889 m ³ /ha a 0,0115 €/m ³)	67,7
Costes CR (amortización, reparaciones y sueldos de los trabajadores)	34,0
Recolección	60,0
Trabajos de segar, rastrillar, recoger, etc (5 cortes año)	375,4
Impuestos, I.B.I, seguros, etc	20,0
TOTAL	938,12 €
TOTAL ha (19,17 ha)	17.983,83 €

Tabla.8. Coste de producción del ray-grass.

5. Ingresos anuales

Los ingresos anuales se deben a la venta de la producción del cultivo y a las subvenciones de la PAC.

Para los cultivos seleccionados en la rotación, los ingresos que se obtienen son los siguientes:

CULTIVO	PRODUCCIÓN (Tm/ha)	PRECIO (€/Tm)	INGRESOS (€/ha)	AYUDA PAC (€/ha)	TOTAL (€/ha)
TRIGO BLANDO	Grano: 7	208	1.456	260	1.818
	Paja: 3,4	30	102		
CEBADA	Grano: 6	164	984	260	1.328
	Paja: 2,8	30	84		
MAÍZ	12,00	229	2.748	260	3.008
GIRASOL	3,50	480	1.680	260	1.940
GUISANTE VERDE	6,00	250	1.500	260	1.760
ALFALFA	16,50	138	2.277	260	2.537
RAY-GRASS	12,00	78	936	260	1.196

Tabla.9. Ingresos anuales de los cultivos seleccionados (€/ha).

6. Flujo destruido

Es el valor de los rendimientos que se obtienen en la situación actual. Este flujo destruido se calcula a partir de los costes de producción y de los ingresos que se obtienen. Los resultados obtenidos son los siguientes:

CULTIVO	COSTES (€/ha)	INGRESOS (€/ha)	FLUJO DESTRUÍDO (€/ha)	TOTAL FLUJO DESTRUÍDO (€)
CEBADA	549,1	1.328	778,9	14.932

Tabla.10. Flujo destruido.

Los datos de precios y costes considerados para el cálculo del flujo destruido son los expuestos en los apartados anteriores.

7. Coste del agua de riego

Este coste figura en el apartado 4, y ya está incluido en los costes de producción de cada cultivo. El **precio del m³ es de 0,0115 €** en el que solo está incluido agua y energía. A este precio hay que sumarle un coste fijo anual en el cual la comunidad incluye los costes de amortización, las reparaciones y los sueldos de los trabajadores. Este **coste anual asciende a 34 € ha-1 año-1**

El consumo de agua de los cultivos se supone que corresponde a las necesidades netas calculadas en el Anejo 7.

CULTIVO	Consumo anual Nn (mm)	Consumo anual (m ³ /ha)	Precio agua (€/m ³)	Coste comunidad (€/ha)	Total (€/ha)	Total (€)
TRIGO BLANDO	462,13	4.621	0,0115	34	1.807	34.639
CEBADA	413,73	4.137	0,0115	34	1.618	31.011
MAÍZ	624,46	6.245	0,0115	34	2.442	46.806
GIRASOL	564,82	5.648	0,0115	34	2.208	42.336
GUISANTE VERDE	290,99	2.910	0,0115	34	1.138	21.811
ALFALFA	784,97	7.850	0,0115	34	3.069	58.837
RAY-GRASS	588,94	5.889	0,0115	34	2.303	44.144

Tabla.11.Coste del agua de riego.

8. Estudio de rentabilidad de la inversión

8.1. Consideraciones previas

El presupuesto total de la inversión asciende a **114.969,65 €**, incluyendo los honorarios del ingeniero. Requeriremos un préstamo de 50.000 € de cuota constante a 10 años y con un interés del 5%.

Los beneficios anuales serán los calculados anteriormente y serán fijos. No se tendrá en cuenta el factor que juega la inflación.

No se considerará el valor residual de los elementos de la explotación.

El flujo destruido es de 14.932 €. El coste de la mano de obra no se tiene en cuenta, ya que la explotación en principio va a ser dirigida y trabajada por el propietario y por su familia.

Se estima una vida útil de la instalación de 25 años.

Para la transformación al regadío de la parcela, se recibe una **ayuda del 17% del presupuesto total de la inversión**. Que es de 19.544,84€ y será recibida el año 1.

A continuación se resume los gastos e ingresos a lo largo de los diez años que dura la rotación de los cultivos que vamos a cultivar en la parcela.

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
1	Alfalfa	19,17	1.074,68	20.601,52	2.537,00	48.634,29
			COSTES TOTALES	20.601,52	INGRESOS TOTALES	48.634,29

Tabla.12. Resumen de gastos e ingresos del primer año de rotación.

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
2	Alfalfa	19,17	1.074,68	20.792,21	2.537,00	48.634,29
			COSTES TOTALES	20.792,21	INGRESOS TOTALES	48.634,29

Tabla.13. Resumen de gastos e ingresos del segundo año de rotación.

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
3	Alfalfa	19,17	1.074,68	20.792,21	2.537,00	48.634,29
			COSTES TOTALES	20.792,21	INGRESOS TOTALES	48.634,29

Tabla.14. Resumen de gastos e ingresos del tercer año de rotación.

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
4	Alfalfa	19,17	1.074,68	20.792,21	2.537,00	48.634,29
			COSTES TOTALES	20.792,21	INGRESOS TOTALES	48.634,29

*Tabla.15.*Resumen de gastos e ingresos del cuarto año de rotación.

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
5	Alfalfa	19,17	1.074,68	20.792,21	2.537,00	48.634,29
			COSTES TOTALES	20.792,21	INGRESOS TOTALES	48.634,29

*Tabla.16.*Resumen de gastos e ingresos del quinto año de rotación.

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
6	Trigo	19,17	524,14	10.047,79	1.818,00	34.851,06
	Maíz	19,17	1.036,82	19.875,79	3.008,00	57.663,36
			COSTES TOTALES	29.923,58 €	INGRESOS TOTALES	92.514,42

*Tabla.17.*Resumen de gastos e ingresos del sexto año de rotación.

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
7	Girasol	19,17	492,95	9.449,89	1.940,00	37.189,80
			COSTES TOTALES	9.449,89	INGRESOS TOTALES	37.189,80

*Tabla.18.*Resumen de gastos e ingresos del séptimo año de rotación.

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
8	Cebada	19,17	501,18	9.607,53	1.328,00	25.457,76
	Maíz	19,17	1.036,82	19.875,79	3.008,00	57.663,36
			COSTES TOTALES	29.483,33 €	INGRESOS TOTALES	83.121,12

*Tabla.19.*Resumen de gastos e ingresos del octavo año de rotación.

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
9	Guisante	19,17	518,07	9.931,31	1.760,00	33.739,20
	Maíz	19,17	1.036,82	19.875,79	3.008,00	57.663,36
		COSTES TOTALES		29.807,10	INGRESOS TOTALES	91.402,56

Tabla.20. Resumen de gastos e ingresos del noveno año de rotación.

AÑO	CULTIVO	SUP. (ha)	COSTES (€/ha)	COSTES (€)	INGRESOS (€/ha)	INGRESOS (€)
10	Guisante	19,17	518,07	9.931,31	1.760,00	33.739,20
			COSTES TOTALES	9.931,31	INGRESOS TOTALES	33.739,20

Tabla.21. Resumen de gastos e ingresos del décimo año de rotación.

8.2. Estudio de rentabilidad

Por medio de una hoja de cálculo se calcula los **flujos de caja** que se originan cada año, teniendo en cuenta tanto los cobros, como los pagos que se originan de la explotación.

Flujo destruido: Valor numérico que corresponde a la diferencia entre los ingresos obtenidos en la parcela antes de la ejecución del proyecto y los gastos de la misma.

Pagos ordinarios: Valor numérico que corresponde a los costos que conllevan los cultivos implantados en la transformación.

Cobros ordinarios: Valor numérico que corresponde a los ingresos que conllevan los cultivos implantados en la transformación.

Pagos financieros: Valor correspondiente a la suma del capital anual a devolver más los intereses correspondientes al capital por devolver.

AÑO	COBRO ORD	COBRO EXTRA	COBRO FINAN	PAGO ORD	PAGO FINAN	FLUJO DESTR	PAGO INVERS	FLUJO CAJA
0			50.000,00				114.969,65	-64.970
1	48.634,29	3.067,20	19.544,84	20.601,52	5.250,00	14.931,51		30.463
2	48.634,29	3.067,20		20.792,21	5.250,00	14.931,51		10.728
3	48.634,29	3.067,20		20.792,21	5.250,00	14.931,51		10.728
4	48.634,29	3.067,20		20.792,21	5.250,00	14.931,51		10.728
5	48.634,29	3.067,20		20.792,21	5.250,00	14.931,51		10.728
6	92.514,42	3.067,20		29.923,58	5.250,00	14.931,51		45.477
7	37.189,80	3.067,20		9.449,89	5.250,00	14.931,51		10.626
8	83.121,12	3.067,20		29.483,33	5.250,00	14.931,51		36.523
9	91.402,56	3.067,20		29.807,10	5.250,00	14.931,51		44.481
10	33.739,20	3.067,20		9.931,31	5.250,00	14.931,51		6.694
11	48.634,29	3.067,20		20.601,52		14.931,51		16.168
12	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
13	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
14	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
15	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
16	92.514,42	3.067,20		29.923,58		14.931,51		50.727
17	37.189,80	3.067,20		9.449,89		14.931,51		15.876
18	83.121,12	3.067,20		29.483,33		14.931,51		41.773
19	91.402,56	3.067,20		29.807,10		14.931,51		49.731
20	33.739,20	3.067,20		9.931,31		14.931,51		11.944
21	48.634,29	3.067,20		20.601,52		14.931,51		16.168
22	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
23	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
24	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978
25	48.634,29	3.067,20		20.792,21		14.931,51		15.978

Tabla.22. Flujo de caja.

8.3. Estudio de viabilidad

Una vez calculados los flujos de caja en el apartado anterior, se han calculado los índices de rentabilidad que se exponen a continuación:

- Valor Actual Neto (VAN): **239.684,56 € (interés del 5%)**
- Tasa Interna de Rentabilidad (TIR): **31%**
- Pay Back: **6 años.**

9. Conclusiones

El valor de la inversión es de 79.845,58 € más un 13% por gastos generales y más un 6% debido al beneficio empresarial, más el 21 % de IVA, así el valor total de la inversión es de 114.969,65 €. **Desde el punto de vista del VAN se observa que la inversión es rentable. El TIR es superior al tipo de interés utilizado, por lo tanto la inversión también es rentable.**

Para este estudio de rentabilidad se ha considerado el cuadro de rotación de cultivos ideal utilizando todos los cultivos seleccionados expuesto en el Anejo 5, pero se podría recurrir a cultivar cultivos que sean más rentables que otros, es decir la rentabilidad sería mucho mayor si se practicase el cuadro de rotación con solo los cultivos más habituales en la zona (Alfalfa, guisante y maíz).

Los precios escogidos son los anuales de campañas anteriores, por lo que su variación a lo largo del año y en años venideros también haría variar los beneficios y en consecuencia la rentabilidad de la transformación de la parcela de estudio.

También es cierto, que la ayuda o subvención recibida por la Administración varía de un año a otro, pero afrontar la inversión sin ninguna ayuda es prácticamente inviable.