



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# *UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA*

*ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL (E.T.S.I.A.M.I.N.)*



Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Agronómica  
y del Medio Natural

*Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural*

## **PROYECTO DE DISEÑO Y DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA CULTIVOS HORTÍCOLAS EN ALMANSA**

Autor: **Eduardo Demetrio Gras Sáez**

Tutora: Carmen Virginia Palau Esteban

VALENCIA, a 5 de Julio de 2021.

## **RESUMEN:**

**TÍTULO DEL PROYECTO:**

# **DISEÑO Y DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA CULTIVOS HORTÍCOLAS EN ALMANSA (ALBACETE)**

En inglés: DESIGN AND DIMENSIONING OF A SPRINKLER IRRIGATION SYSTEM FOR HORTICULTURAL CROPS IN ALMANSA (ALBACETE)

En valenciano: DISSENY I DIMENSIONAMENT D'UNA INSTAL·LACIÓ DE REG PER ASPERSIÓ PER A CULTIUS HORTÍCOLES A ALMANSA (ALBACETE)

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

En castellano:

El objetivo de este trabajo final de grado es la puesta en marcha de un equipo de riego por aspersión en una finca destinada a la producción de cultivos herbáceos (cebolla/nabo) en el término municipal de Almansa (Albacete). Se dispone de una única parcela cuyas dimensiones son 8.5 hectáreas.

El proyecto contendrá un análisis de funcionamiento y características del sistema de riego por aspersión, con la intención de decantarse por sistemas actuales que trabajen a media o baja presión. Para la elección más adecuada se diseñará la red de distribución del agua con los cálculos hidráulicos pertinentes. Se procederá a la sectorización del sistema y se estudiarán diferentes distribuciones de los aspersores dentro de la parcela con el objetivo de obtener altas eficiencias de aplicación.

Además, se estimarán las necesidades hídricas de diferentes especies que serán cultivadas de acuerdo con la climatología de la zona y características propias de las especies cultivadas. El suministro de agua será a partir de un pozo ya perforado, donde hará falta seleccionar un grupo de presión para elevar el agua y garantizar la energía suficiente para que los aspersores rieguen con la uniformidad establecida. La elección final se basará principalmente en la instalación que menos costes genere tanto de instalación como de gasto energético, sin dejar de lado los parámetros de eficiencia del riego.

En inglés:

The aim of this final degree project is the implementation of a sprinkler irrigation system on a farm for the production of arable crops (onion/turnip) in the municipality of Almansa (Albacete). There is a single plot of land measuring 8.5 hectares.

The project will contain an analysis of the operation and characteristics of the different sprinkler irrigation equipment, with the intention of opting for current systems working at medium or low pressure. For the most appropriate choice, the water distribution network will be designed with the relevant hydraulic calculations. The system will be sectorised and different sprinklers distributions of the within the plot will be studied in order to obtain high application efficiencies.

In addition, the water requirements of the different species that will be cultivated will be estimated according to the climatology of the area and the characteristics of the cultivated species. The water supply will be from a well already drilled, where it will be necessary to select a pressure group to raise the water and guarantee sufficient energy for the sprinklers to irrigate with the established uniformity. The final choice will be based mainly on the installation that generates the lowest costs both in terms of installation and energy expenditure, without neglecting the parameters of irrigation efficiency.

#### **PALABRAS CLAVE DEL PROYECTO:**

En castellano:

Cultivos, cebolla, nabo, riego por aspersión, red de distribución, necesidades hídricas, grupo de presión.

En inglés:

Crops, onion, turnip, sprinkler irrigation, distribution network, water requirements, pressure group.

***Alumno: D. Eduardo Demetrio Gras Sáez.***

***Tutor Académico: Prof. Dña. Carmen Virginia Palau Esteban.***

***Localidad y fecha: Almansa a 5 de Julio de 2021-07-05***



## **ÍNDICE PROYECTO**

### **DOCUMENTO 1. MEMORIA**

### **DOCUMENTO 2. ANEJOS A LA MEMORIA**

- ***ANEJO 1. Situación, análisis y objetivos.***
- ***ANEJO 2. Estudio climático.***
- ***ANEJO 3. Estudio edafológico.***
- ***ANEJO 4. Estudio calidad agua de riego.***
- ***ANEJO 5. Rotación de cultivos propuesta.***
- ***ANEJO 6. Diseño agronómico.***
- ***ANEJO 7. Dimensionado de la red.***

### **DOCUMENTO 3. PLANOS**

- ***Plano 1. Emplazamiento.***
- ***Plano 2. Localización.***
- ***Plano 3. Superficie regable.***
- ***Plano 4. Cotas (Z) topográficas.***
- ***Plano 5. Diseño de ramales porta-aspersores y terciarias.***
- ***Plano 6. Dimensionado posturas de riego.***
- ***Plano 7. Dimensionado red transporte agua hasta terciaria.***
- ***Plano 8. Esquema hidráulico de la instalación.***

### **PRESUPUESTO DETALLADO**



# **DOCUMENTO 1.**

## **MEMORIA**

## ÍNDICE DOCUMENTO 1. MEMORIA

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes, objetivo y ubicación.....</b>	<b>1</b>
2.1 Antecedentes.....	1
2.2 Objetivo.....	1
2.3 Ubicación.....	2
<b>3. Estudio alternativas.....</b>	<b>2</b>
<b>4. Estudios realizados.....</b>	<b>3</b>
4.1 Estudio climatológico.....	3
4.1.1 Temperatura.....	3
4.1.2 Heladas.....	4
4.1.3 Precipitaciones. ....	4
4.1.4 Humedad relativa. ....	5
4.1.5 Viento. ....	5
4.1.6 Radiación solar. ....	6
4.1.7 Clasificación climática. ....	6
4.1.8 Evapotranspiración de referencia. ....	7
4.1.9 Evapotranspiración aplicada al cultivo. ....	7
4.2 Estudio edafológico.....	10
4.2.1 Propiedades físicas. ....	10
4.2.2 Propiedades químicas. ....	11
4.2.3 Enmienda húmica necesaria a aportar. ....	12
4.3 Estudio calidad agua de riego.....	12
4.4 Rotación de cultivos propuesta.....	14
4.5 Diseño agronómico.....	14
4.5.1 Necesidades hídricas. ....	15
4.5.2 Dosis máximas y dosis útil de agua. ....	15
4.5.3 Intervalo entre riegos. ....	16
4.6 Características sistema de riego.....	16
4.6.1 Marco instalación aspersores. ....	16
4.6.2 Pluviometría aportada. ....	17
4.6.3 Duración del riego. ....	17
4.6.4 Organización por posturas de riego. ....	18
4.7 Cálculos hidráulicos.....	19
4.7.1 Datos parcela. ....	19
4.7.2 Cálculos caudales por postura de riego. ....	19
4.7.3 Elección de materiales. ....	20
4.7.4 Dimensionado ramales porta-aspersores y terciarias.....	21
4.7.5 Dimensionado red de transporte de agua hasta terciarias.....	22
4.7.6 Resumen de resultados.....	23
4.7.7 Elementos singulares.....	25
<b>5. Presupuesto.....</b>	<b>25</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>26</b>
<b>7. Webgrafía.....</b>	<b>27</b>

## **1. Introducción.**

Castilla-La Mancha cada vez está implantando más el regadío a toda su superficie dedicada a la agricultura siendo esta un gran aporte de hortalizas como la cebolla o el ajo, cereales y frutos secos a toda la industria de España y de la Unión Europea.

En esta comunidad se tiene más de 500.000 hectáreas en regadío y aumenta en cada registro anual.

En este caso la disponibilidad hídrica no resulta un inconveniente ya que se explota un acuífero extenso como es el del Mesozoico del flanco occidental de la Ibérica.

## **2. Antecedentes, objetivo y ubicación**

### **2.1 Antecedentes.**

El abandono de canalizaciones de agua antiguas como acequias, presentes en la zona de estudio, ha llevado a buscar otras fuentes de agua como pueden ser los acuíferos.

Otro aspecto muy a tener en cuenta es la aplicación del riego, pues si es aplicado en riego por superficie (riego a manta, por tablares, etc.) se obtienen eficiencias de aplicación de hasta un 70% en las ocasiones de buen manejo mientras que en el riego por aspersión se alcanzan valores de eficiencia de aplicación de hasta 85-90%, cuando la instalación está correctamente diseñada. Los riegos por superficie van reduciendo la superficie total en la que son aplicados conforme el tiempo avanza y se implantan nuevos materiales y formas de trabajar.

### **2.2 Objetivo.**

El objeto de este proyecto es la definición técnica y económica de las obras que a ejecutar para el equipamiento mediante cobertura total enterrada de una parcela de 8,44 hectáreas de superficie.

Para el correcto dimensionado de la red de transporte y grupo de bombeo se van han realizado una serie de estudios, los cuales se presentan en forma de anejo:

- Estudio de Situación, análisis y objetivos
- Estudio climatológico
- Estudio edafológico
- Estudio de la calidad del agua de riego
- Rotación de cultivos propuesta
- Diseño agronómico
- Dimensionado de la red
- Presupuesto

En conclusiones se pretende con este proyecto:

- Obtener mayores rendimientos en cada uno de los cultivos que se propondrán.
- Mayor comodidad en el manejo.
- Aumentar la rentabilidad de la explotación.

### 2.3 Ubicación.

Localización y emplazamiento:

- Término municipal: Almansa
- Provincia: Albacete
- Superficie finca: 8,4441 ha

Linderos:

- Norte: Parcela cultivo ajos
- Sur: Carretera CM-3220
- Este: Camino agrícola y Granja Porcina
- Oeste: Camino agrícola

Identificación catastral:

- Referencia catastral: 02009A511000260000DQ
- Localización catastral: Polígono 511, Parcela 26, PRIMERA MANCORA ALM.
- Término municipal: Almansa
- Clasificación catastral del suelo: Rústico
- Uso: Agrario
- Superficie del suelo: 84.441 m<sup>2</sup>
- Clase de cultivo: Cultivo Regadío Labor
- Intensidad productiva: 01

### 3. Estudio de alternativas.

En primer lugar se han de exponer los requisitos del promotor:

- El promotor ha exigido que estén los siguientes cultivos: Ajo, Cebolla, Zanahoria, Maíz y Cebada, ya que todos estos serán consumidos directamente por el mismo para otro proceso en la industria agroalimentaria que él dirige como son una granja porcina y una cadena de supermercados.
- El riego ha de ser riego por aspersión en cobertura total enterrada, debido a la maquinaria que posee el mismo.

- Implantar el mayor número de cultivos posible a lo largo de 5 años (dentro de estos 5 años han de implantarse los cultivos anteriormente nombrados) y en estos obtener unos rendimientos lo más elevado posible utilizando todos los insumos como pueden ser la aplicación de fertilizantes a razón de las extracciones de cada cultivo, aplicación de herbicidas, laboreo del terreno etc.

Con las condiciones expuestas se procederá al estudio de las diferentes variables requeridas para el correcto dimensionado de la red de tuberías y grupo de bombeo en un sistema de riego por aspersión.

#### **4. Estudios realizados.**

En cada uno de estos estudios realizados se ha detallado la metodología y la información utilizada para la caracterización de cada uno de los parámetros analizados y se muestran organizados a modo de anejos.

##### **4.1 Estudio climatológico.**

Los datos meteorológicos utilizados han sido obtenidos de la estación meteorológica de Almansa cuyas coordenadas son: latitud 38° 53' 43,03 Norte y longitud 1° 5' 55,65 Oeste a una altitud de 698 m.s.n.m. siendo esta una información muy fiable debido a su cercanía a la parcela en cuestión, tan solo a unos 500 metros aproximadamente.

Esta estación pertenece al SIAR (Servicio Integral de Asesoramiento al Regante) del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

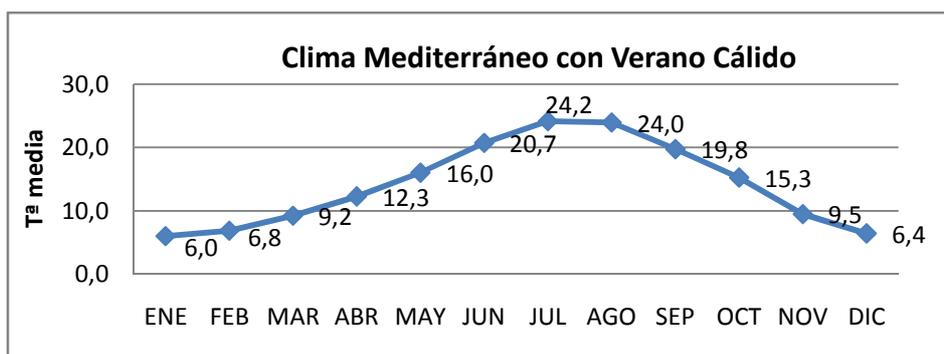
La toma de datos meteorológicos abarcará un periodo de 10 años, de 2010-2020, suficientes datos para tener con exactitud los valores adecuados para la realización del proyecto.

Los parámetros climáticos que estudiaremos son: las temperaturas, régimen de heladas, precipitaciones, humedad relativa, viento y radiación solar.

##### **4.1.1 Temperatura**

Podemos considerar que en la zona de estudio, el clima se identifica como Mediterráneo con verano cálido:

- La temperatura media anual es de: 14,2°C
- La temperatura media del mes más frío: 6°C
- La temperatura media en los meses más cálidos es de: 24,2°C



**Figura1.** Clima Mediterráneo según Köppen.

#### 4.1.2 Régimen de heladas.

Según el modelo de Emberger para la clasificación de periodos de heladas se concluye que hay riesgo frecuente de helada ( $t^{\circ}$  media de las mínimas entre  $3^{\circ}\text{C}$  y  $7^{\circ}\text{C}$ ) durante los meses de diciembre, enero y febrero.

#### 4.1.3 Precipitaciones

Las precipitaciones en el lugar de la plantación se dan de forma escasa y concentrada en su mayoría en los meses de noviembre, marzo, abril y mayo.

Cabe destacar que durante todo el verano se produce un periodo prolongado de sequía que tendremos que suplir con el sistema de riego elegido.

La pluviometría media anual se sitúa en torno a 400 (mm/año), repartiéndose por estaciones según muestra la siguiente tabla:

ESTACION	MES	P media(mm)	Nº EVENTOS DE PRECI.	% EVENTOS	% PRECI.
INVIERNO	Diciembre	27,0	5	27	20
	Enero	32,0	4		
	Febrero	22,0	5		
PRIMAVERA	Marzo	52,9	5	34	36
	Abril	48,5	6		
	Mayo	39,5	6		
VERANO	Junio	19,1	3	12	15
	Julio	14,0	1		
	Agosto	26,2	2		
OTOÑO	Septiembre	37,8	4	27	29
	Octubre	25,5	5		
	Noviembre	52,4	5		

**Tabla1.** Valores medios de Precipitación mensual ( $P_{media}$ , en mm) junto al % que supone por estaciones y su reparto por eventos, elaborados a partir de los datos obtenidos de la estación meteorológica del SIAR en Almansa.

Como se ha dicho es de vital importancia tener en cuenta que las precipitaciones se dan de forma torrencial como se dijo anteriormente, por eso se calculará la *Precipitación efectiva*, desde un punto de vista agronómico, se puede decir que, un agricultor individual considera que la lluvia efectiva es aquella cantidad que es útil para sembrar cultivos en su suelo, bajo su manejo. El agua que sale del campo por escorrentía o por percolación profunda más allá de la zona de las raíces de su cultivo es ineficaz. En el anejo de climatología se muestran los valores de este dato.

#### 4.1.4 *Humedad relativa.*

El parámetro de la humedad relativa es de vital importancia tenerlo en cuenta para el cálculo de los requerimientos hídricos de cualquier cultivo, por ejemplo para el cálculo de la Evapotranspiración de referencia.

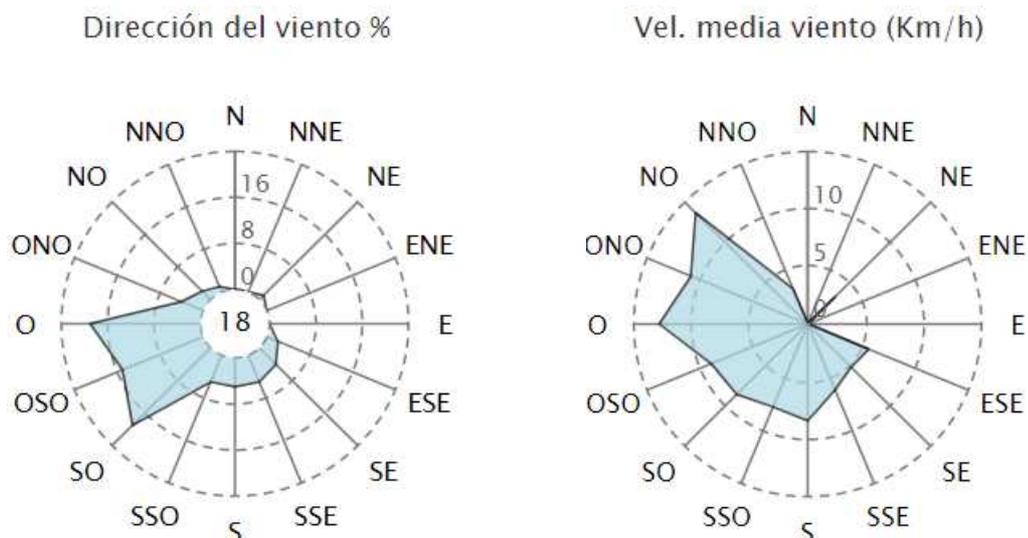
La humedad relativa media anual se situó en 67%, oscilando desde 55% (meses de verano) hasta 78% (meses de invierno).

#### 4.1.5 *Viento.*

El viento es un factor limitante en algunos de los diferentes sistemas de regadío, en este caso al ser riego por aspersión, el viento puede condicionar la aplicación del riego reduciendo su eficiencia de aplicación ya que por la fuerza de este desplaza la mayoría de las gotas aplicadas por el aspersor.

La velocidad media anual del viento en la serie climática escogida resultó 2,3 m/s, variando entre, 1,7 m/s en el mes de octubre y 3,2 m/s en el mes de febrero.

A continuación se muestran dos figuras denominadas “rosas de los vientos” donde se puede ver la dirección de los vientos predominantes (%) y otra con la velocidad media (Km/h), será de vital importancia tener en cuenta estos valores a la hora de diseñar el sistema de riego y la distribución



**Figuras 2 y 3.** Rosas de los vientos mostrando sus porcentajes y velocidades respecto su dirección proveniente.

#### 4.1.6 Radiación solar extraterrestre.

Es necesario el dato de **Radiación Solar Extraterrestre ( $R_a$ )** para calcular la Evapotranspiración (Apartado 8), esta  $R_a$  es la radiación solar media que incide sobre una superficie horizontal que se encuentra por encima de la atmósfera terrestre. Esta varía en cada instante de tiempo según la posición de un punto en concreto de la Tierra y de la posición de ésta respecto la posición del Sol.

También es necesario para el cálculo de la Evapotranspiración obtener el **coeficiente de insolación  $n/N$** , donde  $n$  son las horas de insolación reales (tiene en cuenta la nubosidad) y  $N$  son las horas de insolación teóricas (se obtiene por la latitud sin tener en cuenta la nubosidad).

Los valores de **Radiación Solar Extraterrestre ( $R_a$ )** y  $n$  serán extraídos de los datos registrados por la estación meteorológica entre los años 2010-2020.

El valor de  $N$  se obtiene de forma teórica y para este caso será obtenida del Documento 56 de la FAO "Evapotranspiración del cultivo".

Se destaca que la máxima radiación solar extraterrestre ( $R_a$ ) es registrada en julio con  $27 \text{ MJ/m}^2\cdot\text{día}$ .

Por otro lado las horas de insolación real ( $n$ ) se sitúan entre 12,7 horas en el mayor de los casos y 6,8 horas en el menor.

#### 4.1.7 Clasificación climática

Según el Índice de LANG nos encontramos en una zona árida.

Diagrama ombrotérmico de Gausson corresponde a un clima monoxérico, a continuación se muestra.

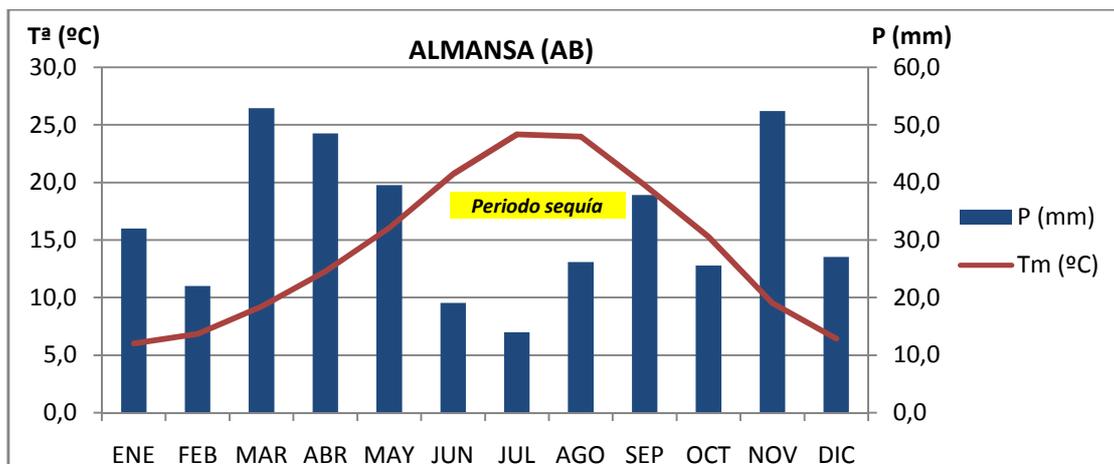


Figura 4. Diagrama ombrotérmico de Gausson en la zona de estudio.

#### 4.1.8 Evapotranspiración de referencia.

Para la estimación de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) se va a utilizar la metodología FAO Penman-Monteith.

Los datos de  $ET_0$  son proporcionados por la estación meteorológica del SIAR en la localidad de Almansa y son calculados por la misma metodología antes nombrada.

Se detectó unos valores máximos de 204,7 mm/mes en la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) en el mes de julio, por otro lado, resultaron 34,5 mm/mes de  $ET_0$  en el mes de diciembre. Mientras que anualmente se registró 1296 mm de  $ET_0$ .

#### 4.1.9 Evapotranspiración aplicada al cultivo.

Siguiendo el procedimiento mencionado, de acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_0$ ) y el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ):

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c$$

Donde:

- $ET_c$ : Evapotranspiración del cultivo (mm/día)
- $K_c$ : Coeficiente del cultivo.
- $ET_0$ : Evapotranspiración de referencia (mm/día).



En el mismo documento de la FAO muestra los **coeficientes de cultivo Kc** para cada una de las diferentes fases del cultivo en sí. A continuación se muestran dichos valores:

VALORES DE Kc PARA LOS DIFERENTES CULTIVOS				
CULTIVO	F <sub>inic</sub>	F <sub>desarr</sub>	F <sub>medio</sub>	F <sub>final</sub>
Cebolla	0,15	$\Delta Kc^{**}$	0,95	0,65
Nabo	0,15	$\Delta Kc^{**}$	1	0,85
Zanahoria	0,15	$\Delta Kc^{**}$	0,95	0,85
Guisante	0,15	$\Delta Kc^{**}$	1,1	0,2
Maíz	0,15	$\Delta Kc^{**}$	1,15	0,15-0,5 *
Ajo	0,15	$\Delta Kc^{**}$	0,9	0,6
Acelga	0,15	$\Delta Kc^{**}$	0,9	0,85
Cebada	0,15	$\Delta Kc^{**}$	1,1	0,15
Espinaca	0,15	$\Delta Kc^{**}$	0,9	0,85

**Tabla3.** Valores de Kc en cada una de las diferentes fases de los cultivos, extraído del Documento 56 de la FAO "Evapotranspiración del cultivo".

\*: El primer valor de Kc fin corresponde a los casos donde el cultivo se cosecharon gran humedad en el grano. El segundo valor de Kc fin es para cuando se cosecha después de un secado completo del grano en el campo (hasta alrededor de 18% de humedad, basado en materia húmeda).

\*\* : Como se puede ver en la *Figura 6*, en la Fase desarrollo la cobertura del suelo varía debido al crecimiento del cultivo en sí por lo que el valor de Kc sigue un modelo lineal ascendente, se medirá el incremento de Kc y posteriormente se dividirá entre el nº de días de dicha fase del cultivo y obtendremos el aumento diario de Kc, con esto se ajustará el valor de Kc por quincenas.

A continuación se muestra una tabla con la duración y distribución temporal por quincenas de los diferentes cultivos junto a los valores de Kc aplicado al cultivo. Para consultar las fechas de siembra y recolección de los cultivos seleccionados se ha consultado el documento del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de "Calendario de siembra, recolección y comercialización 2014-2016", de Castilla-La Mancha.

VALORES DE Kc PARA LOS DIFERENTES CULTIVOS POR QUINCENAS																
CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC				
Cebolla			0,15	0,37	0,6	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,65	0,65	0,65	0,65
Nabo	1	0,85										0,15	0,17	0,57	1	
Zanahoria			0,15	0,15	0,39	0,63	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,85	0,85	
Guisante	0,15	0,15	0,47	0,79	1,1	1,1	1,1	1,1	0,2	0,2		0,15	0,15	0,15	0,15	
Maíz							0,15	0,58	1	1	1	1	1	0,5	0,15	
Ajo	0,15	0,15	0,43	0,71	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6				0,15	0,15
Acelga							0,15	0,71	0,9	0,9	0,9	0,85				
Cebada	0,63	0,87	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,85	0,15	0,15		0,15	0,15	0,15	0,39	
Espinaca	0,85										0,15	0,28	0,53	0,9	0,9	0,9

**Tabla4.** Valores de Kc asignado por quincenas, elaborados por el autor.

Se han elaborado unas tablas resumen con los resultados obtenidos de evapotranspiración aplicada al cultivo (ETc), agrupados por años, estas se muestran en el anejo estudio climatología.

El AÑO 2 corresponde al periodo de máxima Evapotranspiración aplicada a los cultivos (ETc) con 886 mm/anuales y será el que utilizaremos para el diseño de la instalación de riego por aspersión.

#### 4.2 Estudio edafológico.

Es de vital importancia caracterizar adecuadamente nuestro suelo no solo por los cultivos que se puedan implantar y las carencias que les puedan surgir sino también para el diseño agronómico en los cálculos de la cantidad de agua que es capaz de retener nuestro suelo y así evitar las pérdidas de agua por percolación profunda y/o escorrentía al aplicar una cantidad de agua excesiva para el suelo objeto de estudio.

Se van a mostrar las conclusiones obtenidas en el anejo estudio edafológico.

##### 4.2.1 Propiedades físicas

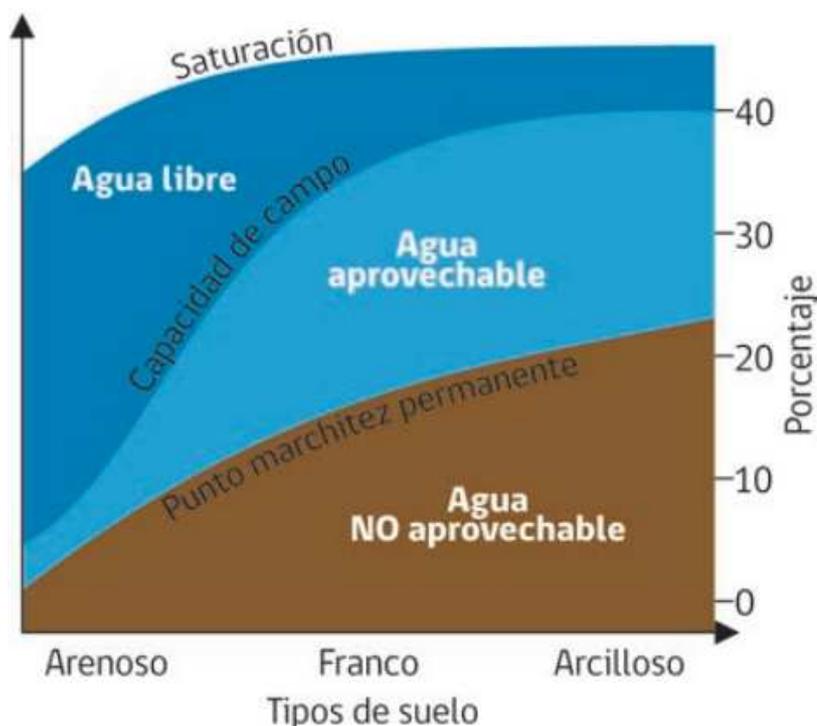
PRUEBA	RESULTADO	UNIDADES
Arena	67	%
Limo	19	%
Arcilla	14	%

**Tabla5.** Datos para la determinación textural del suelo, a 30cm de profundidad.

Según la metodología de la USDA para la clasificación de la textura a partir de los porcentajes de arena, limo y arcilla el suelo objeto de análisis posee una **textura Franco arenosa con una densidad aparente (da) 1,575 t/m<sup>3</sup>**

Se ha calculado la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PM) y agua útil (Au).

A continuación se muestra una figura representado a grosso modo la relación que existe entre textura del suelo y los diferentes parámetros como son capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PM).



**Figura 6.** Relación entre textura del suelo y capacidad de campo y/o punto de marchitez, obtenido imágenes google.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

PRUEBA	RESULTADO	UNIDADES
Capacidad Campo, CC	14	% en peso
Punto marchitez, PM	7,15	% en peso
Agua útil, AU	6,85	% en peso

**Tabla6.** Valores calculados de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez y Agua Útil expresados en % de peso de los gramos de agua por cada 100 gramos de suelo seco.

#### 4.2.2 Propiedades químicas

Los resultados obtenidos en el análisis de suelo son los siguientes, se han tenido en cuenta criterios de clasificación como son el de USDA o FAO:

- El **pH** del suelo es de **8,38 uds. de pH, medianamente alcalino**, suelo típico de la zona de Castilla-La Mancha.
- La **conductividad eléctrica** del extracto saturado **CE<sub>es</sub>** de nuestro suelo es de **1,1 dS/cm, muy ligeramente salino**.
- Unos niveles de **9% en Caliza Activa** y **18% de Carbonatos Totales**, estos últimos se interpretan como **normal**, de forma similar, la **Caliza Activa** se puede clasificar como cantidad **media**.
- En el muestreo de suelo resultaron 2100 ppm de **Calcio (Ca)** presente en el suelo, se puede considerar cantidad **normal**.

- En el muestreo de suelo resultaron 284 ppm de **Magnesio (Mg)** presente en el suelo, se puede considerar cantidad **alta**.
- En el muestreo de suelo resultaron 400 ppm **Potasio (K)** presente en el suelo se puede considerar **muy alta**.
- En el muestreo resultaron 60ppm de **fósforo (P)** presente en el suelo lo que se puede interpretar como un **nivel alto**.
- Para valorar si el suelo en cuestión presenta problemas de liberación de sodio (Na) por parte del complejo de cambio del suelo, se va a calcular su relación de absorción de sodio (RAS) y con ella se obtendrá el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). **El PSI resulta 0,296 %** lo que se interpreta como un **suelo no sódico** porque es menor de 15%.

#### 4.2.3 *Enmienda húmica para el mantenimiento de M.O. presente en el suelo.*

Se puede considerar que el **nivel de M.O. es alto** ya que el valor obtenido en el muestro resultó **2,1%**.

Se ha de realizar un balance de M.O. en el suelo para la estimación de la cantidad de estiércol que es necesario aportar para mantener un 2% como mínimo de M.O.

$$\text{Balance M.O.} = \text{Aporte total humus} - \text{Humus total mineralizado}$$

Se va a aplicar **estiércol maduro de ovino** cuyo **coeficiente isohúmico (K<sub>1</sub>)** es de **0,4-0,5** (Gross, 1986) y **cuya materia seca (MS)** es de **30-40%**.

Resultan alrededor de **20tn/ha de estiércol maduro de ovino** cada 5 años, que serán necesarios aportar si queremos mantener el nivel de M.O. adecuado en el suelo en el transcurso de todos los cultivos en la propuesta de rotación teniendo

**Se recomienda realizar el aporte en el AÑO 4 durante el verano** ya que en ese periodo no se ha previsto implantar ningún cultivo hasta la llegada del otoño.

#### 4.3 *Estudio de la calidad del agua de riego.*

Es imprescindible analizar la calidad del agua de riego ya que esta puede contener diferentes elementos disueltos o en suspensión lo que puede afectar negativamente al desarrollo de los cultivos o a la instalación de riego.

El agua de riego proviene de un pozo con el siguiente identificador según el IGME (Instituto Geológico y Minero de España):

INFORMACIÓN DEL PUNTO	
Identificador	2731-5-0008
Hoja	2731
Octante	5
Punto	0008

LOCALIZACIÓN	
Municipio	Almansa
Provincia	Albacete
Sistema acuífero	Mesozoico del flanco occidental de la Ibérica
Unidad hidrogeológica	Mancha oriental
Cuenca	Júcar

PIEZOMETRÍA	
Profundidad del agua	25,68 m
Nivel piezométrico	663,32 m.s.n.m.

**Tabla 7.** Información del punto de abastecimiento, pozo, datos proporcionados por el IGME.

En el anejo estudio de la calidad del agua de riego se muestra un análisis de la misma, a continuación, se muestran las conclusiones obtenidas.

Es muy importante tener en cuenta las unidades fertilizantes (UF) de los diferentes elementos que se aportan al cultivo a través del agua de riego para no excederse en la aplicación de fertilizantes. A continuación, se muestra una tabla con los Kg de fertilizante que se aplican a través del agua de riego:

PARÁMETROS	Kg/(ha·1000m <sup>3</sup> )	Kg/(ha·5000m <sup>3</sup> )
Nitratos	10,5	55
Potasio	2,4	12
Calcio	15	77
Magnesio	8	40
Hierro	0,006	0,03
Fosfatos	0,021	0,105

**Tabla 8.** Cantidad de compuestos fertilizantes en Kg/ha·1000m<sup>3</sup> o 5000m<sup>3</sup>.

Las conclusiones que sacamos son las siguientes:

- En el análisis del agua resultó una **Conductividad eléctrica a 25°C de 953 µS/cm** lo que se puede interpretar como **apta con precauciones**.
- El **nivel de sólidos en suspensión** se interpreta como **apto**.
- El resultado del **nivel de bicarbonatos** fue **apto con precauciones**.
- La **concentración de hierro** resultó **apto**.
- La **concentración de sodio** se puede clasificar como **apto**.

- **Resultan 31,5 grados franceses (F)** lo que se interpreta como **agua medianamente dura**, aunque está muy próxima al rango superior.
- Según las normas Riverside los datos corresponden a un tipo de agua C3-S1, **Aguas utilizables para el riego con precauciones**.
- Según la interpretación de la FAO se puede decir que se trata de **aguas para riego de buena calidad**.

Se concluye que el agua de riego es aceptable con precauciones, las cuales son que el nivel de sales en el agua resulto elevado lo que tendrá que ser tenido en cuenta con aumentos de frecuencia de riego.

#### *4.4 Rotación de cultivos propuesta.*

A parte de las condiciones del promotor se han tenido en cuenta las siguientes premisas:

- No cultivar dos veces seguidas el mismo cultivo o cultivos que pertenezcan a la misma familia botánica para evitar la proliferación de malas hierbas y patógenos específicos.
- Intercalar cultivos que sean mejorantes como las leguminosas (guisante).
- La aplicación de las necesidades hídricas se realiza por aspersión por lo que los cultivos deben ser tolerantes a este tipo de riego.
- Capacidad del propietario de comercializar los productos.
- Alternar cultivos que sean buenos precedentes de otros como en el caso del nabo, tiene un buen precedente como es la cebolla o el caso del maíz, cultivo que tiene un buen precedente como es el guisante como se ha demostrado en muchos estudios agronómicos.

Al principio de la memoria se ha presentado la propuesta de rotación de cultivos.

En el anejo rotación de cultivos se ha especificado unas ciertas premisas en cuanto al tipo de suelo y en cuanto a las cantidades de fertilizante que se han de aplicar en cada uno de los cultivos e indicando en algunos casos la dosificación del N que se ha de aportar en cada caso.

#### *4.5 Diseño agronómico.*

En este apartado se van a calcular las necesidades de agua que tendrá que suministrar el sistema de riego por aspersión para cada uno de los cultivos de la rotación propuesta.

Como se ha visto las precipitaciones en la zona de estudio no resultan suficientes para el correcto desarrollo de los diferentes cultivos seleccionados, la cantidad de agua requerida por cada cultivo a lo largo de su desarrollo se aportará con el sistema de riego seleccionado.

#### 4.5.1 Necesidades hídricas.

Las necesidades hídricas de los diferentes cultivos se obtienen del balance entre la **evapotranspiración aplicada al cultivo (ETc)** y la **precipitación efectiva (Pe)** en el mismo periodo de cada uno de los cultivos propuestos.

A continuación, se muestra el año que posee el mes con mayores necesidades hídricas o volumen de riego requerido en cada uno de los meses del cultivo correspondiente. En el anejo diseño agronómico se puede ver detalladas las necesidades hídricas en cada uno de los cultivos propuestos.

Donde:

- *ETc*: Evapotranspiración aplicada al cultivo.
- *Pe*: Precipitación efectiva.
- NHnetas: Necesidades hídricas netas.
- NHbrutas: Necesidades hídricas brutas, (estimando 85% de *Ea*, eficiencia de aplicación).

- |  |  |
|--|--|
|  | Dato máximas necesidades mensuales y diarias en mm |
|  | Meses donde el cultivo solo está 15 días.          |

		AÑO 1 -NECESIDADES HÍDRICAS						
		(mm/mes) <i>ETc</i>	(mm/15días) <i>ETc</i>	(mm/mes) <i>Pe</i>	(mm/15días) <i>Pe</i>	mm/mes <i>NHnetas</i>	mm/mes <i>NHbrutas</i>	mm/día <i>NHbrutas</i>
Espinaca	ENE	18,5	9,3	14,9	7,4	11,1	13,1	0,42
	FEB	-	-	7,1	3,5	-	-	-
Cebolla	MAR	22,2	11,1	25,0	12,5	-2,9	-2,4	-0,08
	ABR	83,2	41,6	21,5	10,7	61,8	72,7	2,42
	MAY	141,7	70,8	15,8	7,9	125,9	148,1	4,78
	JUN	171,9	86,0	8,8	4,4	163,2	192,0	6,40
	JUL	195,3	97,6	3,7	1,9	191,6	225,4	7,27
	AGO	117,9	58,9	13,5	6,7	104,4	122,8	3,96
	SEP	79,1	39,6	19,8	9,9	59,3	69,7	2,32
	OCT	-	-	11,2	5,6	-	-	-
Nabo	NOV	7,3	3,6	25,3	12,7	-18,0	-15,3	-0,51
	DIC	27,3	13,7	11,8	5,9	15,5	18,2	0,59

**Tabla 9.** Necesidades hídricas en el AÑO 1.

#### 4.5.2 Dosis máxima y útil de riego.

Se han calculado las dosis de agua máximas que, con nuestro suelo, podrían aprovechar los cultivos implantados. Resultó en el caso más desfavorable una

dosis máxima de 54 mm/riego en el caso de la cebolla y por contrario el caso más favorable lo encontramos en la cebada con una dosis máxima de 108 mm/riego.

Como se sabe el punto de marchitez permanente no se ha de llegar a él, podría provocar el descenso del rendimiento de la cosecha, por lo que se va a aplicar un factor reductor ( $\alpha$ ) adoptando un valor diferente según cada cultivo según la fracción de agua del suelo que puede ser agotada antes de que la planta sufra estrés hídrico en cada caso, estos valores han sido obtenidos del documento de la FAO, Evapotranspiración del cultivo en condiciones no estándar (parte C).

Cultivo	m <sup>3</sup> /ha y riego Dosis máximas <i>Dm</i>	Factor reductor	m <sup>3</sup> /ha y riego Dosis útil <i>Du</i>	mm/riego Dosis útil <i>Du</i>
Cebolla	539,44	0,3	161,83	16,18
Zanahoria	809,16	0,35	283,20	28,32
Maíz	1078,88	0,4	431,55	43,16
Acelga	431,55	0,2	86,31	8,63
Cebada	1078,88	0,4	431,55	43,16

**Tabla 10.** Dosis máxima y útil de agua en cada riego.

#### 4.5.3 Intervalo entre riegos.

Se va a calcular el tiempo que ha de transcurrir entre dos riegos consecutivos, para ello se utilizará la dosis útil como cantidad máxima de agua que se aporta de manera ininterrumpida.

El intervalo entre riegos se calculará para el cultivo más exigente en cada uno de los años de la propuesta de cultivos en el mes más exigente de estos, los resultados se muestran en el anejo diseño agronómico.

El caso más desfavorable resultó la cebolla durante el mes de julio en cuyo caso el intervalo entre riegos resultó de 2 días, por otro lado, en el caso de la cebada se obtuvieron 11 días de intervalo entre riegos consecutivos durante el mes de abril, aplicando en cada uno de ellos la dosis útil expuesta.

#### 4.6 Características sistema riego.

##### 4.6.1 Marco instalación de los aspersores

Se va a optar por una **disposición en cuadrado** con un **marco de 12 x 12 metros**.

#### 4.6.2 Pluviometría aportada por los aspersores propuestos.

Se ha de conocer la pluviometría aplicada por el sistema en un rango de tiempo, se puede decir que es la cantidad de agua (caudal) aportada por un aspersor por unidad de superficie asignada ( $S_a$ ) y por hora.

Las características de los aspersores circulares son las siguientes:

- Marca comercial: Regaber; Aspersor Circular de impacto, D-NET 8550.
- Caudal aportado: 680 L/h.
- Presión trabajo seleccionada: 2,5 bar.
- Diámetro mojado: 20 m.
- Doble boquilla con tamaños  $\varnothing$ : 2,9mm (Naranja) + 1,8mm (Verde lima)
- El fabricante indica que con la combinación de tipo de aspersor, presión de trabajo y tamaño de las boquillas se pueden alcanzar coeficientes de uniformidad de hasta 92%.

Las características de los aspersores sectoriales son las siguientes:

- Marca comercial: Regaber; Aspersor Sectorial de impacto, D-NET 8550.
- Caudal aportado: 630 L/h.
- Presión trabajo seleccionada: 2,5 bar.
- Radio mojado: 10 m.
- Única boquilla frontal con tamaño  $\varnothing$ : 3,2mm (Verde).
- Estos serán utilizados para los lindes de la parcela.

La pluviometría ( $i$ ) que se obtuvo es la siguiente:

$$i = \frac{680}{144} = 4,72 \frac{mm}{hora} \text{ aspersores circulares}$$

$$i = \frac{630}{144} = 4,38 \frac{mm}{hora} \text{ aspersores sectoriales}$$

#### 4.6.3 Duración del riego.

La duración del riego se trata del tiempo necesario que tiene que estar en funcionamiento la instalación de riego ininterrumpidamente para aportar la lámina de agua deseada, en este caso se van a utilizar las necesidades hídricas brutas ( $NH_{brutas}$ ) mensuales.

Para dimensionar correctamente la instalación, se va a considerar el mes de mayores exigencias hídricas en cada uno de los años, a continuación se muestra el tiempo de riego que se requiere en cada caso.

Cultivo	mm/mes <i>NHbrutas</i>	mm/semana <i>NHbrutas</i>	mm/hora <i>Pluviometría</i>	h/semana <i>Horas riego por semana</i>	h y minutos <i>Horas riego por semana</i>	h <i>Horas riego por día</i>
Cebolla	225,37	50,89	4,72	10,78	10 h y 45 '	1,54
Zanahoria	225,37	50,89	4,72	10,78	10 h y 45 '	1,54
Maíz	197,49	44,59	4,72	9,45	9 h y 27 '	1,35
Acelga	155,89	35,20	4,72	7,46	7 h y 27 '	1,07
Cebada	113,74	26,54	4,72	5,62	5 h y 37 '	0,80

**Tabla 11.** Horas de riego semanales y diarias en los cultivos más exigentes durante los meses más desfavorables.

Se observa que la cebolla y la zanahoria requieren de 10 horas y 45 minutos de funcionamiento acumulado durante el periodo de 7 días dentro del mes más con mayores requerimientos hídricos.

#### 4.6.4 Organización en posturas de riego o sectores.

Para dimensionar correctamente la instalación es de vital importancia organizar todos los aspersores de la parcela en sectores o posturas de riego, se debe organizar en posturas de riego para evitar tener que trabajar con motores excesivamente grandes y también para no excederse de la jornada efectiva de riego (*JE<sub>r</sub>*) impuesta.

El sistema que diseñemos ha de permitir aplicar en una jornada efectiva de riego (16horas, el propietario tiene previsto instalar paneles fotovoltaicos por lo que la jornada efectiva se fijará en 16h) la suficiente cantidad de agua requerida para el cultivo más exigente en días más desfavorables.

Se han agrupado en 10 posturas de riego, a continuación, se distribuirán los aspersores en las diferentes posturas, sectoriales en los lindes de la parcela y circulares en el resto.

Postura	Nº Aspersores circulares	Nº Aspersores sectoriales	Nº total de aspersores
1	49	15	64
2	56	8	64
3	56	8	64
4	56	19	75
5	56	8	64
6	64	0	64
7	66	6	72
8	56	8	64
9	51	4	55
10	26	6	32

**Tabla 12.** Disposición en posturas de riego y número de aspersores.

#### 4.7 Cálculos hidráulicos.

En este apartado se va a dimensionar toda la red de distribución de agua, dimensionando el sistema de riego por aspersión en cobertura total y calculando las pérdidas de carga que se producen. También se procederá a la elección de un grupo de bombeo y un equipo de filtrado.

##### 4.7.1 Datos de la parcela.

La topografía de la parcela indica que la **pendiente es nula o despreciable**, como se puede ver en las cotas del plano topográfico en el estado actual.

Se ha escogido un **marco** de instalación de aspersores de **12x12 metros** con una disposición en **cuadrado**.

Como se puede ver en el anejo Características del riego, la **pluviometría aportada** por los aspersores circulares seleccionados corresponde a **4,72 mm/hora de riego**.

Se obtuvieron unas **necesidades hídricas brutas (NHbrutas) diarias de 7,27 mm**, en el caso del mes más desfavorable, resultado **julio** y el cultivo más exigente, en este caso la **cebolla y zanahoria** con idénticas necesidades hídricas brutas (NHbrutas) diarias.

El **tiempo de riego** resultó de **10 horas y 45 minutos semanales**, en la semana de mayores necesidades hídricas.

##### 4.7.2 Cálculo de caudales en cada postura de riego adoptada.

Postura	ud. Nº Aspersores circulares	L/h Caudal unitario aspersor circular	ud. Nº Aspersores sectoriales	L/h Caudal unitario aspersor sectorial	L/h Caudal total postura riego	m3/h Caudal total postura riego
1	49	680	15	630	42770	42,77
2	56	680	8	630	43120	43,12
3	56	680	8	630	43120	43,12
4	56	680	19	630	50050	50,05
5	56	680	8	630	43120	43,12
6	64	680	0	630	43520	43,52
7	66	680	6	630	48660	48,66
8	56	680	8	630	43120	43,12
9	51	680	4	630	37200	37,2
10	26	680	6	630	21460	21,46

**Tabla13.** Caudales en cada postura de riego adoptada.

Como se puede ver en la tabla anterior el caudal superior corresponde en la postura 4 con  $50,05\text{m}^3/\text{h}$ , este caudal será utilizado para la elección del grupo de bombeo porque se pretende que las posturas de riego trabajen individualmente.

#### 4.7.3 Elección de materiales.

Se va a proponer como material para la red de tuberías enterradas el **PE-AD (PE 100 PN 0,6MPa)** polietileno de alta densidad) ya que es un material muy resistente, con una fácil instalación, de una calidad aceptable, otro aspecto muy a tener en cuenta es a la hora de adquirir el material puesto que el PE-AD puede ser suministrado en rollos de hasta 100 metros evitando así el mayor número de uniones y posibles puntos de rotura en cambio por ejemplo el PVC se suministra en piezas normalmente de 6 metros, e irán **enterrados 40cm**. Para la elección del tarado máximo de presión de las tuberías a instalar en primer lugar se fijarán las alturas piezométricas máximas y presión de trabajo de la tubería.

Se va a distinguir entre tubería terciaria (corresponde a la tubería que suministra caudal a cada uno de los ramales porta-aspersores) y ramal porta-aspersor o lateral (es donde se sitúan los aspersores en las posiciones propuestas).

Se ha de mencionar que **el tramo de altura libre del pozo**, la tubería será en **acero galvanizado**.

Por otro lado, en los **porta-aspersores** se propone utilizar una altura de **2,5 metros**, que descontado la profundidad a la que serán enterrados corresponde a 2,1 metros de altura desde el inicio del suelo, material de **acero galvanizado** con un **diámetro de 3/4"** ya que estos estarán expuestos a la intemperie y han de ser resistentes.

##### Aspersor Circular:

Tipo	bar Presión	L/h Caudal	m x m Marco	m Øalcance	mm/h Pluviometría
D-NET 8550	2,5	680	12x12	20	4,72

**Tabla 14.** Datos de aspersor circular propuesto.

##### Aspersor Sectorial:

Tipo	bar Presión	L/h Caudal	m x m Marco	m Øalcance	mm/h Pluviometría
D-NET 8550	2,5	630	12x12	20	4,38

**Tabla 15.** Datos de aspersor sectorial propuesto.

#### 4.7.4 Dimensionado ramales porta-aspersores y tuberías terciarias.

En este apartado se van a calcular las presiones requeridas tanto al inicio de las tuberías terciarias como al inicio de los ramales porta-aspersores en cada una de las posturas de riego propuestas, para ello habrá que calcular las pérdidas de carga que se producen en cada una de las tuberías.

Para el diseño de las posturas o unidades de riego se ha utilizado la aplicación DimSub (Arviza, 2020), tomando los laterales como ramales porta-aspersores y en las terciarias como tuberías principales en cada postura. Los espaciamientos y caudales son los expuestos en el diseño agronómico del riego por aspersión.

En primer lugar, se dimensionará hasta nivel de la tubería terciaria, posteriormente se procederá al dimensionado de la red de transporte hasta la alimentación de las tuberías terciarias.

Se ha seguido la siguiente metodología:

- En primer lugar se ha obtenido la máxima variación de caudal que nos podemos permitir en un mismo ramal porta-aspersores, en este caso se ha supuesto un 20% del caudal total del mismo.
- Mediante la ecuación característica de un emisor se obtiene el caudal a diferentes presiones de trabajo, combinando esta ecuación junto a la ecuación de máxima variación de caudal se obtiene la máxima variación de presión que nos podemos permitir en el ramal porta-aspersores.
- Habiendo asignado una variación de presión máxima en el ramal se puede obtener mediante la ecuación de Hazen-William el diámetro interior mínimo, en el material seleccionado (PE 100), para posteriormente normalizarlo y recalculer las pérdidas de carga reales.
- Una vez dimensionadas las tuberías de los ramales porta-aspersores y tuberías terciarias, se procede a dimensionar la red de transporte de agua hasta las tuberías terciarias, en el siguiente apartado se muestra la metodología utilizada para ello.

Se ha de tener en cuenta que en cada punto de emisión se eleva la cota piezométrica hasta 2,5 m.c.a. por encima debido a que el porta-aspersor se ha escogido con esa altura, lo que será una pérdida de presión en cada uno de estos puntos de consumo.

Aquí se muestra una tabla con los resultados obtenidos en las posturas que se han podido organizar de forma regular y las que resultan idénticas, en el anejo cálculos hidráulicos se pueden ver las diferentes tablas de las posturas de riego restantes.

#### 4.7.5 Dimensionado red de transporte del suministro hasta tuberías terciarias.

Se va a optar por el criterio clásico de restricción de velocidad fijado en la red de transporte hasta las tuberías terciarias, fijando entre **1,5-2 m/s como velocidad máxima**.

Conocida la presión y caudal requeridos en cada postura de riego, en el dimensionado de la red que transportará el agua hasta cada postura se calcularán las pérdidas de carga junto a que las cotas de nivel son conocidas, se aplicara el teorema de Bernoulli para obtener la energía necesaria que ha de suministrar el grupo de bombeo que propongamos.

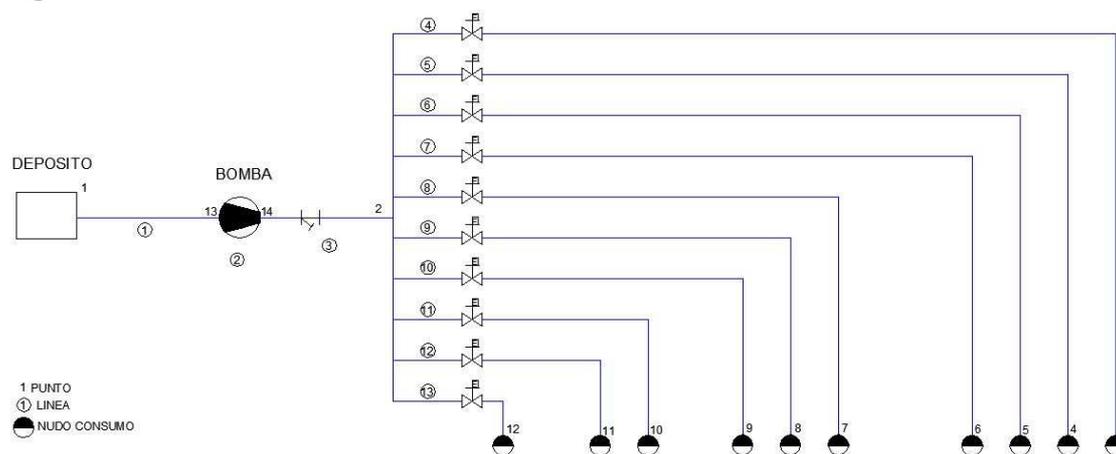
Se ha elaborado una figura a modo de representación del esquema hidráulico de la red que transportará el agua hasta las posturas de riego. Esta se relaciona con la hoja resumen con los cálculos obtenidos.

Las posturas de riego se han dimensionado para que se riegue tan solo 1 postura de riego a la vez, que sumando las horas de riego por las 10 posturas, resulta menor tiempo que la jornada efectiva de riego que fue fijada en 16 horas al día.

Se ha de resaltar que las bifurcaciones hasta cada postura de riego se realizará a nivel del cabezal de riego, pues este es una caseta de construcción donde se ubica el sondeo, el filtrado y las válvulas solenoides propuestas.

Línea	Nudo (+)	Nudo (-)	m Longitud	Cota nudo (-)	Postura	m3/h Consumo	m.c.a. Presión requerida
1	1	13	3	679,3	-	-	-
2	13	14	1	679,3	-	-	-
3	14	2	5	679,3	-	-	-
4	2	3	290	676,33	10	21,46	31,1
5	2	4	235	677,47	8	43,12	30,3
6	2	5	140	678	5	43,12	30,3
7	2	6	45	678,8	1	42,77	30,3
8	2	7	285	677,2	9	37,2	29,5
9	2	8	235	677,6	6	43,52	30,3
10	2	9	140	679	2	43,12	30,3
11	2	10	285	677,9	7	48,66	30,8
12	2	11	235	678,7	3	43,12	30,3
13	2	12	300	678,6	4	50,05	31,3

**Tabla 16.** Datos líneas propuestas en el esquema hidráulico.



**Figura 7.** Suposición para el dimensionado de la red de transporte hasta terciarias, figura relacionada con la Tabla 10.

#### 4.7.6 Resumen de resultados.

Por otro lado en el dimensionado de la red de distribución de agua hasta las diferentes posturas de riego resulto en todos los casos:

- DN 110mm
- PN de 0,6MPa
- Material: PE 100 UNE EN 12201

A continuación, se muestra una tabla resumen con los resultados del dimensionado hasta nivel de postura de riego.

RESUMEN RESULTADOS			
Postura de riego	Uso propuesto	mm	MPa
		DN	PN
1	Ramal porta-aspersor	40	0,6
1	Terciaria	63	0,6
2	Ramal porta-aspersor	40	0,6
2	Terciaria	63	0,6
3	Ramal porta-aspersor	40	0,6
3	Terciaria	63	0,6
4	Ramal porta-aspersor	50	0,6
4	Terciaria	90	0,6
5	Ramal porta-aspersor	40	0,6
5	Terciaria	63	0,6
6	Ramal porta-aspersor	40	0,6
6	Terciaria	63	0,6
7	Ramal porta-aspersor	50	0,6
7	Terciaria	90	0,6
8	Ramal porta-aspersor	40	0,6
8	Terciaria	63	0,6
9	Ramal porta-aspersor	50	0,6
9	Terciaria	90	0,6
10	Ramal porta-aspersor	40	0,6
10	Terciaria	63	0,6

**Tabla 17.** Resumen del dimensionado de las tuberías en las diferentes posturas de riego.

A continuación, se muestra el resumen de variaciones de presión que se generan en nuestra instalación para que la energía requerida sea suministrada por la bomba.

$$Hr_{bomba} = H_{red\ distribución} + \Delta Z_{tramo\ ascendente} + h_{tramo\ ascendente} + h_{filtrado}$$

$$Hr_{bomba} = 39,1 + 15,5 + 2,11 + 3 = 59,71 \approx 60\ m.c.a.$$

Como se ha dicho anteriormente la bomba sumergible ha de suministrar un **caudal de 50,05 m<sup>3</sup>/h** junto a una **altura manométrica de 60m.c.a.**

En el anejo cálculos hidráulicos se propone una bomba sumergible al igual que un filtro de malla manual.

#### 4.7.7 Elementos singulares.

Como elementos singulares se han tenido en cuenta las válvulas solenoides que servirán para el control del riego. Se ha propuesto un modelo de solenoide cuyas características se muestran en el anejo cálculos hidráulicos.

### 5. Presupuesto.

<b>RESUMEN PRESUPUESTO</b>	
CAPÍTULO 1. Movimiento de tierras	3.160 €
CAPÍTULO 2. Tuberías	48.093 €
CAPÍTULO 3. Grupo de bombeo	10.035 €
CAPÍTULO 4. Automatismos	3.345 €
CAPÍTULO 3. Elementos de la instalación	6.641 €
<b>TOTAL: 71.274 €</b>	

**Tabla 18.** Resumen del presupuesto.

## 6. Bibliografía.

- Apuntes de las asignaturas de *“Horticultura”*, *“Cultivos herbáceos”*, *“Necesidades del riego y la fertilización”* y *“Análisis agrícola”* en el Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del medio rural, de la Universidad Politécnica de Valencia, durante el periodo de tiempo comprendido entre 2016-2021
  
- Documento del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de *“Calendario de siembra, recolección y comercialización 2014-2016”*, de Castilla-La Mancha
  
- Documento del Ministerio denominado *“Guía práctica para la fertilización racional de los cultivos en España”*
  
- Pascual, B. 2018. *Riegos de gravedad y a presión*. Ed: Universidad Politécnica de Valencia.
  
- Tarjuelo Martin- Benito, J.M. ; *El riego por aspersión y su tecnología*. Ediciones Mundi-Prensa (2002).
  
- Maroto, J.V. y Baixauli, C. 2016. *Cultivos Hortícolas al aire libre*. Ed, Cajamar, Caja Rural.
  
- Maroto, J.V. 2008. *Elementos de Horticultura General*. Ed. Mundi-Prensa.
  
- Catálogos GRUNDFOS
- Catálogos REGABER

## 7. Webgrafía

- [www.siar.es](http://www.siar.es)
- [www.sedecatastro.gob.es](http://www.sedecatastro.gob.es)
- [www.signa.ign.es](http://www.signa.ign.es)
- [www.castillalamancha.es](http://www.castillalamancha.es)
- <https://sigpac.mapama.gob.es/fega/visor/>



# **DOCUMENTO 2.**

# **ANEJOS A LA MEMORIA**

## **ÍNDICE ANEJOS**

- ***ANEJO 1. Situación, análisis y objetivos.***
- ***ANEJO 2. Estudio climático.***
- ***ANEJO 3. Estudio edafológico.***
- ***ANEJO 4. Estudio calidad agua de riego.***
- ***ANEJO 5. Rotación de cultivos propuesta.***
- ***ANEJO 6. Diseño agronómico.***
- ***ANEJO 7. Dimensionado de la red.***

## **ÍNDICE PLANOS**

- ***Plano 1. Emplazamiento.***
- ***Plano 2. Localización.***
- ***Plano 3. Superficie regable.***
- ***Plano 4. Cotas (Z) topográficas.***
- ***Plano 5. Diseño de ramales porta-aspersores y terciarias.***
- ***Plano 6. Dimensionado posturas de riego.***
- ***Plano 7. Dimensionado red transporte agua hasta terciaria.***
- ***Plano 8. Esquema hidráulico de la instalación.***

## **PRESUPUESTO DETALLADO**



**ANEJO 1.**

**SITUACIÓN, ANÁLISIS Y**

**OBJETIVOS.**

## **ÍNDICE ANEJO 1. SITUACIÓN, ANÁLISIS Y OBJETIVOS**

- 1. Introducción**
- 2. Condiciones del promotor**
- 3. Localización de la parcela**
- 4. Análisis del entorno de la parcela**
  - 4.1 Accesos a la parcela
  - 4.2 Análisis demográfico
  - 4.3 Análisis socio-económico

## **1. Introducción.**

El objetivo de este proyecto es la definición agronómica y técnica para el equipamiento de un sistema de riego por aspersión en una finca de 8,5 hectáreas aproximadamente en el término municipal de Almansa (Albacete).

Se requiere la instalación de un sistema de riego por aspersión con cobertura total enterrada el cuál obtiene el suministro de un pozo.

Se pretende con este proyecto:

- Obtener mayores rendimientos en cada uno de los cultivos que se propondrán.
- Mayor comodidad en el manejo.
- Aumentar la rentabilidad de la explotación.

## **2. Condiciones del promotor.**

El propietario de la finca antes de realizar el proyecto, establece las siguientes condiciones:

- Ha de ser riego por aspersión.
- Se deben de introducir los siguientes cultivos en la rotación: Ajo, Cebolla, Zanahoria, Maíz y Cebada, ya que todos estos serán consumidos directamente por el mismo para otro proceso en la industria agroalimentaria que él dirige como son una granja porcina y una cadena de supermercados.
- La maquinaria necesaria para todas las labores de los cultivos no presentan problema alguno, pues gran parte de la requerida está en posesión del propietario.
- El suministro de agua será obtenido de un pozo.

## **3. Localización de la parcela.**

La situación de la parcela objeto de estudio se encuentra al sur-este de la provincia de Albacete en el término municipal de Almansa.

El municipio se encuentra a 75 Km de Albacete y linda con la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia, se puede decir que es el último pueblo antes de entrar a estas comunidades autónomas lo que le hace tener unas características peculiares en cuanto a la climatología.

#### Localización y emplazamiento:

- Término municipal: Almansa
- Provincia: Albacete
- Superficie finca: 8,4441 ha

#### Linderos:

- Norte: Parcela cultivo ajos
- Sur: Carretera CM-3220
- Este: Camino agrícola y Granja Porcina
- Oeste: Camino agrícola

#### Identificación catastral:

- Referencia catastral: 02009A511000260000DQ
- Localización catastral: Polígono 511, Parcela 26, PRIMERA MANCORA ALMANSA
- Término municipal: Almansa
- Clasificación catastral del suelo: Rústico
- Uso: Agrario
- Superficie del suelo: 84.441 m<sup>2</sup>
- Clase de cultivo: Cultivo Regadío Labor
- Intensidad productiva: 01

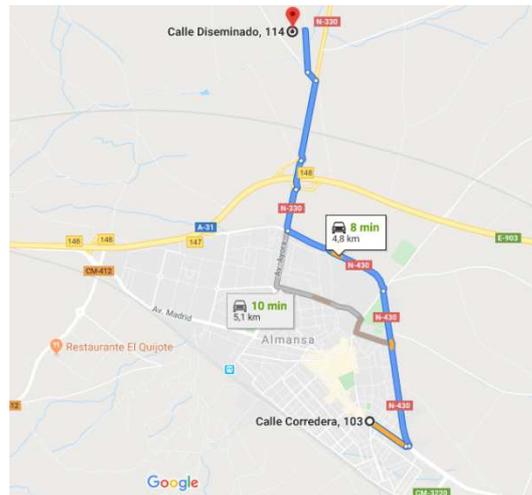
#### **4. Análisis del entorno de la parcela.**

##### Características del municipio:

- Nombre: Almansa
- Comarca: Monte Ibérico-Corredor de Almansa
- Provincia: Albacete
- Comunidad Autónoma: Castilla-La Mancha
- Partido Judicial: Almansa
- Juzgado Provincial: Almansa
- Distancia hasta capital de provincia: 82Km
- Habitantes de Almansa: 24.837 habitantes
- Superficie del municipio: 532Km<sup>2</sup>
-

#### 4.1 Accesos a la parcela.

##### Acceso desde la misma localidad:



**Figura 1.** Acceso a la parcela desde la localidad de la misma.

Como se aprecia la parcela está muy próxima al municipio y conecta rápidamente con las vías de transporte público, lo que resulta una gran ventaja.

##### Accesos desde Albacete:

La autovía A-31 que conecta con Albacete estando a una distancia de 75Km.

##### Accesos desde la Comunidad Valenciana:

Esta misma autovía en el otro sentido se bifurca hacia Alicante y Valencia estando a unos 120km aproximadamente cada una de estas ciudades.

##### Accesos desde la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia:

En la parte alta del municipio se encuentra la CM-3220 (carretera autonómica que conecta con el municipio de Yecla (Región de Murcia) a unos 30km.

#### 4.2 Análisis demográfico

La mayor parte de los ocupados en el municipio de Almansa se dedican a la industria. Esto demuestra que la base económica del pueblo no es la agricultura. La industria representa 56% de la gente activa en los 24.837 habitantes del pueblo de Almansa, según el (INE).

Sectores Económicos	
Agricultura	71 %
Industria	56.3 %
Construcción	6.7 %
Servicios	28.2 %

*Sectores económicos según el Excmo. Ayuntamiento de Almansa.*

#### 4.3 Análisis socio-económico.

La agricultura dentro de Almansa constituye un sector del que apenas vive la población, es decir, las tierras que quedan, forman parte de un uso a tiempo parcial, no como actividad principal. A pesar de ello, el número de hectáreas y su clasificación es significativo. Según el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, del total de la superficie de las explotaciones (53.260,1 hectáreas), 19.940,7 hectáreas corresponden a cultivos herbáceos, sobre todo a tierras arables (19.938,1 hectáreas), 16.829,7 hectáreas son pastos, tanto pastizal (197,7 hectáreas), como pasto arbustivo (13.891,1 hectáreas) y con arbolado (2.740,9 hectáreas); y en menor medida, 4.619,4 hectáreas son cultivos leñosos, en particular viñedo (2.923,3 hectáreas), olivar (606,0 hectáreas), frutales (612,7 hectáreas) y frutos secos (462,7 hectáreas). Hay que destacar el hecho de que el municipio posee la denominación de origen de Vino de Almansa, además de la de Cebolla de la Mancha y el azafrán. Por otro lado, las especies forestales suponen 8.915,0 hectáreas y los otros espacios no agrícolas son 2.955,2 hectáreas. Se concluye que en el pueblo de Almansa predominan los cultivos de secano predominando cereales y viña, en las inmediaciones del pueblo existen labores de regadío. También cabe destacar que hoy día existen más de 20.000 cabezas de ganado, las cuales se destinan la mayor parte a satisfacer las necesidades de los mercados de Levante y Cataluña lo que supone una ventaja para los restos post-cosecha.



# **ANEJO 2.**

# **ESTUDIO CLIMÁTICO.**

## **ÍNDICE ANEJO 2. ESTUDIO CLIMÁTICO.**

- 1. Introducción.**
- 2. Temperaturas.**
- 3. Precipitaciones.**
- 4. Humedad relativa.**
- 5. Viento.**
- 6. Radiación solar.**
- 7. Clasificación climática.**
  - 7.1 Factor Lang
  - 7.2 Diagrama ombrotérmico Gaussen
- 8. Cálculo Evapotranspiración.**
  - 8.1 Determinación evapotranspiración de referencia.
  - 8.2 Elección del coeficiente  $K_c$
  - 8.3 Cálculo Evapotranspiración aplicada al cultivo.

## **1. Introducción**

Es de vital importancia tener en cuenta las condiciones climáticas de la zona en la cual se va a llevar a cabo la implantación de los cultivos, ya que factores como las bajas temperaturas condicionarán la elección de un tipo de cultivos u otros, por lo que se realizará un estudio exhaustivo de los diferentes factores climáticos.

La parcela se encuentra ubicada en el Paraje de El Hondo cercano a la localidad de Almansa, en cuya zona podemos resaltar sus bajas humedades relativas junto a heladas tardías, por los meses de febrero-marzo aproximadamente.

Haciendo un desglose por estaciones se puede decir que:

- En invierno se puede destacar las heladas tardías junto a bajas pluviometrías y una amplitud térmica diaria elevada.
- Llegada la primavera se observan al inicio de esta un aumento de la pluviometría hasta llegado cierto punto de la primavera que la esta se vuelve escasa o nula, por otro lado las temperaturas aumentan pero aún se dan noches frías pudiendo dañar algún cultivo.
- En el verano se puede decir que es un verano excesivamente seco y cálido, habitual en la zona de La-Mancha, aunque en ocasiones puntuales se han dado tormentas a finales del verano las cuales suelen ir acompañadas de pedrisco siendo muy perjudicial para cualquier cultivo que esté implantado.
- Por último en otoño se podría decir que es la estación más estable del año pudiéndose destacar grandes amplitudes térmicas diarias junto a días ventosos puntuales.

Los datos meteorológicos utilizados han sido obtenidos de la estación meteorológica de Almansa cuyas coordenadas son: latitud 38º 53´ 43,03 Norte y longitud 1º 5´ 55,65 Oeste a una altitud de 698 m.s.n.m. siendo esta una información muy fiable debido a su cercanía a la parcela en cuestión, tan solo a unos 500 metros aproximadamente.

Esta estación pertenece al SIAR (Servicio Integral de Asesoramiento al Regante) del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

La toma de datos meteorológicos abarcará un periodo de 10 años, de 2010-2020, suficientes datos para tener con exactitud los valores adecuados para la realización del proyecto.

Los parámetros climáticos que estudiaremos son: las temperaturas, régimen de heladas, precipitaciones, humedad relativa, viento y radiación solar.

## 2. Temperaturas

A razón de los datos obtenidos de la estación meteorológica de Almansa desde el año 2010 hasta el 2020, se han elaborado una serie de tablas las cuales utilizaremos para el estudio climático.

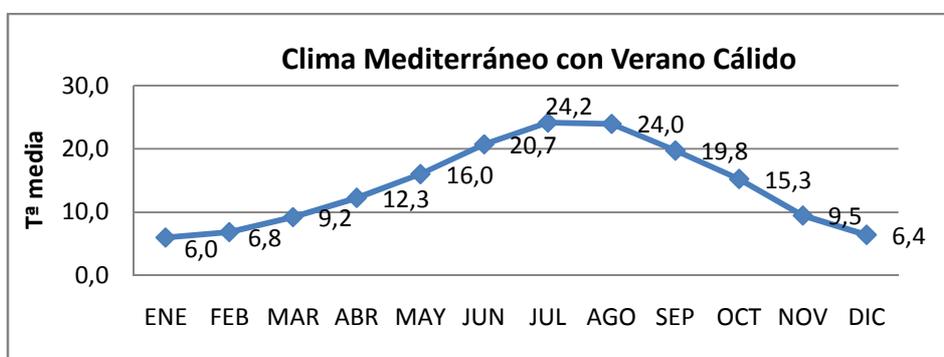
Podemos considerar que en la zona de estudio, el clima se identifica como Mediterráneo con verano cálido:

- La temperatura media anual es de: 14,2°C
- La temperatura media del mes más frío: 6°C
- La temperatura media en los meses más cálidos es de: 24,2°C

TEMPERATURAS MEDIAS (°C)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
2010	5,6	6,5	7,9	11,4	14,3	19,3	24,8	23,9	19,1	13,4	8,2	5,3	13,3
2011	5,2	6,5	8,2	13,5	16,3	20,5	23,6	24,1	20	14,8	10,1	6,8	14,1
2012	5,8	3	7,9	11,4	17,1	22,6	23,6	25,8	19,2	14,8	9,9	6,7	14,0
2013	6,6	6,2	9,5	11,6	14,4	19,1	23	22,6	19,7	16,9	8,4	4,8	13,6
2014	7,5	8	9,1	15,1	16,2	20,6	23,2	23,9	21,2	16,8	10,6	5,4	14,8
2015	4,8	5,9	10,2	12,1	17,5	20,2	25,7	23,5	18,4	14,9	9,4	7,3	14,2
2016	8,2	8,1	8,9	12	15,3	21	23,6	23	19,8	16	9,4	6,8	14,3
2017	4,8	8,2	10,7	12,4	17,1	23,1	24,7	24	20	16,6	8,8	5,5	14,7
2018	7	5,8	9,1	11,9	15	20,4	24,7	23,8	20,8	14,3	9,5	7	14,1
2019	5,1	6,9	10,1	11,4	16	20,2	24,5	24	19,9	15,8	9,9	8,2	14,3
2020	5,4	10,2	9,9	12,2	17,1	21	24,4	25	19,2	13,5	10,1	6,8	14,6
Media	6,0	6,8	9,2	12,3	16,0	20,7	24,2	24,0	19,8	15,3	9,5	6,4	14,2

**Tabla 1.** Valores medios anuales y mensuales de la Tª media (°C), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

Se ha elaborado la siguiente figura a partir de la Tabla 1 donde se muestra la gran variación de temperaturas entre el invierno y el verano, según la clasificación climática de Köppen lo agrupa en Clima Mediterráneo con verano cálido.



**Figura1.** Clima Mediterráneo según Köppen.

TEMPERATURAS MEDIAS MÁXIMAS (°C)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
2010	9	11,1	14,1	18,3	21,9	27,7	33,8	32,2	26,8	20,4	13,5	10,8	20,0
2011	11,4	14,3	13,2	20,9	23,4	28,6	32,3	33,1	28,6	23,1	15,1	12,8	21,4
2012	12,9	11,2	16	17,5	25,4	31,9	33,2	35,2	27,1	21,3	14,1	13,3	21,6
2013	11,9	11,7	14,4	18,3	21	27,5	31,8	31,3	27,1	24,8	14,9	12,2	20,6
2014	12,6	13,1	16,3	22,8	24,3	28,6	32,2	32,4	28,8	24,8	15,7	12,2	22,0
2015	12,9	9,9	17,2	18,9	26,5	29,4	35,3	31,1	25	20,9	18,1	16,6	21,8
2016	14,2	13,8	15	18,6	22,6	29,6	32,3	31,3	28,4	23,2	15,3	12,4	21,4
2017	10,3	14	17,9	20	25,4	31,5	34	32,3	27,9	25,6	17,7	12	22,4
2018	13,2	11,2	14,2	18,1	22,9	28,6	33,8	32,2	27,9	21,2	14,5	15,5	21,1
2019	13	16,1	18,2	17,1	23,8	28,9	33,3	33,2	26,2	22,8	13,7	13,8	21,7
2020	12,4	17,7	15,1	18	24,8	29,4	33,4	33,9	27	21	18	12,5	21,9
Media	12,2	13,1	15,6	19,0	23,8	29,2	33,2	32,6	27,3	22,6	15,5	13,1	21,4

**Tabla 2.** Valores anuales y mensuales de la T<sup>o</sup> media de las máximas (°C), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

TEMPERATURAS MEDIAS MÍNIMAS (°C)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
2010	1,6	2	2,1	4,5	6,3	11,1	15,6	16,2	12,1	6,5	3,4	0,8	6,9
2011	-0,2	-0,6	3,2	6	9,5	12,6	15,6	15,4	12	7,3	5,4	1,2	7,3
2012	-0,6	-4,8	-0,6	5,5	8,3	12,6	13,9	16,5	11,1	8,8	6,6	0,8	6,5
2013	1,2	0,6	5,1	5,3	7	10,7	13,6	15,1	13,1	9,9	2,1	-2,1	6,8
2014	2,7	2,5	1,9	7,7	8,3	12,4	14,6	16,2	14,5	9,7	5,7	-0,6	8,0
2015	-2,4	2	3,2	5,5	8,2	10,8	16,7	17,1	12,4	9,6	2,4	0	7,1
2016	2,4	2,8	3	5,9	8	12,1	14,8	14,5	11,9	10	3,8	2,2	7,6
2017	-0,4	3	3,4	4,5	8,4	14,3	15,8	16,5	12,7	8,5	0,9	-0,6	7,3
2018	1,1	0,2	4,6	5,8	7,4	12,2	15,2	16,2	14,7	7,7	4,7	0,1	7,5
2019	-2,3	-1,7	1,9	6,2	8,6	10,7	15,5	15,1	14,5	9,1	6,3	3,6	7,3
2020	0	3,2	5	7,4	9,4	12,3	15,7	16,3	11,5	6,4	3,9	1,4	7,7
Media	0,3	0,8	3,0	5,8	8,1	12,0	15,2	15,9	12,8	8,5	4,1	0,6	7,3

**Tabla 3.** Valores anuales y mensuales de la T<sup>o</sup> media de las mínimas (°C), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

TEMPERATURAS MÁXIMAS ABSOLUTAS (°C)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
2010	14,8	19,8	22,7	28,4	32,8	33,2	36,9	38,4	33,9	27,4	21,1	21,5	27,6
2011	19,3	21,8	22,8	28,8	31	38,8	36,9	37,3	34,3	31,9	22,5	17,7	28,6
2012	18,1	19,8	22,8	24,3	33,8	38,7	38,3	41,8	34,1	30,2	21,6	21,7	28,8
2013	19,6	18,6	20,3	29,7	28,7	34,2	35,4	37,3	30,9	30,3	27,3	16,5	27,4
2014	19,1	20,8	24,3	28,7	31	34,1	36,7	36,7	37,2	30,2	23	17,9	28,3
2015	19,9	17,8	27,5	25,1	37,2	38,3	40,1	37,5	29,7	27,9	24,1	21,4	28,9
2016	19	19,1	25,4	24,1	30,4	36,1	38,8	37,1	37,9	29,8	24,5	16,6	28,2
2017	17,1	18,2	27,7	26,7	31,2	37,9	42,1	40,1	32,5	30,4	22,6	15,6	28,5
2018	20,7	18,4	22,6	25,6	26,5	35,2	36,7	36,1	33,1	28,3	19,5	24,3	27,3
2019	17,7	23,5	25,6	24,7	29,3	37,7	39,1	37,9	33,4	29,7	22	20,6	28,4
2020	16	22	27,4	22,2	32	35,4	40	40	31,5	28,4	26,7	17,6	28,3
Media	18,3	20,0	24,5	26,2	31,3	36,3	38,3	38,2	33,5	29,5	23,2	19,2	28,2

*Tabla 4. Valores anuales y mensuales de la T<sup>o</sup> máxima absoluta (°C), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.*

TEMPERATURAS MÍNIMAS ABSOLUTAS (°C)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
2010	-5,2	-5,7	-5,7	-1,9	1	4,2	11,9	11,9	4,8	-1,8	-2,3	-9,1	0,2
2011	-11,3	-6,5	-5,6	-0,2	4,5	5,1	11,7	10,1	6,7	2,9	-1,8	-6,5	0,8
2012	-6,1	-11,8	-4,6	0,2	0,4	7,1	9,6	12,3	6,7	-1,8	1,1	-5,7	0,6
2013	-5,8	-7,7	-1,3	-1,2	0	4,9	9,1	10,1	9,1	-0,8	-7,3	-7,9	0,1
2014	-4,5	-5,3	-4,6	1,2	2,8	7	10,3	12,5	10,7	2,2	-1,6	-8,5	1,9
2015	-7,7	-6,2	-4,6	0,9	4,4	5,4	13,9	11,9	7,6	2,5	-6,2	-6,5	1,3
2016	-9,7	-5	-3,9	-1,3	-1	6,8	9,4	9,1	5,6	1,8	-2,8	-3	0,5
2017	-7,1	-3,3	-1,4	-0,8	3,5	9,8	8,4	12	8,8	1,6	-5,5	-8,7	1,4
2018	-4,9	-7,1	-2,1	1,2	2	8,7	12,2	11,3	6,8	2,2	-4,4	-7,1	1,6
2019	-9,7	-6,5	-3,6	1,3	3,6	5,4	11,9	9,6	10,4	3	-2	-5	1,5
2020	-7,7	-2,9	-0,7	1	6,1	6,8	12,2	8,1	3,5	-1,2	-3,4	-8,3	1,1
Media	-7,2	-6,2	-3,5	0,0	2,5	6,5	11,0	10,8	7,3	1,0	-3,3	-6,9	1,0

*Tabla 5. Valores anuales y mensuales de la T<sup>o</sup> mínima absoluta (°C), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.*

### RESUMEN TEMPERATURAS (°C)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Tm</b>	6,0	6,8	9,2	12,3	16,0	20,7	24,2	24,0	19,8	15,3	9,5	6,4
<b>Tmmax</b>	12,2	13,1	15,6	19,0	23,8	29,2	33,2	32,6	27,3	22,6	15,5	13,1
<b>Tmmin</b>	0,3	0,8	3,0	5,8	8,1	12,0	15,2	15,9	12,8	8,5	4,1	0,6
<b>TMa</b>	18,3	20,0	24,5	26,2	31,3	36,3	38,3	38,2	33,5	29,5	23,2	19,2
<b>Tma</b>	-7,2	-6,2	-3,5	0,0	2,5	6,5	11,0	10,8	7,3	1,0	-3,3	-6,9

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

En esta tabla 6 se muestran los valores medios del periodo seleccionado que comprende entre los años 2010 hasta 2020 donde:

- Tm: Temperatura media mensual.
- Tmmax: Temperatura media de las máximas.
- Tmmin: Temperatura media de las mínimas.
- TMA: Temperatura máxima absoluta.
- Tma: Temperatura mínima absoluta.

#### *2.1 Régimen de heladas*

Es de gran importancia cuantificar los periodos de heladas para que estos no interfieran de manera negativa con los cultivos elegidos. Hay que comprobar los límites de temperatura de estos cultivos con respecto a las heladas que se dieron en las fechas correspondientes.

A partir de la serie climática elegida se han determinado los siguientes periodos de heladas, definimos helada cuando la temperatura media de las mínimas es inferior a 0°C, a continuación se muestra una tabla con los periodos de heladas sucedidos:

PERIODO	PRIMERA HELADA	ULTIMA HELADA
2010-2011	01/01/2011	28/02/2011
2011-2012	01/01/2012	31/03/2012
2012-2013	-	-
2013-2014	01/12/2013	31/12/2013
2014-2015	01/12/2014	31/01/2015
2015-2016	-	-
2016-2017	01/01/2017	31/01/2017
2017-2018	01/12/2017	01/01/2018
2018-2019	01/01/2019	28/02/2019
2019-2020	-	-

**Tabla7.** Periodos de heladas elaborados a partir de la T<sup>o</sup> media mínima (°C), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

Como se puede ver en la tabla 7 el periodo más prolongado de heladas fue registrado entre el 1 de enero de 2012 hasta el 31 de marzo de 2012 lo que suman 90 días suponiendo un Periodo Seguro de heladas.

Por contrario el periodo menos prolongado de heladas fue registrado entre el 1 de enero de 2017 hasta el 31 de enero de 2017 suponiendo 31 días de Periodo Seguro de heladas.

Se puede concluir que el periodo medio de heladas corresponde desde el 15 de diciembre hasta el 15 de febrero aproximadamente.

Al no disponer de datos directos de heladas, se va a utilizar la propuesta de Emberger para clasificar el régimen de estas. Este las clasifica según las temperaturas medias de las mínimas (T<sub>mmin</sub>), para aplicarlo a nuestro análisis utilizaremos los valores de T<sub>mmin</sub> medios de la serie climática seleccionada, para tener en cuenta las variaciones climáticas que se producen a lo largo de los años.

El modelo propuesto de clasificación de heladas según Emberger clasifica:

- *Período seguro de heladas:* Cuando la temperatura media de las mínimas es inferior a 0 °C.
- *Período frecuente de heladas:* Cuando la temperatura media de las mínimas está comprendida entre 0 °C y 3 °C.
- *Período poco frecuente de heladas:* Cuando la temperatura media de las mínimas está comprendida entre 3 °C y 7 °C.
- *Período con heladas muy poco frecuentes:* Cuando la temperatura media de las mínimas es superior a 7 °C.

Con esta propuesta se resume que:

RIESGO	T <sub>mmin</sub> (°C)	INICIO	FIN	DÍAS
<b>Seguro</b>	T <sub>mmin</sub> < 0°C	-	-	0
<b>Frecuente</b>	0 < T <sub>mmin</sub> < 3 (°C)	Diciembre	Febrero	90
<b>Poco frecuente</b>	3 < T <sub>mmin</sub> < 7 (°C)	Noviembre	Abril	91
<b>Muy poco frecuente</b>	T <sub>mmin</sub> > 7 (°C)	Mayo	Octubre	184

**Tabla8.** Periodos de heladas según el modelo de Emberger a partir de la T<sup>o</sup> media mínima (°C).

### 3. Precipitaciones

Las precipitaciones en el lugar de la plantación se dan de forma escasa y concentrada en su mayoría en los meses de noviembre, marzo, abril y mayo.

Cabe destacar que durante todo el verano se produce un periodo prolongado de sequía que tendremos que suplir con el sistema de riego elegido.

Hay que recalcar que las lluvias se dan normalmente de forma torrencial por lo que habrá que tener en cuenta que se manifestarán fenómenos como la escorrentía o percolación profunda haciendo que la mayoría de la precipitación se pierda por estos fenómenos y no sea aprovechada por nuestros cultivos.

A continuación se muestran unas tablas con las precipitaciones captadas por la estación meteorológica en el periodo seleccionado.

PRECIPITACIÓN (mm)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>2010</b>	46	46,2	59	27,6	34	15,4	6,4	11,8	35,2	35	40	40,2	396,8
<b>2011</b>	10,2	8	35,2	34,8	76,5	11	14,8	1,2	11,3	20,4	114,5	4,6	342,5
<b>2012</b>	17,4	12,2	33,9	42,4	13,6	11,4	11	0,6	53,7	66,8	119	4,4	386,4
<b>2013</b>	19	39,7	60,9	81,1	33,6	8,3	17,6	103	11,9	7,6	12,5	29,9	425,1
<b>2014</b>	18,2	17,9	26,2	17,9	14,3	36,9	1,8	0	64,6	9,8	94,7	21,2	323,5
<b>2015</b>	29,7	34,8	79,7	19,3	20	33,5	37,8	47,2	65,6	27,4	19,3	1	415,3
<b>2016</b>	3,2	23,7	49,4	42,3	56,4	0,6	0	4,5	0	29,8	66,6	116,3	392,8
<b>2017</b>	54,5	19,8	60,8	23,7	22,9	27,7	6,6	33,5	0,8	3,4	5	17	275,7
<b>2018</b>	39,2	29,7	47,8	48,6	98,5	32,6	34,6	37	27,4	23,2	39	13,3	470,9
<b>2019</b>	1	5	18,2	137,7	19,6	16,7	6,8	24,1	137,2	32,5	33,2	28,1	460,1
<b>2020</b>	113,8	5,1	110,9	58,6	45,5	15,5	16,2	25,1	8,4	25	32,5	21,4	478
<b>Media</b>	32,0	22,0	52,9	48,5	39,5	19,1	14,0	26,2	37,8	25,5	52,4	27,0	397,0

**Tabla9.** Valores de precipitaciones (mm) mensuales y anuales, extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

Nº MEDIO DE EVENTOS DE PRECIPITACIONES (días)												
PERIODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010-2020	4	5	5	6	6	3	1	2	4	5	5	5

**Tabla10.** Número medio de eventos con registro de precipitaciones (días) extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

En la serie climática seleccionada el año que mayor pluviometría acumuló fue en 2020, aunque los años precedentes 2019 y 2018 se registraron pluviometrías similares, acumulando alrededor de 480 mm/anuales. Los meses que mayor precipitación tienen resultan ser los meses de marzo, abril y noviembre registrando de media 50 (mm/mes) aproximadamente.

Por contrario el año que menor pluviometría se obtuvo fue en 2017 acumulando tan solo 275 (mm/anuales). Fijándose en los meses que menor precipitación obtuvieron resulta que diciembre, enero, febrero y agosto acumulan de media entre 25-30 (mm/mes) y de forma más extrema encontramos en los meses de junio y julio unos registros medios de entre 15-20 (mm/mes).

La pluviometría media anual se sitúa en torno a 400 (mm/año), repartiéndose por estaciones según muestra la siguiente tabla.

ESTACION	MES	P media(mm)	Nº EVENTOS DE PRECI.	% EVENTOS	% PRECI.
INVIERNO	Diciembre	27,0	5	27	20
	Enero	32,0	4		
	Febrero	22,0	5		
PRIMAVERA	Marzo	52,9	5	34	36
	Abril	48,5	6		
	Mayo	39,5	6		
VERANO	Junio	19,1	3	12	15
	Julio	14,0	1		
	Agosto	26,2	2		
OTOÑO	Septiembre	37,8	4	27	29
	Octubre	25,5	5		
	Noviembre	52,4	5		

**Tabla11.** Valores medios de Precipitación mensual (Pmedia, en mm) junto al % que supone por estaciones y su reparto por eventos, elaborados a partir de las tablas 9 y 10.

Como se ha dicho es de vital importancia tener en cuenta que las precipitaciones se dan de forma torrencial como se dijo anteriormente, por eso se calculará la *Precipitación efectiva*, desde un punto de vista agronómico, se puede decir que, un agricultor individual considera que la lluvia efectiva es aquella cantidad que es útil para sembrar cultivos en su suelo, bajo su manejo. El agua que sale del campo por escorrentía o por percolación profunda más allá de la zona de las raíces de su cultivo es ineficaz.

La estación meteorológica del SIAR utilizada para la obtención de datos, proporciona la información de dicha *Precipitación efectiva* utilizando la metodología de la USDA con la siguiente expresión.

$$Pe = (1,25247 \cdot Pt^{0,82416} - 2,93522) \cdot 10^{0,00095U} \cdot f$$

Siendo:

- $Pe$  la precipitación mensual efectiva (mm).
- $Pt$  la precipitación mensual (mm).
- $U$  : Uso consuntivo medio mensual.
- $f$  :  $0,531747 + 0,011621 \cdot \Delta s - 8,9 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta s^2 + 2,3 \cdot 10^{-7} \cdot \Delta s^3$
- $\Delta s$  : Dosis de riego neta (mm)

PRECIPITACIÓN EFECTIVA (mm/mes) Método USDA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>2010</b>	20,3	13,2	29,3	11,5	14,0	1,7	2,4	2,2	18,6	16,9	17,6	14,4	162,0
<b>2011</b>	2,3	1,0	13,5	14,7	38,8	3,0	4,4	0	5,9	7,7	63,2	0	154,6
<b>2012</b>	7,1	2,6	16,6	13,3	4,2	2,7	1,1	0	29,3	35,1	60,3	0,4	172,6
<b>2013</b>	4,8	17,6	29,1	42,3	10,3	3,2	2,2	56,8	2,0	1,2	3,8	17,2	190,5
<b>2014</b>	1,8	5,4	8,7	4,9	5,2	18,9	0,0	0,0	35,5	0,8	53,7	7,7	142,5
<b>2015</b>	14,2	15,7	45,3	2,4	7,7	17,2	20,3	26,5	35,0	12,6	10,2	0,0	207,0
<b>2016</b>	0	4,3	20,7	14,2	24,9	0	0	1,4	0	15,0	31,2	67,0	178,7
<b>2017</b>	29,6	4,6	30,4	8,6	9,7	13,5	1,5	18,7	0	0,2	0	0,2	116,9
<b>2018</b>	18,5	12,1	15,7	23,3	30,6	18,9	2,6	18,5	10,6	7,3	15,0	6,8	179,9
<b>2019</b>	0	1,3	8,5	73,9	4,0	10,1	1,1	13,1	78,2	17,0	8,7	8,9	224,9
<b>2020</b>	64,7	0	57,6	27,0	24,1	7,0	5,6	10,9	3,1	9,7	14,9	7,5	232,2
<b>Media</b>	14,9	7,1	25,0	21,5	15,8	8,8	3,7	13,5	19,8	11,2	25,3	11,8	178,3

**Tabla12.** Valores de Precipitación efectiva mensual y anual (mm), calculado a partir del método mencionado.

#### 4. Humedad relativa

El parámetro de la humedad relativa es de vital importancia tenerlo en cuenta para el cálculo de los requerimientos hídricos de cualquier cultivo, por ejemplo para el cálculo de la Evapotranspiración de referencia.

En las siguientes tablas se muestran las humedades relativas medias, máximas y mínimas proporcionadas por la estación meteorológica de la localidad de Almansa.

HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
2010	77,4	73,4	70,0	73,5	64,4	61,4	55,2	60,5	65,1	67,5	74,0	79,2	68,5
2011	79,1	61,0	45,6	70,7	73,2	64,8	57,0	56,5	63,4	67,1	84,5	73,6	66,4
2012	74,3	54,0	64,0	63,7	60,3	50,3	54,3	48,4	58,6	71,2	82,8	74,0	63,0
2013	69,3	63,5	70,6	69,5	61,4	53,3	53,6	62,9	69,0	65,5	62,9	72,6	64,5
2014	70,8	67,1	61,7	57,6	57,0	56,6	54,3	56,5	62,5	65,5	80,0	76,0	63,8
2015	66,1	71,0	65,6	71,3	58,1	58,4	56,1	65,1	71,4	77,0	75,2	77,2	67,7
2016	71,9	67,2	64,2	68,5	64,7	53,1	54,1	60,5	64,3	79,3	79,0	97,7	68,7
2017	87,0	85,2	75,5	72,6	67,4	55,3	53,8	58,9	61,0	65,9	59,1	71,7	67,8
2018	71,0	67,5	64,8	67,4	67,3	58,9	49,2	63,7	72,2	71,7	78,8	74,8	67,3
2019	62,7	63,4	56,7	70,8	62,6	54,4	53,8	57,5	74,3	73,2	76,0	85,5	65,9
2020	89,0	79,6	81,2	84,1	70,4	57,1	60,3	51,2	62,2	66,2	86,8	77,2	72,1
Media	74,4	68,4	65,4	70,0	64,3	56,7	54,7	58,3	65,8	70,0	76,3	78,1	66,9

**Tabla13.** Valores de Humedad relativa media mensual y anual (%), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

HUMEDAD RELATIVA MEDIA DE LAS MÁXIMAS (%)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
2010	90,6	89,8	89,6	95,7	92,0	92,3	89,0	88,7	90,1	91,1	90,2	92,4	91,0
2011	94,2	88,8	92,0	93,9	97,0	94,0	88,4	88,2	90,4	89,9	96,0	90,0	91,9
2012	92,0	80,4	90,3	88,4	91,2	85,0	89,7	84,7	85,2	93,7	94,3	91,6	88,9
2013	88,0	83,0	88,6	92,2	89,5	85,0	87,0	90,3	93,9	89,5	82,3	90,7	88,3
2014	86,1	84,2	85,2	84,7	86,7	88,3	87,9	86,1	89,0	89,8	94,4	92,5	87,9
2015	87,5	85,8	89,3	93,5	90,7	91,7	89,5	92,2	93,5	96,0	93,6	95,2	91,5
2016	89,8	86,4	86,4	93,1	92,0	85,6	84,8	90,4	90,1	97,5	95,4	99,8	90,9
2017	96,7	96,6	99,4	98,6	99,9	87,0	87,0	87,0	88,9	91,1	83,2	88,8	92,0
2018	89,2	90,3	85,1	90,0	93,8	89,4	84,8	92,7	94,3	92,2	93,8	92,9	90,7
2019	85,7	89,9	84,8	92,4	91,9	87,6	87,1	87,7	96,1	96,5	92,2	97,3	90,8
2020	99,9	97,7	95,3	98,0	97,4	92,4	92,7	84,9	89,5	91,1	99,1	95,0	94,4
Media	90,9	88,4	89,6	92,8	92,9	88,9	88,0	88,4	91,0	92,6	92,2	93,3	90,8

**Tabla14.** Valores de Humedad relativa media de las máximas mensuales y anuales (%), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

HUMEDAD RELATIVA MEDIA DE LAS MÍNIMAS (%)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
2010	57,0	53,2	41,6	43,6	34,4	27,6	23,9	29,4	33,3	35,3	50,8	56,0	40,5
2011	53,8	35,5	52,9	40,8	42,4	31,7	25,3	23,5	29,3	37,3	62,2	51,5	40,5
2012	46,9	27,1	33,1	36,8	28,8	20,7	20,1	16,2	29,6	41,8	61,8	48,5	34,3
2013	47,4	42,3	48,2	41,3	31,6	24,5	22,5	28,6	34,0	33,2	40,4	45,4	36,6
2014	49,4	45,3	35,1	28,0	24,9	27,2	20,0	23,0	30,4	34,4	57,3	50,9	35,5
2015	38,8	53,3	38,5	42,1	25,2	26,1	22,9	33,2	39,9	48,2	43,1	45,9	38,1
2016	46,7	44,8	36,5	38,8	35,1	23,7	26,5	29,4	30,0	45,8	55,7	85,9	41,6
2017	68,8	58,4	40,9	38,5	31,1	26,7	21,8	29,4	28,7	31,6	32,4	47,1	38,0
2018	46,5	43,0	42,9	41,9	35,0	30,6	19,3	28,3	39,6	42,2	57,3	42,5	39,1
2019	35,7	30,5	28,5	44,8	31,0	26,2	25,3	26,0	44,3	41,6	56,2	62,4	37,7
2020	62,0	46,7	62,0	59,2	38,5	25,1	27,9	20,7	31,7	37,3	54,6	52,1	43,2
Media	50,3	43,6	41,8	41,4	32,5	26,4	23,2	26,2	33,7	39,0	52,0	53,5	38,6

**Tabla15.** Valores de Humedad relativa media de las mínimas mensuales y anuales (%), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

Se puede apreciar que la humedad relativa media anual es de 67%.

Si nos fijamos en los valores por encima de la media corresponde que los meses de noviembre, diciembre y enero en términos de humedad relativa media, se sitúan por encima de 75% lo que concluye que son los meses con mayor humedad relativa registrada.

A modo de resumen se ha elaborado la siguiente tabla recogiendo los valores medios de la serie climática seleccionada.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
HR med	74,4	68,4	65,4	70,0	64,3	56,7	54,7	58,3	65,8	70,0	76,3	78,1	66,9
HR max	90,9	88,4	89,6	92,8	92,9	88,9	88,0	88,4	91,0	92,6	92,2	93,3	90,8
HR min	50,3	43,6	41,8	41,4	32,5	26,4	23,2	26,2	33,7	39,0	52,0	53,5	38,6

**Tabla16.** Resumen valores medios de Humedad relativa media (HR med), máxima (HR max) y mínima (HR min) mensuales y anuales (%).

## 5. Viento

El viento es un factor limitante en algunos de los diferentes sistemas de regadío, en este caso al ser riego por aspersión, el viento puede condicionar la aplicación del riego reduciendo su eficiencia de aplicación ya que por la fuerza de este desplaza la mayoría de las gotas aplicadas por el aspersor.

La zona de estudio se considera una zona excesivamente ventosa ya que siempre mantiene unos patrones de velocidad del viento provocados por la localización del “Paraje del Hondo”; La ubicación de la parcela de estudio, se encuentra cercana a un sistema montañoso denominado el Mugrón (elevación 1200 m.s.n.m.) el cuál frena y desvía tanto parte del viento como posibles lluvias provenientes del Noroeste, es decir del interior de la península.

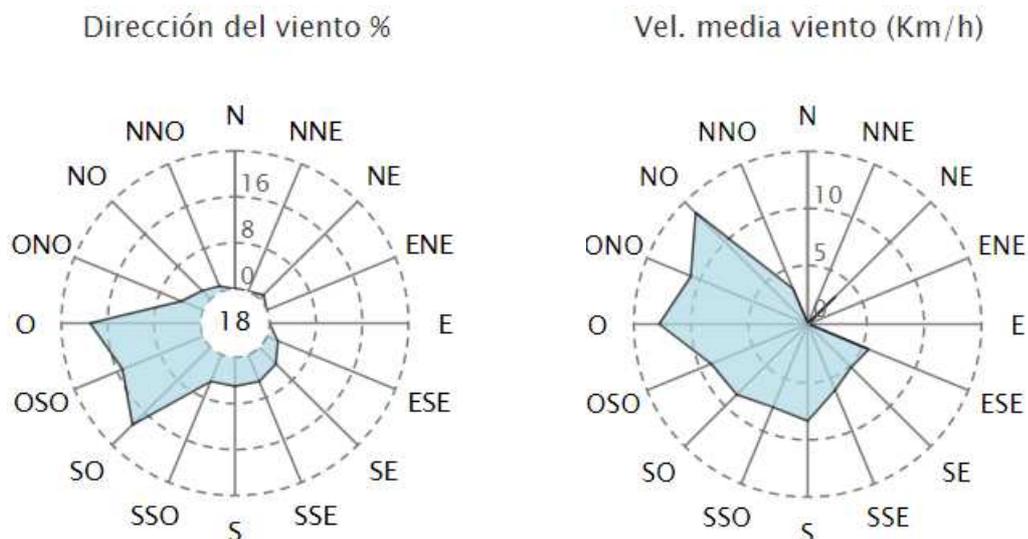
VELOCIDAD DEL VIENTO MEDIA A 2 METROS DEL SUELO (m/s)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
2010	3,6	3,2	2,6	2,1	2,5	2	2,2	2,1	1,9	2	3	2,2	2,5
2011	1,6	2,8	2,9	2	1,7	1,9	2,5	2,1	1,7	1,5	1,9	2,3	2,1
2012	2,1	2,8	2,1	3,5	2	2	2	2,3	2,1	2,1	2,6	2,5	2,3
2013	4,3	4,3	4,2	3,1	2,6	2,2	1,7	1,6	1,7	1,4	2,8	1,9	2,7
2014	3,5	3,6	3,3	2,7	2,3	2	1,9	1,7	1,5	1,6	2,4	2,2	2,4
2015	2,8	4,3	2,7	2,2	1,9	1,7	2,1	2,3	1,8	1,6	1,7	1,1	2,2
2016	2,9	4,3	2,9	2,4	2,2	2	2	1,8	1,7	1,4	2	1,7	2,3
2017	2,7	2,9	2,6	2,2	2	2,1	2,1	2,1	2	1,5	1,9	2,8	2,2
2018	2,8	2,5	4,2	2,9	2	2	2	1,9	1,7	1,9	2,4	2	2,4
2019	2,7	2,2	2,2	3,1	2,2	2	2,1	1,8	2,1	1,8	4,1	2,9	2,4
2020	2	1,8	2,9	1,9	1,7	2,1	1,9	2	2,1	1,9	1	3,2	2,0
Media	2,8	3,2	3,0	2,6	2,1	2,0	2,0	2,0	1,8	1,7	2,3	2,3	2,3

**Tabla17.** Valores de Velocidad del viento media (m/s), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

RACHA MÁXIMA REGISTRADA A 2 METROS DEL SUELO (m/s)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
2010	21	18,6	16,6	10,8	15,7	11,6	11,8	12,7	12,1	13,6	19,4	14,8	14,9
2011	12,6	18	14,4	10,1	10,4	9,6	12,3	11,6	10	9	15,3	17,6	12,6
2012	16,4	17,2	15,3	16,2	12,3	11,2	11,1	16	15,1	14,4	17,6	13,6	14,7
2013	21,6	19,6	20,3	20,2	13,5	9,9	9,4	12	11,7	8,8	18,1	19,2	15,4
2014	19,3	18,6	18,7	15,3	13	12,4	10	10,4	14,7	11,3	13,1	16,5	14,4
2015	26,1	18,4	18,3	12,2	11,5	12	15,8	14,4	10,7	13,5	14,6	10,5	14,8
2016	18,8	22	17,8	13,4	13,7	13,3	11,3	9,8	11,4	9,1	15,4	12,8	14,1
2017	15,3	20,2	17,1	13,9	11,2	12,3	12,1	11,5	12,2	11,7	13,1	19,7	14,2
2018	16,3	13,7	18,3	16,9	12,7	10,4	12,1	16,8	14,1	16,9	16,5	19,1	15,3
2019	18,5	19,7	14	19,5	18	11,4	11,4	12,4	14,8	11,7	19,4	19,5	15,9
2020	13,5	11,9	17,8	11,6	10	10,8	9,6	12,9	12,8	15,1	10,9	18,4	12,9
Media	18,1	18,0	17,1	14,6	12,9	11,4	11,5	12,8	12,7	12,3	15,8	16,5	14,5

**Tabla18.** Valores máximos registrados de velocidad del viento (m/s), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

A continuación se muestran dos figuras denominadas “rosas de los vientos” donde se puede ver la dirección de los vientos predominantes (%) y otra con la velocidad media (Km/h), será de vital importancia tener en cuenta estos valores a la hora de diseñar el sistema de riego y la distribución



**Figuras 2 y 3.** Rosas de los vientos mostrando sus porcentajes y velocidades respecto su dirección proveniente.

## 6. Radiación solar

Es necesario el dato de **Radiación Solar Extraterrestre ( $R_a$ )** para calcular la Evapotranspiración (Apartado 8), esta  $R_a$  es la radiación solar media que incide sobre una superficie horizontal que se encuentra por encima de la atmósfera terrestre. Esta varía en cada instante de tiempo según la posición de un punto en concreto de la Tierra y de la posición de ésta respecto la posición del Sol.

También es necesario para el cálculo de la Evapotranspiración obtener el **coeficiente de insolación  $n/N$** , donde  $n$  son las horas de insolación reales (tiene en cuenta la nubosidad) y  $N$  son las horas de insolación teóricas (se obtiene por la latitud sin tener en cuenta la nubosidad).

Los valores de **Radiación Solar Extraterrestre ( $R_a$ )** y  $n$  serán extraídos de los datos registrados por la estación meteorológica entre los años 2010-2020, *Tablas 19 y 20* respectivamente.

El valor de  $N$  se obtiene de forma teórica y para este caso se utilizará la *Figura 4* obtenida del *Documento 56 de la FAO "Evapotranspiración del cultivo"*. La zona de estudio se encuentra a 38º Norte, como se dijo anteriormente.

Variación anual de las horas de luz del día (N) en el ecuador a los 20° y 40° de latitud norte y sur

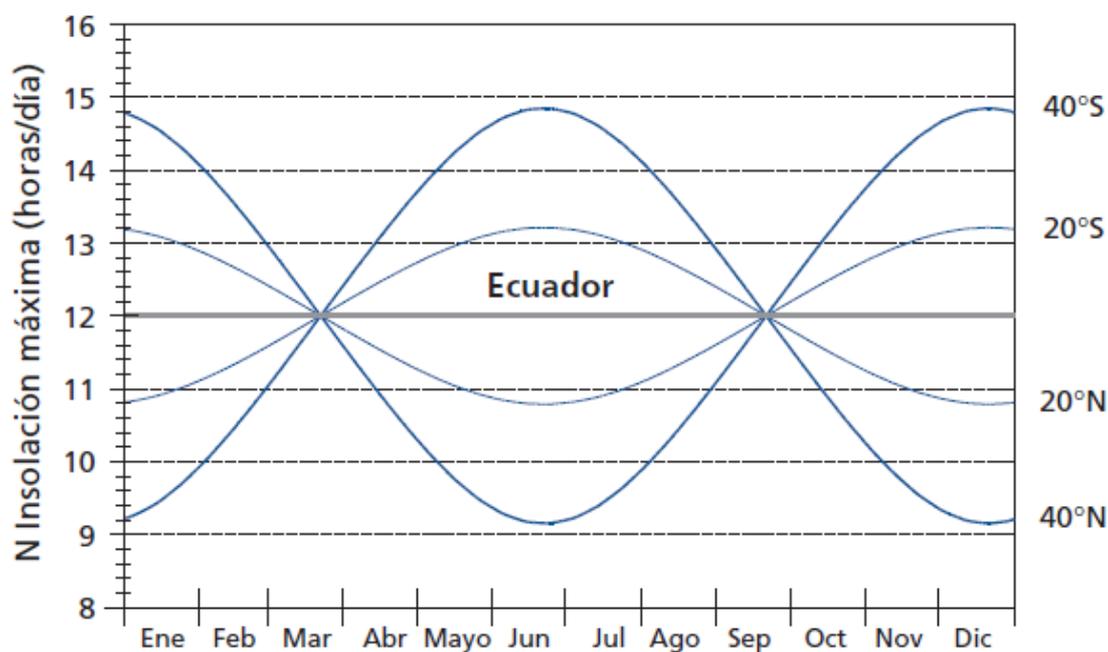


Figura 4. Variación anual de las horas de luz teóricas (N), obtenida del Documento 56 de la FAO.

RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE ( $R_a$ ) EN ( $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ )												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>2010</b>	7	9,5	14,7	18,2	23,4	24,7	26,9	22,6	19,1	14,6	9,6	7
<b>2011</b>	8,6	13,3	13,4	19,6	24	26,1	25,9	24,5	20,2	14,5	7,5	8,6
<b>2012</b>	9,7	14,5	18,2	21,1	26,3	27,7	27,7	24,7	18,8	13,9	7,8	8,9
<b>2013</b>	9,9	12,4	15,2	20	24,6	28,6	28,2	22,5	19,2	14,9	11	7,8
<b>2014</b>	8,4	11,4	17,6	22,9	26,2	26,6	28,2	25	18,5	14,6	8,3	8,3
<b>2015</b>	9,9	9,8	16	19,5	25,6	26,2	25,6	22,5	17,6	12	10,8	8
<b>2016</b>	8,1	11,9	16,3	20,3	24,2	28,1	26,1	24,3	19,6	12,8	8,7	6,2
<b>2017</b>	8,7	11,9	18,3	21,7	27,1	29,3	27,2	22,9	19,7	15,7	11,2	8,4
<b>2018</b>	9,6	12	15,6	20,5	23,3	27,3	29	23,1	17,3	13	8	8,8
<b>2019</b>	9,9	14,9	17,6	18	25,7	28,6	26,6	23,6	17	14,5	9,9	7,4
<b>2020</b>	8,4	13,6	12,2	17,9	24,2	27	26	24,5	19	15,4	9,4	8,4
<b>Media</b>	8,9	12,3	15,9	20,0	25,0	27,3	27,0	23,7	18,7	14,2	9,3	8,0

Tabla19. Valores Radiación Solar Extraterrestre ( $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ ), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

HORAS DIARIAS DE INSOLACION REALES ( $n$ ) EN (h)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>2010</b>	6,0	8,0	9,3	10,9	12,5	12,8	12,9	11,8	10,8	9,4	7,9	6,6
<b>2011</b>	7,5	9,1	9,0	11,1	11,9	12,9	12,5	12,1	10,9	9,6	7,1	7,7
<b>2012</b>	7,7	9,7	10,5	11,5	12,8	13,3	13,0	12,2	10,5	9,4	7,3	7,8
<b>2013</b>	8,1	8,9	9,8	10,9	11,6	12,8	12,1	11,0	10,2	9,0	7,4	6,2
<b>2014</b>	6,7	7,6	9,5	10,7	12,1	12,2	12,5	11,5	10,0	9,1	7,0	7,1
<b>2015</b>	7,6	7,6	8,9	10,7	11,9	12,3	12,0	11,2	9,9	8,5	8,1	7,0
<b>2016</b>	6,8	8,3	9,3	10,5	11,6	12,8	12,5	11,4	10,3	8,4	6,8	5,3
<b>2017</b>	7,1	8,4	9,7	10,7	12,0	12,7	12,4	11,2	10,3	9,3	8,0	6,9
<b>2018</b>	7,6	8,0	9,5	10,6	11,5	12,7	11,0	10,0	8,4	7,3	5,8	7,0
<b>2019</b>	7,8	8,9	9,8	9,2	12,0	12,8	12,4	11,6	9,7	9,0	7,5	6,2
<b>2020</b>	6,9	8,6	7,8	10,1	11,8	12,5	12,0	11,6	10,4	9,0	7,0	6,9
<b>Media</b>	7,3	8,5	9,4	10,6	12,0	12,7	12,3	11,4	10,1	8,9	7,3	6,8

**Tabla20.** Valores de Horas de Insolación Reales,  $n$ , (h), extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

A continuación se muestra a modo de resumen los datos medios de Radiación Solar Extraterrestre ( $R_a$ ), la media de las horas de insolación reales ( $n$ ), las horas teóricas de insolación según la latitud ( $N$ ) y el coeficiente de insolación  $n/N$

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b><math>R_a</math> (<math>MJ/m^2 \cdot día</math>)</b>	8,9	12,3	15,9	20,0	25,0	27,3	27,0	23,7	18,7	14,2	9,3	8,0
<b><math>n</math> (h)</b>	7,3	8,5	9,4	10,6	12,0	12,7	12,3	11,4	10,1	8,9	7,3	6,8
<b><math>N_{38^\circ Lat.}</math> (<math>N(h)</math>)</b>	9,6	10,6	12	13,4	14,6	14,8	14,6	13,8	12,6	12	10,2	9,4
<b><math>n/N</math></b>	0,76	0,80	0,78	0,79	0,82	0,86	0,84	0,83	0,80	0,74	0,71	0,72

**Tabla21.** Resumen de valores medios de Radiación Solar Extraterrestre,  $R_a$  ( $MJ/m^2 \cdot día$ ), Horas de Insolación Reales,  $n$  (h), Horas insolación teórica,  $N$  (h) y coeficiente de insolación  $n/N$  elaborado a partir de las Tablas 19 y 20 y la Figura 4.

## 7. Clasificación climática

A modo de representación se va a elaborar una figura con el diagrama ombrotérmico de Gausson el cuál será utilizado para determinar gráficamente la existencia de *periodos de sequía o periodos secos* y se va a calcular un índice termopluviométrico para caracterizar el clima en cuestión.

### 7.1 Factor de pluviosidad de Lang

Se emplea la siguiente expresión para obtener el Factor de pluviosidad de Lang:

$$I_L = \frac{P}{Tm}$$

Donde:

- *P*: Precipitación media anual (mm)
- *Tm*: Temperatura media anual (°C)

$$I_L = \frac{397}{14,2} = 28$$

Las zonas climáticas que agrupa este factor corresponden a:

ÍNDICE DE LANG	ZONAS CLIMÁTICAS
0 < IL < 20	Desierto
20 < IL < 40	Zona árida
40 < IL < 60	Zona húmeda de estepa y sabana
60 < IL < 100	Zona húmeda de bosques ralos
100 < IL < 160	Zona húmeda de bosques densos
IL > 160	Zona hiperhúmeda de prados y tundras

**Tabla22.** Zonas climáticas según la clasificación de Lang.

Según el índice de Lang el clima de la zona de estudio corresponde a una **zona climática árida**.

### 7.2 Diagrama ombrotérmico de Gausson

Gausson clasifica los meses según:

- Mes seco: la precipitación media mensual es inferior a 2 veces la temperatura media en el mismo mes ( $P < 2 \cdot T$ ).
- Mes semihúmedo: la precipitación media mensual es superior a 2 veces la temperatura media en el mismo mes ( $P > 2 \cdot T$ ).

- Mes húmedo: la precipitación media mensual es superior a 3 veces la temperatura media en el mismo mes ( $P > 3 \cdot T$ ).

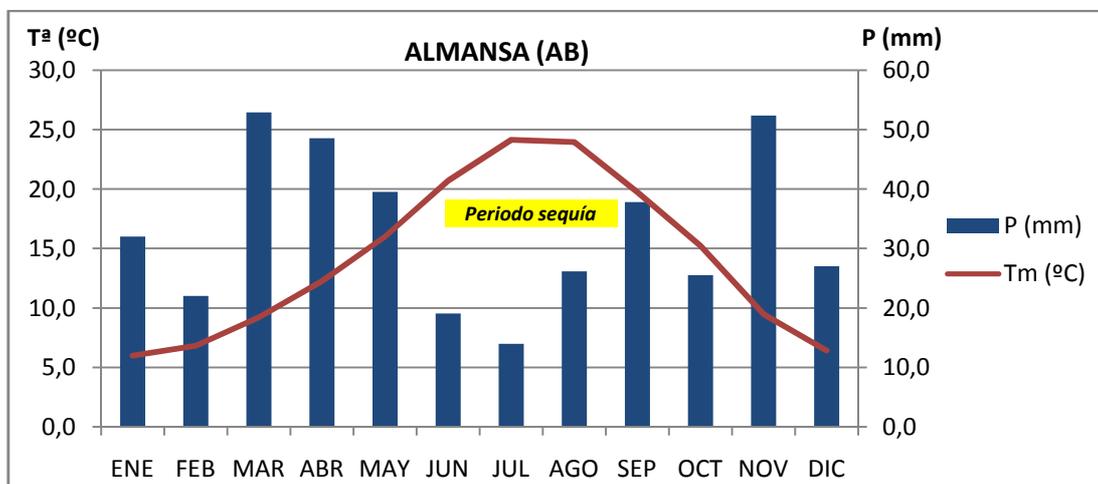
DATOS PARA DIAGRAMA OMBROTÉRMICO DE GAUSSEN												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Tm (°C)</b>	6,0	6,8	9,2	12,3	16,0	20,7	24,2	24,0	19,8	15,3	9,5	6,4
<b>P (mm)</b>	32,0	22,0	52,9	48,5	39,5	19,1	14,0	26,2	37,8	25,5	52,4	27,0

**Tabla23.** Valores mensuales de Temperatura media, **Tm** (°C) y Precipitación media, **P** (mm) extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

Según esta clasificación:

- Meses secos: Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre
- Meses semihúmedos: Mayo
- Meses húmedos: Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril.

A partir de estos valores se ha elaborado el siguiente diagrama ombrotérmico de Gausson (*Figura 5*). Se observa claramente un periodo de sequía durante los meses estivales donde se justificará una aportación de agua en el sistema de riego.



**Figura 5.** Diagrama ombrotérmico de Gausson en la zona de estudio.

Con el diagrama obtenido se puede clasificar como **Clima Monoxérico**, que corresponde a un clima el cuál contiene un periodo en este caso prolongado de 5 meses de sequía. Este periodo de sequía se aprecia en el gráfico una vez la línea de tendencia de la Temperatura media (Tm) se encuentra por encima de las columnas de Precipitación (P).

## 8. Cálculo de la evapotranspiración

La **evapotranspiración (ET)** se define como la combinación de evaporación (proceso por el que el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor) y transpiración (proceso por el que se vaporiza el agua líquida contenida en los tejidos de la planta y pasa a la atmósfera a través de los estomas) (Allen et al. 2006\*).

Se va a estimar la **Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)** con los datos meteorológicos, siguiendo la metodología de FAO Penman-Monteith.

Se denomina **Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)** a la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia. Los expertos de la FAO definieron la superficie de referencia como “Un cultivo hipotético de referencia, con una altura asumida de 0.12 m, una resistencia superficial fija de 70 s m<sup>-1</sup> y un albedo de 0.23”. Esta superficie se asemeja a una superficie extensa (porque se asume que todos los flujos de aire son ascendentes) de altura uniforme, creciendo activamente, sombreando totalmente la tierra y con un adecuado aporte de agua (de esta manera se considera que el suelo no afecta a la evapotranspiración); así la **ETo** únicamente es afectada por los parámetros climáticos, pudiendo ser calculada a partir de datos meteorológicos. Cuando se calcula a partir de datos meteorológicos, la FAO recomienda calcular la **ETo** exclusivamente por el método FAO Penman-Monteith (porque por este método se obtienen valores consistentes en todas las regiones y climas). (Allen et al. 2006\*).

Una vez obtenido el valor de la **Evapotranspiración de referencia (ETo)** para los diferentes meses del año y siguiendo la metodología nombrada se aplicarán unos **Coefficientes de cultivo (Kc)**, que varían para cada cultivo (anatomía de las hojas, características de los estomas, propiedades aerodinámicas, albedo, etc), y cada fase del ciclo. Al aplicar estos Coeficientes de cultivo (Kc) podremos calcular la **Evapotranspiración aplicada al cultivo** bajo condiciones estándar (**ETc**), dato que utilizaremos para saber las necesidades hídricas de los diferentes cultivos en cada uno de los diferentes estadios de crecimiento.

A continuación se muestra la fórmula que utiliza la metodología de FAO Penman-Monteith

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)}$$

Donde:

- ETo: Evapotranspiración de referencia (mm/ día)
- Rn: radiación neta en la superficie del cultivo (MJ /m<sup>2</sup>· día)
- G: Flujo del calor de suelo (MJ /m<sup>2</sup> día)
- T: Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- u2: Velocidad del viento a 2 m de altura (m /s)

- $e_s$ : Presión de vapor de saturación (kPa)
- $e_a$ : Presión real de vapor (kPa)
- $e_s - e_a$ : Déficit de presión de vapor (kPa)
- $\Delta$ : Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/ °C)
- $\gamma$ : Constante psicométrica (kPa/ °C)

### 8.1 Determinación de la evapotranspiración de referencia $ET_0$

Para conocer la  $ET_0$  en la zona de la plantación se van a escoger los datos de  $ET_0$  proporcionados por la estación meteorológica del SIAR en la cual calculan el dato de  $ET_0$  por el método anterior mencionado, Penman-Montieth.

A continuación se muestra en la **Tabla 24**. los datos de  $ET_0$  para la serie climática seleccionada en los diferentes meses del año.

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA, $ET_0$ (mm/mes)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>2010</b>	38,4	48,0	78,7	95,9	138,7	164,3	211,1	178,4	123,1	80,0	49,1	31,2	1237
<b>2011</b>	31,9	59,4	68,5	108,0	134,9	171,2	205,1	191,5	129,3	77,9	34,9	37,4	1250
<b>2012</b>	41,3	60,9	86,9	115,3	160,5	197,5	208,7	213,7	128,8	80,3	39,3	39,1	1372
<b>2013</b>	53,5	63,8	85,4	108,7	144,0	182,8	195,5	161,9	118,1	86,0	58,3	33,0	1291
<b>2014</b>	52,0	62,3	95,6	140,2	166,3	175,7	202,6	179,7	123,9	87,2	44,0	35,2	1365
<b>2015</b>	49,7	53,5	89,1	102,3	162,7	170,9	211,8	172,1	109,4	68,8	47,2	33,3	1271
<b>2016</b>	52,1	66,4	91,5	107,7	142,6	188,4	195,5	171,2	127,1	71,6	41,3	16,2	1272
<b>2017</b>	30,7	47,4	88,7	110,7	159,5	200,8	214,3	179,4	133,7	92,4	55,9	41,3	1355
<b>2018</b>	48,8	50,3	90,2	107,7	136,2	175,8	215,2	173,7	112,3	77,5	41,6	43,5	1273
<b>2019</b>	52,9	61,7	97,0	99,7	153,0	181,8	205,6	179,0	108,3	83,2	54,0	34,7	1311
<b>2020</b>	28,7	57,9	65,8	85,3	142,2	181,4	196,1	194,0	124,7	81,6	34,6	38,1	1230
<b>Media</b>	43,6	57,4	85,2	107,4	149,1	181,0	205,6	181,3	121,7	80,6	45,5	34,8	1293

**Tabla24.** Valores mensuales y anuales de Evapotranspiración de referencia,  $ET_0$  (mm) extraídos de los datos proporcionados por la estación meteorológica de Almansa, en el periodo de 2010-2020.

Como se aprecia en la tabla anterior, junio corresponde al mes con **mayor  $ET_0$**  con aproximadamente 200 (mm/mes) y por otro lado el mes que **menor  $ET_0$**  registra es diciembre con 35 (mm/mes).

## 8.2 Elección del coeficiente de cultivo $K_c$

Siguiendo la metodología de la FAO para calcular la **Evapotranspiración aplicada al cultivo (ETc)** bajo condiciones estándar, hay que seleccionar un **coeficiente de cultivo ( $K_c$ )** el cual la FAO lo describe como:

El coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia, distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectarán al valor del coeficiente  $K_c$ . Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectarán al valor de  $K_c$ .

Siguiendo la metodología de la FAO, divide la duración de cada cultivo en diferentes fases como son: Fase inicial, Fase de desarrollo, Fase media y Fase final. A cada una de las fases le asigna una duración en días y un  $K_c$  diferente como se puede ver en la siguiente figura:

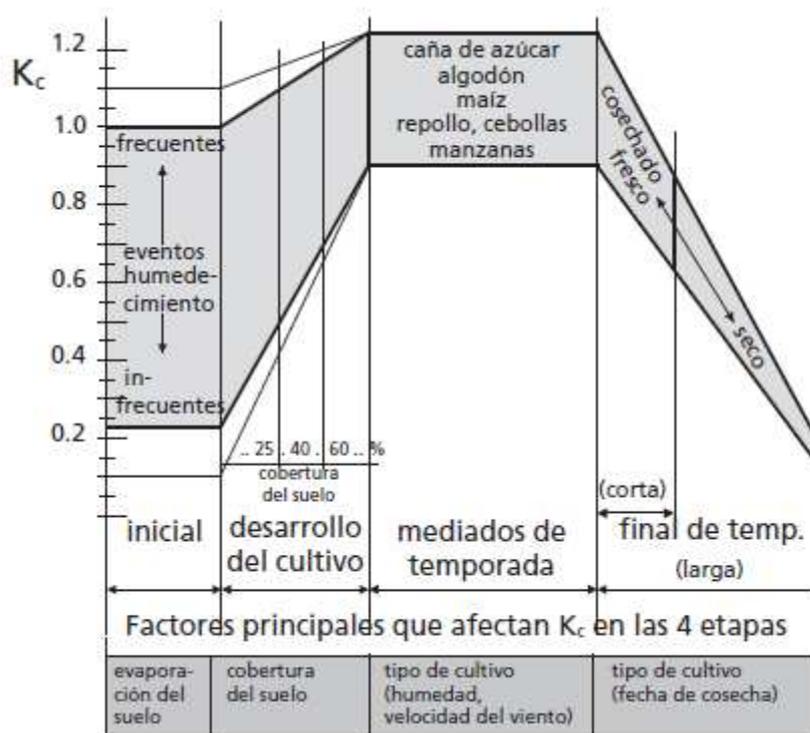


Figura 6. Fases de los cultivos en relación a su coeficiente de cultivo ( $K_c$ )

Siguiendo la metodología nombrada se asigna a las diferentes **fases de cada cultivo** una **duración en días** según el documento 56 de la FAO,"

Evapotranspiración del cultivo", cuyo resumen se muestra en la siguiente tabla:

DURACIÓN FASES DIFERENTES CULTIVOS (Días)					
CULTIVO	F <sub>inic</sub>	F <sub>desarr</sub>	F <sub>medio</sub>	F <sub>final</sub>	TOTAL
Cebolla	20	35	110	45	210
Nabo	25	30	25	10	90
Zanahoria	30	50	100	30	210
Guisante	90	45	40	35	210
Maíz	20	35	50	30	135
Ajo	60	40	60	35	195
Acelga	20	20	40	10	90
Cebada	45	60	70	40	215
Espinaca	25	30	40	10	105

**Tabla25.** Duración en días de cada una de las diferentes fases de los cultivos, extraído del Documento 56 de la FAO "Evapotranspiración del cultivo".

En el mismo documento de la FAO muestra los **coeficientes de cultivo K<sub>c</sub>** para cada una de las diferentes fases del cultivo en sí. A continuación se muestran dichos valores:

VALORES DE K <sub>c</sub> PARA LOS DIFERENTES CULTIVOS				
CULTIVO	F <sub>inic</sub>	F <sub>desarr</sub>	F <sub>medio</sub>	F <sub>final</sub>
Cebolla	0,15	ΔK <sub>c</sub> **	0,95	0,65
Nabo	0,15	ΔK <sub>c</sub> **	1	0,85
Zanahoria	0,15	ΔK <sub>c</sub> **	0,95	0,85
Guisante	0,15	ΔK <sub>c</sub> **	1,1	0,2
Maíz	0,15	ΔK <sub>c</sub> **	1,15	0,15-0,5 *
Ajo	0,15	ΔK <sub>c</sub> **	0,9	0,6
Acelga	0,15	ΔK <sub>c</sub> **	0,9	0,85
Cebada	0,15	ΔK <sub>c</sub> **	1,1	0,15
Espinaca	0,15	ΔK <sub>c</sub> **	0,9	0,85

**Tabla26.** Valores de K<sub>c</sub> en cada una de las diferentes fases de los cultivos, extraído del Documento 56 de la FAO "Evapotranspiración del cultivo".

\*: El primer valor de K<sub>c</sub> fin corresponde a los casos donde el cultivo se cosecharon gran humedad en el grano. El segundo valor de K<sub>c</sub> fin es para cuando se cosecha después de un secado completo del grano en el campo (hasta alrededor de 18% de humedad, basado en materia húmeda).

\*\* : Como se puede ver en la *Figura 6*, en la Fase desarrollo la cobertura del suelo varía debido al crecimiento del cultivo en sí por lo que el valor de K<sub>c</sub> sigue un modelo lineal ascendente, se medirá el incremento de K<sub>c</sub> y posteriormente se dividirá entre el n° de días de dicha fase del cultivo y obtendremos el aumento diario de K<sub>c</sub>, con esto se ajustará el valor de K<sub>c</sub> por quincenas.

A modo de representación se puede ver en la siguiente figura la distribución de todos los cultivos propuestos durante los 5 años que se prevé que dure la rotación de cultivos.

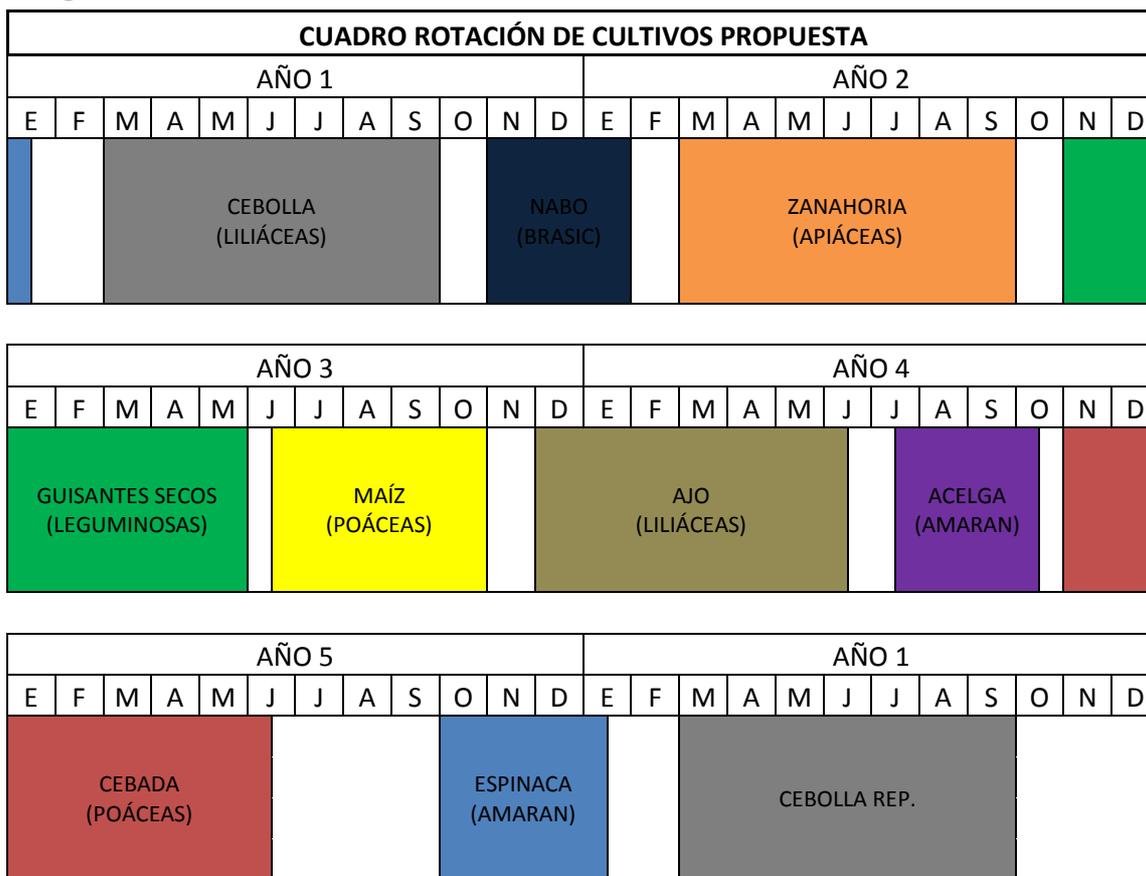


Figura 7. Distribución temporal de los cultivos propuestos.

A continuación se muestra una tabla con la duración y distribución temporal por quincenas de los diferentes cultivos junto a los valores de Kc aplicado al cultivo. Para consultar las fechas de siembra y recolección de los cultivos seleccionados se ha consultado el documento del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de “Calendario de siembra, recolección y comercialización 2014-2016”, de Castilla-La Mancha.

CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Cebolla			0,15 0,37	0,6 0,95	0,95 0,95	0,95 0,95	0,95 0,95	0,65 0,65	0,65 0,65			
Nabo	1 0,85										0,15 0,17	0,57 1
Zanahoria			0,15 0,15	0,39 0,63	0,95 0,95	0,95 0,95	0,95 0,95	0,95 0,95	0,85 0,85			
Guisante	0,15 0,15	0,47 0,79	1,1 1,1	1,1 1,1	0,2 0,2						0,15 0,15	0,15 0,15
Maíz						0,15 0,58	1 1	1 1	1 1	0,5 0,15		
Ajo	0,15 0,15	0,43 0,71	0,9 0,9	0,9 0,9	0,9 0,6	0,6						0,15 0,15
Acelga							0,15 0,71	0,9 0,9	0,9 0,9	0,85		
Cebada	0,63 0,87	1,1 1,1	1,1 1,1	1,1 1,1	0,85 0,15	0,15					0,15 0,15	0,15 0,39
Espinaca	0,85									0,15 0,28	0,53 0,9	0,9 0,9

Tabla 27. Valores de Kc asignado por quincenas, elaborados por el autor a partir de las Tablas 25 y 26.

### 8.3 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo $ET_c$

Con todos los datos mostrados anteriormente se procede al cálculo de la Evapotranspiración aplicada al Cultivo bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ).

*“La  $ET_c$  es la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra libre de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, en condiciones óptimas de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo con las condiciones climáticas reinantes”.*

*“La relación  $ET_c/ET_o$ , puede determinarse experimentalmente para cada cultivo y se denomina Coeficiente del cultivo ( $K_c$ ), que varía para cada cultivo (anatomía de las hojas, características de los estomas, propiedades aerodinámicas, albedo, etc), y cada fase del ciclo”. (Allen et al. 2006)*

Siguiendo el procedimiento mencionado, de acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ) y el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ):

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

Donde:

- $ET_c$ : Evapotranspiración del cultivo (mm/día).
- $K_c$ : Coeficiente del cultivo.
- $ET_o$ : Evapotranspiración de referencia (mm/día).

Como se puede ver en la *Figura 7*. anteriormente mostrada se ha dividido por años según la rotación de cultivos para saber cuál sería el periodo de mayor Evapotranspiración aplicada a los distintos cultivos, a continuación, se muestran unas tablas con los resúmenes de la  $ET_c$  en los 5 años de la propuesta de rotación de cultivos.

Las celdas en negro corresponden a meses donde no se espera que haya cultivos, se dedicarán a las diferentes labores del terreno para el acondicionamiento del siguiente cultivo excepto el aporte de mantenimiento de M.O. que se prevé realizarlo en el año 5 justo después de recolectar la cebada para que esta complete su descomposición.

AÑO 1 - EVAPOTRANSPIRACIÓN APLICADA AL CULTIVO $ET_c$ (mm/mes)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
$ET_c$	18,5		22,2	83,2	141,7	171,9	195,3	117,9	79,1		7,3	27,3	864,4

**Tabla28.** Valores de  $ET_c$  mensuales (mm/mes) en el AÑO 1 de la propuesta de rotación.

AÑO 2 - EVAPOTRANSPIRACIÓN APLICADA AL CULTIVO ETc (mm/mes)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ETc	21,8		12,8	54,8	141,7	171,9	195,3	172,3	103,4		6,8	5,2	886,0

**Tabla29.** Valores de ETc mensuales (mm/mes) en el AÑO 2 de la propuesta de rotación.

AÑO 3 - EVAPOTRANSPIRACIÓN APLICADA AL CULTIVO ETc (mm/mes)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ETc	6,5	36,2	93,7	118,1	29,8	13,6	162,4	181,3	121,7	26,2		5,2	794,8

**Tabla30.** Valores de ETc mensuales (mm/mes) en el AÑO 3 de la propuesta de rotación.

AÑO 4 - EVAPOTRANSPIRACIÓN APLICADA AL CULTIVO ETc (mm/mes)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ETc	6,5	32,7	76,7	96,7	111,9	54,3	15,4	146,0	109,5	34,2	6,8	9,4	700,2

**Tabla31.** Valores de ETc mensuales (mm/mes) en el AÑO 4 de la propuesta de rotación.

AÑO 5 - EVAPOTRANSPIRACIÓN APLICADA AL CULTIVO ETc (mm/mes)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ETc	32,7	63,2	93,7	118,1	74,6	13,6				17,3	32,5	31,3	477,1

**Tabla32.** Valores de ETc mensuales (mm/mes) en el AÑO 5 de la propuesta de rotación.

El AÑO 2 corresponde al periodo de máxima Evapotranspiración aplicada a los cultivos (ETc) con 886 mm/anuales y será el que utilizaremos para el diseño de la instalación de riego por aspersión.



## **ANEJO 3.**

# **ESTUDIO EDAFOLÓGICO.**

## **ÍNDICE ANEJO 3. ESTUDIO EDAFOLÓGICO.**

- 1. Introducción.**
- 2. Caracterización del suelo.**
- 3. Propiedades físicas.**
  - 3.1 Textura.
  - 3.2 Densidad aparente.
  - 3.3 Capacidad de campo, punto de marchitez y agua útil.
- 4. Propiedades químicas.**
  - 4.1 pH del suelo.
  - 4.2 Conductividad eléctrica del suelo.
  - 4.3 Carbonatos totales y caliza activa.
  - 4.4 Materia orgánica
    - 4.4.1 Aporte de M.O.**
  - 4.5 Capacidad de intercambio catiónico.**
    - 4.5.1 Interpretación de Calcio.
    - 4.5.2 Interpretación de Magnesio.
    - 4.5.3 Interpretación Potasio.
    - 4.5.4 Interpretación de Sodio.
    - 4.5.5 Fósforo soluble.
    - 4.5.6** Relación de absorción de sodio y porcentaje sodio intercambiable

## 1. Introducción.

En este anexo se va a realizar un estudio edafológico de la parcela en cuestión. Para ello se ha realizado un muestreo a 30cm de profundidad para determinar parámetros físicos como la textura, como la capacidad de campo y agua útil o también químicos como son las concentraciones de los diferentes elementos nutrientes que están presentes en nuestro suelo.

Todo esto favorecerá al aprovechamiento del agua aplicada pudiendo ajustar las dosis de riego y evitar pérdidas tales como la escorrentía o percolación profunda.

Con esto se pasará a la clasificación del tipo de suelo que posee la parcela mediante la clasificación de la USDA y la FAO.

## 2. Caracterización del suelo.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del muestreo de suelo realizado por un laboratorio privado de la localidad de Hellín (Albacete), [www.Hellinlab.com](http://www.Hellinlab.com).

ANÁLISIS DE SUELO A 30cm DE PROFUNDIDAD			
PRUEBA	RESULTADO	UNIDADES	METODOLOGÍA
Arena	67	%	Densimetría
Limo	19	%	Densimetría
Arcilla	14	%	Densimetría
Ph	8,38	uds. Ph	Potenciometría
Conduct. Elec 25°C	1,1	dS/cm	Potenciometría
Carbonatos	18	%	Calcimetría
Caliza Activa	9	%	Calcimetría
M.O.	2,1	%	Vol. Redox
Relación C/N	12	%	Cálculo
Nitrógeno (N)	0,16	%	N Kjeldahl
Fósforo (P)	60	ppm	Olsen
Potasio (K)	400	ppm	I.C.P-OES
Calcio (Ca)	2100	ppm	I.C.P-OES
Magnesio (Mg)	284	ppm	I.C.P-OES
Sodio (Na)	83	ppm	I.C.P-OES
Hierro (Fe)	55	ppm	I.C.P-OES

**Tabla1.** Análisis de suelo a 30cm de profundidad realizado por Hellinlab.

Con los resultados obtenidos pasamos a clasificar el tipo de suelo.

## 3. Propiedades físicas

### 3.1 Textura

Para la determinación de la textura nos basaremos en la metodología de Densímetro de Bouyoucos, el método se basa en la Ley de Stokes, en virtud de la cual una partícula

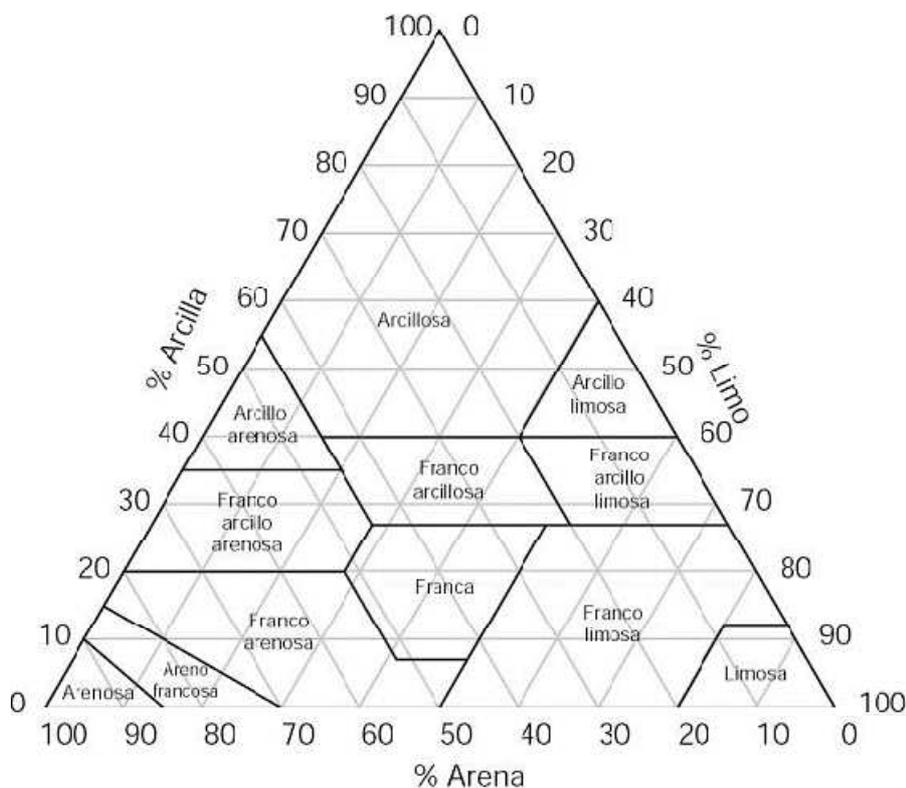
esférica sólida cae en el seno de un medio líquido de densidad menos con velocidad uniforme ya que las fuerzas que intervienen (gravedad y resistencia) se igualan y esta velocidad es función del tamaño de la partícula. Por tanto, el análisis de sedimentación se basa en la relación que existe entre la velocidad de caída de la partícula y su diámetro. A un tiempo dado, las partículas de mayor tamaño se habrán sedimentado y solo quedarán en suspensión las de tamaño menor. Como las partículas son de forma irregular y definimos un tamaño efectivo: diámetro de la esfera, cuya densidad y velocidad de sedimentación en un fluido dado, es igual al de la partícula.

La textura de un suelo expresa el porcentaje en peso, de los varios rangos de tamaño (arcilla, limo y arena) inferiores a 2mm de las partículas minerales que contiene la tierra fina. A continuación se muestran los porcentajes de los diferentes rangos de tamaño:

PRUEBA	RESULTADO	UNIDADES
Arena	67	%
Limo	19	%
Arcilla	14	%

**Tabla2.** Datos para la determinación textural del suelo, a 30cm de profundidad.

Según la metodología de la USDA emplea el siguiente triángulo para la clasificación de la textura a partir de los porcentajes de arena limo y arcilla como muestra la siguiente figura:



**Figura 1.** Triángulo de la USDA para la clasificación de la textura de los suelos.

Partiendo de esta clasificación se puede decir que el suelo objeto de análisis posee una **textura Franco arenosa**.

### 3.2 Densidad aparente

La densidad aparente se define como el peso de una unidad de volumen de suelo que incluye su espacio poroso. Es importante para el manejo de los suelos por reflejar la facilidad de circulación de agua y aire y la compactación. También es un dato necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de suelos en el laboratorio (expresados en % de peso) a valores de % en volumen de campo. La densidad aparente de los suelos no cultivados varía generalmente entre 1-1,6 (g/cm<sup>3</sup>). La variación es debida en su mayor parte a las diferencias en el volumen total de poros por textura y estructura.

A partir de la textura obtenida se puede estimar el dato de la densidad aparente (*da*) si no ha sido medida. Según las clases texturales del USDA asigna un rango de densidades aparentes como se puede ver en la siguiente tabla:

ESTIMACIÓN <i>da</i> (g/cm <sup>3</sup> ) SEGÚN LA USDA	
CLASES TEXTURALES	<i>da</i> (g/cm <sup>3</sup> )
Arena	1,7-1,8
Arena gruesa	1,6-1,7
Arena y arena fina	1,55-1,65
Arena muy fina	1,55-1,65
Arena franca	1,6-1,7
Arena franca gruesa	1,55-1,65
Arena franca, Arena franca fina	1,55-1,60
Arena franca muy fina	1,55-1,6
<b>Franco arenosa</b>	<b>1,55-1,6</b>
Franco arenosa gruesa y franco arenosa fina	1,5-1,6
Franco arenosa muy fina	1,45-1,55
Franca y franco limosa	1,45-1,55
Limo	1,4-1,5
Franco arcilosa	1,4-1,5
Franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa	1,45-1,55
Arcilla arenosa	1,35-1,45
Arcilla limosa	1,4-1,5
Arcilla	1,35-1,45
Arcilla	1,25-1,35

**Tabla3.** Rangos de densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) según la USDA.

La **densidad aparente** del suelo resulta en el rango de 1,55 - 1,6 se escogerá el valor medio que resulta **1,575 g/cm<sup>3</sup> = 1,575 t/m<sup>3</sup>**

### 3.3 Capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua útil.

La capacidad de campo (CC) es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo una vez saturado y después de haber drenado libremente y evitando la pérdida por evapotranspiración hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice (alrededor de 24-48 horas concluido el riego o la lluvia).

El punto de marchitez permanente (PM) es el punto de humedad mínima en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo y no puede recuperarse de la pérdida hídrica aunque la humedad ambiental sea saturada.

Agua Útil (AU) es la diferencia entre los contenidos de agua a CC y PM. Es la que se considera como agua utilizable o potencialmente extraíble por las plantas en la zona de crecimiento radical. Esta es la fracción del agua del suelo que puede perderse por evaporación o variar por el consumo de las plantas.

A continuación se muestra una figura representado a grosso modo la relación que existe entre textura del suelo y los diferentes parámetros como son capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PM).



**Figura 2.** Relación entre textura del suelo y capacidad de campo y/o punto de marchitez, obtenido imágenes google.

Para obtener los valores de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PM) y agua útil (AU) se utilizarán formulas dependientes de la textura del suelo.

$$CC (\% \text{ en peso}) = 0,48 \cdot \% \text{arcilla} + 0,162 \cdot \% \text{limo} + 0,023 \cdot \% \text{arena} + 2,62$$

$$PM (\% \text{ en peso}) = 0,302 \cdot \% \text{arcilla} + 0,102 \cdot \% \text{limo} + 0,0147 \cdot \% \text{arena}$$

El porcentaje en peso hace referencia a los gramos de agua que hay por cada 100 gramos de suelo seco.

Como se ha dicho el agua útil (AU) corresponde a la diferencia entre CC y PM.

$$AU = CC - PM$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

PRUEBA	RESULTADO	UNIDADES
Capacidad Campo, CC	14	% en peso
Punto marchitez, PM	7,15	% en peso
Agua útil, AU	6,85	% en peso

**Tabla4.** Valores calculados de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez y Agua Útil expresados en % de peso de los gramos de agua por cada 100 gramos de suelo seco.

#### 4. Propiedades químicas.

##### 4.1 pH del suelo

Como se muestra en la *Tabla 1*, el **pH** del suelo es de **8,38 uds. de pH**.

Según la clasificación de la USDA los suelos según su pH se pueden clasificar por:

pH DEL SUELO	
< 5,5	Fuertemente ácido
5,5 - 5,9	Medianamente ácido
6,0 - 6,4	Ligeramente ácido
6,5 - 6,9	Muy ligeramente ácido
7	Neutro
7,1 - 7,5	Muy ligeramente alcalino
7,6 - 8,0	Ligeramente alcalino
8,1 - 8,5	Medianamente alcalino
> 8,6	Fuertemente alcalino

**Tabla5.** Clasificación de suelos de la USDA según su pH.

Según esta clasificación nos encontramos con un suelo **medianamente alcalino**, suelo típico de la zona de Castilla-La Mancha.

El hecho de que el pH sea 8,38 puede condicionar la asimilación de ciertos nutrientes como puede ser el potasio ( $K^+$ ) que es bloqueado por el calcio (Ca) debido al pH tan alcalino.

#### 4.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del extracto saturado  $CE_{es}$  de nuestro suelo es de **1,1 dS/cm**.

La clasificación de tipos de suelos según su  $CE_{es}$  es la siguiente:

$CE_{es}$	CLASIFICACIÓN
0 - 1	No salino
1 - 1,7	Muy ligeramente salino
1,7 - 3,2	Ligeramente salino
3,2 - 6,1	Moderadamente salino
> 6,1	Fuertemente salino

**Tabla6.** Clasificación de suelos de la USDA según su conductividad eléctrica a 25°C.

El suelo resulta **muy ligeramente salino** según la clasificación de la USDA.

#### 4.3 Carbonato cálcico y caliza activa

En el muestreo de suelo resultaron unos niveles de **9% en Caliza Activa** y **18% de Carbonatos Totales**.

Los suelos se pueden clasificar en función de su Caliza activa o Carbonatos totales siendo los siguientes grupos:

$CaCO_3$ (%)	INTERPRETACIÓN
0 - 5	Muy bajo
5 - 10	Bajo
10 - 20	Normal
20 - 40	Alto
>40	Muy alto

**Tabla7.** Clasificación de suelos según su contenido de Carbonatos Totales ( $CaCO_3$ , en %)

CALIZA ACTIVA (%)	INTERPRETACIÓN
0 - 6	Baja
6 - 9	Media
> 9	Alta

**Tabla8.** Clasificación de suelos según su contenido en Caliza Activa (%).

El contenido en **Carbonatos Totales** se interpreta como **normal**, de forma similar, la **Caliza Activa** se puede clasificar como cantidad **media** aunque es cierto que se sitúa en los valores más grandes dentro del rango medio.

#### 4.4 Materia orgánica

Según la textura del suelo y su porcentaje en materia orgánica se determina si es suficiente la cantidad existente, aunque como se sabe, es de vital importancia seguir incorporando tal cantidad de M.O. que se mantengan unos niveles adecuados en el suelo, porque esta actúa de tal manera que mejora la estructura, aumenta la retención de agua por parte del suelo y otros aspectos como el aporte en pequeña medida de nutrientes importantes como puede ser el nitrógeno (N).

CONTENIDO MATERIA ORGÁNICA (%)					
	Muy Bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto
<b>Arenoso</b>	0 - 0,4	0,41 - 0,8	0,81 - 1,5	1,51 - 2	> 2
<b>Franco</b>	0 - 0,6	0,61 - 1,2	1,21 - 2	2,01- 2,5	> 2,5
<b>Arcilloso</b>	0 - 0,8	0,81 - 1,6	1,61 - 2,5	2,51 - 3	> 3

**Tabla9.** Clasificación de suelos según su contenido en Materia Orgánica (%) en relación a su textura.

Como la textura del suelo resultó Franco-Arenosa obtendremos los valores medios entre Franco y Arenoso, cuyos valores son:

CONTENIDO MATERIA ORGÁNICA (%)					
	Muy Bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto
<b>Franco-Arenoso</b>	0 - 0,5	0,51 - 1	1,01 - 1,75	1,76 - 2,25	>2,25

**Tabla10.** Clasificación de suelos según su contenido en Materia Orgánica (%) en relación a su textura.

Se puede considerar que el **nivel de M.O. es alto** ya que el valor obtenido en el muestro resultó **2,1%**

##### 4.4.1 Aporte de M.O.

Como se ha dicho es de vital importancia tener unos niveles adecuados de M.O. en el suelo, como se sabe, esta, mediante la mineralización el nivel de M.O. se va reduciendo lentamente por ello es necesario calcular la tasa de

mineralización para saber la cantidad de M.O. debemos aportar para que se mantengan los niveles de esta en el suelo.

Para ello se ha de calcular el **coeficiente de mineralización ( $K_2$ )** junto a las salidas de humus que se producen en el balance de M.O. en el suelo, será posible estimar la cantidad necesaria de M.O. que debemos aportar para mantener unos niveles adecuados.

$$K_2 = \frac{1200}{(A + 200) \cdot (C + 200)}$$

Donde:

- A: Contenido Arcillas en %.
- C: Contenido en Carbonatos totales en %.

$$K_2 = \frac{1200}{(140 + 200) \cdot (180 + 200)} = 0,00929$$

Una vez obtenido el coeficiente de mineralización ( $K_2$ ) se procede a calcular la cantidad de M.O. que pasa a mineralizarse y por último realizaremos un balance con el humus que aportan los cultivos al suelo una vez recolectados y por otra parte la cantidad de humus que pasa a mineralizarse y de esta manera se mantendrá el nivel de M.O. en el suelo

$$\text{Humus mineralizado} = \text{Superf} \cdot \text{Prof} \cdot d_a \cdot \text{MO} \cdot K_2$$

Donde:

- Humus mineralizado: en tn/ha
- Superficie: En  $m^2$  10.000
- Prof: Profundidad en m, 0,3 metros
- $d_a$  : Densidad aparente  $1,575 \text{ tn}/m^3$
- MO : Nivel de materia orgánica en valor absoluto (0,021)
- $K_2$  : Coeficiente de mineralización

$$\text{Humus mineraliz} = 10.000m^2 \cdot 0.3m \cdot 1,575 \frac{tn}{m^3} \cdot 0.021 \cdot 0.00929 = \mathbf{0.922tn/ha}$$

La cantidad de humus mineralizado resulta  $0,922 \text{ tn/ha} = 922\text{Kg/ha}$ . En la estimación se ha de tener en cuenta que esta cantidad de humus mineralizado es en el transcurso de un solo cultivo por lo que habrá que multiplicarlo por el número de cultivos que se han llevado a cabo entre aportes de M.O. y así obtendremos la “extracción de humus” que se produce en el suelo para realizar el balance de M.O. y que se puedan mantener los niveles de esta adecuados.

El número de cultivos entre aportes de M.O. son 9.

Por lo que la cantidad total de humus mineralizado en el transcurso de esos 9 cultivos se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Humus total mineralizado} = 922 \frac{\text{Kg}}{\text{ha}} \cdot 9 = \mathbf{8298 \text{ Kg/ha}}$$

Para realizar el balance de M.O. en el suelo se ha de estimar la cantidad de humus que los cultivos una vez recolectados aportan al suelo mediante restos vegetales. Se puede ver en la siguiente tabla de datos obtenidos del documento del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación denominado “Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España” y de los apuntes proporcionados por el Prof. San Bautista en la asignatura de Necesidades hídricas y de fertilización.

APORTE HUMUS	
CULTIVO	HUMUS (Kg/ha)
Cebolla	300
Nabo	500
Zanahoria	500
Guisante	1500
Maíz	1400
Ajo	300
Acelga	100
Cebada	500
Espinaca	100
<b>TOTAL</b>	<b>5200</b>

**Tabla11.** Cantidad de humus aportada por los cultivos al suelo.

A continuación realizaremos la estimación del balance de M.O. en el suelo.

$$\text{Balance M.O.} = \text{Aporte total humus} - \text{Humus total mineralizado}$$

$$\text{Balance M.O.} = 5200 \frac{\text{Kg}}{\text{ha}} - 8298 \frac{\text{Kg}}{\text{ha}} = -3098 \frac{\text{Kg}}{\text{ha}}$$

En el balance mostrado resulta un valor **negativo de 3098 Kg/ha.**

Se va a aplicar **estiércol maduro de ovino** cuyo **coeficiente isohúmico (K<sub>1</sub>)** es de **0,4-0,5** (Gross, 1986) y **cuya materia seca (MS) es de 30-40%**, con estos datos obtendremos la cantidad de estiércol necesaria para suplir la pérdida de los 3098 Kg/ha de humus debido a la mineralización. La cantidad de estiércol se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Estiércol: } \frac{\text{Kg Humus}}{\text{MS} \cdot K_1}$$

Donde:

- Estiércol: Kg/ha de estiércol maduro de ovino
- Kg de Humus: Los Kg de humus resultantes del balance
- MS: Cantidad de materia seca del estiércol en valor absoluto, se escogerá el valor medio de 0,3-0,4.
- $K_1$ : Coeficiente isohúmico del estiércol, se escogerá el valor medio de 0,4-0,5.

$$\text{Estiércol} : \frac{3098}{0.35 \cdot 0.45} = 19670 \frac{\text{Kg}}{\text{ha}} = 19,67 \frac{\text{tn}}{\text{ha}}$$

Resultan alrededor de **20tn/ha de estiércol maduro de ovino** que serán necesarios aportar si queremos mantener el nivel de M.O. adecuado en el suelo en el transcurso de todos los cultivos en la propuesta de rotación.

**Se recomienda realizar el aporte en el AÑO 4 durante el verano** ya que en ese periodo no se ha previsto implantar ningún cultivo hasta la llegada del otoño.

#### 4.5 Capacidad de intercambio catiónico

Para la evaluación de la cantidad de los diferentes elementos nutrientes se utilizarán los miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo, o bien la unidad de ppm.

##### 4.5.1 Interpretación de Calcio en el suelo

En el muestreo de suelo resultaron 2100 ppm de Calcio lo que equivale a 10,48 miliequivalentes (meq) por cada 100 gramos de suelo.

Ca (meq/100gr suelo)	INTERPRETACIÓN
0 - 3,5	Muy bajo
3,5 - 10	Bajo
10 - 14	Normal
14 - 20	Alto
> 20	Muy alto

**Tabla12.** Interpretación de nivel de Ca en el suelo.

La cantidad de **Calcio (Ca)** presente en el suelo se puede considerar **normal**.

##### 4.5.2 Interpretación de Magnesio en el suelo

En el muestreo de suelo resultaron 284 ppm de Magnesio lo que equivale a 2,33 miliequivalentes (meq) por cada 100 gramos de suelo.

Mg (meq/100gr suelo)	INTERPRETACIÓN
0 - 0,6	Muy bajo
0,61 - 1,5	Bajo
1,51 - 2,5	Normal
2,51 - 4	Alto
> 4	Muy alto

**Tabla13.** Interpretación de nivel de Mg en el suelo.

La cantidad de **Magnesio (Mg)** presente en el suelo se puede considerar **alta**.

#### 4.5.3 Interpretación de Potasio en el suelo

En el muestreo de suelo resultaron 400 ppm de Potasio lo que equivale a 1,03 miliequivalentes (meq) por cada 100 gramos de suelo.

K (meq/100gr suelo)	INTERPRETACIÓN
0 - 0,25	Muy bajo
0,26 - 0,5	Bajo
0,51 - 0,75	Normal
0,76 - 1	Alto
> 1	Muy alto

**Tabla14.** Interpretación de nivel de K en el suelo.

La cantidad de **Potasio (K)** presente en el suelo se puede considerar **muy alta**.

#### 4.5.4 Interpretación de Sodio en el suelo

En el muestreo de suelo resultaron 83 ppm de Sodio lo que equivale a 0,36 miliequivalentes (meq) por cada 100 gramos de suelo.

Na (meq/100r suelo)	INTERPRETACIÓN
0 - 0,3	Muy bajo
0,31 - 0,6	Bajo
0,61 - 1	Normal
1,01 - 1,5	Alto
> 1,51	Muy alto

**Tabla15.** Interpretación de nivel de Na en el suelo.

La cantidad de **Sodio (Na)** presente en el suelo se puede considerar **baja**.

#### 4.5.5 Fósforo soluble

Para la interpretación del nivel de Fósforo (P) en el suelo se es necesario relacionarlo con la textura del mismo de la siguiente manera:

FÓSFORO SOLUBLE (ppm)					
	Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
<b>Arenoso</b>	0 - 9	9 - 20	20 - 40	40 - 60	> 60
<b>Franco</b>	0 - 10	10 - 25	25 - 45	45 - 70	> 70
<b>Arcilloso</b>	0 - 11	11 - 30	30 - 50	50 - 80	> 80

**Tabla16.** Interpretación de nivel de P en relación a la textura.

Como se ha dicho anteriormente la textura obtenida resulto Franco-Arenosa. Por lo que se obtendrán los valores medios entre Franco y Arenoso.

FÓSFORO SOLUBLE (ppm)					
	Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
<b>Franco-Arenosa</b>	0 - 9,5	9,5 - 22,5	22,5 - 42,5	42,5 - 65	> 65

**Tabla17.** Valores medios de textura Franca y Arenosa en la interpretación de P (ppm) soluble

En el muestreo resultaron 60ppm de **fósforo (P)** presente en el suelo lo que se puede interpretar como un **nivel alto**.

#### 4.5.6 Relación de absorción de sodio (RAS) y porcentaje sodio intercambiable (PSI).

Para valorar si el suelo en cuestión presenta problemas de liberación de sodio (Na) por parte del complejo de cambio del suelo, para ello se va a calcular su relación de absorción de sodio (RAS) y con ella se obtendrá el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

La fórmula del RAS es la siguiente:

$$RAS = \frac{[Na^+]}{(\sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]} / 2)}$$

Donde las concentraciones se expresan en mmol/L. Resulta:

	mmol/L
[Ca <sup>2+</sup> ]	10,48
[Mg <sup>2+</sup> ]	2,33
[Na <sup>+</sup> ]	0,36
<b>RAS</b>	<b>0,201</b>

**Tabla18.** Concentraciones en mmol/L de los diferentes cationes.

Con el dato de relación de absorción de sodio (RAS) se puede proceder al cálculo del porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

$$PSI = \frac{100 \cdot Kg \cdot RAS}{1 + Kg \cdot RAS}$$

Donde:

- Kg: Es el coeficiente de selectividad de Gapon, de valor 0,01475 (mmol/L)<sup>-0,5</sup>

**El PSI resulta 0,296 %** lo que se interpreta como un **suelo no sódico** porque es menor de 15%.

**ANEJO 4.**

**ESTUDIO CALIDAD AGUA DE**

**RIEGO.**

## **ÍNDICE ANEJO 4. ESTUDIO CALIDAD AGUA DE RIEGO.**

- 1. Introducción.**
- 2. Resultados análisis agua de riego.**
- 3. Interpretación de parámetros.**
  - 3.1 Conductividad eléctrica.
  - 3.2 Iones más importantes.
  - 3.3 Dureza del agua.
  - 3.4 Relación de absorción de sodio.
  - 3.5 Normas de calidad que combinan diferentes parámetros.
    - 3.5.1 Normas calidad Riverside,
    - 3.5.2 Normas H.Greene-FAO.
- 4. Conclusiones.**

## 1. Introducción.

Es imprescindible analizar la calidad del agua de riego ya que esta puede contener diferentes elementos disueltos o en suspensión lo que puede afectar negativamente al desarrollo de los cultivos o a la instalación de riego.

El agua de riego proviene de un pozo con el siguiente identificador según el IGME (Instituto Geológico y Minero de España):

INFORMACIÓN DEL PUNTO	
Identificador	2731-5-0008
Hoja	2731
Octante	5
Punto	0008

LOCALIZACIÓN	
Municipio	Almansa
Provincia	Albacete
Sistema acuífero	Mesozoico del flanco occidental de la Ibérica
Unidad hidrogeológica	Mancha oriental
Cuenca	Júcar

PIEZOMETRÍA	
Profundidad del agua	25,68 m
Nivel piezométrico	663,32 m.s.n.m.

**Tabla 1.** Información del punto de abastecimiento, pozo, datos proporcionados por el IGME.

A modo de aprendizaje se realizó en la asignatura de “Análisis Agrícola” un análisis del agua proveniente del pozo, en el cuál se analizó el pH, la concentración de Nitratos y la conductividad eléctrica, los cuales se muestran en el siguiente apartado junto a los demás parámetros obtenidos de los datos proporcionados por el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, en la sección de la Cuenca Hidrográfica del Júcar durante los últimos dos años. La metodología empleada en la asignatura de “Análisis Agrícola” fue la siguiente:

- Medida de pH: Mediante un pH-metro, mide el potencial eléctrico que se genera en la membrana de un electrodo de vidrio, este potencial es función de la actividad de los iones de hidrógeno a ambos lados de la membrana.
- Concentración de Nitratos: Mediante reflectometría, cuantifica la cantidad de Nitratos mediante un sistema óptico. El equipo se compone de unas tiras para introducirlas en el agua que se pretende analizar y el reflectómetro que te proporciona una medida cuantitativa y fiable.
- Conductividad eléctrica: Mediante un conductímetro, el cuál a través de la medida de la resistencia eléctrica cuando los electrodos del conductímetro están sumergidos en una solución salina.

## 2. Resultados análisis agua de riego

A continuación se muestran los datos del análisis del agua de riego proveniente del pozo mencionado, los datos obtenidos fueron del mes de Junio que es uno de los meses con necesidades de riego elevadas y también los análisis proporcionados por el ministerio corresponden a los meses de Diciembre, Marzo, Junio y Septiembre por lo que habría que escoger entre uno de estos meses para la elección de los datos muestreados.

PARÁMETROS	CANTIDAD	UNIDADES
Conductividad a 25°C	953	μS/cm
pH	7,5	uds. de pH
Temperatura agua	17,5	°C
Sólidos en suspensión	5	mg/L
Nitratos	46	mg/L NO <sub>3</sub>
Potasio	2,4	mg/L K <sup>+</sup>
Bicarbonatos	177	mg/L HCO <sub>3</sub>
Calcio	68	mg/L Ca <sup>+2</sup>
Magnesio	35,5	mg/L Mg <sup>+2</sup>
Hierro	0,006	mg/L Fe
Sodio	6,7	mg/L Na <sup>+</sup>
Cloruros	34	mg/L Cl <sup>-</sup>
Fosfatos	0,021	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>

**Tabla 2.** Resultados análisis de agua de riego proveniente de pozo.

Es muy importante tener en cuenta las unidades fertilizantes (UF) de los diferentes elementos que se aportan al cultivo a través del agua de riego para no excederse en la aplicación de fertilizantes. A continuación se muestran los Kg por cada ha y 1000 m<sup>3</sup> (Cantidad de agua aproximada de uno de los cultivos de corta duración como es el nabo) o 5000 m<sup>3</sup> (Cantidad de agua aproximada de uno de los cultivos de larga duración como es la cebolla) de los diferentes elementos fertilizantes.

PARÁMETROS	Kg/(ha·1000m <sup>3</sup> )	Kg/(ha·5000m <sup>3</sup> )
Nitratos	10,5	55
Potasio	2,4	12
Calcio	15	77
Magnesio	8	40
Hierro	0,006	0,03
Fosfatos	0,021	0,105

**Tabla 3.** Cantidad de compuestos fertilizantes en Kg/ha·1000m<sup>3</sup> o 5000m<sup>3</sup>.

### 3. Interpretación de parámetros

Se ha elaborado una tabla resumen con los rangos apto, apto con precauciones y no apto en la interpretación de los diferentes parámetros del análisis de agua mostrado anteriormente. Estos rangos se han obtenido de diferentes criterios de clasificación como son el de la FAO, Normas de calidad Riverside, USDA y apuntes de la asignatura Análisis Agrícola en el curso 20-21.

Se calcularán parámetros como la Relación de adsorción de sodio (SAR), la cantidad de iones más importantes presentes en el agua de riego, grados franceses para la clasificación de la dureza y se evaluarán por diferentes criterios los parámetros más importantes presentes en esta.

PARÁMETROS	UNIDADES	RANGOS DE INTERPRETACIÓN		
		Apta	Apta con precauciones	No apta
Conductividad a 25°C	μS/cm	< 700	700-3000	> 3000
pH	uds. de pH	7 - 7,5	6,5 - 8,5	-
Sólidos en suspensión	mg/L	500	500-12000	> 12000
Bicarbonatos	mg/L HCO <sub>3</sub>	< 91,5	91,5 - 518,6	> 518,6
Hierro	mg/L	< 0,1	0,1 - 0,5	> 0,5
Sodio	mg/L	< 6,9	6,9 - 20,7	> 20,7
Cloruros	mg/L	< 14,2	14,2 - 35,5	> 35,5

**Tabla 4.** Resumen de rangos de interpretación de los parámetros más importantes.

#### 3.1 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica mide la concentración de las sales totales que contiene el agua. Es de vital importancia analizarlas ya que un exceso de sales en el agua se acumularían progresivamente en el suelo lo que sería muy perjudicial para la mayoría de los cultivos.

En el análisis del agua resultó una **Conductividad eléctrica a 25°C de 953 μS/cm** lo que se puede interpretar como **apta con precauciones** aunque se encuentra en los valores mínimos dentro del rango. Esta interpretación procede de la FAO.

Posteriormente se evaluará por las Normas de calidad Riverside que relacionan la conductividad eléctrica y el RAS (Relación de Absorción de Sodio) para su clasificación.

### 3.2 Iones más importantes

A continuación se numeran tanto los cationes como los aniones más importantes presentes en el agua de riego.

BALANCE IÓNICO					
Cationes	mg/L	meq/L	Aniones	mg/L	meq/L
Ca <sup>++</sup>	68	3,393	Cl <sup>-</sup>	34	0,959
Mg <sup>++</sup>	35,5	2,919	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	40	0,833
Na <sup>+</sup>	6,7	0,291	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	46	0,742
K <sup>+</sup>	2,4	0,061	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	177	2,901
	<b>TOTAL</b>	6,665		<b>TOTAL</b>	5,435

**Tabla 5.** Suma de aniones y cationes más importantes presentes en el agua de riego

Para que el agua de riego sea de buena calidad la suma de cationes debe aproximarse a la suma de aniones, expresadas en meq/L, permitiendo un error del 7%, tanto exceso como defecto.

$$\text{Error \%} = \frac{\sum \text{Cationes} - \sum \text{Aniones}}{\sum \text{Cationes}} \cdot 100 = 18,45\%$$

Resulta un **error de 18,45%** por lo que el **agua no es de buena calidad**.

### 3.3 Dureza del agua

En esta valoración se interpretan las concentraciones de Ca<sup>+2</sup> y Mg<sup>+2</sup> mediante grados franceses (°fH). En este caso las valoraciones se hacen en mg/L. A continuación se muestra la fórmula para calcular los grados franceses (F).

$$F = \frac{([Ca] \cdot 2,5) + ([Mg] \cdot 4,12)}{10} = 31,5 \text{ °fH}$$

Donde:

- [Ca]: Concentración de Ca<sup>+2</sup> en mg/L.
- [Mg]: Concentración de Mg<sup>+2</sup> en mg/L.

A continuación se muestran las interpretaciones de los valores de dureza.

INTERPRETACIÓN DEL AGUA	GRADOS FRANCESES (°fH)
Muy dulce	< 7
Dulce	7 - 14
Medianamente dulce	14 - 22
Medianamente dura	22 - 32
Dura	32 - 54
Muy dura	> 54

**Tabla 6.** Rangos de interpretación de la dureza del agua respecto los grados franceses (°fH) de esta.

Resultan **31,5 grados franceses (F)** lo que se interpreta como **agua medianamente dura**, aunque está muy próxima al rango superior.

### 3.4 Relación de Absorción de Sodio (SAR)

Corresponde a la proporción relativa del ión Sodio (Na) y los iones Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). Se calcula de la siguiente manera:

$$SAR = \frac{[Na^+]}{(\sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]} / 2)}$$

Donde las concentraciones se expresan en meq/L. Resulta:

	meq/L
[Ca <sup>2+</sup> ]	3,393
[Mg <sup>2+</sup> ]	2,919
[Na <sup>+</sup> ]	0,291
<b>SAR</b>	<b>0,232</b>

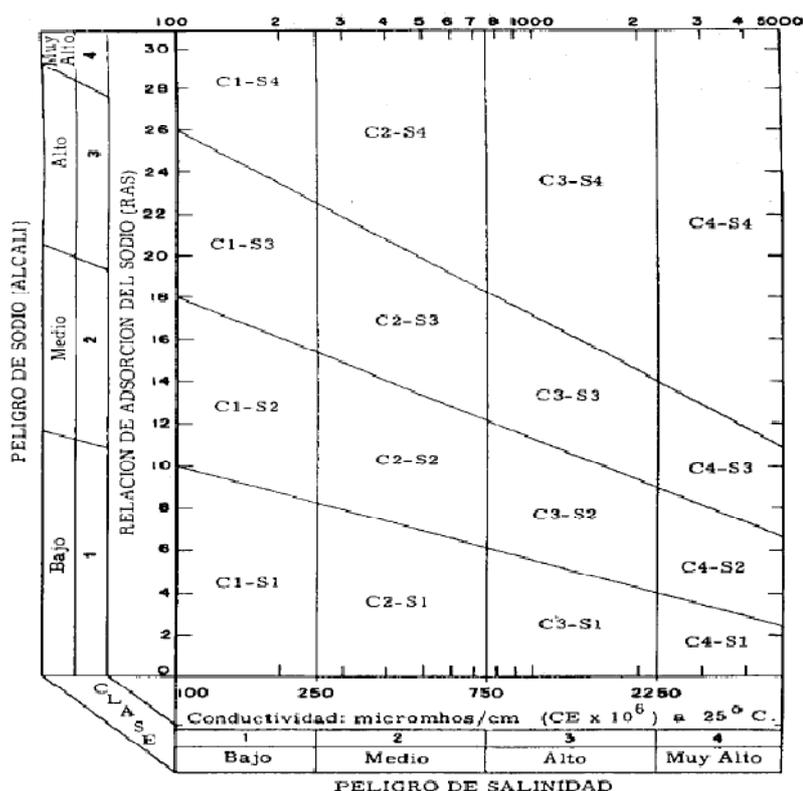
**Tabla 7.** Concentraciones de los diferentes cationes para el cálculo del SAR.

Resulta un valor de **0,232 de relación de absorción de sodio (SAR)**, será utilizado posteriormente para clasificar la calidad del agua de riego.

### 3.5 Normas que combinan diferentes parámetros

#### 3.5.1 Normas de calidad Riverside

Relacionan el SAR y la conductividad eléctrica. Según estos dos parámetros se establecen una serie de clases de agua en función del riesgo de sodificación y salinización como se puede ver en la siguiente figura.



Normas de Riverside. Diagrama para la clasificación de aguas de riego. (U. S. Soil Salinity Laboratory).

Figura 1. Normas Riverside, Diagrama para la clasificación de aguas de riego.

Recordando los valores resultaron, SAR de 0,232 y una Conductividad eléctrica de 953  $\mu\text{mhos/cm}$  lo que equivale a un tipo de agua C3-S1, **Aguas utilizables para el riego con precauciones.**

### 3.5.2 Normas H.Greene-FAO

En este caso también relaciona la cantidad de sodio (Na) en relación a la conductividad eléctrica del agua de riego clasificándola por estos parámetros. En primer lugar se calcula el porcentaje de sodio (Na) con respecto a los demás cationes, se expresan en meq/L.

$$\%[Na] = \frac{[Na]}{[\sum \text{Cationes}]} \cdot 100$$

$$\%[Na] = \frac{0,291}{6,665} \cdot 100 = 4,37\% [Na]$$

A continuación calculamos el sumatorio del total de iones presentes en el agua.

$$\sum \text{Cationes} + \sum \text{Aniones} = 6,665 + 5,435 = 12,1 \text{ meq/L}$$

Con estos resultados se pasa a la clasificación de la calidad de agua de riego, como muestra la siguiente figura.

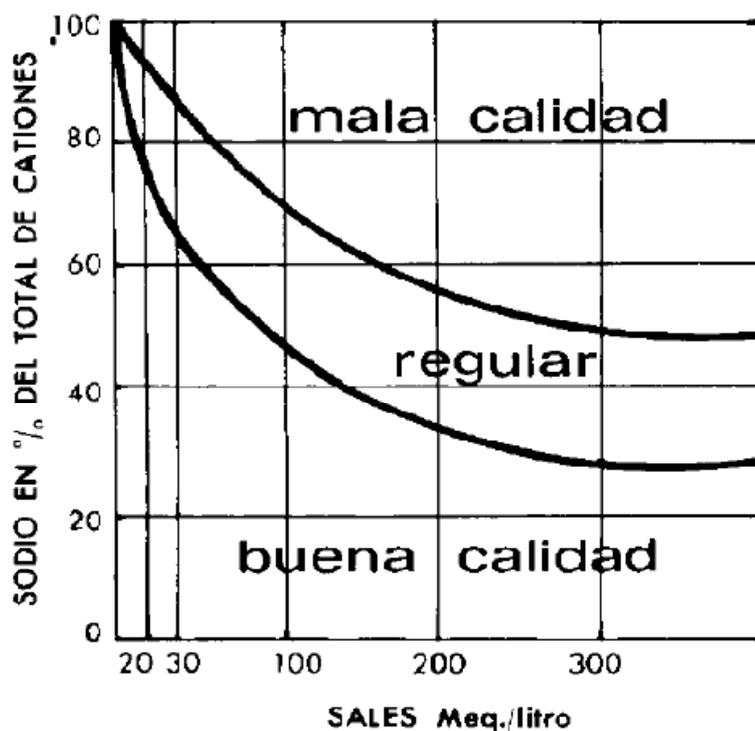


Figura 2. Clasificación aguas de riego, normas H. Greene-FAO.

Según esta interpretación se puede decir que se trata de **aguas para riego de buena calidad**.

#### 4. Conclusiones

Con lo expuesto en este anejo se puede decir que el agua es de una calidad aceptable, teniendo en cuenta la cantidad elevada de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) lo cuál ha de ser tenido en cuenta para evitar la contaminación de acuíferos al sobre fertilizar. Como se expuso, una cantidad de 46 mg/L en el agua de riego equivalen a 55 Kg de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) cuando se aplican  $5000\text{m}^3$  en una hectárea, cantidad suficiente para la fertilización nitrogenada de todos los cultivos de la propuesta de rotación, es por eso que no será necesario fertilizar con nitrógeno hasta que posteriores análisis de agua muestren cantidades de Nitratos inferiores.

Se concluye que el agua de riego es aceptable con precauciones, las cuales son que el nivel de sales en el agua resulto elevado lo que tendrá que ser tenido en cuenta con aumentos de frecuencia de riego.



**ANEJO 5.**  
**ROTACIÓN DE CULTIVOS**  
**PROPUESTA.**

## **ÍNDICE ANEJO 5. ROTACIÓN DE CULTIVOS PROPUESTA.**

- 1. Introducción.**
- 2. Cultivos en la propuesta.**
  - 2.1 Cuadro rotación de cultivos.
  - 2.2 Exigencias cultivos y fertilización.
  - 2.3 Ley de los rendimientos decrecientes.
  - 2.4 Información de los cultivos propuestos.
    - 2.4.1 Cebolla
    - 2.4.2 Nabo
    - 2.4.3 Zanahoria
    - 2.4.4 Guisante
    - 2.4.5 Maíz
    - 2.4.6 Ajo
    - 2.4.7 Acelga
    - 2.4.8 Cebada
    - 2.4.9 Espinaca

## **1. Introducción.**

En el presente anejo se propondrá una serie de cultivos ordenados temporalmente, todos los cultivos seleccionados son habituales visualizarlos en las fechas propuestas en los alrededores de la zona de estudio.

La presente propuesta de rotación tiene como finalidad implantar el mayor número de cultivos posible a lo largo de 5 años y en estos obtener unos rendimientos lo más elevado posible utilizando todos los insumos como pueden ser la aplicación de fertilizantes a razón de las extracciones de cada cultivo, aplicación de herbicidas, laboreo del terreno etc.

Se ha de mencionar que el agua de riego será aplicada por aspersión, por lo que los cultivos propuestos han de ser tolerantes a este tipo de riego.

El promotor ha exigido que estén los siguientes cultivos: Ajo, Cebolla, Zanahoria, Maíz y Cebada, ya que todos estos serán consumidos directamente por el mismo para otro proceso en la industria agroalimentaria que él dirige como son una granja porcina y una cadena de supermercados.

## **2. Cultivos en la propuesta de rotación.**

La alternativa propuesta se ajusta lo más posible a lo largo de los 5 años e introduciendo en ella los cultivos exigidos por el promotor como son: ajo, cebolla, zanahoria, maíz y cebada. A estos cultivos se han intercalado otros que son habituales en la zona y en las fechas propuestas como son el nabo, guisante, acelga y espinaca.

Se ha tenido en cuenta factores para la organización de la rotación de cultivos como son:

- No cultivar dos veces seguidas el mismo cultivo o cultivos que pertenezcan a la misma familia botánica para evitar la proliferación de malas hierbas y patógenos específicos.
- Intercalar cultivos que sean mejorantes como las leguminosas (guisante).
- La aplicación de las necesidades hídricas se realiza por aspersión por lo que los cultivos deben ser tolerantes a este tipo de riego.
- Capacidad del propietario de comercializar los productos.
- Alternar cultivos que sean buenos precedentes de otros como en el caso del nabo, tiene un buen precedente como es la cebolla o el caso del maíz, cultivo que tiene un buen precedente como es el guisante como se ha demostrado en muchos estudios agronómicos.

### **2.1 Cuadro de cultivos propuestos.**

Se ha elaborado un cuadro con el resumen de la distribución temporal de los diferentes cultivos propuestos que a continuación se muestra.

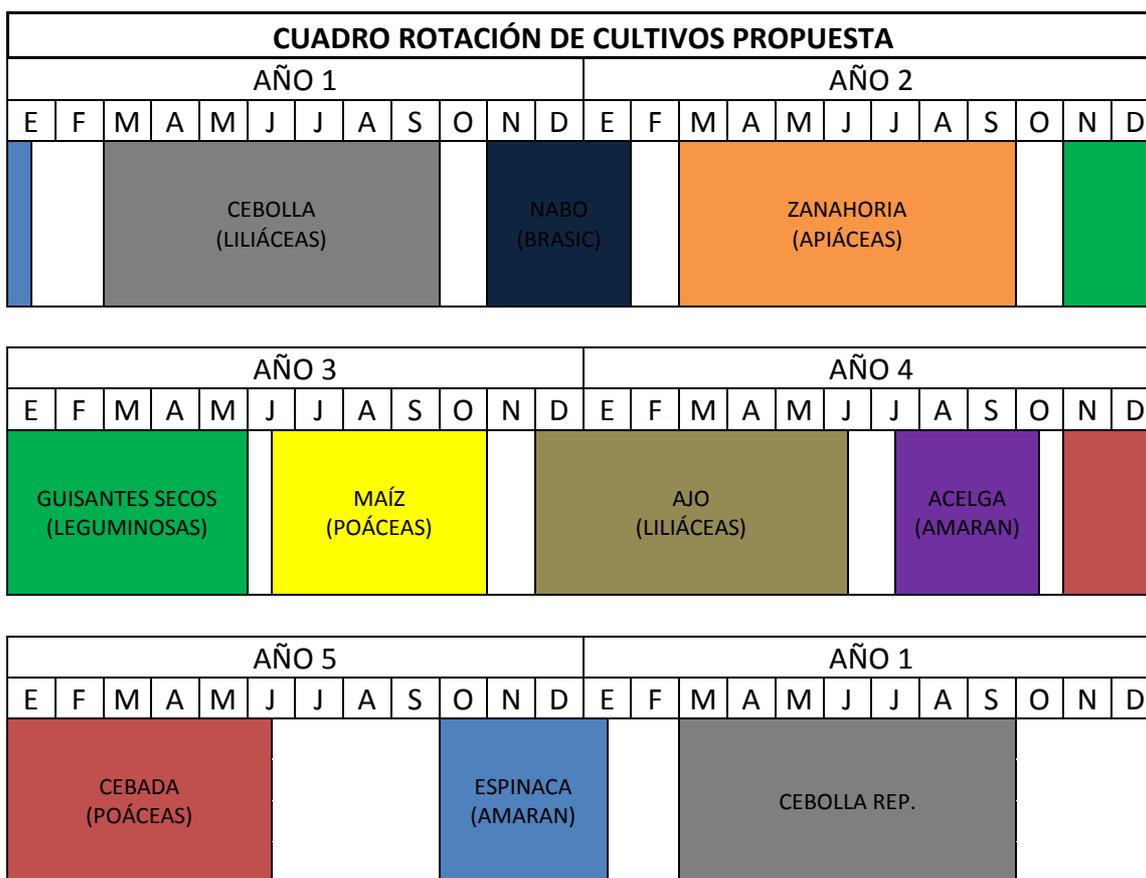


Figura 1. Distribución temporal de los cultivos propuestos.

## 2.2 Exigencias de los cultivos y fertilización.

Para favorecer el seguimiento y desarrollo de los cultivos se va a exponer una serie de exigencias en cada cultivo para que el promotor los tenga en cuenta y no sean factores que hagan descender los rendimientos de los diferentes cultivos y también se va a sugerir unas cantidades de fertilizantes en cada uno de los cultivos las cuales serán utilizadas para el aporte correcto de las diferentes exigencias nutricionales y poder obtener rendimientos elevados.

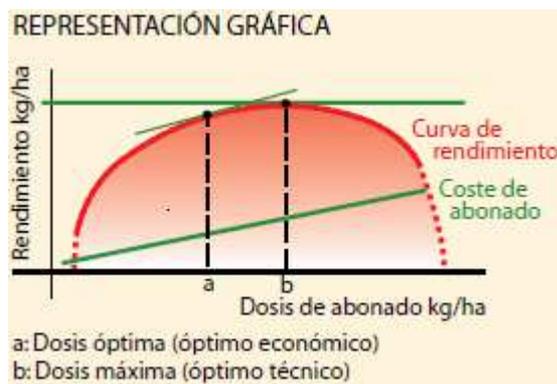
La elección del tipo de fertilizante lo hará el promotor a razón de su criterio, pero siempre sin excederse en las cantidades sugeridas ya que esto haría descender la rentabilidad de la explotación por sobrecostes en fertilización y porque podría llevar a largo tiempo a la salinización de nuestro suelo y consecuente descenso de los rendimientos en cada uno de los cultivos.

Se va a demostrar mediante la “Ley de los rendimientos decrecientes Mistcherlich” que no por fertilizar más, se obtendrá mayor rentabilidad de cada uno de los cultivos.

Toda esta información ha sido extraída de los apuntes de las asignaturas de “Horticultura” y “Cultivos herbáceos”, del documento del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de “Calendario de siembra, recolección y comercialización 2014-2016”, de Castilla-La Mancha y de otro documento del Ministerio denominado “Guía práctica para la fertilización racional de los cultivos en España”.

### 2.3 Ley de los rendimientos decrecientes Mistcherlich.

Esta ley concluye que: “a medida que se aumentan las dosis de un elemento fertilizante disminuye el incremento de cosecha que se consigue por cada unidad fertilizante suministrada, hasta llegar a un momento en que los rendimientos no solo no aumentan sino que disminuyen”. El rendimiento máximo, según el potencial de cada cultivo y suelo, se alcanza con aportaciones de fertilizantes, sin considerar el gasto que se realiza en fertilizantes. El rendimiento óptimo o económico es el punto que se alcanza cuando el rendimiento que se obtiene de la cosecha compensa el gasto en fertilizante. Evidentemente en la determinación del rendimiento óptimo o económico intervienen una serie de factores ajenos a la naturaleza y rendimiento del cultivo, tales como el precio de los fertilizantes utilizados y el precio de los productos agrícolas.



**Figura 2.** Representación gráfica Ley rendimientos decrecientes, fuente Fertiberia (2005).

## 2.4 Información sobre cultivos propuestos.

### 2.4.1 Cebolla (*Allium cepa*). Consumo bulbo seco.

Exigencias en suelo:

- Al ser cebolla de siembra en campo, se ha de preparar el terreno adecuadamente para la correcta germinación.
- Le convienen suelos con alto contenido en M.O. pero que hayan sido aplicados al menos antes del cultivo anterior.
- Hay que tener especial cuidado en las variaciones bruscas de humedad, pero esto se soluciona con el riego que se va a implantar.
- Profundidad radicular considerada de 50cm.
- Es sensible a la salinidad. Los rendimientos bajan a partir de una Conductividad Eléctrica del extracto saturado del suelo de 1,2 dS/m lo que equivale a 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Aplicación de fertilizantes:

	FERTILIZACIÓN CEBOLLA (UF/ha)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Rendimiento 35 - 45 tn/ha</b>	50 - 100	50 - 100	120 - 200
<b>Rendimiento 60-70 tn/ha</b>	170 - 190	60 - 100	200 - 250

**Tabla 1.** Unidades Fertilizantes (UF/ha) para el aporte de nutrientes en cultivo cebolla.

- Se recomienda aplicar un 35% del N en fertilización de fondo.
- Cuidado con las aplicaciones tardías en forma de cobertera de N ya que no ayudan a la conservación del bulbo.
- Es conveniente la adición de azufre de fondo sin pasar de 20Kg de azufre (S) por cada hectárea.
- Es conveniente recordad que en el agua de riego se detectaron 46ppm de nitratos lo que equivale a 55 Kg de N en forma de nitrato que es igual a 55 UF de N en cada 5000 m<sup>3</sup> de agua aplicados por hectárea (cantidad total aproximada de agua que requiere el todo el periodo del cultivo de la cebolla) por lo que se llevará un control programado para la determinación de este parámetro y no aplicar fertilizantes nitrogenados hasta la disminución de este parámetro en el agua de riego.

### 2.4.2 Nabo (*Brassica napus*)

Exigencias en suelo:

- Al ser nabo de siembra en campo, se ha de preparar el terreno adecuadamente para la correcta germinación.
- Cuidado en suelos pedregosos, excesivamente ligeros o excesivamente calizos pueden originar nabos fibrosos y con mal sabor.

- Este cultivo se muestra muy sensible a las aportaciones recientes de estiércol.
- Profundidad radicular considerada de 50cm.
- Es sensible a la salinidad. Los rendimientos bajan a partir de una Conductividad Eléctrica del extracto saturado del suelo de 1,2 dS/m lo que equivale a 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Aplicación de fertilizantes:

	FERTILIZACIÓN NABO (UF/ha)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Rendimiento 25 tn/ha</b>	60	64	120

**Tabla 2.** Unidades Fertilizantes (UF/ha) para el aporte de nutrientes en cultivo nabo.

- $\frac{1}{2}$  de N en aplicación de fondo (sulfato amónico) y  $\frac{1}{2}$  de N en cobertera (en forma nítrica) se recomienda.
- Para el fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) se recomienda usar superfosfato de cal.
- Para el potasio (K<sub>2</sub>O) se recomienda sulfato potásico.
- Tener en cuenta lo mencionado de los nitratos en el agua de riego, en el caso del nabo requiere alrededor de 1000m<sup>3</sup> por cada hectárea de agua para su correcto desarrollo lo que equivalían a 46 Kg de N o UF de N que son aplicados a lo largo del desarrollo del cultivo en forma de nitrato.

### 2.4.3 Zanahoria (*Daucus carota*)

Exigencias en suelo:

- Suelos compactos y pesados provocan raíces con fibrosidades endurecidas, con menor peso, diámetro y longitud y estas son más propensas a podedumbres.
- Suelos pedregosos provocan raíces bifurcadas.
- Profundidad radicular considerada de 75cm.
- Es sensible a la salinidad. Los rendimientos bajan a partir de una Conductividad Eléctrica del extracto saturado del suelo de 1 dS/m lo que equivale a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Aplicación de fertilizantes:

	FERTILIZACIÓN ZANAHORIA (UF/ha)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Rendimiento 60 tn/ha</b>	80-120	110	150-250

**Tabla 3.** Unidades Fertilizantes (UF/ha) para el aporte de nutrientes en cultivo zanahoria.

- 1/5 parte de N en aplicación de fondo y el resto en 2 coberteras, el exceso de N es perjudicial de tal forma que provoca mucho desarrollo foliar, menor tiempo de conservación de la raíz y aumento del contenido de nitratos por parte de la misma.
- El  $K_2O$  se puede aplicar en 2 coberteras.
- Esta hortaliza acusa la deficiencia en boro (B).

#### 2.4.4 Guisante (*Pisum sativum*). Consumo animal semilla seca.

Exigencias en suelo:

- Cuidado los suelos excesivamente calizos, provocan clorosis.
- Requiere que el suelo esté bien drenado.
- Prefiere textura media y que sean ricos en M.O.
- Profundidad radicular considerada de 80cm.
- Es sensible a la salinidad. Los rendimientos bajan a partir de una Conductividad Eléctrica del extracto saturado del suelo de 1,5 dS/m lo que equivale a 1500  $\mu S/cm$ .

Aplicación de fertilizantes:

	FERTILIZACIÓN GUISANTE (UF/ha)		
	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Rendimiento 4 tn/ha	60	100	100

**Tabla 4.** Unidades Fertilizantes (UF/ha) para el aporte de nutrientes en cultivo guisante.

- Un 40% del N total en aplicación de fondo y el resto en 2 coberteras pero no retrasarlas demasiado porque hará descender la calidad del grano.
- El 100% de fósforo ( $P_2O_5$ ) y de potasio ( $K_2O$ ) en aplicación de fondo.

#### 2.4.5 Maíz (*Zea mays*). Consumo animal grano seco.

Exigencias en suelo:

- Se adapta a distintas condiciones edáficas pero aguanta mal el encharcamiento
- Se adapta bien a texturas de tipo medio con buen contenido en M.O.
- El lecho de siembra ha de ser uniforme.
- Profundidad radicular considerada de 100cm.
- Es moderadamente sensible a la salinidad. Los rendimientos bajan a partir de una Conductividad Eléctrica del extracto saturado del suelo de 1,7 dS/m lo que equivale a 1700  $\mu S/cm$ .

Aplicación de fertilizantes:

	FERTILIZACIÓN MAÍZ (UF/ha)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Rendimiento 15 tn/ha	250	120	300

**Tabla 5.** Unidades Fertilizantes (UF/ha) para el aporte de nutrientes en cultivo maíz.

- 1/5 parte de N en aplicación de fondo y el resto en 2 coberteras.
- Todo el fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en aplicación de fondo.
- ½ del potasio (K<sub>2</sub>O) se puede aplicar en cobertera en forma de nitrato potásico.

#### 2.4.6 Ajo (*Allium sativum*). Consumo bulbo seco.

Exigencias en suelo:

- Se adapta bien a cualquier tipo de suelo siempre que no sea excesivamente húmedo ni pesado.
- Cuidado con los encharcamientos producidos por la aplicación excesiva del agua de riego, puede favorecer a la pudrición del bulbo, ya bulbificado (momento más crítico) o sin haber bulbificado.
- No tolera los suelos excesivamente calizos pero es moderadamente tolerante a la acidez en este.
- No es conveniente las aplicaciones de estiércol reciente.
- 2 semanas antes de la recolección tener especial precaución y reducir la cantidad de agua de riego aplicada, en este caso también habrá que tener especial atención en la previsión meteorológica ya que el ajo al recolectarse pasará en el campo a la intemperie durante 1-3 días para favorecer el secado del bulbo y colocado en las cajas de transporte, una lluvia en ese intervalo de tiempo echaría a perder toda la cosecha, situación detectada por el autor durante los inicios del mes de junio de este mismo año 2021.
- Profundidad radicular considerada de 50cm.
- Es sensible a la salinidad. Los rendimientos bajan a partir de una Conductividad Eléctrica del extracto saturado del suelo de 1,2 dS/m lo que equivale a 1200 µS/cm.

Aplicación de fertilizantes:

	FERTILIZACIÓN AJO (UF/ha)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Rendimiento 10 tn/ha	50 - 60	50 - 60	100 - 150

**Tabla 6.** Unidades Fertilizantes (UF/ha) para el aporte de nutrientes en cultivo ajo.

- Moderado aporte de N, no le conviene desarrollo foliar pues va en detrimento de desarrollo del bulbo, se puede hacer una cobertera de N con  $\frac{1}{2}$  del total requerido pero ha de ser temprana la aplicación.
- El 100% de fósforo ( $P_2O_5$ ) y de potasio ( $K_2O$ ) en aplicación de fondo.
- Es conveniente la adición de azufre de fondo sin pasar de 20Kg de azufre (S) por cada hectárea.
- Puede resultar sensible a las carencias en boro (B) y zinc (Zn).

#### 2.4.7 *Acelga (Beta vulgaris)*

Exigencias en suelo:

- Convienen texturas medias.
- Suelos frescos.
- Suelos con alto contenido en M.O. le favorecen.
- Profundidad radicular considerada de 40cm.
- Es moderadamente tolerante a la salinidad. Los rendimientos bajan a partir de una Conductividad Eléctrica del extracto saturado del suelo de 2 dS/m lo que equivale a 2000  $\mu S/cm$ .

Aplicación de fertilizantes:

	FERTILIZACIÓN ACELGA (UF/ha)		
	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Rendimiento 15 tn/ha	100	50	100

**Tabla 7.** Unidades Fertilizantes (UF/ha) para el aporte de nutrientes en cultivo acelga.

- $\frac{1}{2}$  de N en aplicación de fondo y  $\frac{1}{2}$  de N en cobertera se recomienda no retrasar esta cobertera.
- El 100% de fósforo ( $P_2O_5$ ) y de potasio ( $K_2O$ ) en aplicación de fondo.

#### 2.4.8 *Cebada (Hordeum vulgare). Consumo animal semilla.*

Exigencias en suelo:

- Prefiere las tierras francas, frescas ricas en cal y potasa.
- Las tierras compactas desfavorecen mucho el desarrollo del cultivo.
- Es conveniente tener un nivel de M.O. elevado.
- Profundidad radicular considerada de 100cm.
- Es tolerante a la salinidad. Los rendimientos bajan a partir de una Conductividad Eléctrica del extracto saturado del suelo de 8 dS/m lo que equivale a 8000  $\mu S/cm$ .

Aplicación de fertilizantes:

	FERTILIZACIÓN CEBADA (UF/ha)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Rendimiento 6 tn/ha</b>	80 - 100	60 - 70	150 - 170

**Tabla 8.** Unidades Fertilizantes (UF/ha) para el aporte de nutrientes en cultivo cebada.

- Se recomienda 2/3 del total de N en aplicación de fondo (urea) y el resto en 2 coberteras (nitrato potásico) a poder ser en una en ahijado y la otra no retrasarla demasiado.
- El 100% de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en aplicación de fondo.
- El potasio (K<sub>2</sub>O) se recomienda aplicar ½ en aplicación de fondo y el resto en 1 o 2 coberteras (nitrato potásico).
- Se recomienda aplicar 50Kg/ha de óxido de calcio (CaO)
- Se recomienda aplicar 30Kg/ha de óxido de magnesio (MgO)
- Se recomienda aplicar 25Kg/ha de azufre (S)

#### 2.4.9 *Espinaca (Spinacia oleracea)*

Exigencias en suelo:

- Similar a la acelga
- Profundidad radicular considerada de 40cm.
- Es moderadamente tolerante a la salinidad. Los rendimientos bajan a partir de una Conductividad Eléctrica del extracto saturado del suelo de 2 dS/m lo que equivale a 2000 µS/cm.

Aplicación de fertilizantes:

	FERTILIZACIÓN ESPINACA (UF/ha)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Rendimiento 18-20 tn/ha</b>	50 - 100	40 - 60	100 - 150

**Tabla 9.** Unidades Fertilizantes (UF/ha) para el aporte de nutrientes en cultivo espinaca.

- Cuidado con la fertilización nítrica excesiva y tardía ya que aumenta la cantidad en ácido oxálico y la de fosfo-potásica la disminuye y como se sabe el ácido oxálico es perjudicial para la salud ya que un exceso de este interfiere en la asimilación de algunos metales esenciales para el cuerpo humano (hierro, calcio y magnesio).
- El K (K<sub>2</sub>O) es importante a la hora de proporcionar carnosidad a las hojas y aumentar la turgencia en la conservación.



## **ANEJO 6.**

# **DISEÑO AGRONÓMICO.**

## **ÍNDICE ANEJO 6. DISEÑO AGRONÓMICO**

- 1. Introducción.**
- 2. Agua de riego.**
- 3. Cultivos propuestos.**
- 4. Cálculo necesidades hídricas**
  - 4.1 Resultados obtenidos.**
- 5. Dimensionado red de riego.**
  - 5.1 Dosis máximas.**
  - 5.2 Dosis útiles.**
  - 5.3 Dosis reales.**
    - 5.3.1 Intervalo entre riegos.**
    - 5.3.2 Número de riegos al mes.**
- 6. Características sistema de riego.**
  - 6.1 Marco de instalación de los aspersores.**
  - 6.2 Pluviometría aportada por los aspersores.**
- 7. Duración del riego**
- 8. Organización del riego**
  - 8.1 Organización posturas de riego.**
  - 8.2 Posturas de riego adoptadas.**
- 9. Caudal característico y continuo de la parcela.**

## **1. Introducción.**

En este anejo se van a calcular las necesidades de agua que tendrá que suministrar el sistema de riego por aspersión para cada uno de los cultivos de la rotación propuesta.

Como se ha visto las precipitaciones en la zona de estudio no resultan suficientes para el correcto desarrollo de los diferentes cultivos seleccionados, la cantidad de agua requerida por cada cultivo a lo largo de su desarrollo se aportará con el sistema de riego seleccionado.

El objetivo es intensificar la superficie disponible intentado obtener los mayores rendimientos posibles de cada uno de los cultivos.

Para saber la cantidad de agua que requiere la planta para su óptimo desarrollo en los diferentes estadios es necesario saber la cantidad de agua aportada por las precipitaciones, se ha de utilizar la Precipitación Efectiva (Ver Anejo Climatología, Apartado Precipitaciones), como se ha dicho esta tiene en cuenta factores como la escorrentía o percolación profunda cuando se dan pluviometrías muy intensas por lo que toda la cantidad de agua aportada por la lluvia no estaría disponible para los cultivos, la Precipitación Efectiva es la cantidad de agua aportada por la lluvia la cual estará disponible en su totalidad para los diferentes cultivos.

Conociendo las necesidades hídricas (Necesidades hídricas) de los diferentes cultivos y la cantidad de agua aportada por la lluvia de forma efectiva (Precipitación Efectiva) la diferencia entre ellas es la cantidad de agua que es necesario aportar con el sistema de riego.

## **2. Agua de riego.**

El suministro de agua se obtiene de un pozo con cuyas características se muestran en el Anejo Calidad Agua de Riego.

## **3. Cultivos propuestos para la rotación.**

Todos los cultivos seleccionados son habituales en los alrededores de la zona de estudio y no se ven perjudicados por el tipo de riego elegido (riego por aspersión).

En todos los cultivos se ha añadido desde 5-15 días por seguridad en la duración total de cada uno de los mismos. Comparando las fechas de siembra y recolección con lo visualizado en los alrededores de la parcela se ha visto que las fechas de siembra coinciden, pero las fechas de recolección se retrasan en el documento propuesto, esto se

hace a modo de seguridad y para tener un mayor rango de tiempo para la preparación del terreno para la implantación del siguiente cultivo.

A continuación, se muestra una figura con la distribución de los cultivos a lo largo de los 5 años propuestos.



Figura 1. Rotación de los cultivos propuestos.

#### 4. Cálculo de las necesidades hídricas.

Las necesidades hídricas de los diferentes cultivos se obtienen del balance entre la **evapotranspiración aplicada al cultivo (ETc)** y la **precipitación efectiva (Pe)** en el mismo periodo de cada uno de los cultivos propuestos. En este balance obtendremos las **necesidades hídricas netas (NHnetas)** que posteriormente aplicaremos un factor como es la **eficiencia de aplicación (Ea)**, que será estimada para el tipo de riego escogido en este caso riego por aspersión, al aplicar este factor obtendremos las **necesidades hídricas brutas (NHbrutas)** o aporte de riego requerido por cada cultivo.

El balance se realiza de la siguiente manera:

$$NHnetas \left( \frac{mm}{mes} \right) = ETc \left( \frac{mm}{mes} \right) - Pe \left( \frac{mm}{mes} \right)$$

Donde:

- *NHnetas*: Necesidades hídricas netas mensuales.
- *ETc*: Evapotranspiración aplicada al cultivo.
- *Pe*: Precipitación efectiva.

Recordando lo expuesto en el Anejo Climatología la Evapotranspiración aplicada al cultivo (*ETc*) se obtiene de la siguiente manera:

$$ETc = ETo \cdot Kc$$

Donde:

- *ETc*: Evapotranspiración del cultivo (mm/día).
- *Kc*: Coeficiente del cultivo.
- *ETo*: Evapotranspiración de referencia (mm/día).

Para el cálculo de las **necesidades hídricas brutas (*NHbrutas*)** se estimará en **85%** la **eficiencia de aplicación (*Ea*)** (parámetro habitual visualizado en diferentes bibliografías). Este parámetro tiene en cuenta el porcentaje del agua que aplicamos al suelo respecto al que pueden aprovechar las plantas por el tejido vegetal y en su mayoría por las raíces, en este caso al ser riego por aspersión se estima en 85%.

Para el cálculo de las **necesidades hídricas brutas (*NHbrutas*)** se realiza de la siguiente manera:

$$NHbrutas \left( \frac{mm}{mes} \right) = \frac{NHnetas \left( \frac{mm}{mes} \right)}{Ea}$$

Donde:

- *NHbrutas*: Necesidades hídricas brutas (mm/mes).
- *Ea*: Eficiencia de aplicación, estimada en 85%, valor absoluto 0,85.
- *NHnetas*: Necesidades hídricas netas (mm/mes).

#### 4.1 Resultados obtenidos.

A continuación, se muestra agrupado por años las necesidades hídricas o volumen de riego requerido en cada uno de los meses del cultivo correspondiente.

Donde:

- o *ETc*: Evapotranspiración aplicada al cultivo.
- o *Pe*: Precipitación efectiva.

- NHnetas: Necesidades hídricas netas.
- NHbrutas: Necesidades hídricas brutas, (estimando 85% de Ea, eficiencia de aplicación).

- |  |  |
|--|--|
|  | Dato máximas necesidades mensuales y diarias en mm |
|  | Meses donde el cultivo solo está 15 días.          |

		<b>AÑO 1 -NECESIDADES HÍDRICAS</b>						
		(mm/mes) <i>ETc</i>	(mm/15días) <i>ETc</i>	(mm/mes) <i>Pe</i>	(mm/15días) <i>Pe</i>	mm/mes <i>NHnetas</i>	mm/mes <i>NHbrutas</i>	mm/día <i>NHbrutas</i>
Espinaca	<b>ENE</b>	18,5	9,3	14,9	7,4	11,1	13,1	0,42
	<b>FEB</b>	-	-	7,1	3,5	-	-	-
Cebolla	<b>MAR</b>	22,2	11,1	25,0	12,5	-2,9	-2,4	-0,08
	<b>ABR</b>	83,2	41,6	21,5	10,7	61,8	72,7	2,42
	<b>MAY</b>	141,7	70,8	15,8	7,9	125,9	148,1	4,78
	<b>JUN</b>	171,9	86,0	8,8	4,4	163,2	192,0	6,40
	<b>JUL</b>	195,3	97,6	3,7	1,9	191,6	225,4	7,27
	<b>AGO</b>	117,9	58,9	13,5	6,7	104,4	122,8	3,96
	<b>SEP</b>	79,1	39,6	19,8	9,9	59,3	69,7	2,32
	<b>OCT</b>	-	-	11,2	5,6	-	-	-
Nabo	<b>NOV</b>	7,3	3,6	25,3	12,7	-18,0	-15,3	-0,51
	<b>DIC</b>	27,3	13,7	11,8	5,9	15,5	18,2	0,59

**Tabla 1.** Necesidades hídricas en el AÑO 1.

		<b>AÑO 2 -NECESIDADES HÍDRICAS</b>						
		(mm/mes) <i>ETc</i>	(mm/15días) <i>ETc</i>	(mm/mes) <i>Pe</i>	(mm/15días) <i>Pe</i>	mm/mes <i>NHnetas</i>	mm/mes <i>NHbrutas</i>	mm/día <i>NHbrutas</i>
Nabo	<b>ENE</b>	21,8	10,9	14,9	7,4	7,0	8,2	0,26
	<b>FEB</b>	-	-	7,1	3,5	-	-	-
Zanahoria	<b>MAR</b>	12,8	6,4	25,0	12,5	-12,2	-14,4	-0,46
	<b>ABR</b>	54,8	27,4	21,5	10,7	33,3	39,2	1,31
	<b>MAY</b>	141,7	70,8	15,8	7,9	125,9	148,1	4,78
	<b>JUN</b>	171,9	86,0	8,8	4,4	163,2	192,0	6,40
	<b>JUL</b>	195,3	97,6	3,7	1,9	191,6	225,4	7,27
	<b>AGO</b>	172,3	86,1	13,5	6,7	158,8	186,8	6,03
	<b>SEP</b>	103,4	51,7	19,8	9,9	83,6	98,4	3,28
	<b>OCT</b>	-	-	11,2	5,6	-	-	-
Guisante	<b>NOV</b>	6,8	3,4	25,3	12,7	-18,5	-21,8	-0,73
	<b>DIC</b>	5,2	2,6	11,8	5,9	-6,6	-7,8	-0,25

**Tabla 2.** Necesidades hídricas en el AÑO 2.

		AÑO 3 -NECESIDADES HÍDRICAS						
		(mm/mes) <i>ETc</i>	(mm/15días) <i>ETc</i>	(mm/mes) <i>Pe</i>	(mm/15días) <i>Pe</i>	mm/mes <i>NHnetas</i>	mm/mes <i>NHbrutas</i>	mm/día <i>NHbrutas</i>
Guisante	ENE	6,5	3,3	14,9	7,4	-8,3	-7,1	-0,23
	FEB	36,2	18,1	7,1	3,5	29,1	34,2	1,10
	MAR	93,7	46,9	25,0	12,5	68,7	80,8	2,61
	ABR	118,1	59,1	21,5	10,7	96,7	113,7	3,67
	MAY	29,8	14,9	15,8	7,9	14,1	16,5	0,53
Maíz	JUN	13,6	13,6	8,8	4,4	9,2	10,8	0,35
	JUL	162,4	81,2	3,7	1,9	158,7	186,7	6,02
	AGO	181,3	90,7	13,5	6,7	167,9	197,5	6,37
	SEP	121,7	60,9	19,8	9,9	101,9	119,8	3,87
	OCT	26,2	13,1	11,2	5,6	15,0	17,6	0,57
	NOV	-	-	25,3	12,7	-	-	-
Ajo	DIC	5,2	2,6	11,8	5,9	-6,6	-7,8	-0,25

**Tabla 3.** Necesidades hídricas en el AÑO 3.

		AÑO 4 -NECESIDADES HÍDRICAS						
		(mm/mes) <i>ETc</i>	(mm/15días) <i>ETc</i>	(mm/mes) <i>Pe</i>	(mm/15días) <i>Pe</i>	mm/mes <i>NHnetas</i>	mm/mes <i>NHbrutas</i>	mm/día <i>NHbrutas</i>
Ajo	ENE	6,5	3,3	14,9	7,4	-8,3	-7,1	-0,23
	FEB	32,7	16,4	7,1	3,5	25,6	30,2	1,08
	MAR	76,7	38,3	25,0	12,5	51,7	60,8	1,96
	ABR	96,7	48,3	21,5	10,7	75,2	88,5	2,95
	MAY	111,9	55,9	15,8	7,9	96,1	113,1	3,65
	JUN	54,3	27,1	8,8	4,4	22,8	26,8	0,89
Acelga	JUL	15,4	7,7	3,7	1,9	5,8	6,9	0,22
	AGO	146,0	73,0	13,5	6,7	132,5	155,9	5,03
	SEP	109,5	54,8	19,8	9,9	89,7	105,5	3,52
	OCT	34,2	17,1	11,2	5,6	11,5	13,5	0,44
Cebada	NOV	6,8	3,4	25,3	12,7	-18,5	-15,7	-0,52
	DIC	9,4	4,7	11,8	5,9	-2,4	-2,1	-0,07

**Tabla 4.** Necesidades hídricas en el AÑO 4.

		AÑO 5 -NECESIDADES HÍDRICAS						
		(mm/mes) <i>ETc</i>	(mm/15días) <i>ETc</i>	(mm/mes) <i>Pe</i>	(mm/15días) <i>Pe</i>	mm/mes <i>NHnetas</i>	mm/mes <i>NHbrutas</i>	mm/día <i>NHbrutas</i>
Cebada	ENE	32,7	16,4	14,9	7,4	17,9	21,0	0,68
	FEB	63,2	31,6	7,1	3,5	56,1	66,0	2,36
	MAR	93,7	46,9	25,0	12,5	68,7	80,8	2,61
	ABR	118,1	59,1	21,5	10,7	96,7	113,7	3,79
	MAY	74,6	37,3	15,8	7,9	58,8	69,2	2,23
	JUN	13,6	13,6	8,8	4,4	9,2	10,8	0,36
	JUL	-	-	3,7	1,9	-	-	-
	AGO	-	-	13,5	6,7	-	-	-
	SEP	-	-	19,8	9,9	-	-	-
Espinaca	OCT	17,3	8,7	11,2	5,6	6,1	7,2	0,23
	NOV	32,5	16,3	25,3	12,7	7,2	8,5	0,28
	DIC	31,3	15,7	11,8	5,9	19,5	23,0	0,74

**Tabla 5.** Necesidades hídricas en el AÑO 5.

## 5. Dimensionado de la red de riego.

En el presente apartado se va a dimensionar la red de riego por aspersión con cobertura total enterrada que se desea instalar.

Para ello se va a seleccionar los meses de cada año donde las **necesidades hídricas son máximas**, es decir, los resaltados en color naranja y dentro de todos estos corresponde en el **AÑO 1 y AÑO 2**, en el mes de julio en ambos años para los cultivos de la **cebolla y zanahoria** respectivamente con unas necesidades hídricas de **225,4 (mm/mes)** que equivalen a **7,27 (mm/día)**.

Las profundidades radicales se mostraron en el Anejo de Rotación de cultivos.

### 5.1 Dosis máximas de riego.

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

Para el cálculo de la dosis máxima de riego se utiliza esta fórmula:

$$Dm = 10.000 \cdot Pr \cdot \frac{CC - PM}{100} \cdot Da$$

Donde:

- $D_m$ : Dosis máxima, en  $m^3/ha$  y riego.
- $Pr$ : Profundidad radicular, en m.
- $CC$ : Capacidad de campo, en %.
- $PM$ : Punto de marchitez permanente, en %.
- $D_a$ : Densidad aparente del suelo, en  $tn/m^3$ .

Cultivo	m Profundidad Raíces	(%) CC	(%) PM	$t/m^3$ Densidad aparente	$m^3/ha$ y riego Dosis máxima	mm/riego Dosis máxima
Cebolla	0,5	14	7,15	1,575	539,44	53,94
Zanahoria	0,75	14	7,15	1,575	809,16	80,92
Maíz	1	14	7,15	1,575	1078,88	107,89
Acelga	0,4	14	7,15	1,575	431,55	43,16
Cebada	1	14	7,15	1,575	1078,88	107,89

**Tabla 6.** Dosis máximas de agua en cada riego.

### 5.2 Dosis útil de riego.

La dosis útil de riego es la efectividad con la que la planta extrae agua del suelo y depende del contenido de humedad del mismo. Cuanto mayor es la humedad del suelo mayor efectividad tiene la planta en la extracción del agua.

Para evitar que los cultivos se vean afectados en la extracción de agua del suelo interesa que la humedad del suelo este muy por encima del punto de marchitez permanente (PM) ello obliga a regar con una frecuencia elevada y de esta manera no se verán afectados los rendimientos de los cultivos.

Se va a aplicar un factor reductor ( $a$ ) adoptando un valor diferente según cada cultivo según la fracción de agua del suelo que puede ser agotada antes de que la planta sufra estrés hídrico en cada caso, esto se hace para evitar agotar toda la humedad del suelo y así nunca se alcanzará el punto de marchitez permanente (PM), estos valores han sido obtenidos del documento de la FAO, Evapotranspiración del cultivo en condiciones no estándar (parte C).

La dosis útil de riego se calcula con la siguiente expresión:

$$Du = a \cdot D_m$$

Donde:

- $D_u$ : Dosis útil de riego, en  $m^3/ha$  y riego.
- $a$ : factor reductor.
- $D_m$ : Dosis máxima, en  $m^3/ha$  y riego.

Cultivo	m <sup>3</sup> /ha y riego Dosis máximas <i>Dm</i>	Factor reductor	m <sup>3</sup> /ha y riego Dosis útil <i>Du</i>	mm/riego Dosis útil <i>Du</i>
Cebolla	539,44	0,3	161,83	16,18
Zanahoria	809,16	0,35	283,20	28,32
Maíz	1078,88	0,4	431,55	43,16
Acelga	431,55	0,2	86,31	8,63
Cebada	1078,88	0,4	431,55	43,16

**Tabla 7.** Dosis útil de agua en cada riego.

### 5.3 Dosis real de riego.

El agua que es aplicada por riego por aspersión a los cultivos no es aprovechada en su totalidad por las plantas debido a ciertas pérdidas, en el caso de la aspersión, por evaporación y una pequeña porción de percolación.

Las pérdidas de escorrentía no se consideran ya que el aporte de agua será de tal ritmo que nuestro suelo, con las características físicas expuestas en el Anejo Estudio Edafológico, será capaz de absorber tal pluviometría que no se producirán pérdidas por escorrentía y debido a la topografía de la parcela, con pendientes despreciables, esto favorecerá a la incorporación uniforme de agua en el suelo.

Con estas pérdidas nombradas se ha de aplicar un factor corrector aumentando la cantidad de dosis útil para compensar estas. La relación entre dosis útil y dosis real de riego es la eficiencia de aplicación de riego (*Ea*), que anteriormente se vio, para nuestro caso, riego por aspersión se estima en 85%.

La dosis real de riego se obtiene con la siguiente expresión:

$$Dr = \frac{Du}{Ea}$$

Donde:

- *Dr*: Dosis real de riego, en m<sup>3</sup>/ha y riego.
- *Ea*: Eficiencia de aplicación, estimada en 85%.
- *Du*: Dosis útil de riego, en m<sup>3</sup>/ha y riego.

Cultivo	m <sup>3</sup> /ha y riego Dosis útil <i>Du</i>	Eficiencia aplicación <i>Ea</i>	m <sup>3</sup> /ha y riego Dosis real <i>Dr</i>	mm/riego Dosis real <i>Dr</i>
Cebolla	161,83	0,85	190,39	19,04
Zanahoria	283,20	0,85	333,18	33,32
Maíz	431,55	0,85	507,71	50,77
Acelga	86,31	0,85	101,54	10,15
Cebada	431,55	0,85	507,71	50,77

**Tabla 8.** Dosis real de agua en cada riego.

### 5.3.1 Intervalo entre riegos.

Se va a calcular el tiempo que ha de transcurrir entre dos riegos consecutivos, para ello se utilizará la dosis útil como cantidad máxima de agua que se aporta de manera ininterrumpida.

El intervalo entre riegos se calculará para el cultivo más exigente en cada uno de los años de la propuesta de cultivos en el mes más exigente de estos.

El intervalo entre riegos se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Intervalo entre Riegos } (T): \frac{\text{Dosis útil } (Du)}{NHbrutas}$$

Donde:

- $T$ : Intervalo entre riegos, en días.
- $Du$ : Dosis útil, en mm/riego
- $NHbrutas$ : Necesidades hídricas brutas, en mm/día.

A continuación, se muestra una tabla resumen con los intervalos entre riegos de los siguientes cultivos.

Año	Cultivo	mm/riego Dosis útil $Du$	Mes más desfavorable	mm/día NHbrutas	Días Intervalo entre riegos $T$
1	Cebolla	16,18	Julio	7,27	2
2	Zanahoria	28,32	Julio	7,27	4
3	Maíz	43,16	Agosto	6,37	7
4	Acelga	8,63	Agosto	5,03	2
5	Cebada	43,16	Abril	3,79	11

**Tabla 14.** Intervalos entre riegos( $T$ ) de los cultivos más exigentes.

### 5.3.2 Número de riegos al mes.

Se trata de dividir el número de días del mes más desfavorable entre el intervalo de riegos en cada uno de los cultivos. A continuación, se muestra la expresión utilizada para calcular el número de riegos al mes ( $n$ ).

$$n = \frac{\text{n}^\circ \text{ días mes mas desfavorable}}{T}$$

Donde:

- $n$ : Número de riegos al mes
- $T$ : Intervalo entre riegos en cada cultivo, en días.

- *nº días mes más desfavorable*: En cada cultivo el mes con mayores necesidades de agua, en días.

Cultivo	Mes más desfavorable	Días	
		Intervalo entre riegos T	Número riegos mes n
Cebolla	Julio	2	16
Zanahoria	Julio	4	8
Maíz	Agosto	7	4
Acelga	Agosto	2	16
Cebada	Abril	11	3

**Tabla 15.** Número de riegos al mes (n) de los cultivos más exigentes.

## 6. Características del sistema de riego.

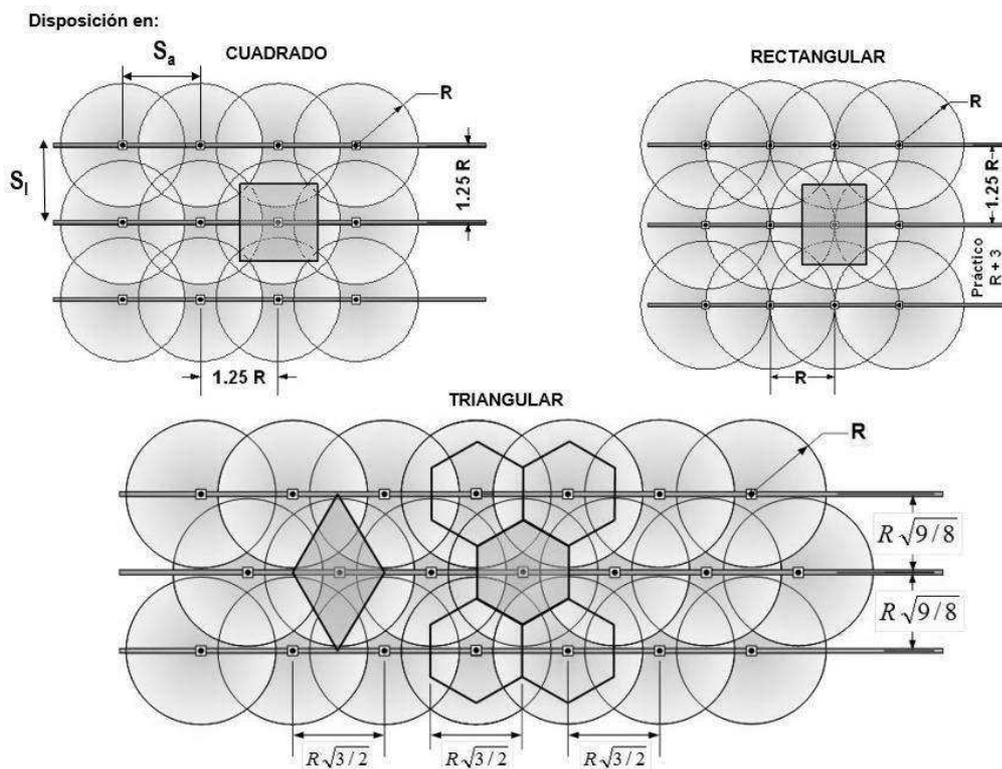
Recordamos del estudio edafológico que la textura resultó franco-arenosa con una densidad aparente estimada de  $1,575 \text{ g/cm}^3 = 1,575 \text{ t/m}^3$ , característica que ha de ser tenida en cuenta para no aplicar riegos excesivos, provocando pérdidas de percolación y si es necesario aumentar la frecuencia de los riegos lo más posible y que las variaciones bruscas de humedad no se den en nuestro suelo.

Pluviometrías excesivamente elevadas pueden provocar a su vez daños en los cultivos implantados.

### 6.1 Marco de instalación de los aspersores.

El marco de instalación de los aspersores corresponde a la distancia y disposición de estos. Generalmente la disposición suele ser en cuadrado, rectángulo, triángulo o tresbolillo según las condiciones topográficas de nuestra parcela, en nuestro caso, siendo la pendiente despreciable.

Se va a optar por una disposición en cuadrado con un marco de 12 x 12 metros, a continuación, se muestra una figura a modo de ejemplo de las diferentes disposiciones de los aspersores.



**Figura 2.** Ejemplos de disposiciones de los aspersores.

El motivo que se ha escogido esta disposición es por la uniformidad, para obtener altos coeficientes de uniformidad y por otro lado la longitud entre aspersores contiguos se ha elegido teniendo en cuenta la maquinaria que se va a utilizar tanto para operaciones de siembra, recolección o labores preparatorias.

## 6.2 Pluviometría.

Se ha de conocer la pluviometría aplicada por el sistema en un rango de tiempo, se puede decir que es la cantidad de agua (caudal) aportada por un aspersor por unidad de superficie asignada ( $S_a$ ) y por hora. Se va a calcular la pluviometría que aporta el sistema con la expresión se muestra después de las características de los aspersores propuestos.

Las características de los aspersores circulares son las siguientes:

- Marca comercial: Regaber; Aspersor Circular de impacto, D-NET 8550.
- Caudal aportado: 680 L/h.
- Presión trabajo seleccionada: 2,5 bar.
- Diámetro mojado: 20 m.
- Doble boquilla con tamaños  $\varnothing$ : 2,9mm (Naranja) + 1,8mm (Verde lima)
- El fabricante indica que con la combinación de tipo de aspersor, presión de trabajo y tamaño de las boquillas se pueden alcanzar coeficientes de uniformidad de hasta 92%.

Las características de los aspersores sectoriales son las siguientes:

- Marca comercial: Regaber; Aspersor Sectorial de impacto, D-NET 8550.
- Caudal aportado: 630 L/h.
- Presión trabajo seleccionada: 2,5 bar.
- Radio mojado: 10 m.
- Única boquilla frontal con tamaño  $\varnothing$ : 3,2mm (Verde).
- Estos serán utilizados para los lindes de la parcela.

A continuación, se muestra la expresión para calcular la pluviometría aportada por el sistema.

$$i = \frac{q}{Sa}$$

Donde:

- $i$ : Intensidad pluviométrica, en mm/hora.
- $q$ : Caudal nominal de un aspersor, en L/h.
- $Sa$ : Superficie asignada a cada aspersor, en este caso (12x12) m<sup>2</sup>.

Por lo que la intensidad pluviométrica aportada por los aspersores será:

$$i = \frac{680}{144} = 4,72 \frac{mm}{hora} \text{ aspersores circulares}$$

$$i = \frac{630}{144} = 4,38 \frac{mm}{hora} \text{ aspersores sectoriales}$$

Se puede decir que nuestra instalación de aspersores aportará 4,72 mm/hora (en el caso de los aspersores sectoriales se despreciará la diferencia de caudal que existe entre ellos) lo que equivalen a 4,72 L/m<sup>2</sup>·h o bien a 47,2 m<sup>3</sup>/ha·h trabajando con las premisas expuestas que son tanto la disposición de 12x12 como aspersores mencionados como la presión de trabajo propuesta.

Como se aprecia los aspersores sectoriales proporcionan una menor pluviometría. En el diseño de las diferentes posturas de riego es muy difícil aislar hidráulicamente tan solo a los aspersores sectoriales que se encuentran en los lindes de la parcela por lo que en las posturas con mayor número de aspersores sectoriales se aumentará el tiempo de riego un 10% y en aquellas zonas del linde que se pueda detectar el mínimo estrés hídrico.

## 7. Duración del riego.

La duración del riego se trata del tiempo necesario que tiene que estar en funcionamiento la instalación de riego ininterrumpidamente para aportar la lámina de agua deseada, en este caso se van a utilizar las necesidades hídricas brutas (*NHbrutas*) mensuales.

Para el cálculo de la duración del riego lo haremos con la siguiente expresión:

$$tr = \frac{NHbrutas}{i}$$

Donde:

- *tr*: Tiempo de riego, en horas
- *NHbrutas*: Necesidades hídricas brutas, en mm/mes o bien mm/semanal.
- *i*: Intensidad pluviométrica que aporta el sistema, en mm/hora.

Para dimensionar correctamente la instalación, se va a considerar el mes de mayores exigencias hídricas en cada uno de los años, a continuación se muestra el tiempo de riego que se requiere en cada caso.

Cultivo	mm/mes <i>NHbrutas</i>	mm/semana <i>NHbrutas</i>	mm/hora <i>Pluviometría</i>	h/semana <i>Horas riego por semana</i>	h y minutos <i>Horas riego por semana</i>	h <i>Horas riego por día</i>
Cebolla	225,37	50,89	4,72	10,78	10 h y 45 '	1,54
Zanahoria	225,37	50,89	4,72	10,78	10 h y 45 '	1,54
Maíz	197,49	44,59	4,72	9,45	9 h y 27 '	1,35
Acelga	155,89	35,20	4,72	7,46	7 h y 27 '	1,07
Cebada	113,74	26,54	4,72	5,62	5 h y 37 '	0,80

**Tabla 16.** Horas de riego semanales y diarias en los cultivos más exigentes durante los meses más desfavorables.

Se observa que la cebolla y la zanahoria requieren de 10 horas y 45 minutos de funcionamiento acumulado durante el periodo de 7 días dentro del mes más con mayores requerimientos hídricos.

## 8. Organización del riego.

Para dimensionar correctamente la instalación es de vital importancia organizar todos los aspersores de la parcela en sectores o posturas de riego, se debe organizar en posturas de riego para evitar tener que trabajar con motores excesivamente grandes y también para no excederse de la jornada efectiva de riego (*JE<sub>r</sub>*) impuesta.

El sistema que diseñemos ha de permitir aplicar en una jornada efectiva de riego (16horas, el propietario tiene previsto instalar paneles fotovoltaicos por lo que la jornada efectiva se fijará en 16h) la suficiente cantidad de agua requerida para el cultivo más exigente en días más desfavorables.

### 8.1 Organización posturas de riego.

Como se ha dicho se debe organizar en posturas de riego. Para saber la cantidad máxima de posturas de riego nos podemos permitir, sin excedernos de la jornada efectiva de riego ( $JEr$ ), utilizaremos la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ posturas riego máximas} = \frac{JEr \cdot I}{tr}$$

Donde:

- $JEr$ : Jornada efectiva de riego, 16 horas.
- $I$ : Intervalo entre riegos, para el cultivo con mayores necesidades hídricas en el mes más desfavorable.
- $tr$ : Tiempo de riego para el mismo cultivo, en horas de riego por cada día.

Resultan 10 posturas de riego, a continuación, se agruparán los aspersores en las diferentes posturas.

### 8.2 Posturas de riego propuestas

A continuación, se va presentar una tabla resumen con la cantidad de aspersores tanto circulares como sectoriales en cada una de las posturas de riego propuestas, en el plano organización de posturas se puede ver la organización de las mismas.

Postura	Nº Aspersores circulares	Nº Aspersores sectoriales	Nº total de aspersores
1	49	15	64
2	56	8	64
3	56	8	64
4	56	19	75
5	56	8	64
6	64	0	64
7	66	6	72
8	56	8	64
9	51	4	55
10	26	6	32

**Tabla 17.** Disposición en posturas de riego y número de aspersores.

## 9. Caudal característico y continuo de la parcela.

Se denomina caudal característico continuo de un cultivo, en la zona de estudio, al mayor de sus caudales continuos. Para determinar el caudal característico y continuo se va a utilizar las necesidades hídricas brutas diarias (*NHbrutas*) del cultivo que mayor cantidad de agua requiera y en el periodo donde son máximas estas.

El caudal característico se expresa en L/s·ha, se hace mediante la siguiente conversión de unidades cuando tratamos con mm/día:

$$\text{Caudal característico} = NH_{brutas}$$

A modo de recuerdo las necesidades hídricas brutas más elevadas que obtuvimos fueron las de la cebolla y la zanahoria con 7,27mm/día, por lo que el caudal característico será:

$$\text{Caudal característico} = 7,27 \frac{\text{mm}}{\text{día}} = 0,84 \frac{\text{L}}{\text{s} \cdot \text{ha}}$$

Para obtener el caudal continuo se trata de multiplicar el caudal característico por la superficie total de la parcela.

$$\text{Caudal continuo} \frac{\text{L}}{\text{s}} = 8,44 \text{ha} \cdot 0,84 \frac{\text{L}}{\text{s} \cdot \text{ha}} = 7,09 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Estos dos caudales son ficticios y no se tienen en cuenta para la dosificación del riego.



# **ANEJO 7.**

# **DIMENSIONADO DE LA RED**

## **ÍNDICE ANEJO 7. DIMENSIONADO DE LA RED.**

- 1. Introducción.**
- 2. Datos parcela.**
- 3. Cálculo caudales por posturas.**
- 4. Elección de materiales.**
- 5. Cálculos hidráulicos.**
  - 5.1 Variación máxima de caudal.
  - 5.2 Ecuación característica de un emisor.
  - 5.3 Pérdidas de carga por rozamiento.
  - 5.4 Cálculo diámetro tubería.
- 6. Tablas resumen cálculos por posturas de riego.**
- 7. Diseño y dimensionad red de transporte hasta posturas de riego.**
  - 7.1 Criterio de dimensionado.
  - 7.2 Cálculo diámetros tuberías por restricción de velocidad.
  - 7.3 Teorema de Bernoulli.
  - 7.4 Resultado obtenidos.
  - 7.5 Cálculo altura libre sondeo (pozo)
- 8. Selección bomba sumergible pozo.**
  - 8.1 Bomba seleccionada.
  - 8.2 Especificaciones de la bomba.
- 9. Equipo de filtrado.**
- 10. Elementos singulares.**
- 11. Resumen de mediciones.**

## **1. Introducción.**

En este anejo se va a dimensionar toda la red de distribución de agua, dimensionando el sistema de riego por aspersión en cobertura total y calculando las pérdidas de carga que se producen. También se procederá a la elección de un grupo de bombeo y un equipo de filtrado.

Para el dimensionado de la red se hará según las diferentes posturas de riego y para la más desfavorable, es decir, donde más pérdidas de carga se producen, será la que se utilizará para la elección del grupo de bombeo asegurando así que presión de trabajo no descenderá en la combinación de tuberías con mayores pérdidas de carga.

Se recuerda que el suministro de agua es captado de un pozo con cuyas características se muestran en el anejo Calidad de agua de riego.

## **2. Datos de la parcela.**

La topografía de la parcela indica que la **pendiente es nula o despreciable**, como se puede ver en las cotas del plano topográfico en el estado actual.

Se ha escogido un **marco** de instalación de aspersores de **12x12 metros** con una disposición en **cuadrado**.

Como se puede ver en el anejo Características del riego, la **pluviometría aportada** por los aspersores circulares seleccionados corresponde a **4,72 mm/hora de riego**.

Se obtuvieron unas **necesidades hídricas brutas (NHbrutas) diarias de 7,27 mm**, en el caso del mes más desfavorable, resultado **julio** y el cultivo más exigente, en este caso la **cebolla y zanahoria** con idénticas necesidades hídricas brutas (NHbrutas) diarias.

El **tiempo de riego** resultó de **10 horas y 45 minutos semanales**, en los casos más desfavorables y teniendo en cuenta que en el caso de la cebolla el intervalo de riego resultó de 1 día, debido a la profundidad radicular que no explora gran cantidad de suelo haciendo que el intervalo entre riegos fuera reducido. **El tiempo de riego diario** corresponde a **1,54 horas** que equivale a **1 hora y 30 minutos diarios** aproximadamente, aportando la pluviometría adoptada, los 4,72mm/hora.

## **3. Cálculo de caudales por posturas de riego.**

Para obtener los caudales se sumarán el total de puntos de consumo, es decir, número de aspersores tanto circulares como sectoriales y de esta forma podremos ver qué postura requiere de un mayor caudal para hacer un correcto dimensionado de la instalación.

A continuación, se muestra una tabla con los caudales en cada postura propuesta.

Postura	ud. Nº Aspersores circulares	L/h Caudal unitario aspersor circular	ud. Nº Aspersores sectoriales	L/h Caudal unitario aspersor sectorial	L/h Caudal total postura riego	m3/h Caudal total postura riego
1	49	680	15	630	42770	42,77
2	56	680	8	630	43120	43,12
3	56	680	8	630	43120	43,12
4	56	680	19	630	50050	50,05
5	56	680	8	630	43120	43,12
6	64	680	0	630	43520	43,52
7	66	680	6	630	48660	48,66
8	56	680	8	630	43120	43,12
9	51	680	4	630	37200	37,2
10	26	680	6	630	21460	21,46

**Tabla1.** Caudales en cada postura de riego adoptada.

Como se puede ver en la Tabla 1 el caudal superior corresponde en la postura 4 con  $50,05\text{m}^3/\text{h}$ , este caudal será utilizado para la elección del grupo de bombeo.

#### 4. Elección de materiales

Se va proponer como material para la red de tuberías enterradas el **PE-AD (PE 100 PN 0,6MPa)** polietileno de alta densidad) ya que es un material muy resistente, con una fácil instalación, de una calidad aceptable, otro aspecto muy a tener en cuenta es a la hora de adquirir el material puesto que el PE-AD puede ser suministrado en rollos de hasta 100 metros evitando así el mayor número de uniones y posibles puntos de rotura en cambio por ejemplo el PVC se suministra en piezas normalmente de 6 metros, e irán **enterrados 40cm**. Para la elección del tarado máximo de presión de las tuberías a instalar en primer lugar se fijarán las alturas piezométricas máximas y presión de trabajo de la tubería.

Se va a distinguir entre tubería terciaria (corresponde a la tubería que suministra caudal a cada uno de los ramales porta-aspersores) y ramal porta-aspersor o lateral (es donde se sitúan los aspersores en las posiciones propuestas).

Se ha de mencionar que **el tramo de altura libre del pozo**, la tubería será en **acero galvanizado**.

Por otro lado, en los **porta-aspersores** se propone utilizar una altura de **2,5 metros**, que descontado la profundidad a la que serán enterrados corresponde a 2,1 metros de altura desde el inicio del suelo, material de **acero galvanizado** con un **diámetro de 3/4"** ya que estos estarán expuestos a la intemperie y han de ser resistentes.

### Aspersor Circular:

Tipo	bar Presión	L/h Caudal	m x m Marco	m Øalcance	mm/h Pluviometría
D-NET 8550	2,5	680	12x12	20	4,72

**Tabla 2.** Datos de aspersor circular propuesto.

### Aspersor Sectorial:

Tipo	bar Presión	L/h Caudal	m x m Marco	m Øalcance	mm/h Pluviometría
D-NET 8550	2,5	630	12x12	20	4,38

**Tabla 3.** Datos de aspersor sectorial propuesto.

A continuación, se muestra una tabla con los diámetros comerciales de las tuberías en el material escogido, PE-AD (PE 100):

Tuberías de PE 100 Norma UNE-EN 12201						
Diámetro nominal (mm)	PN 0,6 Mpa		PN 1,0 Mpa		PN 1,6 MPa	
	D. interior (mm)	Coste (€/ml)	D. interior (mm)	Coste (€/ml)	D. interior (mm)	Coste (€/ml)
32	28	0,83	28	0,83	26	1,76
40	36	1,2	35,2	1,2	32,6	2,69
50	46	1,84	44	1,84	40,8	2,69
63	58,2	2,91	55,4	2,91	51,4	4,28
75	69,2	4,09	66	4,09	61,4	5,98
90	83	5,89	79,2	5,89	73,6	8,67
110	101,6	5,57	96,8	8,41	90	12,76
125	115,4	7,15	110,2	10,73	102,2	15,89
140	129,2	9,01	123,4	13,47	114,6	19,8
160	147,6	11,81	141	17,58	130,6	25,99
180	166,2	14,71	158,6	22,24	147,2	32,86
200	184,6	18,23	176,2	27,45	163,6	40,51
250	230,8	26,77	220,4	42,69	204,6	63,09
315	290,8	42,42	277,6	66,42	257,8	101,09
400	369,2	71,92	352,6	107,73	327,2	163,28

**Tabla 4.** Diámetros comerciales en material PE-AD (PE 100).

## 5. Cálculos hidráulicos

En este apartado se van a calcular las presiones requeridas tanto al inicio de las tuberías terciarias como al inicio de los ramales porta-aspersores en cada una de las posturas de riego propuestas, para ello habrá que calcular las pérdidas de carga que se producen en cada una de las tuberías.

Se ha tenido en cuenta pendiente del 0% debido a que la parcela está nivelada adecuadamente según se puede ver en el Plano de Topografía actual de la parcela.

En primer lugar, se dimensionará hasta nivel de la tubería terciaria, posteriormente se procederá al dimensionado de la red de transporte hasta la alimentación de las tuberías terciarias.

Se ha de tener en cuenta que en cada punto de emisión se eleva la cota piezométrica hasta 2,5 m.c.a. por encima debido a que el porta-aspersor se ha escogido con esa altura, lo que será una pérdida de presión en cada uno de estos puntos de consumo.

Se pretende seguir la siguiente metodología:

- En primer lugar se ha obtenido la máxima variación de caudal que nos podemos permitir en un mismo ramal porta-aspersores, en este caso se ha supuesto un 20% del caudal total del mismo.
- Mediante la ecuación característica de un emisor se obtiene el caudal a diferentes presiones de trabajo, combinando esta ecuación junto a la ecuación de máxima variación de caudal se obtiene la máxima variación de presión que nos podemos permitir en el ramal porta-aspersores.
- Habiendo asignado una variación de presión máxima en el ramal se puede obtener mediante la ecuación de Hazen-William el diámetro interior mínimo, en el material seleccionado (PE 100), para posteriormente normalizarlo y recalcular las pérdidas de carga reales.
- Una vez dimensionadas las tuberías de los ramales porta-aspersores y tuberías terciarias, se procede a dimensionar la red de transporte de agua hasta las tuberías terciarias, en el siguiente apartado se muestra la metodología utilizada para ello.

### 5.1 Variación máxima de caudales en el ramal porta-aspersor.

Aceptando la norma general, dado que se trata de un sistema fijo de aspersión, se va a permitir una variación del 20% del caudal total aportado por los aspersores fijos dentro de un mismo ramal porta-aspersores.

### 5.2 Ecuación característica de un emisor.

La ecuación que relaciona el caudal arrojado por un emisor (aspersor) con la presión que recibe, a continuación, se muestra:

$$q = K \cdot H^x$$

Donde:

- $q$ : Caudal arrojado por cada emisor, en l/h
- $K$ : factor del emisor, calculado suponiendo exponente de descarga 0,5 junto a la presión y caudal aportado por el fabricante se despeja y resulta: 136.
- $H$ : Presión de trabajo, en m.c.a.
- $x$ : Exponente de descarga 0,5 al trabajar con aspersores.

A partir de la ecuación anterior puede relacionarse la máxima variación de presiones en la postura de riego con la máxima variación de caudales en la subunidad. A continuación se muestra una expresión que es utilizada para obtener la máxima variación de presión admisible en el mismo ramal porta-aspersores.

$$\Delta H = \frac{0,2}{x} \cdot H$$

Donde:

- $\Delta H$ : Variación máxima de presión, en m.c.a.
- $0,2$ : Supone el 20% de variación máxima de caudal.
- $x$ : Exponente de descarga 0,5 en nuestro caso.
- $H$ : Presión de trabajo elegida para el adecuado aporte de agua, 27,5 m.c.a. asumiendo 25 m.c.a. de presión en el aspersor y 2,5 metros de diferencia de cotas por la tubería porta-aspersores.

Suponen una variación máxima de presión en un mismo ramal porta-aspersores de 11m.c.a. pero esto supone una pérdida excesiva, por lo que se optará por aumentar el diámetro hasta obtener variaciones de presión en un mismo ramal porta-aspersores menores de 5m.c.a. lo que favorecerá a escoger grupos de bombeo con motores de menor potencia.

En el caso de las tuberías terciarias la elección del diámetro se ha realizado de tal manera que las pérdidas de carga en la misma no sean superiores a 5m.c.a. por lo nombrado anteriormente.

La variación de presión en toda la postura no sobrepasará los 11m.c.a. establecidos como máximos.

Para el diseño de las unidades de riego se ha utilizado la aplicación DimSub (Arviza, 2020), tomando los laterales como ramales porta-aspersores y en las terciarias como tuberías principales en cada postura. Los espaciamientos y caudales son los expuestos en el diseño agronómico del riego por aspersión.

### 5.3 Pérdida de carga por rozamiento.

Para las pérdidas de carga en cada uno de los tramos se va a utilizar la fórmula de *Hazen-Williams* que a continuación se muestra:

$$hr = 10,67 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.85} \cdot Km \cdot \frac{L}{D^{4.87}}$$

Donde:

- *hr*: Pérdidas de carga, en m.c.a.
- *L*: Longitud del tramo en cuestión, en m.
- *Km*: Coeficiente mayorante por elementos singulares, se opta por 1,2 en todos los casos.
- *C*: Constante según el tipo de material, PE 100: 150.
- *Q*: Caudal del tramo que se está calculando, en m<sup>3</sup>/s.
- *D*: Diámetro interior de la tubería en cuestión, en m.

### 5.4 Cálculo del diámetro de la tubería.

Tan solo es despejar en la fórmula de Hazen-Williams el diámetro interior de la tubería requerido:

$$Di > \left(\frac{12.67 \cdot Km \cdot L \cdot Q^{1.85}}{hr \cdot C}\right)^{\frac{1}{4.87}}$$

Se escogerá el diámetro interior (*Di*) superior al calculado por la expresión mostrada, teniendo en cuenta que las pérdidas de carga (*hr*) no pueden ser superiores a 5m.c.a. una vez elegido el diámetro interior (*Di*) superior se recalcularán las pérdidas de carga en este caso reales una vez normalizado el diámetro de la tubería que se va a instalar.

## 6. **Tablas resumen cálculos hidráulicos por posturas de riego.**

A modo de resumen y para el dimensionado de la red de transporte hasta las diferentes posturas de riego adoptadas se va a mostrar una serie de tablas en las siguientes páginas con los diferentes resultados de los cálculos hidráulicos realizados. Como se puede ver en el plano distribución de emisores las posturas de riego adoptadas se ha intentado que sean idénticas para agilizar los cálculos. Las posturas 1, 2, 3, 5, 6 y 8 son idénticas.

<b>POSTURA DE RIEGO 1, 2, 3, 5, 6 Y 8</b>	
<b>Caudal inicio postura:</b> 43520 L/h	<b>Uniformidad emisión (UE):</b> 89,70%
<b>Presión inicio postura:</b> 30,3m.c.a.	<b>Nº total emisores:</b> 64
	<b>Geometría de postura:</b> Regular
<b>TERCIARIA</b>	
<b>Caudal inicio terciaria:</b> 43520 L/h	<b>Variación de presión:</b> 1,32m.c.a.
<b>Presión inicio terciaria:</b> 30,3m.c.a.	<b>Presión al final terciaria:</b> 28,9m.c.a.
<b>DN (mm):</b> 63	<b>Alimentada por:</b> Punto medio
<b>Øinterior:</b> 58,2	<b>Longitud terciaria:</b> 96 m
<b>Pérdida de carga:</b> 1,32m.c.a.	<b>Material:</b> PE 100 UNE EN 1220
<b>RAMAL PORTA-ASPERSORES</b>	
<b>Caudal inicio ramal:</b> 6120 L/h	<b>Variación de presión:</b> 2,8m.c.a.
<b>Presión inicio ramal:</b> 29,44m.c.a.	<b>Presión al final del lateral:</b> 26,64m.c.a.
<b>DN (mm):</b> 40	<b>Alimentada por:</b> Extremo
<b>Øinterior:</b> 36	<b>Material:</b> PE 100 UNE EN 1220
<b>Pérdida de carga :</b> 2,8m.c.a.	
<b>Nº ramales:</b> 8	
<b>Separación entre emisores:</b> 12m	
<b>Longitud más desfavorable:</b> 96m	
<b>Longitud total ramales:</b> 768m	

**Tabla 5.** Resultados hidráulicos en las posturas 1,2,3,5,6 y 8.

<b>POSTURA DE RIEGO 4</b>	
<b>Caudal inicio postura:</b> 50050 L/h	<b>Uniformidad emisión (UE):</b> 89,60%
<b>Presión inicio postura:</b> 31,3m.c.a.	<b>Nº total emisores:</b> 75
	<b>Geometría de postura:</b> Irregular
<b>TERCIARIA</b>	
<b>Caudal inicio terciaria:</b> 50050 L/h	<b>Variación de presión:</b> 2,19m.c.a.
<b>Presión inicio terciaria:</b> 31,3m.c.a.	<b>Presión al final terciaria:</b> 29,1m.c.a.
<b>DN (mm):</b> 90	<b>Alimentada por:</b> Extremo
<b>Øinterior:</b> 83	<b>Longitud terciaria:</b> 96 m
<b>Pérdida de carga:</b> 2,19m.c.a.	<b>Material:</b> PE 100 UNE EN 1220
<b>RAMAL PORTA-ASPERORES</b>	
<b>Caudal inicio ramal:</b> 9520 L/h	<b>Variación de presión:</b> 3,13m.c.a.
<b>Presión inicio ramal:</b> 29,72m.c.a.	<b>Presión al final del lateral:</b> 26,58m.c.a.
<b>DN (mm):</b> 50	<b>Alimentada por:</b> Extremo
<b>Øinterior:</b> 46	<b>Material:</b> PE 100 UNE EN 1220
<b>Pérdida de carga :</b> 3,13m.c.a.	
<b>Nº ramales:</b> 8	
<b>Separación entre emisores:</b> 12m	
<b>Longitud más desfavorable:</b> 156,2m	
<b>Longitud total ramales:</b> 807m	

**Tabla 6.** Resultados hidráulicos en la postura 4.

<b>POSTURA DE RIEGO 7</b>	
<b>Caudal inicio postura:</b> 48660 L/h	<b>Uniformidad emisión (UE):</b> 89,90%
<b>Presión inicio postura:</b> 30,8m.c.a.	<b>Nº total emisores:</b> 72
	<b>Geometría de postura:</b> Irregular
<b>TERCIARIA</b>	
<b>Caudal inicio terciaria:</b> 48660 L/h	<b>Variación de presión:</b> 2,06m.c.a.
<b>Presión inicio terciaria:</b> 30,8m.c.a.	<b>Presión al final terciaria:</b> 28,7m.c.a.
<b>DN (mm):</b> 90	<b>Alimentada por:</b> Extremo
<b>Øinterior:</b> 83	<b>Longitud terciaria:</b> 96 m
<b>Pérdida de carga:</b> 2,06m.c.a.	<b>Material:</b> PE 100 UNE EN 1220
<b>RAMAL PORTA-ASPERSORES</b>	
<b>Caudal inicio ramal:</b> 8840 L/h	<b>Variación de presión:</b> 2,56m.c.a.
<b>Presión inicio ramal:</b> 29,32m.c.a.	<b>Presión al final del lateral:</b> 26,75m.c.a.
<b>DN (mm):</b> 50	<b>Alimentada por:</b> Extremo
<b>Øinterior:</b> 46	<b>Material:</b> PE 100 UNE EN 1220
<b>Pérdida de carga :</b> 2,56m.c.a.	
<b>Nº ramales:</b> 8	
<b>Separación entre emisores:</b> 12m	
<b>Longitud más desfavorable:</b> 144,8m	
<b>Longitud total ramales:</b> 789m	

**Tabla 7.** Resultados hidráulicos en la postura 7.

<b>POSTURA DE RIEGO 9</b>	
<b>Caudal inicio postura:</b> 37200 L/h	<b>Uniformidad emisión (UE):</b> 90,30%
<b>Presión inicio postura:</b> 29,5m.c.a.	<b>Nº total emisores:</b> 55
	<b>Geometría de postura:</b> Irregular
<b>TERCIARIA</b>	
<b>Caudal inicio terciaria:</b> 37200 L/h	<b>Variación de presión:</b> 1,2m.c.a.
<b>Presión inicio terciaria:</b> 29,5m.c.a.	<b>Presión al final terciaria:</b> 28,3m.c.a.
<b>DN (mm):</b> 90	<b>Alimentada por:</b> Extremo
<b>Øinterior:</b> 83	<b>Longitud terciaria:</b> 96 m
<b>Pérdida de carga:</b> 1,2m.c.a.	<b>Material:</b> PE 100 UNE EN 1220
<b>RAMAL PORTA-ASPERSORES</b>	
<b>Caudal inicio ramal:</b> 7480 L/h	<b>Variación de presión:</b> 1,62m.c.a.
<b>Presión inicio ramal:</b> 28,65m.c.a.	<b>Presión al final del lateral:</b> 27,03m.c.a.
<b>DN (mm):</b> 50	<b>Alimentada por:</b> Extremo
<b>Øinterior:</b> 46	<b>Material:</b> PE 100 UNE EN 1220
<b>Pérdida de carga :</b> 1,62m.c.a.	
<b>Nº ramales:</b> 8	
<b>Separación entre emisores:</b> 12m	
<b>Longitud más desfavorable:</b> 121,5m	
<b>Longitud total ramales:</b> 576m	

**Tabla 8.** Resultados hidráulicos en la postura 9.

POSTURA DE RIEGO 10	
Caudal inicio postura: 21460 L/h	Uniformidad emisión (UE): 89,70%
Presión inicio postura: 31,1m.c.a.	Nº total emisores: 75
	Geometría de postura: Irregular
TERCIARIA	
Caudal inicio terciaria: 21460 L/h	Variación de presión: 2,21m.c.a.
Presión inicio terciaria: 31,1m.c.a.	Presión al final terciaria: 28,9m.c.a.
DN (mm): 63	Alimentada por: Extremo
Øinterior: 58,2	Longitud terciaria: 48 m
Pérdida de carga: 2,21m.c.a.	Material: PE 100 UNE EN 1220
RAMAL PORTA-ASPERORES	
Caudal inicio ramal: 6120 L/h	Variación de presión: 2,93
Presión inicio ramal: 29,56m.c.a.	Presión al final del lateral: 26,64m.c.a.
DN (mm): 40	Alimentada por: Extremo
Øinterior: 36	Material: PE 100 UNE EN 1220
Pérdida de carga : 2,93m.c.a.	
Nº ramales: 6	
Separación entre emisores: 12m	
Longitud más desfavorable: 97,5m	
Longitud total ramales: 357m	

**Tabla 9.** Resultados hidráulicos en la postura 10.

La **presión al final del lateral más desfavorable** resulta de **26,58 m.c.a. en la postura de riego 4** debido a su geometría, **presión adecuada** para que el aspersor trabaje conforme al diseño escogido. A cada emisor le ha de llegar 25 m.c.a. por lo que si en la situación más desfavorable han resultado los 26,58 m.c.a. restando la altura libre del porta-aspersor (2,5m) resultan 24m.c.a. supuestos a la altura del aspersor.

### **7. Diseño y dimensionado de la red de transporte hasta posturas de riego.**

En este apartado se va a proceder al cálculo de la red de transporte hasta las tuberías terciarias y teniendo en cuenta como se alimenta la mismas.

Hay que recalcar que el promotor ha exigido que la sectorización u organización por posturas de riego se haga a nivel de cabezal de riego.

Para el dimensionado de estas tuberías se utilizará el teorema de Bernoulli, que a continuación se muestra, para el cálculo de la altura manométrica que será necesario que aporte la bomba instalada.

Las pérdidas de carga y el cálculo del diámetro interior requerido se realizan con la metodología de Hazen-Williams mostrada anteriormente.

En el procedimiento de cálculo en primer lugar se ha supuesto que la bomba está en la superficie en el cálculo de los diámetros, pérdidas de carga y desniveles para posteriormente calcular la altura libre a la que se encuentra la bomba sumergida que instalaremos para sumarle este desnivel en la elección de la bomba sumergida que nos proporcionará esta energía en el sistema.

Para el dimensionado de la red se ha de fijar una velocidad para el cálculo de las pérdidas de carga por lo que se va a fijar como máximo un rango de velocidad de 1,5-2 m/s.

En el caso que resulten unas pérdidas de carga elevadas se optará por aumentar el diámetro de la tubería, aunque aumente el precio de esta, la energía necesaria que ha de aportar la bomba sumergida será menor.

### *7.1 Criterio de dimensionado.*

Se va a optar por el criterio clásico de restricción de velocidad fijado en la red de transporte hasta las tuberías terciarias.

Se va a fijar entre **1,5-2 m/s como velocidad máxima** en la conducción del agua siendo estas unas velocidades utilizadas de forma general en las cuales no se generan demasiadas pérdidas de carga debido a los largos tramos de las instalaciones junto a que no resultan diámetros en la conducción elevados.

### *7.2 Cálculo diámetro tubería por criterio restricción de velocidad.*

Adaptando la ecuación de continuidad se puede obtener el diámetro interior de una conducción de la siguiente manera:

$$D_i > 16,67 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot Q_i}{\pi \cdot V_{max}}}$$

Donde:

- $D_i$ : Diámetro interior mínimo, en mm.
- $Q_i$ : Caudal en la conducción, m<sup>3</sup>/h.
- $V_{max}$ : Velocidad máxima asignada en ese tramo, en m/s.

### 7.3 Teorema de Bernoulli.

El teorema de Bernoulli es una aplicación directa del principio de conservación de la energía. Con otras palabras, está diciendo que si el fluido no intercambia energía con el exterior (por medio de motores, rozamiento, térmica...) esta ha de permanecer constante.

El teorema considera los tres únicos tipos de energía que posee el fluido que pueden cambiar de un punto a otro en la conducción. Estos son: energía cinética, energía potencial gravitatoria y la energía debida a la presión de flujo (hidrostática).

Para el cálculo de la pérdida de carga ( $hr_{i-f}$ ) se utilizará la metodología de Hazen-Williams anteriormente mostrada para el cálculo de las pérdidas de carga en los ramales porta-aspersores y terciarias.

A continuación, se muestra la ecuación que se utiliza:

$$\frac{P_i}{\gamma} + Z_i + \frac{v_i^2}{2 \cdot g} = \frac{P_f}{\gamma} + Z_f + \frac{v_f^2}{2 \cdot g} + hr_{i-f}$$

Donde:

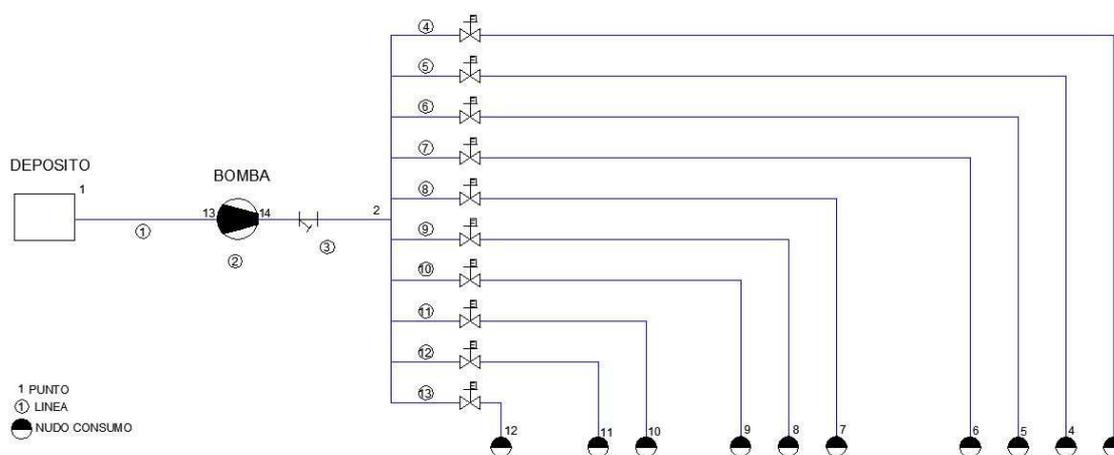
- $P_i/\gamma$ : Presión en el punto inicial, en m.c.a.
- $Z_i$ : Cota del punto inicial.
- $v_i$ : Velocidad en el punto inicial, en m/s.
- $g$ : Resistencia de la gravedad, 9,82 m/s<sup>2</sup>.
- $P_f/\gamma$ : Presión en el punto final.
- $Z_f$ : Cota del punto final.
- $v_f$ : Velocidad en el punto final.
- $hr_{i-f}$ : Pérdida de carga desde el inicio hasta el final, en m.c.a.

## 7.4 Resultados obtenidos.

Se va a mostrar una tabla con las medidas utilizadas en el procedimiento de cálculo:

Línea	Nudo (+)	Nudo (-)	m	Cota nudo (-)	Postura	m <sup>3</sup> /h	m.c.a. Presión requerida
1	1	13	3	679,3	-	-	-
2	13	14	1	679,3	-	-	-
3	14	2	5	679,3	-	-	-
4	2	3	290	676,33	10	21,46	31,1
5	2	4	235	677,47	8	43,12	30,3
6	2	5	140	678	5	43,12	30,3
7	2	6	45	678,8	1	42,77	30,3
8	2	7	285	677,2	9	37,2	29,5
9	2	8	235	677,6	6	43,52	30,3
10	2	9	140	679	2	43,12	30,3
11	2	10	285	677,9	7	48,66	30,8
12	2	11	235	678,7	3	43,12	30,3
13	2	12	300	678,6	4	50,05	31,3

**Tabla 10.** Resumen de líneas y nudos en la organización de la red de transporte hasta terciarias.



**Figura 1.** Suposición para el dimensionado de la red de transporte hasta terciarias, figura relacionada con la Tabla 10.

Las posturas de riego se han dimensionado para que se riegue tan solo 1 postura de riego a la vez, que sumando las horas de riego por las 10 posturas, resulta menor tiempo que la jornada efectiva de riego que fue fijada en 16 horas al día.

Se ha de resaltar que las bifurcaciones hasta cada postura de riego se realizará a nivel del cabezal de riego, pues este es una caseta de construcción donde se ubica el sondeo, el filtrado y las válvulas solenoides propuestas.

Con los datos proporcionados se pasa al dimensionado de la red utilizando las fórmulas antes mostradas y con la metodología nombrada, se ha elaborado una tabla agrupando los valores más importantes y que nos serán de utilidad. A continuación, se muestra dicha tabla.

<b>DIMENSIONADO RED DISTRIBUCIÓN SUMINISTRO TERCARIAS</b>						
<b>Requerimiento bomba</b>			<b>Material tuberías</b>			
*Altura manométrica: 39,1m.c.a.			Tubería: PE 100 UNE EN 12201			
Caudal máximo: 50,05m <sup>3</sup> /h			PNtubería: 0,6 Mpa			
<b>Datos de cálculo</b>						
Tª cálculo: 20°C						
Km (coef. mayorante): 1,2						
**Δh filtrado: 3m.c.a.						
Velocidad máx: 1,5-2 m/s						
Criterio dimensionado: Restricción velocidad						
Línea	Postura riego	m/s Vreal	m.c.a. Pérdida carga	mm DN	mm Dinterior	m.c.a. Presión resultante
1	Supuesto depos.	1,74	0,20	110	100,6	0
2	BOMBA	1,74	-39,1	110	100,6	-39,1
3	FILTRADO	1,74	3	110	100,6	38,6
4	10	0,72	2,13	110	100,6	40
5	8	1,47	5,44	110	100,6	35,5
6	5	1,47	3,45	110	100,6	37
7	1	1,44	1,42	110	100,6	38,2
8	9	1,27	5,03	110	100,6	36,2
9	6	1,47	5,44	110	100,6	35,4
10	2	1,47	3,45	110	100,6	36
11	7	1,64	7,83	110	100,6	32,7
12	3	1,47	5,44	110	100,6	34,3
13	4	1,71	8,82	110	100,6	31,3
* Indica que se ha de sumar la altura libre que está la bomba sumergida en el sondeo (pozo)						
**Las pérdidas de filtrado serán tenidas en cuenta posteriormente						

**Tabla 11.** Elección diámetros nominales y resultados obtenidos en la red de transporte hasta las tuberías terciarias.

Como se ha resaltado en la tabla anterior resultan unos requerimientos de bombeo de una altura de 39,1 m.c.a. y un caudal de 50,05 m<sup>3</sup>/h en la elección de la bomba sumergible sin olvidar que al tratarse de un pozo se ha de sumar la altura libre total que es introducida esta en el sondeo, en el siguiente punto se procede al cálculo de esta altura.

La línea 13 resultó la más desfavorable con unas pérdidas de carga de 8,82 m.c.a.

### 7.5 Cálculo altura libre de bomba en el sondeo (pozo).

El agua de riego proviene de un pozo el cuál ha sido descrito en el anejo calidad agua de riego con cuya piezometría es la siguiente:

PIEZOMETRÍA	
Profundidad del agua	25,68 m
Nivel piezométrico	663,32 m.s.n.m.

**Tabla 12.** Piezometría del sondeo de la parcela.

Recordando la cota de la superficie se ha supuesto 679,3 m.s.n.m. por lo que la diferencia es la altura libre en la cuál es suelo y roca madre, unos 15,5 metros. Si la profundidad del agua se sitúa hasta 25,68 metros y en los primeros 15,5 no hay presencia de agua por lo que se suponen unos 10 metros de altura en la cual encontramos agua.

Se van a tener en cuenta las siguientes pérdidas de carga, producida en la elevación de la altura libre del sondeo para la elección de la bomba a instalar y las pérdidas por rozamiento que se producen en la conducción.

Por un lado las pérdidas de carga por rozamiento las obtenemos con la fórmula de Hazen-Williams.

A continuación se muestra el cálculo de las pérdidas de carga producidas en la elevación de la altura libre del sondeo. Longitud de 15,5 metros, el coeficiente C al tratarse de acero galvanizado tiene un valor de 125 y por último la tubería de impulsión tiene un diámetro de 4 pulgadas o lo que es igual 100 mm de DN, con un diámetro interior de 97,5 mm.

Se ha de resaltar que la tubería en este tramo es en acero galvanizado.

$$hr = 10,67 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,85} \cdot Km \cdot \frac{L}{D^{4,87}}$$

$$hr = 10,67 \cdot \left(\frac{0,013903}{125}\right)^{1,85} \cdot 1,2 \cdot \frac{15,5}{0,0975^{4,87}} = 2,11 \text{ m.c.a.}$$

Por otro lado sumaremos la altura libre que ha de ser elevada el agua, los 15,5 metros de altura.

Las pérdidas de carga totales producidas en el tramo de elevación del sondeo resultan 17,6 m.c.a.

Si sumamos todos los requerimientos de presión para la elección de la bomba resultan:

$$Hr_{bomba} = H_{red\ distribución} + \Delta Z_{tramo\ ascendente} + H_{tramo\ ascendente} + H_{filtrado}$$

$$Hr_{bomba} = 39,1 + 15,5 + 2,11 + 3 = 59,71 \approx 60\ m.\ c.\ a.$$

## 8. Elección de bomba sumergible para pozo.

Como se ha dicho anteriormente la bomba sumergible ha de suministrar un **caudal de 50,05 m<sup>3</sup>/h** junto a una **altura manométrica de 60m.c.a.**

### 8.1 Bomba seleccionada.

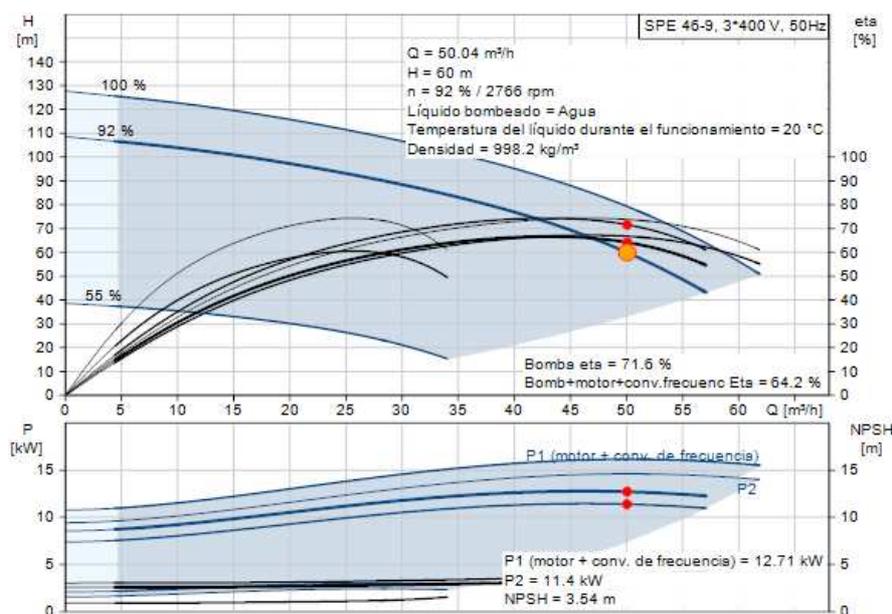
Se ha optado por la marca comercial *Grundfos*, en la gama SPE 46-9 (número de producto 99890569 en web oficial de Grundfos), u otra de características técnicas similares.

SPE es una gama de bombas sumergibles reguladas por frecuencia para aguas subterráneas. Las bombas están fabricadas en acero inoxidable. El motor de 6" es de imán permanente con alta eficiencia energética y requiere un accionamiento de frecuencia para su funcionamiento, se muestra a continuación de los datos de la bomba.



**Figura 2.** Bomba sumergible propuesta.

Curva de trabajo de la bomba sumergida en las condiciones propuestas, proporcionada por el fabricante.



**Figura 3.** Curvas de funcionamiento de la bomba seleccionada en las condiciones propuestas.

## 8.2 Especificaciones técnicas de la bomba seleccionada.

A continuación, se muestra una tabla con los parámetros más importantes del funcionamiento de la bomba.

<b>RESULTADOS OBTENIDOS PARÁMETROS DE TRABAJO DE LA BOMBA</b>	
<b><u>Datos técnicos</u></b>	
Caudal real: 50,05 m <sup>3</sup> /h	
Altura resultante de la bomba: 60m.c.a.	
Rendimiento final (bomba+motor+conv. frecuencia): 64,2%	
Revoluciones por minuto: 2766	
Potencia trabajo (motor+conv.frecuencia): 12,71KW	
Etapas bomba: 9	
<b><u>Datos convertidor frecuencia</u></b>	
CUE 3x380-500V IP20 18,5KW	
<b><u>Instalación</u></b>	
Tamaño conexión: 4 pulgadas	
Diámetro del motor: 6 pulgadas	
Válvula antirretorno: Incorporada	
Peso total de la bomba sumergible: 111 Kg	

**Tabla 13.** Datos técnicos bomba propuesta

Esta ha resultado la bomba que más se adaptaba a nuestras condiciones junto a que es una de las de menor precio.

## 9. Equipo de filtrado.

Para el equipo de filtrado se propone instalar en serie con la tubería general y en la caseta del sondeo un filtro de mallas manual cuya limpieza realizará el propietario.

Se trata de un filtro de malla manual en L, de la marca comercial Regaber (ref. FA-F3-187) con cuyas características más importantes se muestran a continuación.

<b>CARACTERÍSTICAS FILTRO MALLA</b>
Caudal máximo filtrado: 80m <sup>3</sup> /h
Presión máxima de filtrado: 100m.c.a.
Conexión: Brida 4 pulgadas
Limpieza filtro: Manual
Pérdida de carga máxima: 3m.c.a.



**Tabla 14.** Datos más relevantes del filtro escogido junto a una imagen del mismo.

## 10. Elementos singulares.

Como elementos singulares se van a destacar las válvulas solenoides seleccionadas, los demás elementos se pueden observar en el plano esquema hidráulico.

Las válvulas solenoides seleccionadas son las siguientes:

Válvula plástica GAL-675, de la marca comercial Regaber, estas están diseñadas para todo tipo de sistemas de riego con una baja pérdida de carga y con la facilidad que pueden ser pilotadas con una amplia gama de funciones de regulación y control.

Se requieren de 10 válvulas solenoides para el control del riego de las diferentes posturas adoptadas. Estas son sus características:

- Las conexiones finales son de 4 pulgadas o lo que es lo mismo 100mm de DN, mismo diámetro que la conexión de la bomba y el equipo de filtrado.



**Figura 4.** Válvula solenoide seleccionada.

### **11. Resumen de mediciones tuberías.**

En este apartado se va a agrupar el total de los metros de tuberías de cada uno de los diferentes diámetros nominales propuestos por un lado servirá para calcular el coste de estas y por otro para el correcto suministro de estas en el momento de la ejecución del proyecto.

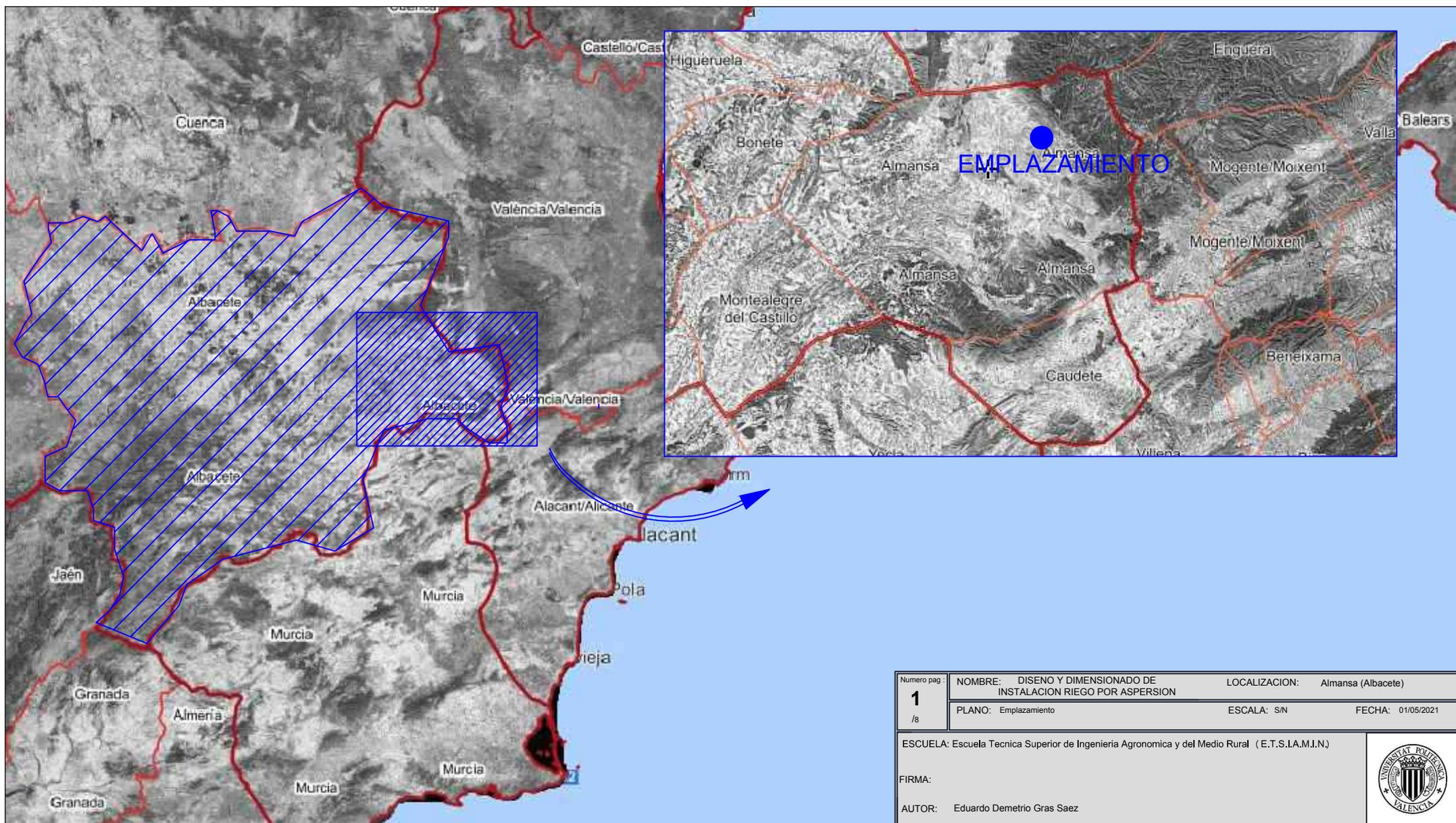
<b>Material</b>	<b>Mpa PN</b>	<b>mm DN</b>	<b>m Longitud</b>	<b>Uso propuesto</b>
PE 100 UNE	0,6	40	1125	Ramales
PE 100 UNE	0,6	50	2172	Ramales
PE 100 UNE	0,6	63	624	Terciarias
PE 100 UNE	0,6	90	288	Terciarias
PE 100 UNE	0,6	110	2195	Red transporte
Acero inox	1	100	20	Altura libre sondeo

**Tabla 15.** Resumen mediciones tuberías.



# **DOCUMENTO 3.**

## **PLANOS**



Numero pag : <b>1</b> /8	NOMBRE: DISEÑO Y DIMENSIONADO DE INSTALACION RIEGO POR ASPERSION	LOCALIZACION: Almansa (Albacete)
	PLANO: Emplazamiento	ESCALA: S/N      FECHA: 01/05/2021

ESCUELA: Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Agronomica y del Medio Rural ( E.T.S.I.A.M.I.N.)

FIRMA:

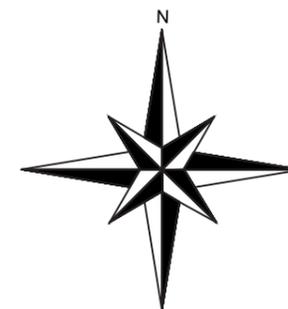
AUTOR: Eduardo Demetrio Gras Saez



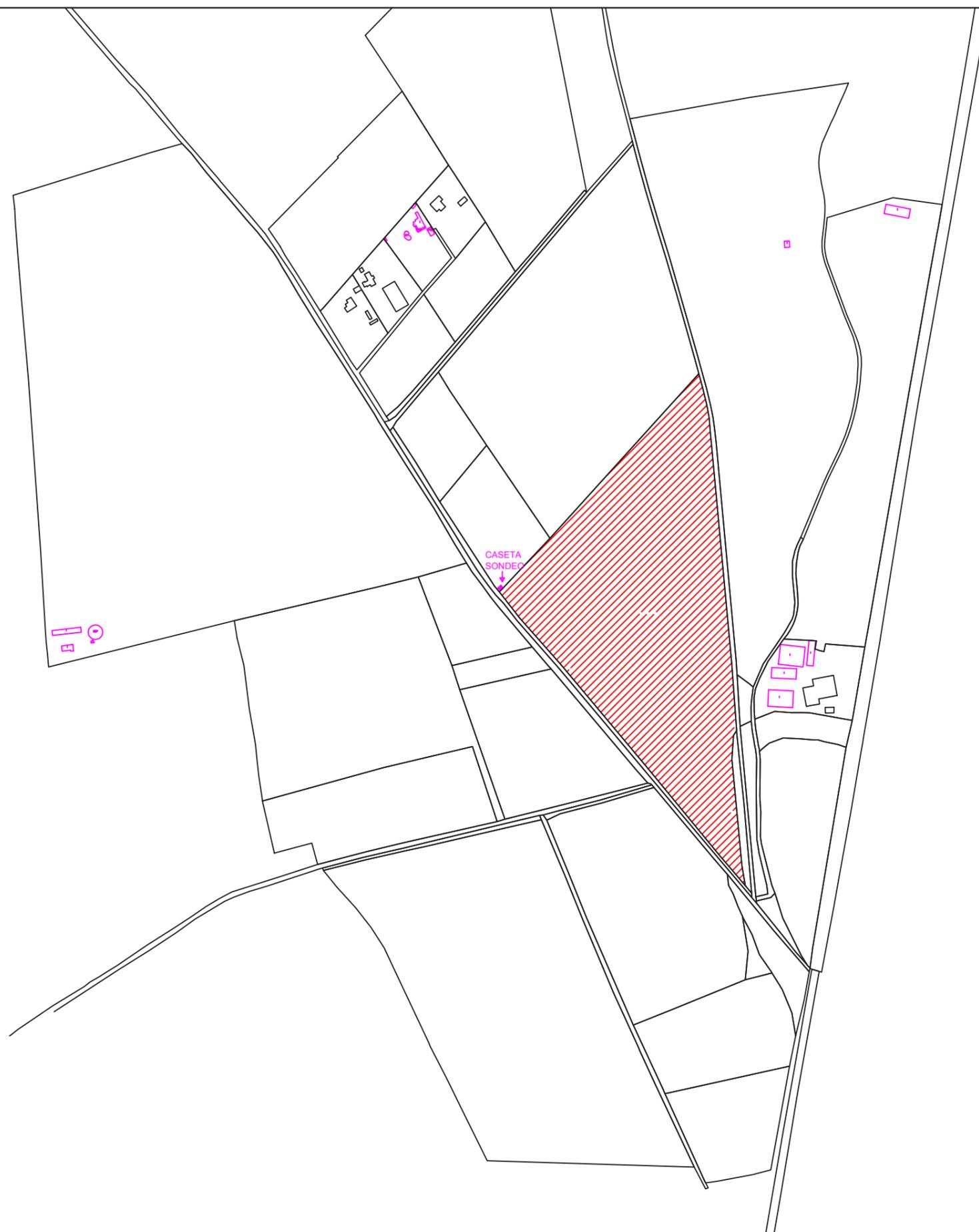


Numero pag <b>2</b>	NOMBRE: DISEÑO Y DIMENSIONADO DE INSTALACION RIEGO POR ASPERSION	LOCALIZACION: Almansa (Albacete)
PLANO: Localizacion	ESCALA: S/N	FECHA: 01/05/2021
ESCUELA: Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Agronomica y del Medio Rural ( E.T.S.I.A.M.I.N.)		
FIRMA:		
AUTOR: Eduardo Demetrio Gras Saez		



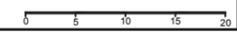


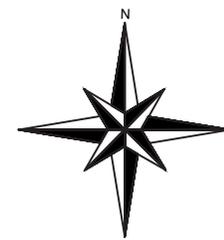
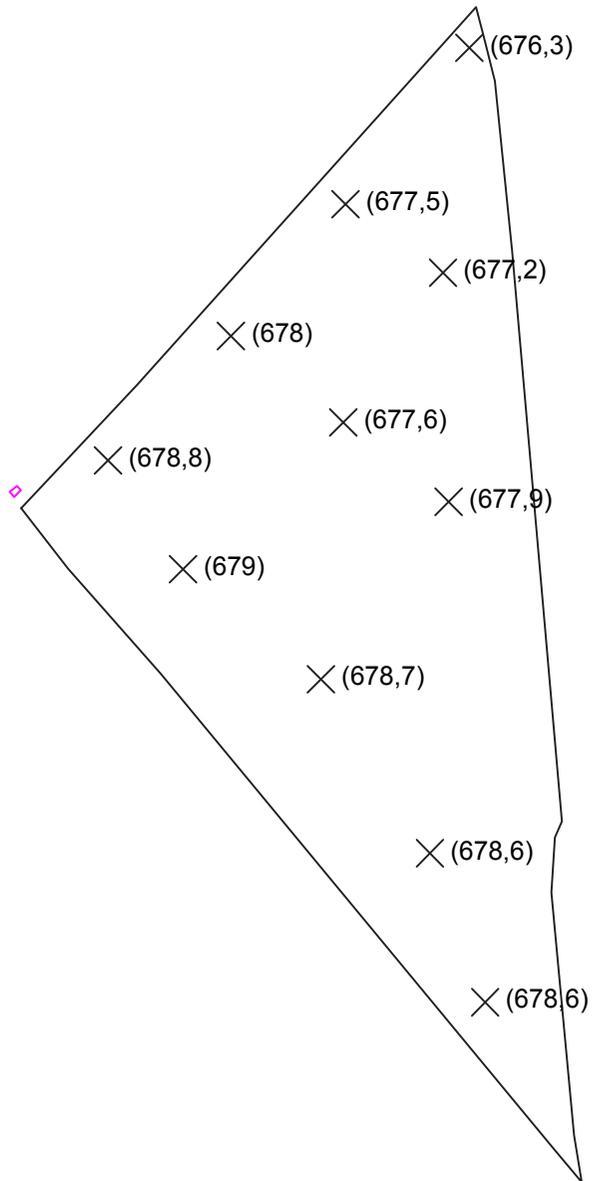
Referencia catastral: 02009A511000260000DQ
Localizacion catastral: Poligono 511, Parcela 26
Termino municipal: Almansa
Superficie del suelo: 84.441 m2
— Construcciones



 SUPERFICIE REGABLE 8,44ha  
1 PARCELA

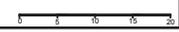
Numero pag: <b>3/8</b>	NOMBRE: DISEÑO Y DIMENSIONADO DE INSTALACION RIEGO POR ASPERSION	LOCALIZACION: Almansa (Albacete)
	PLANO: SUPERFICIE REGABLE	ESCALA: 1/5000      FECHA: 01/05/2021
ESCUELA: Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Agronomica y del Medio Rural ( E.T.S.I.A.M.I.N.)		
FIRMA:		
AUTOR: Eduardo Demetrio Gras Saez		

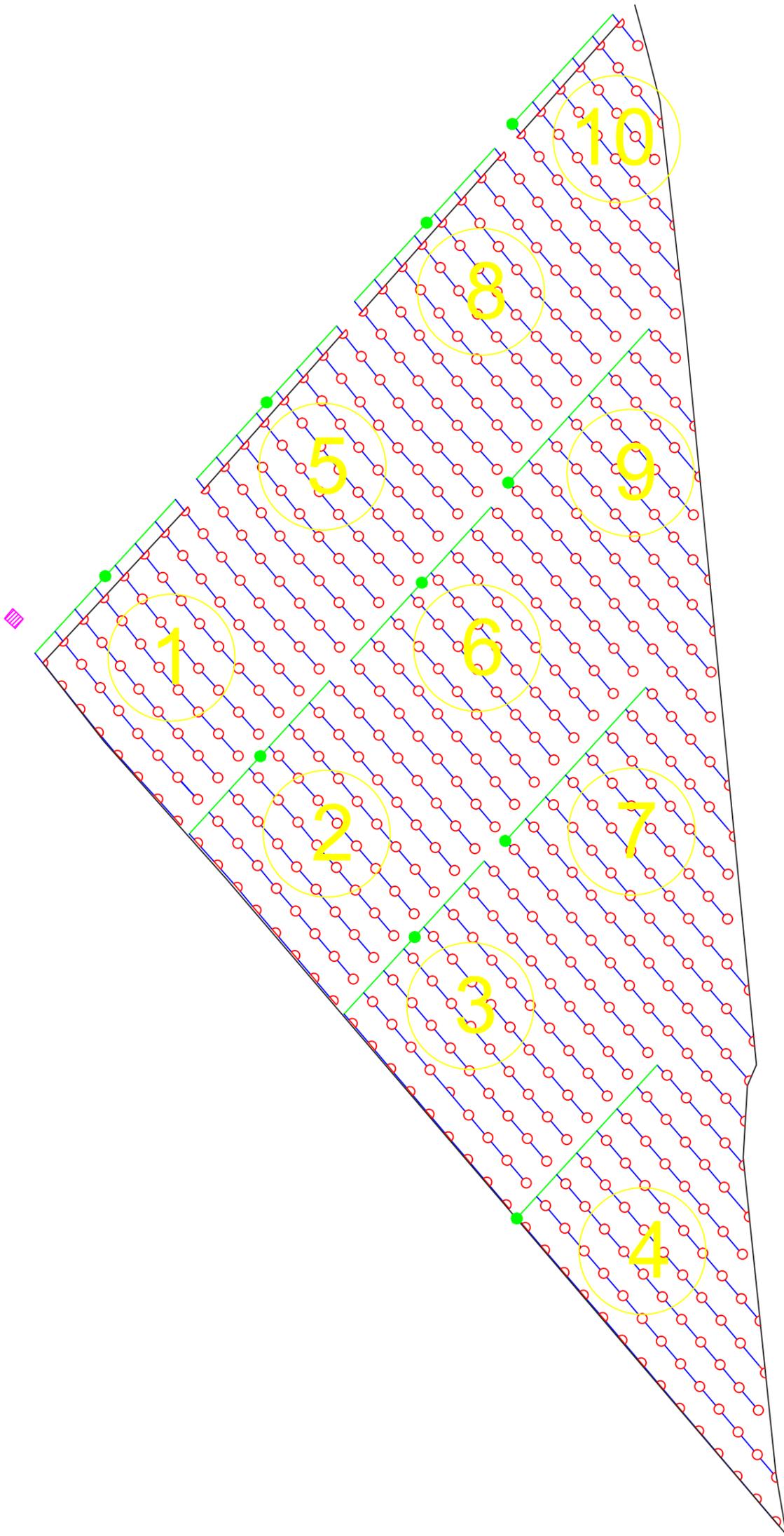




X Cotas de altura sobre el nivel del mar en la parcela de estudio

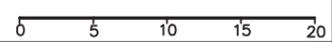
Numero pag: <b>4</b> /8	NOMBRE: DISEÑO Y DIMENSIONADO DE INSTALACION RIEGO POR ASPERSION	LOCALIZACION: Almansa (Albacete)
	PLANO: Cotas Z topograficas	ESCALA: 1/5000      FECHA: 01/05/2021
ESCUELA: Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Agronomica y del Medio Rural ( E.T.S.I.A.M.I.N.)		
FIRMA:		
AUTOR: Eduardo Demetrio Gras Saez		

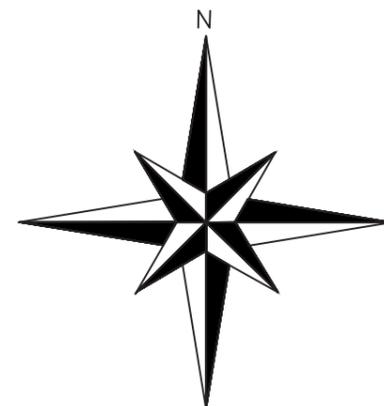




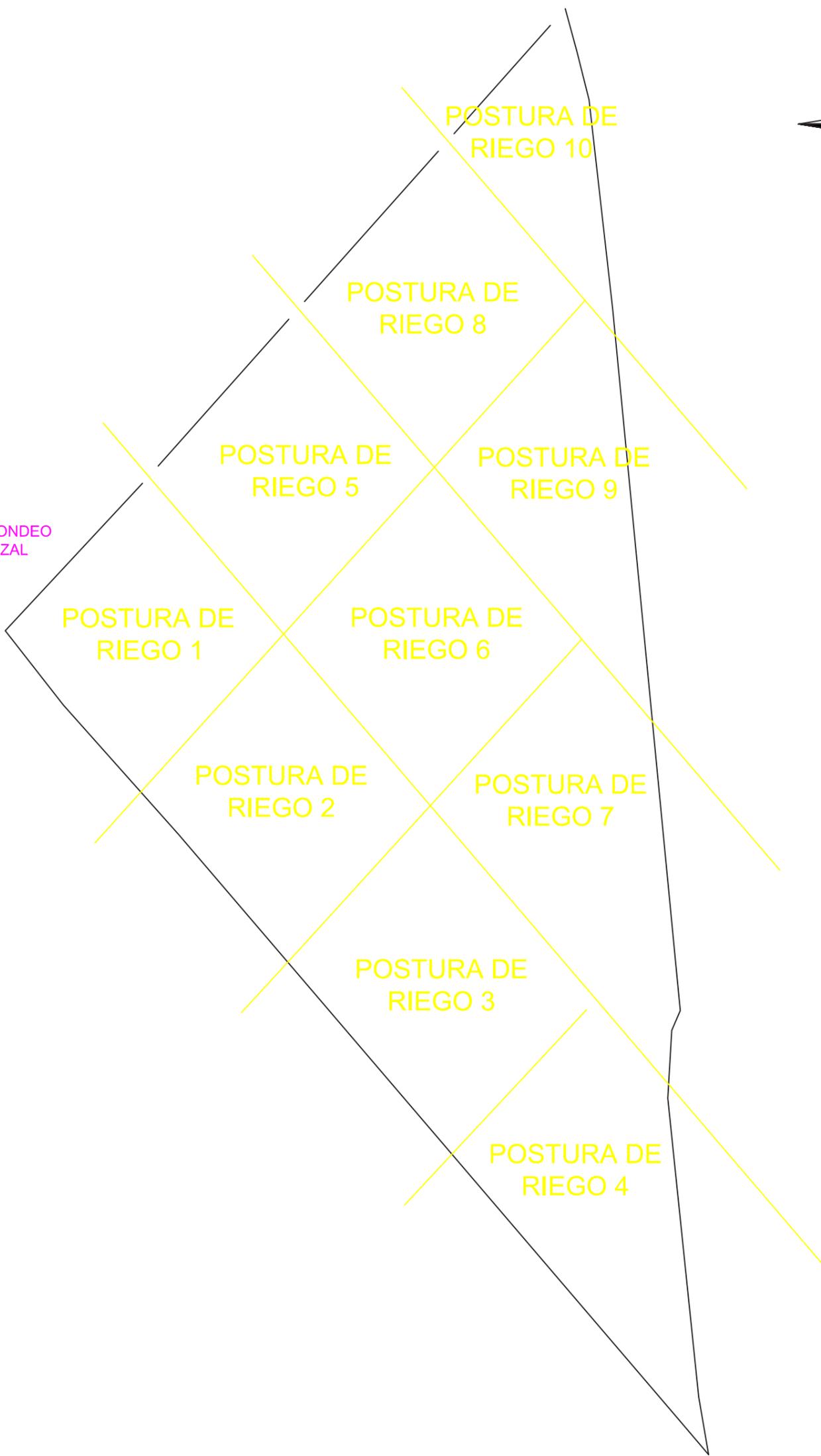
	ASPERSION CIRCULAR	AMIOS UN MANCO DE 1x17
	ASPERSION SECTORIAL	ESPERSION EN CUADRADO
	TUBERIAS TERCIARIAS	
	PUNTO ALIMENTACION TUBERIA	
	TUBERIAS RAMALES PORTA-ASPERSORES	
	CASETA SONDEO Y CAMEZA DE REGO	
<p>MATERIAL TUBERIAS Y PRESION NOMINAL (PN) SON IDENTICAS EN TODA LA INSTALACION</p> <p>MATERIAL PE 100 LINE EN 12201 Presion Nominal PN 0,6 MPa</p> <p>Dimension nominal (DN) de tuberias en cada postura de riego:</p> <p>TERCIARIAS (DN) Postura 1: 63 mm Postura 2: 63 mm Postura 3: 63 mm Postura 4: 63 mm Postura 5: 63 mm Postura 6: 63 mm Postura 7: 90 mm Postura 8: 90 mm Postura 9: 90 mm Postura 10: 63 mm</p> <p>RAMALES PORTA-ASPERSORES O LATERALES (DN) Postura 1: 40 mm Postura 2: 40 mm Postura 3: 40 mm Postura 4: 40 mm Postura 5: 40 mm Postura 6: 40 mm Postura 7: 50 mm Postura 8: 40 mm Postura 9: 50 mm Postura 10: 40 mm</p>		

Numero pag : <b>5/8</b>	NOMBRE: <b>DISEÑO Y DIMENSIONADO DE INSTALACION RIEGO POR ASPERSION</b>	LOCALIZACION: <b>Almansa (Albacete)</b>
	PLANO: <b>Dimensionado ramales porta-aspersores y terciarias</b>	ESCALA: <b>1/2000</b> FECHA: <b>01/05/2021</b>
ESCUELA: Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Agronomica y del Medio Rural ( E.T.S.I.A.M.I.N.)		
FIRMA:		
AUTOR: <b>Eduardo Demetrio Gras Saez</b>		



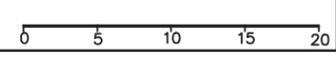


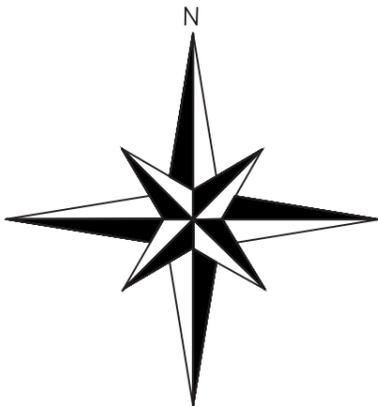
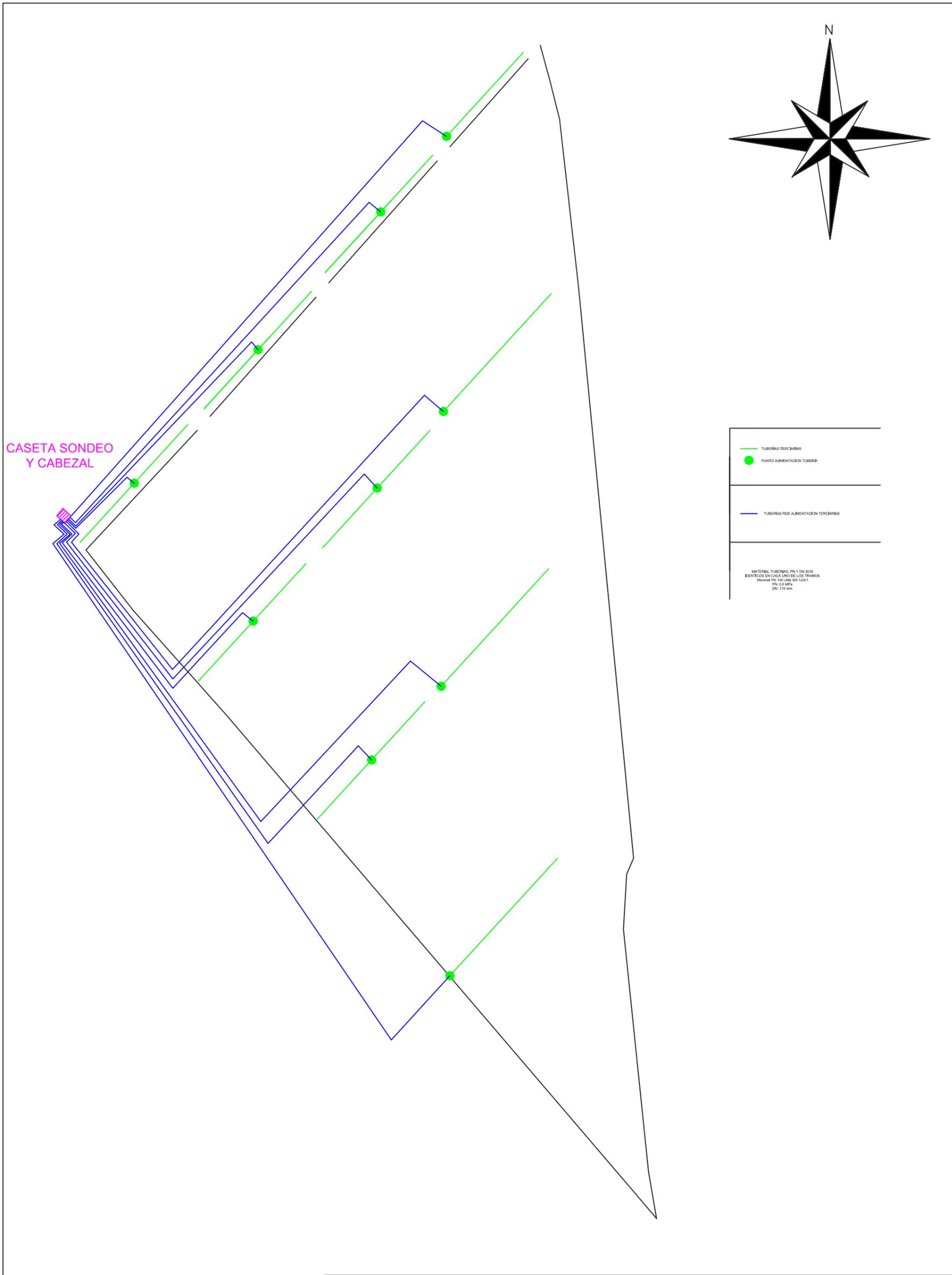
CASETA SONDEO  
Y CABEZAL



Numero pag : <b>6/8</b>	NOMBRE: <b>DISEÑO Y DIMENSIONADO DE INSTALACION RIEGO POR ASPERSION</b>	LOCALIZACION: <b>Almansa (Albacete)</b>
	PLANO: <b>DIMENSIONADO POSTURAS DE RIEGO O SECTORES</b>	ESCALA: <b>1/2000</b> FECHA: <b>01/05/2021</b>

ESCUELA: Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Agronomica y del Medio Rural ( E.T.S.I.A.M.I.N.)  
FIRMA:  
AUTOR: Eduardo Demetrio Gras Saez





	TUBERIAS TERCIARIAS
	PUNTO ALIMENTACION TUBERIA
	TUBERIAS RED ALIMENTACION TERCIARIAS

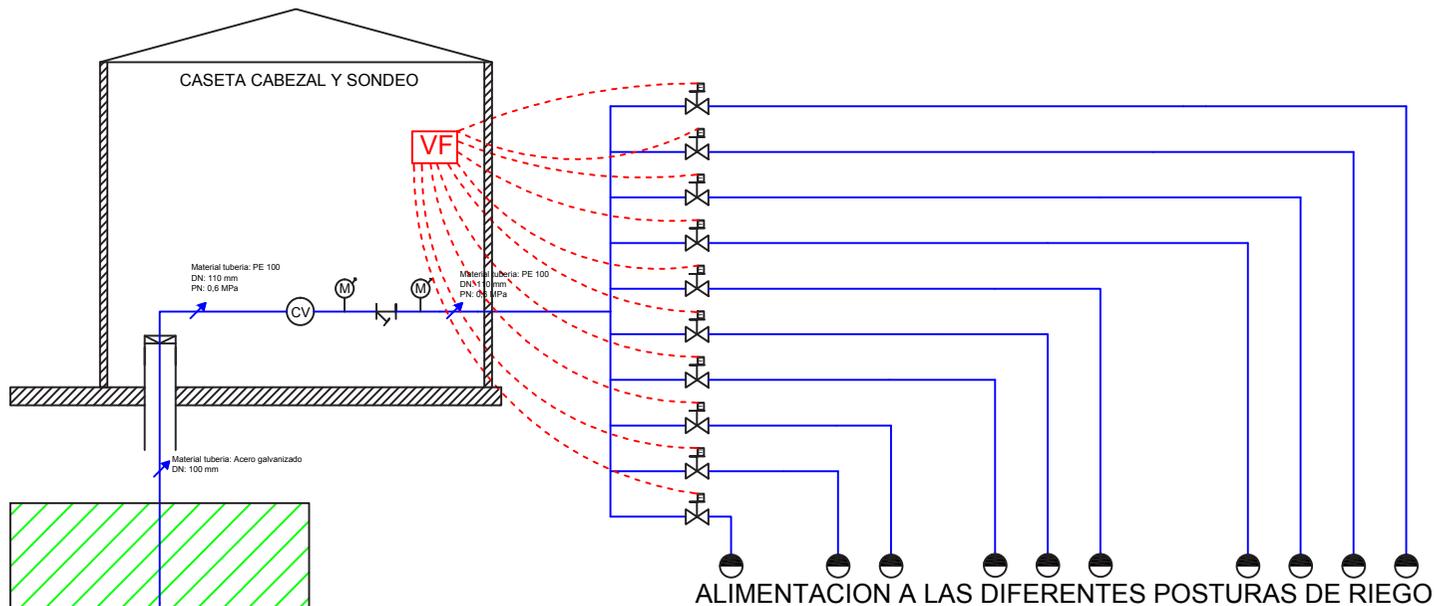
MATERIAL TUBERIAS: PVC Y DN SON  
 DIENTOS EN CADA UNO DE LOS TRAMOS  
 Material PE 100 UNO EN 12001  
 Pn: 0,6 MPa  
 Dn: 110 mm

Numero pag : <b>7</b> / <b>8</b>	NOMBRE: <b>DISEÑO Y DIMENSIONADO DE INSTALACION RIEGO POR ASPERSION</b>	LOCALIZACION: <b>Almansa (Albacete)</b>
	PLANO: <b>DIMENSIONADO RED DISTRIBUCION HASTA TERCIARIA</b>	ESCALA: <b>1/2000</b>
ESCUELA: <b>Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Agronomica y del Medio Rural (E.T.S.I.A.M.I.N.)</b>		
FIRMA:		
AUTOR: <b>Eduardo Demetrio Gras Saez</b>		

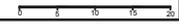
0    5    10    15    20

-  MANOMETRO
-  CONTADOR VOLUMETRICO
-  FILTRO MALLA MANUAL
-  ELECTROVALVULA
-  BOMBA
-  AGUA DEL POZO
-  VARIADOR FRECUENCIA

LAS BIFURCACIONES HACIA LAS POSTURAS DE RIEGO SE REALIZARA EN EL INTERIOR DE LA CASETA DEL CABEZAL.



<b>8</b>	NOMBRE: DISEÑO Y DIMENSIONADO DE INSTALACION RIEGO POR ASPERSION	LOCALIZACION: Almansa (Albacete)
	PLANO: Esquema hidraulico del cabezal de riego	ESCALA: SIN FECHA: 01/05/2021
ESCUELA: Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Agronomica y del Medio Rural (E.T.S.I.A.M.I.N.)		
FIRMA:		
AUTOR: Eduardo Demetrio Gras Saez		



Presupuesto

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
1.1	ACE100	m	Excavación de zanjas para alojamiento de la red de riego, de hasta 20 cm de anchura y 50 cm de profundidad, con medios mecánicos y tapado manual de la misma. Incluye: Replanteo en el terreno. Situación de los puntos topográficos. Excavación en sucesivas franjas horizontales y extracción de tierras. Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.	1.174,550	2,69	3.159,54
<b>Total presupuesto parcial nº 1 MOVIMIENTO DE TIERRAS :</b>						<b>3.159,54</b>

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
2.1	IUR020	m	<p>Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo de polietileno PE 100, de color negro con bandas de color azul, de 40 mm de diámetro exterior y 2,4 mm de espesor, SDR17, PN=10 atm, enterrada, colocada sobre lecho de arena de 10 cm de espesor, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando hasta los riñones y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería. Incluso accesorios de conexión y. Totalmente montada, conexionada y probada.</p> <p>Incluye: Replanteo y trazado. Eliminación de las tierras sueltas del fondo de la excavación. Vertido de la arena en el fondo de la zanja. Colocación de la tubería. Ejecución del relleno envolvente.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.</p>	1.125,000	4,21	4.736,25
2.2	IUR020b	m	<p>Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo de polietileno PE 100, de color negro con bandas de color azul, de 50 mm de diámetro exterior y 3 mm de espesor, SDR17, PN=10 atm, enterrada, colocada sobre lecho de arena de 10 cm de espesor, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando hasta los riñones y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería. Incluso accesorios de conexión y. Totalmente montada, conexionada y probada.</p> <p>Incluye: Replanteo y trazado. Eliminación de las tierras sueltas del fondo de la excavación. Vertido de la arena en el fondo de la zanja. Colocación de la tubería. Ejecución del relleno envolvente.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.</p>	2.172,000	5,80	12.597,60

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
2.3	IUR020c	m	<p>Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo de polietileno PE 100, de color negro con bandas de color azul, de 63 mm de diámetro exterior y 3,8 mm de espesor, SDR17, PN=10 atm, enterrada, colocada sobre lecho de arena de 10 cm de espesor, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando hasta los riñones y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería. Incluso accesorios de conexión y. Totalmente montada, conexionada y probada.</p> <p>Incluye: Replanteo y trazado. Eliminación de las tierras sueltas del fondo de la excavación. Vertido de la arena en el fondo de la zanja. Colocación de la tubería. Ejecución del relleno envolvente.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.</p>	624,000	7,66	4.779,84
2.4	IUR020d	m	<p>Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo de polietileno PE 100, de color negro con bandas de color azul, de 90 mm de diámetro exterior y 5,4 mm de espesor, SDR17, PN=10 atm, enterrada, colocada sobre lecho de arena de 10 cm de espesor, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando hasta los riñones y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería. Incluso accesorios de conexión y. Totalmente montada, conexionada y probada.</p> <p>Incluye: Replanteo y trazado. Eliminación de las tierras sueltas del fondo de la excavación. Vertido de la arena en el fondo de la zanja. Colocación de la tubería. Ejecución del relleno envolvente.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.</p>	288,000	8,20	2.361,60

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
2.5	IUR020e	m	<p>Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo de polietileno PE 100, de color negro con bandas de color azul, de 110 mm de diámetro exterior y 6,6 mm de espesor, SDR17, PN=10 atm, enterrada, colocada sobre lecho de arena de 10 cm de espesor, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando hasta los riñones y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería. Incluso accesorios de conexión y. Totalmente montada, conexionada y probada.</p> <p>Incluye: Replanteo y trazado. Eliminación de las tierras sueltas del fondo de la excavación. Vertido de la arena en el fondo de la zanja. Colocación de la tubería. Ejecución del relleno envolvente.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.</p>	2.195,000	10,34	22.696,30
2.6	IUR020f	m	<p>Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo de fundición dúctil para unión por enchufe y caña, con junta elastomérica estándar, de 100 mm de diámetro nominal, enterrada, colocada sobre lecho de arena de 10 cm de espesor, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando hasta los riñones y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería. Incluso accesorios de conexión y. Totalmente montada, conexionada y probada.</p> <p>Incluye: Replanteo y trazado. Eliminación de las tierras sueltas del fondo de la excavación. Vertido de la arena en el fondo de la zanja. Colocación de la tubería. Ejecución del relleno envolvente.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.</p>	25,000	36,88	922,00
<b>Total presupuesto parcial nº 2 TUBERÍAS :</b>						<b>48.093,59</b>

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
3.1	IUR050	Ud	BOMBA SUMERGIBLE, GRUNDFOS SPE-46-9 Incluye: Instalación en el terreno y conexión hidráulica a la tubería de abastecimiento y distribución. Relleno de la zanja. Limpieza hidráulica de la unidad. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.	1,000	10.235,00	10.235,00
<b>Total presupuesto parcial nº 3 EQUIPO BOMBEO :</b>						<b>10.235,00</b>

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
4.1	IUR100	Ud	<p>Programador electrónico para riego automático, para 8 estaciones, con 1 programa y 3 arranques diarios del programa, alimentación por transformador 230/24 V interno, con capacidad para poner en funcionamiento varias electroválvulas simultáneamente y colocación mural en interior. Incluso programación. Totalmente montado y conexionado.</p> <p>Incluye: Instalación en la superficie de la pared. Conexionado eléctrico con las electroválvulas. Conexionado eléctrico con el transformador. Programación.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	1,000	3.345,00	3.345,00
<b>Total presupuesto parcial nº 4 AUTOMATISMOS :</b>						<b>3.345,00</b>

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
5.1	IUR060	Ud	Aspersor aéreo de giro por impacto, de latón, con arco ajustable, radio de 10 a 37 m regulable con tornillo, conexión de 1/2" de diámetro. Incluso accesorios de conexión a la tubería de abastecimiento y distribución. Totalmente montado, conexionado y probado. Incluye: Instalación en el terreno y conexión hidráulica a la tubería de abastecimiento y distribución. Limpieza hidráulica de la unidad. Ajuste del caudal de agua. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.	618,000	19,32	11.939,76
<b>Total presupuesto parcial nº 5 ELEMENTOS DE LA RED :</b>						<b>11.939,76</b>

DISEÑO Y DIMENSIONADO SISTEMA RIEGO POR ASPERSIÓN  
Presupuesto de ejecución material

	<u>Importe (€)</u>
1 MOVIMIENTO DE TIERRAS .....	3.159,54
2 TUBERÍAS .....	48.093,59
3 EQUIPO BOMBEO .....	10.235,00
4 AUTOMATISMOS .....	3.345,00
5 ELEMENTOS DE LA RED .....	11.939,76
Total .....	<u>76.772,89</u>

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de SETENTA Y SEIS MIL SETECIENTOS SETENTA Y DOS EUROS CON OCHENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.

ALMANSA 05/07/2021  
INGENIERO AGRÓNOMO

EDUARDO DEMETRIO GRAS SÁEZ