

# Deliverable DC4.2:

## Guía Riego- baja presión

*Action C4.2*

Grant Agreement nº. LIFE 16 IPC/ES/000001

Towards an integrated, coherent and inclusive implementation of  
Climate Change Adaptation policy in a region: Navarre  
**(LIFE-IP NAdapta-CC)**

LIFE 2016 INTEGRATED PROJECTS CLIMATE ACTIONS

Project start date: 2017-10-02

Project end date: 2025-12-31

Coordinator:

Partners:

DISSEMINATION LEVEL		
<b>PU</b>	Public	<input type="checkbox"/>
<b>PP</b>	Restricted to other programme participants (including the Commission Services)	<input type="checkbox"/>
<b>RE</b>	Restricted to a group specified by the consortium (including Commission Services)	<input type="checkbox"/>
<b>CO</b>	Confidential, only for members of the consortium (including Commission Services)	<input checked="" type="checkbox"/>



## TABLE OF CONTENTS

<b>0. SUMMARY</b> .....	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>6</b>
<b>3. ENSAYO DE RIEGO A BAJA PRESIÓN</b> .....	<b>7</b>
3.1 DOSIS DE RIEGO.....	8
3.2 PARÁMETROS EVALUADOS.....	9
3.2.1 Humedad de suelo.....	9
3.2.2 Desarrollo vegetativo y seguimiento del estado fenológico del cultivo.....	10
3.2.3 Cosecha diferenciada por sector.....	11
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>11</b>
4.1 HUMEDAD DEL SUELO.....	11
4.2 DESARROLLO VEGETATIVO-EVALUACIÓN TEMPORAL DEL NDVI.....	14
4.3 COSECHA DIFERENCIADA.....	15
4.3.1 Análisis estadístico.....	16
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>18</b>
<b>6. GUÍA DE USO DE ASPERSORES A BAJA PRESIÓN</b> .....	<b>18</b>
6.1 USO DE ASPERSORES DE BAJA PRESIÓN EN ZONAS DE TRANSFORMACIÓN DE RIEGO.....	19
6.2 USO DE ASPERSORES DE BAJA PRESIÓN EN ZONAS DE MODERNIZACIÓN DE RIEGO.....	20
6.3 USO DE ASPERSORES DE BAJA PRESIÓN EN LADERAS.....	20
<b>Tabla 1.</b> Planificación del ensayo de aspersores a baja presión.....	8
<b>Tabla 2.</b> Pluviometría tratamientos.....	8
<b>Tabla 3.</b> Fechas de los vuelos dron.....	10
<b>Tabla 4.</b> Valores medios de NDVI para los distintos sectores de riego.....	14
<b>Tabla 5.</b> Datos promedios de rendimiento y desviación estándar.....	16
<b>Tabla 6.</b> Test ANOVA.....	17
<b>Tabla 7.</b> Superficie regadío en navarra por sistema de riego.....	18
<b>Ilustración 1.</b> Marco de riego 18 x 15T.....	6
<b>Ilustración 2.</b> Ubicación parcela ensayo.....	7
<b>Ilustración 3.</b> Ubicación de las sondas de humedad en el ensayo.....	9
<b>Ilustración 4.</b> Valores sondas de humedad para presión convencional.....	12
<b>Ilustración 5.</b> Valores sondas de humedad para baja presión en el sector 3.....	12
<b>Ilustración 6.</b> Valores sondas de humedad para baja presión en el sector 4.....	13
<b>Ilustración 7.</b> Valores sondas de humedad para baja presión en el sector 5.....	13
<b>Ilustración 8.</b> Evolución temporal de NDVI para los sectores de riego.....	15
<b>Ilustración 9.</b> Valores promedio de cosecha para los 5 tratamientos.....	16
<b>Ilustración 10.</b> Gráfico QQ-normal para comprobar normalidad de los datos.....	17
<b>Ilustración 11.</b> Origen de la electricidad para 2018 (Red Eléctrica de España).....	19

## 0. SUMMARY

The purpose of the first year of research, was to investigate with new more efficient irrigation materials, and in that sense the low pressure sprinklers were presented as a new trend of adaptation to climate change due to their high application efficiency and lower energy requirement for the irrigation.

According to this goal, a low pressure operating sprinklers trial was carried out in 2018. In these tests, in the irrigation design of 18 x 15T, conventional sprinklers models with an operating pressure of 3.5 bar were compared with new models of low pressure sprinklers with operating pressures of 2 bar and 2.5 bar.

Decreasing this pressure and maintaining the quality of irrigation, not only would it save energy, but also it would save water (ways of mitigation and adaptation to climate change). Up to date, several studies developed in this way conclude that in low pressure sprinklers treatments, the loss of irrigation water by evaporation is lower than in conventional pressure sprinklers, therefore with this type of sprinkler, irrigation water would be reduced to approximately 3%.

In 2018, it was decided to work on this line of new irrigation materials without varying the irrigation doses provided since it was not intended to introduce more variables in the trial.

During the trial, several measures were taken in order to determine the differences in the studied treatments. The parameters analyzed were soil moisture, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and harvest data. According to the results, in the cultivation of maize all the treatments behaved in a similar way, so that the pressure didn't have an impact on the crop. These results can be explained by the morphology of the maize, which contributed to the distribution of irrigation water, minimizing the effects that low pressure could have on the uniformity of irrigation. These types of sprinklers are presented as an irrigation design alternative in high crops.

In addition to this, in energy-dependent irrigation networks, reducing the pumping height in 1 bar of pressure, using low pressure sprinklers, would suppose an energy saving and consequently it would translate into a decreasing of CO<sub>2</sub> emissions.

Once this material has been tested, the research will continue in 2.019 with this direction of work but adding the variant of Regulated Deficit Irrigation.

Therefore this deliverable presents the results of the research of new materials as well as a guide to their use. In the following updates of the guide, for 31/03/2023 and 31/03/2025, the results of the rest for activities contemplated will be included (remote control system, new service to the irrigator, Regulated Deficit Irrigation, sensing system for climate, soil and crops and traceability fleets control).

## **1. INTRODUCCIÓN**

El propósito que se plateó en la primera campaña de trabajo (2018) fue investigar con nuevos materiales de riego más eficientes y en ese sentido los aspersores de baja presión se presentaban como una nueva tendencia como medida de adaptación al cambio climático debido a su mayor eficiencia de aplicación y menor requerimiento de energía para su funcionamiento.

En la primera campaña se decidió trabajar en esta línea de nuevos materiales sin variar las dosis de riego aportadas ya que no se pretendía introducir más variables en el ensayo. Una vez probado este material, y en el caso de que el resultado fuera satisfactorio se plantearía continuar con esta línea de trabajo pero añadiendo la variante del Riego Deficitario Controlado.

De esta manera en las campañas posteriores (2019-2025) se realizarán ensayos de riego deficitario controlado. En la campaña actual (2019) estos ensayos se harán en los cultivos de maíz y brócoli. Para estas parcelas de ensayo se tiene previsto además, la automatización de las dosis de riego a aportar mediante el uso del telecontrol de riego (sistemas de control remoto), por lo que la implantación de estos sistemas comenzará en 2019.

Otro de los objetivos programados para este entregable era potenciar el uso del Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR), mediante la transferencia de recomendaciones que integrarán las limitaciones al uso de recursos hídricos en las comunidades de usuarios. Para ello se está desarrollando un software de volcado y procesado automático de datos climáticos así como el desarrollo de una aplicación móvil con recomendaciones de riego y alertas climáticas. No se incluye el resultado de esta actividad ya que este proceso no se encuentra finalizado en la fecha de este entregable.

En la segunda fase de la acción C4.2 (2020-2021) y en la tercera fase (2024-2025) está previsto realizar un piloto de redes de sensorización colectiva de clima, suelo y cultivo, mientras que la introducción de sistemas de Gestión Automática de la Trazabilidad mediante aplicaciones de manejo colectivo de flotas se desarrollará también en la segunda (2020-2021) y tercera fase (2024-2025).

Por lo tanto en este entregable se presentan los resultados de la investigación de nuevos materiales así como una guía de uso de los mismos y en las actualizaciones de la guía programadas para el 31/03/2023 y 31/03/2025 se irán incluyendo el resto de resultados comentados.

## 2. ANTECEDENTES

El agua es un bien escaso y esencial para la vida que se debe conservar. Por ello, es importante implantar medidas ahorro de agua en los procesos en los que se utiliza, como es el caso de los sistemas de riego. Para reducir el consumo de agua se podría limitar la cantidad aplicada o distribuirla con mayor eficiencia evitando pérdidas innecesarias. Para conseguirlo conviene tener presente ciertas prácticas que pueden suponer una mejora en la eficiencia del uso del agua y, por tanto, una mayor disponibilidad del recurso.

A nivel del regadío, además de la gestión del agua existe la componente energética y en este sentido optimizar la eficiencia del uso de la energía eléctrica ayuda a combatir el cambio climático.

El diseño tradicional de un sistema de riego por aspersión con cobertura total enterrada y marco de riego 18 x 15T, asegura una presión mínima en boquilla de aspersor de 3.0 bar y presiones medias de funcionamiento de 3.5 bar. Disminuir esta presión sin afectar el marco de riego pero manteniendo la calidad del mismo, no solo supondría un ahorro energético, sino que también supondría un ahorro de agua. Varios estudios desarrollados por la Estación Experimental Aula Dei de Zaragoza concluyen que en tratamientos de aspersión a baja presión las pérdidas de agua de riego por evaporación y arrastre (el tamaño de gota es mayor) son menores que en aspersores a presión convencional por tanto con este tipo de aspersor se reduciría el agua de riego aplicada (aproximadamente 3%). Esta reducción de agua de riego se cita en el artículo publicado por Zapata et al. (2016).

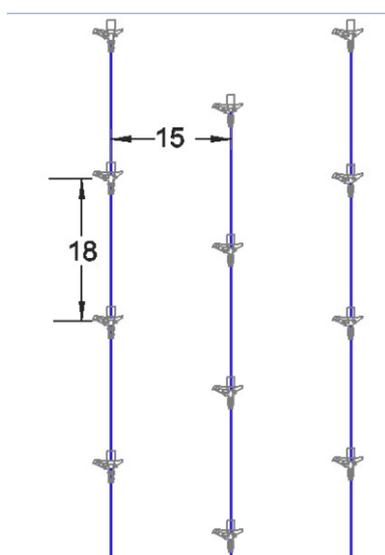


Ilustración 1. Marco de riego 18 x 15T

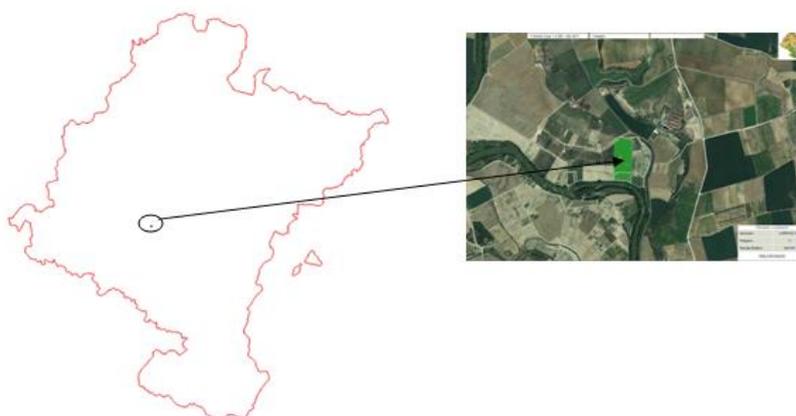
### 3. ENSAYO DE RIEGO A BAJA PRESIÓN

En la campaña 2018, se realizaron 4 ensayos de riego demostrativos en el cultivo de maíz con aspersores a baja presión.

La parcela elegida para los ensayos pertenece a la sección de cultivo en común de la Cooperativa de Artajona y está ubicada en Larraga (polígono 11 parcela 803-843), dentro de la Ampliación de la Primera fase del Canal de Navarra (ver Ilustración 2).

Esta parcela está instalada con riego por aspersión (marco 18 x 15T) y está dividida en 7 sectores o bloques de riego. Los sectores de los extremos de la parcela se excluyeron del ensayo ya que estas zonas de borde están más afectadas por el viento y en los 5 sectores restantes se probaron aspersores de baja presión a 2 bar y 2.5 bar y se compararon con un sector con aspersores a presión convencional a 3.5 bar.

En los 4 ensayos de baja presión comentados se probaron aspersores de dos casas comerciales diferentes. En ambos casos se trataba de aspersores de plástico dotados de placa deflectora en la pala mientras que en el caso de presión convencional se probaron aspersores de impacto de latón.



**Ilustración 2.** Ubicación parcela ensayo

Las condiciones de presión en cada tratamiento o sector de riego se fijaron mediante la colocación de reguladores de presión en las válvulas hidráulicas de cada sector. En una de las cañas de cada sector de riego se colocó un manómetro de lectura directa que permitía supervisar manualmente la presión de trabajo de cada riego. En la tabla 1 se muestra la planificación del ensayo.

Numero de sector	Tipo de aspersor	Modelo/Marca	Boquilla	Presión media (bar)
1	Convencional	30C SOMLO	4,4 Y 2,4	3.5

Numero de sector	Tipo de aspersor	Modelo/Marca	Boquilla	Presión media (bar)
2	Baja presión	5035 sd LP NAANDAN JAIN	4,5 y 2,5	2.0
3	Baja presión	5035 sd LP NAANDAN JAIN	4,5 y 2,5	2.5
4	Baja presión	VYR 37 SC LF	4,4 Y 2,4	2.5
5	Baja presión	VYR 36 SC LF	4,4 Y 2,4	2.5
6	Convencional	30C SOMLO	4,4 Y 2,4	3.5
7	Convencional	30C SOMLO	4,4 Y 2,4	3.5

**Tabla 1.** Planificación del ensayo de aspersores a baja presión.

### 3.1 Dosis de riego

Las dosis aplicadas de riego siguieron las recomendaciones de riego del SAR de la empresa INTIA. El método de cálculo parte de los valores de ETo (Evapotranspiración de referencia) estimados mediante el método FAO Penman-Monteith, de los coeficientes de cultivo, de la precipitación útil y de la eficiencia de riego. Los coeficientes de cultivo (kc) se obtuvieron del informe de Revisión de la publicación de FAO "Las necesidades de agua de los cultivos".

Se considera la precipitación efectiva, la fracción de lluvia que realmente puede aprovechar el cultivo, no pudiendo superar el valor 10 mm/h, ya que los excedentes serán pérdidas por escorrentía o percolación. Se supone una eficiencia del riego por aspersión del 85% y no se tiene en consideración la reserva de agua del suelo.

Las dosis de riego a aplicar en todos los sectores fue la misma. En el caso de los sectores a baja presión se empleó más tiempo de riego ya que la pluviometría es inferior a la manejada en los sectores testigos con aspersores convencionales. En la tabla 2 se muestra la comparativa de pluviometrías para los diferentes sectores de riego. El tiempo de riego se ajusta a la diferente pluviometría de manera que el incremento de los tiempos de riego para los aspersores de baja presión fue de 29%, 18%, 32 % y 16 % para los sectores 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

Aspersor	Presión (bar)	Caudal (l/h)	Radio (m)	Pluviometría (mm/h)
<b>30C SOMLO</b>	3.5	1.794	15,0	6,6
<b>5035 sd LP NAANDAN JAIN</b>	2.0	1.360	13,5	5,1
<b>5035 sd LP NAANDAN JAIN</b>	2.5	1.520	14,0	5,6
<b>VYR 37 SC LF</b>	2.5	1.344	14,0	5,0
<b>VYR 36 SC LF</b>	2.5	1.548	14,0	5,7

**Tabla 2.** Pluviometría tratamientos

## 3.2 Parámetros evaluados

La parcela se sembró el 22 de mayo de 2018 con la misma variedad de maíz.

Durante todo el ensayo se tomaron varias medidas con el fin de determinar las diferencias en los tratamientos estudiados. Los parámetros analizados fueron los siguientes:

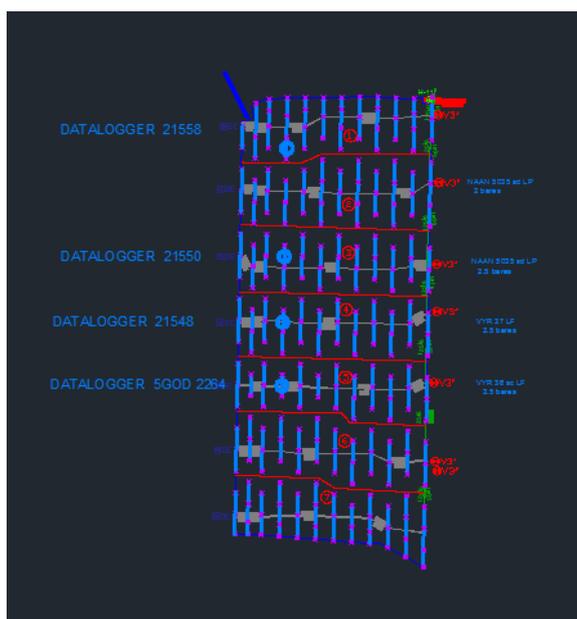
- N** Humedad de Suelo.
- N** Desarrollo vegetativo y seguimiento del estado fenológico del cultivo.
- N** Cosecha diferenciada por sector.

### 3.2.1 Humedad de suelo

Durante toda la campaña de riego se realizó un seguimiento de la humedad en suelo mediante sondas de humedad tipo 10HS de Labferrer. En los sectores 1, 3, 4 y 5 se colocaron 2 puntos de monitorización con dos sondas de humedad a diferentes profundidades (15 y 30 cm de profundidad). El tipo de sensor colocado es capacitivo del tipo FDR (Frequency Domain Reflectometry, Reflectometría en el dominio de la frecuencia) el cual mide la constante dieléctrica o permitividad del suelo para calcular su contenido de humedad.

El sector 1 marca la evolución de la humedad del sector convencional (a 3.5 bares) y el resto de sectores monitorizan la humedad a 2.5 bares.

La fracción volumétrica del suelo ocupada por agua tiene gran influencia en la permitividad dieléctrica del suelo ya que su valor dieléctrico (80) es mucho mayor que el de los otros constituyentes del suelo. Por este motivo, cuando la cantidad de agua del suelo varía, las Sondas de Contenido de Humedad del Suelo detectan y miden esta variación y la relacionan directamente con el cambio en el contenido de agua. Las medidas de las sondas se recogieron mediante dataloggers EM50 manuales. Cada semana se llevó a cabo el volcado de los datos y análisis en gabinete.



**Ilustración 3.** Ubicación de las sondas de humedad en el ensayo.

### 3.2.2 Desarrollo vegetativo y seguimiento del estado fenológico del cultivo

El desarrollo vegetativo del maíz se evaluó mediante imágenes obtenidas en plataforma DRON. Se realizaron cuatro vuelos sobre la parcela en diferentes fechas con el objetivo de obtener la ortofotografía RGB georeferenciada de alta resolución de las zonas de cultivo durante los estadios fenológicos más representativos del maíz, estados BBCH 18, 51, 69 y 83.

De estas imágenes se obtuvo el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). Este valor se calculó para cada sector de riego.

La imagen NDVI se obtiene aplicando la siguiente ecuación a las imágenes de reflectividad de las bandas del IRC y del rojo. La ecuación del NDVI es la siguiente:

$$\frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R}$$

Donde:

$\rho_{IRC}$  es la reflectividad del píxel en el infrarrojo cercano y  $\rho_R$  la reflectividad en el rojo. Al ser un índice normalizado, sus valores varían entre -1 y 1.

Para el análisis de datos se empleó el software QGIS. QGIS es un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto que crea, edita, visualiza, analiza y publica información geoespacial. Como capa vectorial se tomaron los sectores de riego donde estaban los tratamientos una vez aplicado un buffer de 15 metros. El buffer se aplica con el objetivo de que no influyan en los datos de un tratamiento el riego de los aspersores de otro tratamiento.

Como capa ráster se emplean los archivos con extensión tiff obtenidos del vuelo dron en las 4 fechas señaladas en la tabla 4.

Nombre del estadio	Fechas	Estado BBCH	Descripción
<b>Desarrollo de las hojas (tallo principal)</b>	08/7/2018	18	8 hojas desplegadas.
<b>Inicio salida penacho</b>	26/7/2018	51	El penacho es detectable en lo alto de la caña.
<b>Fin floración (tallo principal)</b>	17/8/2018	69	Estigmas completamente secos.
<b>Pastoso temprano</b>	29/8/2018	83	Maduración de frutos y semillas: granos blandos con alrededor del 45 % de materia seca

**Tabla 3.** Fechas de los vuelos dron.

Para el seguimiento del estado del desarrollo vegetativo se utilizó la plataforma WEBGIS de asesoramiento, sigAGROasesor de INTIA (<https://www.agroasesor.es>). Esta plataforma está enfocada al asesoramiento de precisión a nivel de parcela agrícola en variedades, fertilización, riego, plagas y enfermedades e incorpora información precisa y actual en meteorología, edafología y teledetección.

### **3.2.3 Cosecha diferenciada por sector**

Una vez alcanzada la madurez fisiológica del grano se procedió a cosechar la parcela el 15 de noviembre de 2018. Las variables que se midieron fueron rendimiento final en cosecha (kg/ha) y humedad de grano (%).

Para esta labor se empleó la cosechadora de ensayos de INTIA. Se tomaron muestras de cosecha de cada tratamiento en las 4 calles centrales del ensayo (4 repeticiones). Las muestras consistieron en cosechar 2 líneas de maíz de 18 metros cada línea. El espaciamiento entre las líneas es de 0.7 m, por lo que se controló una anchura de 1.4 m. Para el correcto pesado de los tratamientos es necesario subdividir cada tratamiento en 2 sub ensayos, por lo que los datos de cosecha se corresponden con dimensiones de 9 m x 1.4 m.

## **4. RESULTADOS**

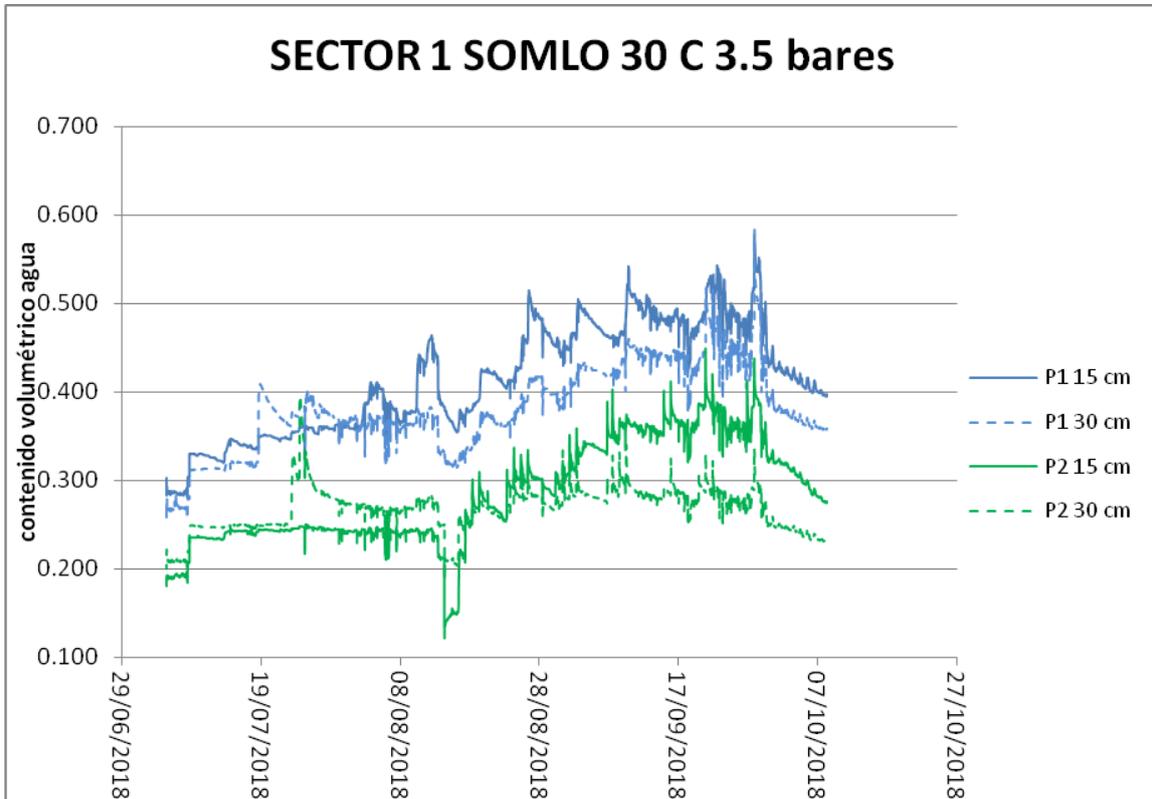
Previamente a presentar los resultados es necesario caracterizar desde el punto de vista agroclimático la campaña en la que se realizaron los ensayos.

Si se comparan los datos agroclimáticos de la campaña 2018 con las medias de la serie de 10 años correspondientes a las campañas 2008-2017 se tiene que la evaporación de referencia de la campaña de estudio ha sido de 663 mm, valor ligeramente inferior a la media de la serie de referencia con 680 mm. Las precipitaciones de la campaña 2018 fueron muy similares a la media de los 10 años tomados como referencia con un valor de 134 mm. En cuanto a la velocidad de viento, en la campaña de estudio este valor (2.12 m/s) ha resultado inferior al valor medio de los 10 años tomados como referencia (2.54 m/s). Estos datos confirman que la campaña 2018 tuvo en general un comportamiento similar a la media de los últimos 10 años.

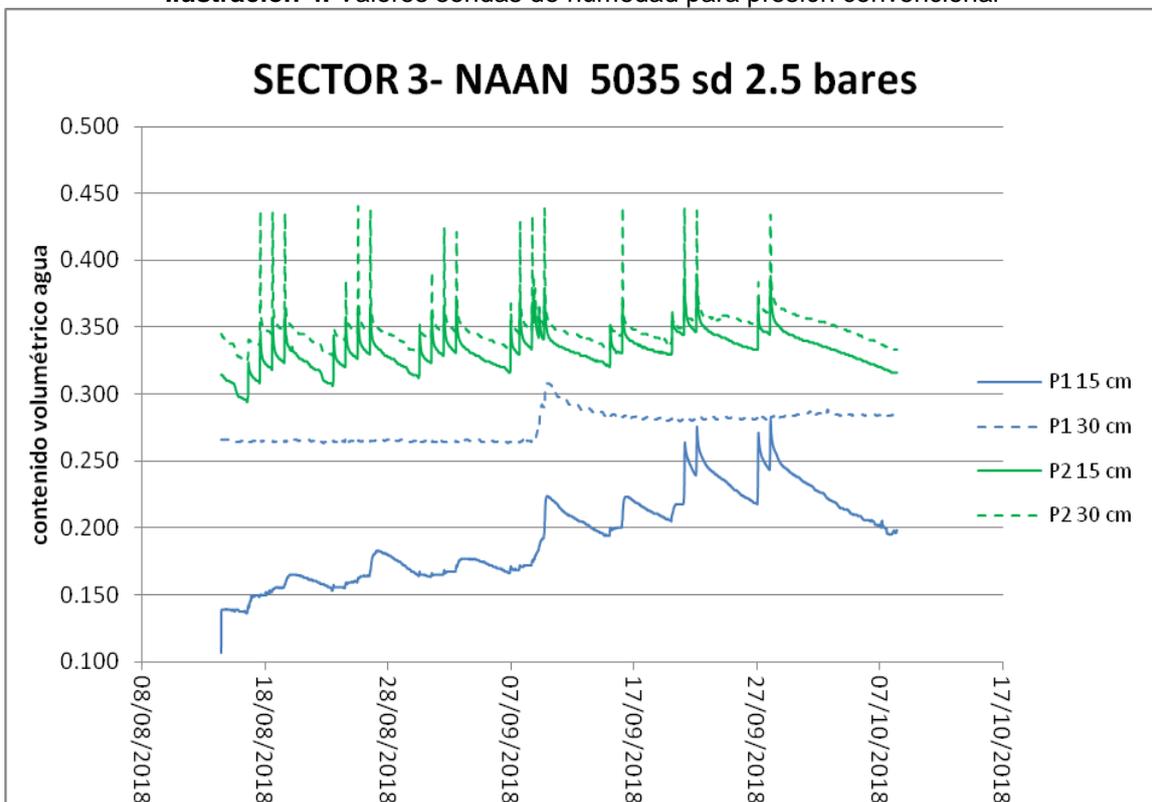
### **4.1 Humedad del suelo**

Los valores de las sondas no se han evaluado como valores absolutos, ya que existen factores inherentes a la colocación de los sensores que hacen que la interpretación de las medidas sea más correcta en valores relativos. De la misma manera durante la campaña se detectaron datos erróneos en algunas de las sondas, por lo que esos datos no se tuvieron en cuenta a la hora de analizar los datos.

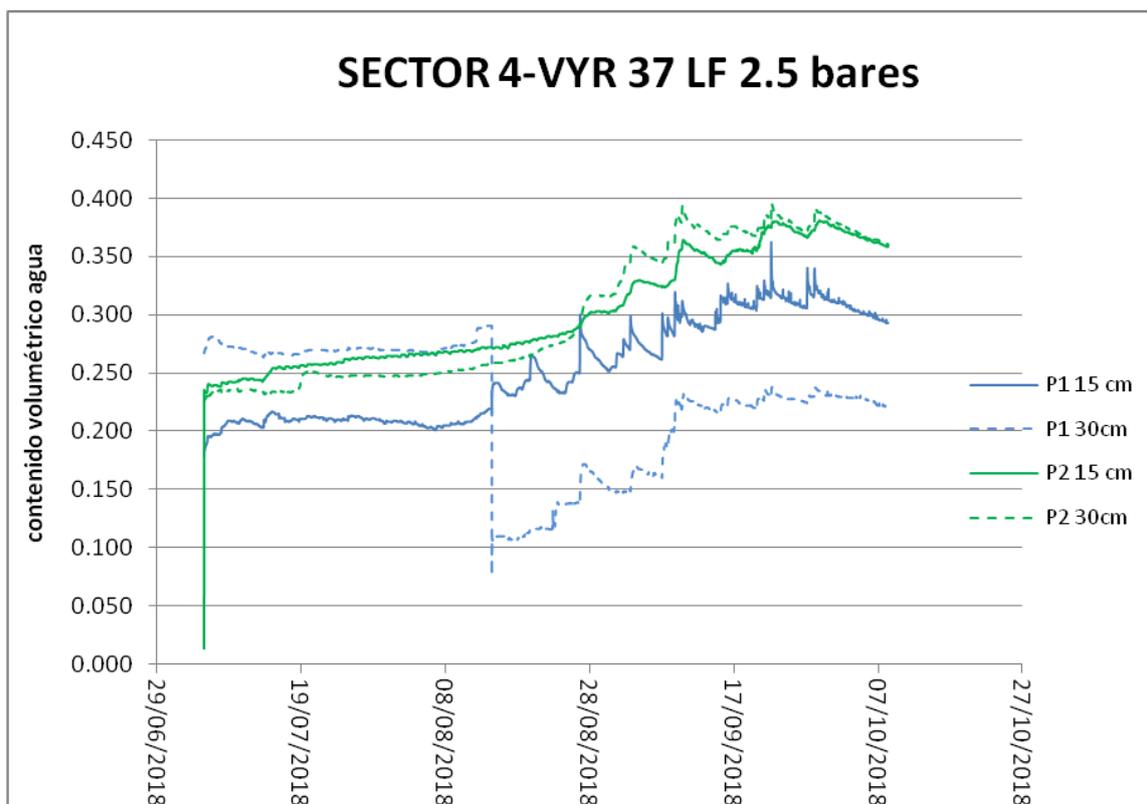
En las Ilustraciones 4, 5 6 y 7 se muestran los resultados de los sensores para los distintos tratamientos durante toda la campaña de riego.



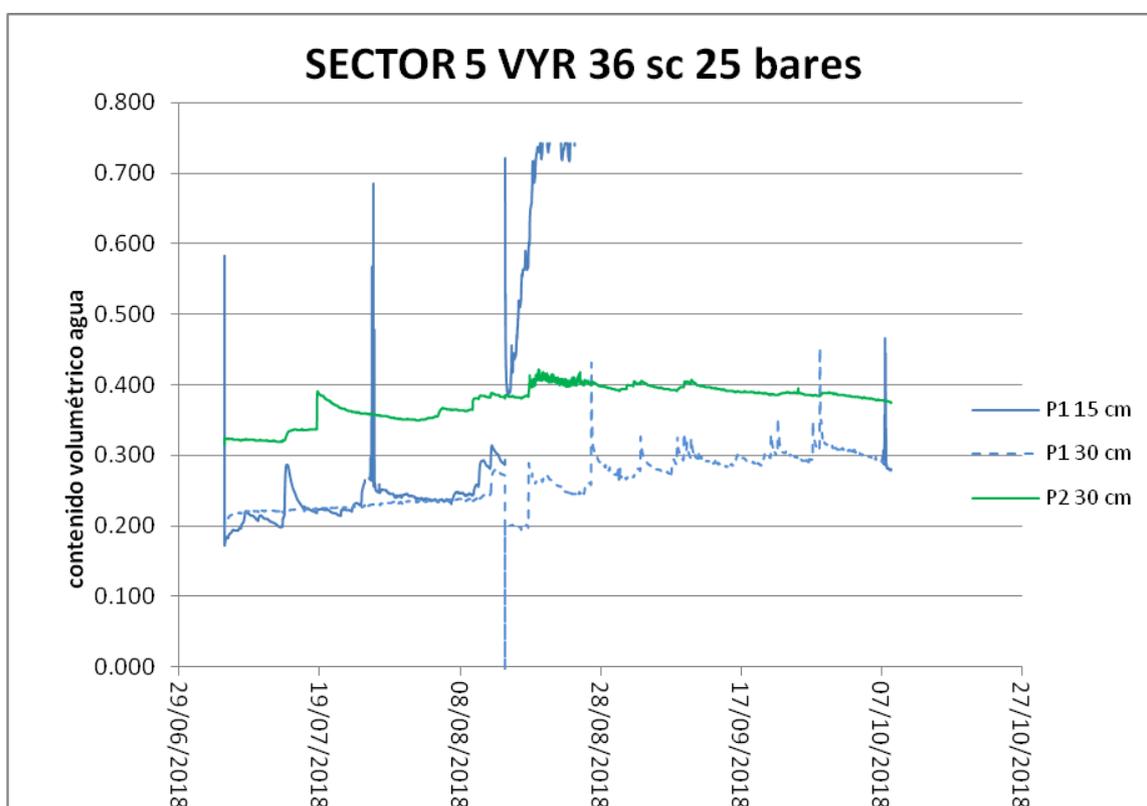
**Ilustración 4.** Valores sondas de humedad para presión convencional



**Ilustración 5.** Valores sondas de humedad para baja presión en el sector 3



**Ilustración 6.** Valores sondas de humedad para baja presión en el sector 4.



**Ilustración 7.** Valores sondas de humedad para baja presión en el sector 5

La tendencia general en los 4 tratamientos es que la humedad del suelo ha aumentado a lo largo de la campaña de riego. La reserva del agua del suelo termina con una cantidad mayor que la inicial, por lo que se deduce de manera general que no ha faltado agua en ningún tratamiento y el suelo ha ido acumulando agua.

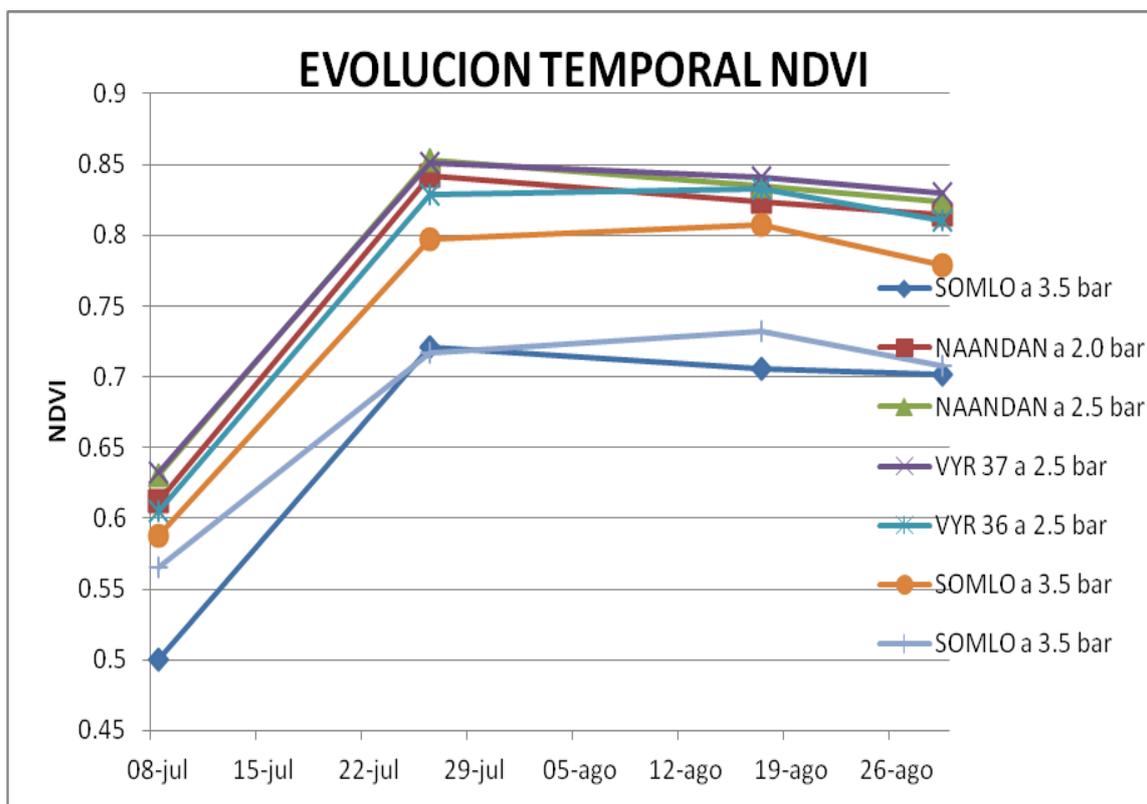
A la vista de los resultados no se aprecian diferencias en la forma de reparto del agua entre los tratamientos estudiados, por tanto la diferente pluviometría de los tratamientos no se refleja en diferencias apreciables en el reparto de agua a 15 y 30 cm para esta parcela. El tiempo en el que las sondas reaccionan ante un evento de riego es similar en todos los tratamientos.

## 4.2 Desarrollo vegetativo-Evaluación temporal del NDVI

En la tabla 4 se muestran las medias de los valores de los índices NDVI en las 4 fechas para los distintos sectores de riego o tratamientos y en la Ilustración 8 se representa la evolución temporal del NDVI.

FECHAS	SOMLO 3.5 bar	NAANDAN 2.0 bar	NAANDAN 2.5 bar	VYR 37 2.5 bar	VYR 36 2.5 bar	SOMLO 3.5 bar	SOMLO 3.5 bar
8-julio	0.50024	0.61210	0.62992	0.63230	0.60472	0.58784	0.56565
26-julio	0.72077	0.84167	0.85297	0.85138	0.82860	0.79758	0.71704
17-agosto	0.70594	0.82391	0.83537	0.84087	0.83296	0.80766	0.73237
29-agosto	0.70198	0.81475	0.82347	0.83013	0.81001	0.77942	0.70794

**Tabla 4.** Valores medios de NDVI para los distintos sectores de riego.



**Ilustración 8.** Evolución temporal de NDVI para los sectores de riego

La evolución de los datos sigue un patrón similar para todos los tratamientos estudiados. La curva presenta un máximo de valor de NDVI correspondiente a la segunda fecha estudiada, en el inicio de salida penacho disminuyendo ligeramente el valor hasta el estadio de pastoso temprano.

Los cuatro sectores regados con baja presión son los que mayores valores de NDVI proporcionan. El mayor valor del NDVI se obtiene en el tratamiento correspondiente al sector regado con aspersores VYR 37 a 2.5 bar.

Los menores valores de NDVI se dan en los sectores a 3.5 bares. Los sectores de los bordes son los que menor valor presentan pero estos no deben servir como comparativa de los aspersores convencionales al estar afectados por el efecto borde.

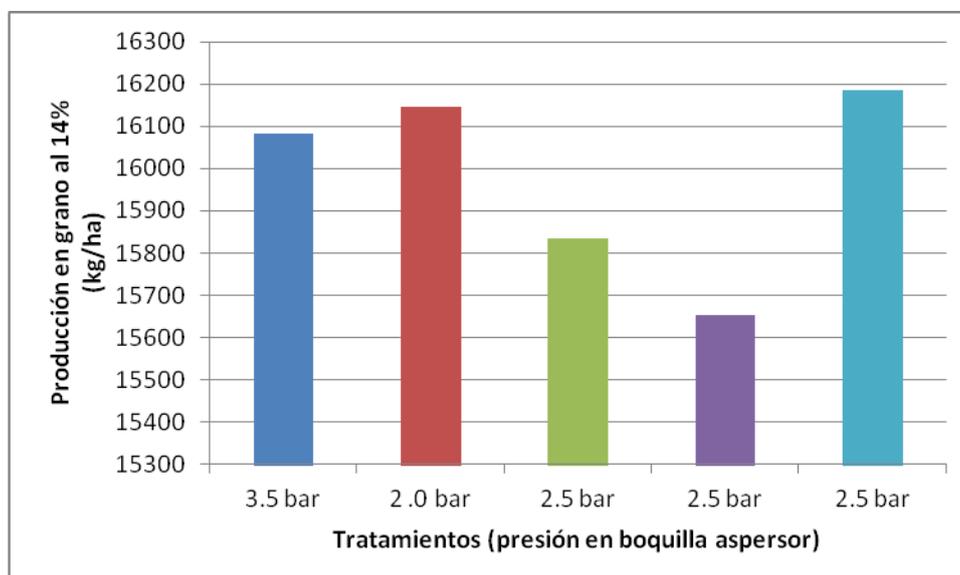
### 4.3 Cosecha diferenciada

Los datos de cosecha se deben referenciar al mismo contenido de humedad, 14%. Para ello se elabora una tabla con el factor de conversión al 14%.

En la Tabla 5 se muestra el valor promedio de todas las muestras tomadas para cada tratamiento con el rendimiento corregido al 14% de humedad, así como la desviación estándar y en la Ilustración 9 se pueden consultar estos datos en formato de gráfico.

SECTOR	ENSAYO	RDTO (kg/ha)	DESVIACION ESTANDAR
2	5035 sd LP_NAANDAN 2.0 bar	16.147,40	361,00
3	5035 sd LP_NAANDAN 2.5 bar	15.833,00	343,00
4	VYR 37 2.5 bar	15.653,77	573,61
5	VYR 36 2.5 bar	16.185,10	258,55
6	SOMLO 3.5 bar	16.081,92	541,11

**Tabla 5.** Datos promedios de rendimiento y desviación estándar.



**Ilustración 9.** Valores promedio de cosecha para los 5 tratamientos

### 4.3.1 Análisis estadístico.

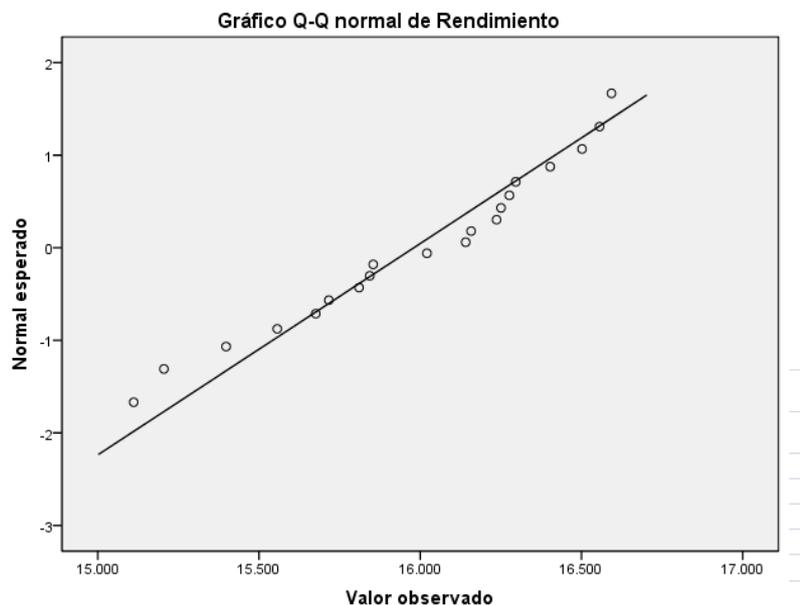
Existen varias pruebas estadísticas que permiten comparar las medias de una variable continua entre dos o más grupos. Cada una de estas pruebas ha sido diseñada para poder ser aplicadas cuando se cumplen una serie de supuestos necesarios, bajo diferentes condiciones de aplicación.

Prácticamente todas las hipótesis se pueden analizar bajo una base paramétrica o una base no paramétrica. En general, las pruebas paramétricas exigen que se cumplan una serie de supuestos como la normalidad en la distribución de la variable, la igualdad de varianzas y la independencia de las observaciones.

Se realiza un estudio de normalidad mediante el gráfico QQ-normal (Ilustración 10). Del análisis de este gráfico se deduce que los datos siguen una distribución normal, por lo que se elige el test estadístico ANOVA.

En el test ANOVA, se considera que la variable analizada (rendimiento) depende de un sólo factor, de manera que las causas de su variabilidad se engloban en una componente aleatoria que se denomina error experimental.

Los resultados del test ANOVA se pueden consultar en la Tabla 6.



**Ilustración 10.** Gráfico QQ-normal para comprobar normalidad de los datos.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Modelo corregido</b>	834039.411	4	208509.853	1.113	0.387
<b>Intersección</b>	5107359171.919	1	5107359171.919	27264.156	0.000
<b>Tratamiento</b>	834039.411	4	208509.853	1.113	0.387
<b>Error</b>	2809930.697	15	187328.713		
<b>Total</b>	5111003142.026	20			
<b>Total corregida</b>	3643970.108	19			

**Tabla 6.** Test ANOVA

De los datos de la Tabla 4 se deduce que las diferencias entre los rendimientos son no significativas, es decir el factor de la presión no ha influido en el rendimiento. Todos los tratamientos se comportaron de igual forma en lo que al rendimiento se refiere.

## 5. CONCLUSIONES

Según los resultados de los ensayos realizados en la campaña 2018 y para el cultivo del maíz, todos los sectores/tratamientos se comportaron de manera similar, por lo que la presión no tuvo una repercusión en el cultivo.

La diferencia de presión entre los tratamientos no tuvo repercusión en el reparto de agua en el suelo, ni en el vigor vegetativo, ni rendimiento ya que no hubo diferencias significativas en esta variable entre tratamientos.

Estos resultados se pueden explicar por la propia morfología del maíz, cultivo de porte alto, que contribuyó a la distribución del agua de riego minimizando los efectos que sobre la uniformidad de riego pudieron tener los sectores a baja presión. Las menores pérdidas por evaporación y arrastre en los tratamientos con baja presión pueden explicar que las diferencias en uniformidad no hayan afectado a la producción.

## 6. GUÍA DE USO DE ASPERSORES A BAJA PRESIÓN

A nivel de instalación de riego en parcela, la correcta elección de los materiales y la fase de diseño de la parcela se consideran fundamentales de cara a garantizar la calidad de riego de una instalación. Un sistema bien diseñado y manejado puede producir ahorros importantes de agua y de energía, aumentando la rentabilidad del cultivo.

Según datos del Servicio de oferta Agroindustrial (SOA) de INTIA, en Navarra se dispone de 119.472 hectáreas de regadío. El 32% de esta superficie regable requiere de energía para su funcionamiento, siendo la altura media de bombeo de 94 metros.

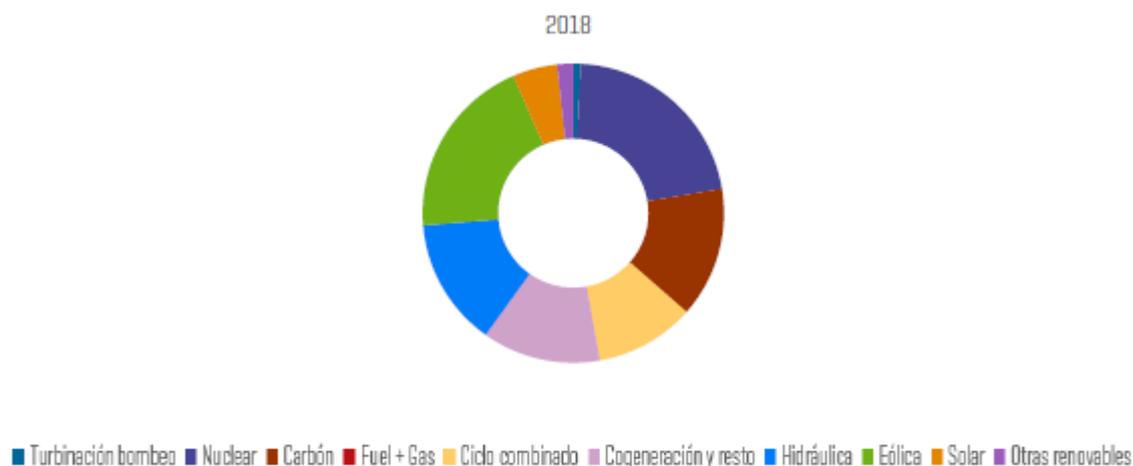
Sistema de riego	Dependencia energética	Superficie (ha)
Sistema de riego por superficie	Sin bombeo	53.825
	Con bombeo	14.541
Sistema de riego por presión	Sin bombeo	27.019
	Con bombeo	24.087

**Tabla 7.** Superficie regadío en Navarra por sistema de riego

Los diseños de redes colectivas de riego en Navarra se diseñan de manera que se garantiza una presión de consigna de 54 metros de presión aguas arriba del hidrante con el objetivo de garantizar presiones medias de funcionamiento en boquilla de aspersor de 35 m.

En redes dependientes de energía, disminuir la altura de bombeo en 10 metros por el uso de aspersores de baja presión supondría un ahorro energético de 0.045 KWh por cada m<sup>3</sup> de agua bombeada (este dato se obtiene para un rendimiento de bombeo estimado en un 60%).

Este ahorro energético se traduce también en una disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>. Para conocer el factor de conversión entre KWh y Kg CO<sub>2</sub> se ha utilizado como fuente la Red Eléctrica de España. Para 2018 el mix de producción limpia de la red eléctrica peninsular estimada es de 0.246 kg CO<sub>2</sub>/ KWh.



**Ilustración 11.** Origen de la electricidad para 2018 (Red Eléctrica de España)

Reducción de la huella de Carbono =  $0.045 \text{ KWh}^* \times 0.246 \text{ kg CO}_2 / \text{KWh} = 0.011 \text{ kg CO}_2$  por cada m<sup>3</sup> de agua bombeada.

La disminución de la altura de bombeo en 10 metros implicaría un importante ahorro en la Huella de Carbono, año tras año.

Con los resultados del ensayo realizado en la campaña 2018 los aspersores de baja presión se presentan como una alternativa de diseño en cultivos de porte alto. Es preciso diferenciar el uso de estos aspersores en zonas de transformación, zonas nuevas de regadío, o zonas regables en las que se prevé la modernización de las instalaciones de coberturas.

## 6.1 Uso de aspersores de baja presión en zonas de transformación de riego.

- N** Los aspersores de baja presión requieren menos energía con lo cual la red de riego se diseñaría con menos requerimiento energético.
- N** En redes dependientes de energía la disminución de la altura de bombeo además de un ahorro económico también implicaría un ahorro en la huella de carbono.
- N** El valor de la pluviometría es menor en los aspersores de baja presión, por lo que los diseños de riego en parcela deberían tender menos sectores de riego. De esta manera la parcela no emplearía más tiempo de riego y el confort de riego para el agricultor sería similar al de los diseños con mayor valor de pluviometría.

## 6.2 Uso de aspersores de baja presión en zonas de modernización de riego.

En los regadíos presurizados surgen dos posibilidades:

- N** Zonas que riegan con presión natural, sin dependencia energética. Estas zonas tienen caracterizada una cota a partir de la cual no se garantiza el riego por aspersión con aspersores tradicionales. El uso en estas zonas marginales de aspersores de baja presión supone una alternativa a los cultivos de riego por goteo a los que se acaban destinando dichas zonas. En la fase de diseño, las parcelas se deberían diseñar en menos sectores de riego.
- N** Zonas que riegan desde un bombeo y que tienen la instalación de riego en parcela hecha. En estas zonas el uso de aspersores de baja presión supondría un ahorro en la altura de bombeo pero por contrapartida se necesitaría más tiempo de riego para poder satisfacer las necesidades de riego de los cultivos, lo que se traduciría en un mayor número de funcionamiento de las bombas. En este caso se recomienda realizar un estudio pormenorizado de la zona regable con la alternativa de cultivo y características del bombeo.

## 6.3 Uso de aspersores de baja presión en laderas

En zonas de laderas, con pendientes pronunciadas es necesario evaluar la relación entre la velocidad de aplicación del riego y la capacidad de infiltración de agua en el suelo. Si la pluviometría supera a la capacidad de infiltración se produce escorrentía y por consiguiente pérdida de agua.

Los aspersores de baja presión probados en este ensayo presentan una menor pluviometría que los aspersores convencionales, por lo que el reparto del agua de riego en la parcela es más lento disminuyendo las pérdidas por escorrentía en parcelas con elevadas pendientes, por lo que la aplicación es más eficiente.

El uso de aspersores de baja presión unido a un correcto manejo de riego mejorará la aplicación correcta del agua en zonas de pendiente elevada.