



Deliverable DC.4.2_3: Guide of water for irrigation

Action C.4.2

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		
PU	Public	☐
PP	Restricted to other programme participants (including the Commission Services)	☐
RE	Restricted to a group specified by the consortium (including Commission Services)	☐
CC	Confidential, only for members of the consortium (including Commission Services)	☐

Autoría:

-  Marta Goñi, INTIA
-  Natalia Murugarren, INTIA
-  Ana Pilar Armesto, INTIA

Referencia recomendada a efectos bibliográficos:

Goñi Labat, M. Murugarren,N., Armesto, A.P.(2023). *Guide of water for irrigation*. Acción C.4. del Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC (LIFE 16 IPC/ES/000001) de la Unión Europea. Villava (Navarra). Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias (INTIA)

Este documento corresponde al entregable DC.4.2_3 previsto en el Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC.

El Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC LIFE 16 IPC/ES/000001 está ejecutado con la contribución financiera del programa LIFE de la Unión Europea

El contenido de este informe no refleja la opinión oficial de la Unión Europea. La responsabilidad de la información y los puntos de vista expresados en esta publicación recaen completamente en su autoría.

www.lifenadapta.eu

Versión 2. 1 de septiembre de 2023

Table of contents

0. SUMMARY.....	6
1. INTRODUCCIÓN	7
2. ENSAYOS	8
2.1 Ensayos de aspersores de baja presión.....	8
2.1.1 Resultados obtenidos en los ensayos de aspersores de baja presión	9
2.2 Ensayos de riego deficitario.....	10
2.2.1 Resultados obtenidos en los ensayos de riego deficitario	11
2.3 Ensayos de optimización de riego.....	16
3. GUÍAS DE RIEGO.....	19
3.1 SERVICIO DE ASESORAMIENTO AL REGANTE (SAR).....	19
3.2 GUÍA DE USO DE ASPERSORES A BAJA PRESIÓN.....	22
3.3 GUÍA DE USO EN LA APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS DEFICITARIAS DE RIEGO.....	24

Tablas

Tabla 1. Ensayos realizados (2018-2022)	8
Tabla 2. Resultados de cosecha de los ensayos de maíz y brócoli (campana 2019)	12
Tabla 3. Estrategias ensayo RDC tomate 2022.....	14
Tabla 4. Estrategias ensayos RDC Life NADAPTA.....	25

Ilustraciones

Ilustración 1. Valores promedio de cosecha de maíz para los 5 tratamientos (campaña 2018).	9
Ilustración 2. Herramientas utilizadas en los ensayos	11
Ilustración 3. Rendimiento de los tratamientos. Ensayo RDS guisante.	13
Ilustración 4. Resultados de ensayos RDC tomate 2021	14
Ilustración 5 .Resultados de ensayos RDC tomate 2022	15
Ilustración 6- Rendimiento medio en peso fresco. Ensayo RD Alfalfa 2022	16
Ilustración 7- Hoja resumen recomendación INTIA para riego en avellano	17
Ilustración 8- Resumen anual sondas	18
Ilustración 9- Resumen mes de junio	18
Ilustración 10- Herramienta de Recomendaciones de Riego.	19
Ilustración 11- Visor de Datos Agroclimáticos	20
Ilustración 12- HAD riego AGROasesor	21
Ilustración 13- Esquema de conectividad	21
Ilustración 14- Ejemplo HAD riego con déficit hídrico corregido con medida de sensores de humedad	22

0. SUMMARY

One of the possible expected effects of Climate Change is an increase in water deficit, i.e. less water is available for the crop when it is most needed. Possible adaptation strategies therefore involve increasing efficiency in the use of water and reducing both water and energy consumption.

In the LIFE-IP-NAdapta-CC project, we are working to study innovative practices in sustainable irrigation water management such as the use of low pressure sprinklers and deficit irrigation strategies, relying on new technologies such as moisture sensors, remote sensing and decision support tools. This paper presents the main results of the irrigation trials carried out in the project, as well as a guide to the use of these new adaptation strategies.

The main conclusions obtained in the trials so far are as follows:

- Low pressure sprinklers are an alternative to conventional pressure in crops such as maize, alfalfa and peas, which can lead to energy, carbon footprint and water savings in energy-dependent irrigation.
- Sustained deficit irrigation in broccoli and pea, with a 38% and 27% reduction, respectively, in irrigation requirements, led to water and blue water footprint savings.
- Deficit irrigation in tomato would allow savings of 7-21% of the water dose supplied, without reducing the yields nor quality.
- In the case of alfalfa, reductions of 5% did not affect either fresh production or quality. However, reductions of 12% did not affect fresh yield but did reduce the quality parameters of the crop
- Increasing the AGROasesor real-time irrigation recommendation for maize by 8% did not increase yield. Providing the right amount at the right time increases water use efficiency.
- New technologies (sensorisation, remote sensing, decision support tools with real-time balances, remote irrigation control, etc.) support climate change adaptation strategies.

Irrigation advisory services play a key role in the transmission of agricultural knowledge to all stakeholders and in encouraging the collaborative nature of agricultural knowledge. The tools improved at the end of the three phases of the project make it possible to offer an advisory service adapted to climate change conditions.

This deliverable presents the main results of these irrigation trials, as well as a guide for the use of these adaptation strategies, integrated within the SAR (Irrigation Advisory Service), After the first three phases of the project, has advanced in the optimization of the Irrigation Recommendations Service, including the improvement of the Irrigation Recommendations Tool and the Agroclimatic Data Viewer.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura de regadío requiere de un proceso de innovación para enfrentar los retos e incertidumbres derivados del cambio climático. Por ello, es primordial implantar medidas de ahorro de agua y energía en todos 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. 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.

El proyecto LIFE-IP-NAdapta-CC (2017-2025) tiene como objetivo la adaptación de Navarra a los efectos del Cambio Climático. Las medidas de adaptación se encuentran englobadas en seis áreas estratégicas diferentes. Una de las acciones desarrolladas en el área de agricultura está basada en la gestión adaptativa al uso correcto del agua del riego y enmarcado en este contexto INTIA ha realizado ensayos de riego con diferentes estrategias de ahorro de agua y energía en las campañas 2018-2022, apoyándose en nuevas tecnologías como:

- La teledetección. Los métodos de teledetección permiten visualizar la variabilidad del estrés hídrico en la plantación, condicionada por las propiedades del suelo y de la planta. Se basan en valores de índices de vegetación calculados a partir de imágenes de satélite, aviones o drones, suministrando al regante una información adicional, para poder adaptar las dosis de riego de una manera más eficiente. Además, la teledetección permite ajustar la curva teórica del coeficiente de cultivo basal, a la evolución real del cultivo y así poder ajustar las dosis de riego.
- El uso de herramientas de ayuda a la decisión en riego que realizan balances hídricos en tiempo real, como AGROasesor. Estas herramientas combinan datos meteorológicos, con datos específicos del cultivo y del suelo para determinar la cantidad y el momento de aplicación del agua a nivel de parcela regable. Los cálculos de balance de agua permiten estimar diariamente el nivel de agua disponible en el suelo en la zona radicular.
- Seguimiento del contenido de humedad del suelo. La colocación de sondas de humedad de suelo permite monitorizar en todo momento el contenido de humedad en el suelo para poder ajustar las dosis de riego y tener información del comportamiento del agua de riego en la zona radicular de los cultivos.

En este entregable se presentan los principales resultados de dichos ensayos de riego, así como un guía de uso de estas estrategias de adaptación, integradas dentro del SAR (Servicio de asesoramiento al regante, que, tras las tres primeras fases del proyecto, ha avanzado en la optimización del Servicio de Recomendaciones de Riego, incluyendo la mejora de la **Herramienta de Recomendaciones de Riego y del Visor de Datos Agroclimáticos**.

2. ENSAYOS

El propósito que se planteó 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. Una vez probado este material, y puesto que el resultado fue satisfactorio, se planteó continuar con esta línea de trabajo en las sucesivas campañas, pero añadiendo la variante del Riego Deficitario Controlado (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 1. Ensayos realizados (2018-2022)

ENSAYO	CAMPAÑA	CULTIVO	UBICACIÓN
Aspersores a baja presión (BP/PC)	2018	Maíz grano	Cooperativa Artajona
Riego deficitario controlado (RDC) + Aspersores a baja presión (BP/PC)	2019	Maíz grano	Finca de Cadreita
Riego deficitario sostenido (RDS) (goteo)	2019	Brócoli	Finca de Cadreita
Riego deficitario sostenido (RDS) + Aspersores a baja presión (BP/PC)	2020	Guisante seco	Finca de Cadreita
Riego deficitario controlado (RDC) (goteo)	2021-2022	Tomate	Finca de Cadreita
Riego deficitario+ Aspersores a baja presión (BP/PC)	2020-2023	Alfalfa	Finca de Cadreita
Optimización de riego	2022	Avellano	Finca de Cadreita

En este entregable se presentan los principales resultados obtenidos en los estudios de aspersores de baja presión y riego deficitario, así como una guía de uso de los mismos.

En las fases 1, 2 y 3 del proyecto se ha trabajado en total sobre 8 ensayos y 6 cultivos diferentes.

2.1 Ensayos de aspersores de baja presión

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%).

En 2018 se plantearon varios ensayos con el objetivo de comparar diferentes modelos de aspersores de baja presión con aspersores de presión convencional en el diseño de riego de 18 x 15T (7 ensayos). Las bajas presiones ensayadas fueron 2 bar y 2,5 bar. Los ensayos se realizaron en una parcela situada en Larraga (Navarra) con cultivo de maíz.

2.1.1 Resultados obtenidos en los ensayos de aspersores de baja presión

Los resultados obtenidos parecen indicar que todos los tratamientos se comportaron de manera similar (). La diferencia de presión entre los tratamientos no tuvo repercusión ni 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.

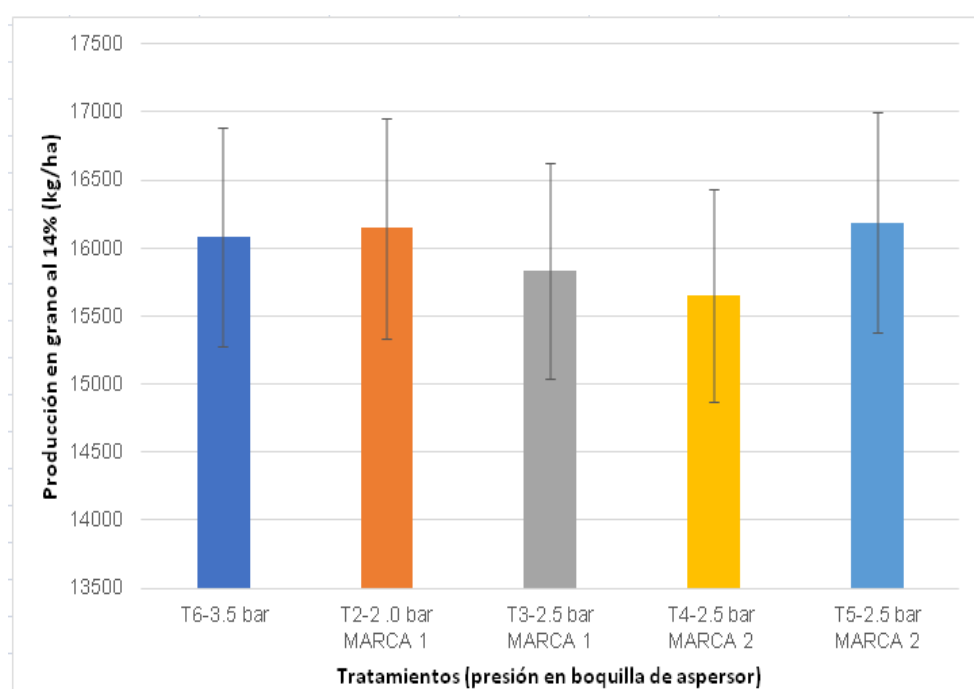


Ilustración 1. Valores promedio de cosecha de maíz para los 5 tratamientos (campaña 2018).

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.

Por lo tanto, de acuerdo a los resultados, en redes de riego dependientes energéticamente, reducir la altura de bombeo en 1 bar de presión, supondría un ahorro energético y consecuentemente se traduciría en una disminución de emisiones de CO₂. El valor estimado de reducción es de 0,011 kg CO₂ por cada m³ de agua bombeada al año.

El estudio de los aspersores de baja presión, ha continuado en campañas posteriores, en combinación con estrategias de riego deficitario.

2.2 Ensayos de riego deficitario

El enfoque de aplicar riego satisfaciendo el total de las necesidades de cultivo es cada vez más cuestionado a nivel mundial, debido al volumen de agua requerido, a los efectos negativos que pueden tener excesos hídricos y a los costos elevados que implica el manejo del agua.

Hay varias estrategias para reducir el volumen de riego:

- Riegos deficitarios controlados (RDC): consiste en mantener la dosis de riego en los periodos en los que el cultivo es más sensible al estrés hídrico y en reducir el riego por debajo de las necesidades hídricas en los periodos de menor sensibilidad.
- Riego deficitario sostenido (RDS): se disminuye la dosis de riego de manera uniforme respecto a las necesidades hídricas del cultivo a lo largo de todo el ciclo.
- Riego por desecación parcial de raíces (DPR): consiste en alternar el riego en distintas zonas del sistema radicular.

Tal y como se mostró en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los ensayos de riego deficitario comenzaron en 2019, manteniéndose en las 4 campañas siguientes. Se estudiaron en diferentes cultivos: maíz grano, brócoli, guisante seco, tomate y alfalfa, tanto en sistemas por goteo como por aspersión y en algunos casos en combinación con aspersores de baja presión (BP).

En estos ensayos, las necesidades de riego se calcularon a través de la herramienta HAD riego de la plataforma AGROasesor y/o las recomendaciones de riego del Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR). La plataforma AGROasesor, hace un balance hídrico en tiempo real, por lo que las necesidades se adaptan exactamente a las condiciones reales de parcela.

Para una correcta programación del riego deficitario se requiere tener un alto conocimiento de la fenología del cultivo y un seguimiento preciso del estrés hídrico. El desarrollo del estrés hídrico no solamente depende del porcentaje de déficit de riego, sino también de las características del suelo (capacidad de retención de agua), del clima, cultivo y condiciones de crecimiento. La monitorización de las características del suelo se determinó en algunos casos (maíz, brócoli y alfafa) por la colocación de sensores de humedad instalados en la finca.

En los ensayos además se utilizó teledetección para complementar las observaciones en campo mediante imágenes recogidas por drones o satélites, para poder conocer mejor el desarrollo vegetativo a partir del cálculo de índices de vegetación (NDVI, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada).

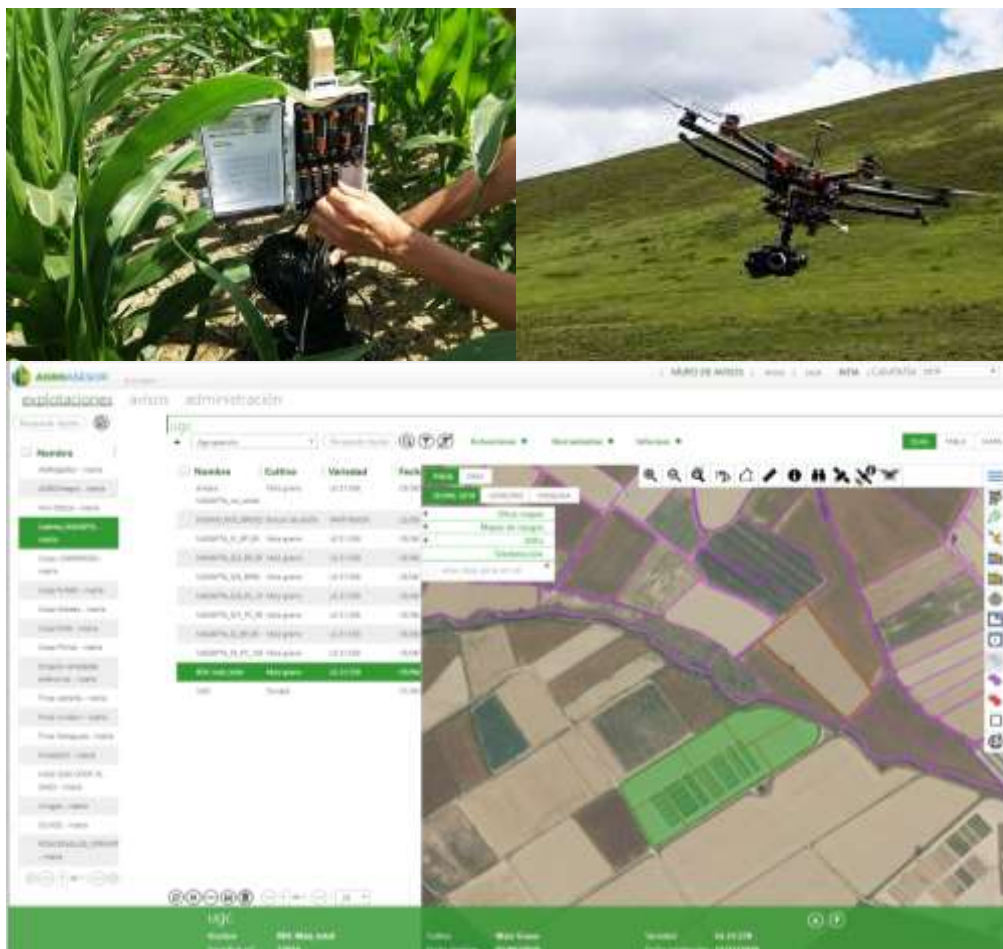


Ilustración 2. Herramientas utilizadas en los ensayos

2.2.1 Resultados obtenidos en los ensayos de riego deficitario

2.2.1.1 *Riego deficitario controlado en maíz grano (aspersión)*

En el caso del cultivo de maíz, el riego se aplicó durante las fases de crecimiento sensibles a la sequía y, fuera de estos periodos, se limitó el riego (desde la nascencia hasta la fase de 8-10 hojas y desde el grano pastoso hasta la madurez fisiológica). En este ensayo, se comparó una dosis de agua del 100% con dos dosis diferentes del 80% y el 70% de las necesidades totales de riego, así como aspersores de baja presión (2,5 bar) y de presión convencional (3,5 bar).

La dosis de riego de referencia (4800 m³/ha) se calculó con la herramienta HAD riego (AGROasesor) y la frecuencia de riego de referencia se ajustó a reponer el nivel de capacidad de campo del suelo. Las cantidades de riego finales aportadas fueron del 108%, 100%, 80% y 70% de la recomendación de riego de referencia. La dosis del 108% es la dosis tradicional aplicada en la zona. Uno de los resultados esperados era la reducción del consumo específico de agua. En el ensayo con dosis de agua del 100%, el consumo específico de agua ha sido de

350 m³/t, lo cual es un buen resultado a pesar de tratarse de una dosis del 100% ya que como se ha comentado anteriormente el cálculo está basado en datos de balance hídrico en tiempo real. Si se comparan los resultados entre las recomendaciones de riego del 100% y del 108% se comprueba que la producción fue la misma (la reducción del consumo específico de agua ha sido de 25 m³/t, para una reducción del 8% de la dosis de agua). Para RDC del 80% y 70% el consumo de agua ha sido de 323 m³/t y 319 m³/t respectivamente (no sólo reducción de agua sino también de producción). Además, la variable presión no influyó en los resultados, por lo que los aspersores de baja presión parecen ser una alternativa en cultivos de porte alto.

2.2.1.2 Riego deficitario sostenido en brócoli (goteo)

Los ensayos en brócoli se realizaron con riego por goteo en microparcelas. La estrategia consistió en reducir gradualmente la misma cantidad de agua durante todo el ciclo del cultivo, una vez que estuvo implantado correctamente. En este ensayo, se comparó una dosis de riego del 100%, calculada con AGROasesor, con dos dosis diferentes del 77% y el 62% de las necesidades totales de riego. El rendimiento (kg/ha) no dependió de la cantidad de agua aplicada. La reducción del consumo específico de agua ha sido de 44 m³/t, para una reducción del 38% de la dosis de agua. Hay que destacar que los rendimientos obtenidos en microparcelas son mayores que los que se pueden obtener en campo, si bien los resultados de micro-parcelas se pueden extrapolar a los de campo disminuyéndolos en un 15%.

Tabla 2. Resultados de cosecha de los ensayos de maíz y brócoli (campana 2019)

MAIZ		BRÓCOLI	
PRESION/RDC	RENDIMIENTO (kg/ha)	RDS	RENDIMIENTO (kg/ha)
Aspersor BP/70%	10.564	100%	23.020
Aspersor BP/80%	11 623	77%	22.020
Aspersor BP/100%	13 838	62%	23.300
Aspersor PC/100%	13 987		
Aspersor PC/80%	12 555		
Aspersor PC/70%	10 096		
Aspersor PC/108%	14.000		

2.2.1.3 Riego deficitario sostenido en guisante seco (aspersión)

Los ensayos del cultivo de guisante (2020) consistieron en probar la respuesta de dos variedades de guisante (Kayanne y Bagoo) en sistema de aspersión (18 x 15T) con diferentes presiones de trabajo de los aspersores a 2,5 bar y 3,5 bar y con diferentes dosis de riego deficitario. Ver Annex A.C.4.2.4a_2

La estrategia inicial planteada era aplicar RDC en los estados de nascencia, desarrollo de hojas y en vainas formadas, pero la climatología y el almacenamiento de agua en el suelo no permitieron el riego hasta la semana del 18 de mayo. En esta fase se da el inicio de floración por lo que se opta por llevar a cabo RDS en las 3 últimas etapas del cultivo.

La dosis de riego a partir del 18 de mayo ($1.599 \text{ m}^3/\text{ha}$) se calculó con la ayuda de la plataforma AGROasesor teniendo en cuenta que la frecuencia de riego se ajustó para cumplir con el nivel de capacidad de campo del suelo. Las cantidades finales de riego aportadas fueron del 100%, 73% y 65% de las recomendaciones de riego (evaluadas a partir del 18 de mayo). Como comparación, en campañas anteriores, las necesidades de riego fueron de $2.710 \text{ m}^3/\text{ha}$ en 2019 y de $3.130 \text{ m}^3/\text{ha}$ en 2018 durante todo el cultivo.

Los resultados obtenidos parecen indicar que la variable presión no ha influido en los resultados de las dos variedades, por lo que se puede afirmar que los aspersores de baja presión se presentan como una alternativa para el cultivo del guisante y en general, la variedad Kayanne ha presentado valores de rendimiento superiores a Bagoo.

Cuando se trata de una disminución del 27% en el riego, el rendimiento no se ha visto afectado en las dos variedades. En cambio, la reducción del 35% muestra diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento entre los tratamientos.

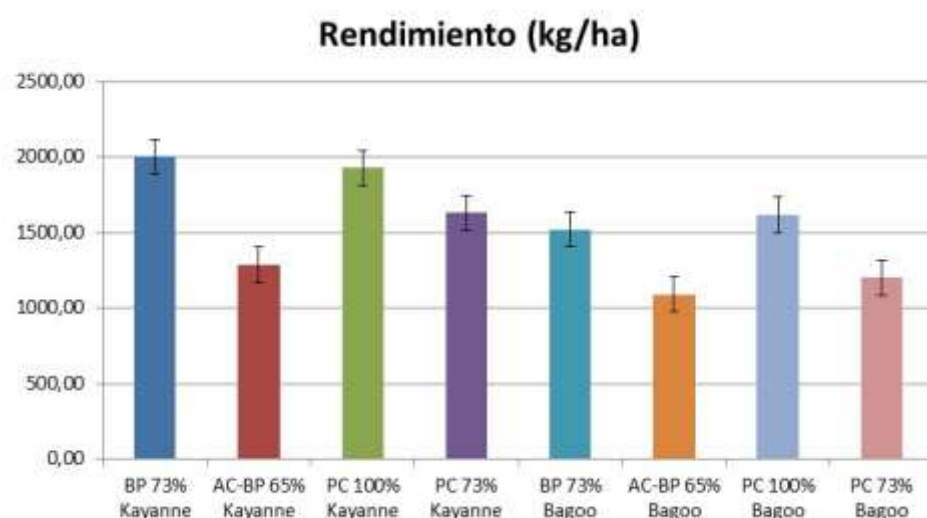


Ilustración 3. Rendimiento de los tratamientos. Ensayo RDS guisante.

Uno de los resultados esperados era la reducción del consumo específico de agua. Si analizamos aquellos tratamientos en los que el rendimiento no se ha visto afectado estadísticamente, en el ensayo de dosis de agua 100% y presión convencional, el consumo específico de agua ha sido de $987 \text{ m}^3/\text{t}$ para Bagoo y $828 \text{ m}^3/\text{t}$ para Kayanne, mientras que en el ensayo de dosis de agua 73% y presión convencional, el consumo de agua ha sido de $973 \text{ m}^3/\text{t}$ y $716 \text{ m}^3/\text{t}$, respectivamente. La reducción del consumo específico de agua ha sido de 14 y $112 \text{ m}^3/\text{t}$ para cada cultivar, Bagoo y Kayanne respectivamente.

2.2.1.4 Riego deficitario controlado en tomate (goteo)

En los ensayos de tomate (2021), se probaron 3 dosis diferentes de riego deficitario controlado en riego por goteo. Las fases en las que no se aplicó ninguna reducción de dosis, las etapas de crecimiento más sensibles a la sequía, fueron implantación, floración y cuajado. La dosis de

riego de referencia (4.300 m³/ha) se calculó con el nuevo software del Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR) y la frecuencia de riego de referencia se ajustó a reponer el nivel de capacidad de campo del suelo. Las cantidades finales de riego aportadas fueron del 100%, 93% y 87% de las recomendaciones de riego de referencia mencionadas. Además de los resultados de rendimiento, también se evaluaron en cada tratamiento el color, la acidez total y los grados °Brix (parámetro que informa sobre la cantidad de azúcares del fruto). Ver Annex C4.2.4b_2.

Con el tratamiento del 100% y 93% de la dosis de riego, se han obtenido diferencias no significativas entre tratamientos. Esto permitiría un ahorro del 7% de la dosis suministrada. Cuando se trata de una dosis de riego del 87%, las diferencias son significativas, viéndose afectado el rendimiento. Por otro lado, las diferentes dosis aplicadas no tuvieron repercusión en la calidad y tamaño de los frutos. En cuanto a la reducción del consumo específico de agua, en el ensayo con dosis del 100%, el consumo específico de agua ha sido de 22,05 m³/t mientras que en el ensayo con dosis de agua del 93%, el consumo de agua ha sido de 21,55 m³/t. La reducción del consumo específico de agua ha sido de 0,49 m³/t.

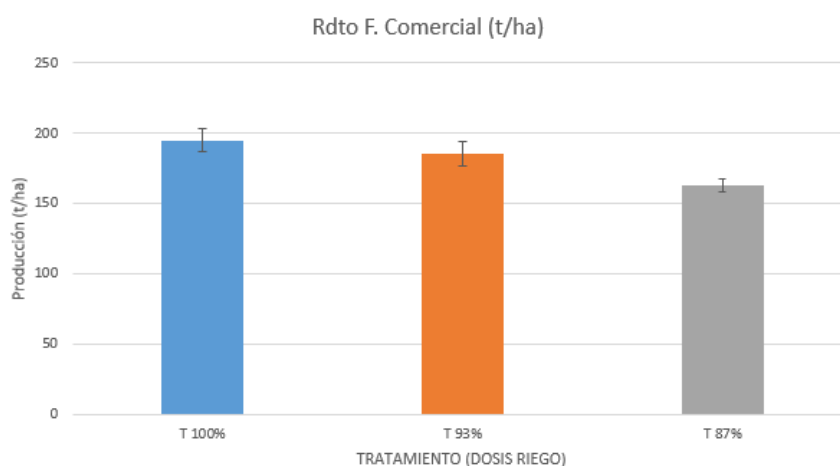


Ilustración 4. Resultados de ensayos RDC tomate 2021

En la campaña 2022 se repitió el ensayo, pero cambiando las estrategias de riego. En este caso, las cantidades de riego finales aportadas fueron del 100%, 81% y 79% de las recomendaciones de riego, siguiendo las estrategias mostradas en la Tabla 3. Estrategias ensayo RDC tomate 2022

Tabla 3. Estrategias ensayo RDC tomate 2022

Tratamientos	Descripción del % de riego aplicado y momentos de aplicación
Control sin riego deficitario	Riego 100%
Estrategia 1-T1	Riego 100%: implantacion, floracion y cuajado Riego 75%: inicio de fase de crecimiento de frutos Riego 25%: mitad de la fase de maduración (aprox 50% de frutos rojos)
Estrategia 2-T2	Riego 100%: implantacion, floracion y cuajado

	Riego 75%: inicio de fase de crecimiento de frutos
	Riego 50%: mitad de la fase de maduración (aprox 50% de frutos rojos)

Se obtuvieron diferencias no significativas para el rendimiento entre los tratamientos. Además, las diferentes dosis de riego no tuvieron repercusión sobre la calidad y tamaño de los frutos. El porcentaje de frutos comerciales está por encima del 80% en todos los tratamientos. Aunque el porcentaje de frutos sobre maduros es algo mayor en los tratamientos con menor aporte de riego, las diferencias son no significativas. Esto permitiría un ahorro de un 21 % de la dosis aportada.



Ilustración 5 .Resultados de ensayos RDC tomate 2022

2.2.1.5 Riego deficitario en alfalfa (aspersión)

Los ensayos de alfalfa en 2021 consistieron en probar la respuesta del cultivo en riego por aspersión (18 x 15T) con diferentes presiones de trabajo de aspersores a 2.5 bar y 3.5 bar y con diferentes dosis de riego. En la primera mitad del ciclo del cultivo se aplicó una reducción lineal de 5% de las necesidades de riego, es decir 100% y 95 % (tanto en las variantes de presión convencional como de baja presión). Las necesidades se calcularon gracias a la nueva herramienta de riego del Servicio de Asesoramiento al regante de INTIA. En la segunda mitad del ciclo de cultivo, la reducción es mayor. Se aplica RDC con una reducción del 10% en las etapas menos sensibles. En general la reducción de agua fue de un 5%.

En esta campaña, la disminución de la cantidad de riego fue baja ya que se persiguió la correcta implantación del cultivo debido a que estos ensayos van a durar al menos 3 años. Así, en los diferentes cortes de alfalfa, se evaluaron los factores de calidad de este cultivo.

El tratamiento que presentó los valores más altos de proteína y los más bajos de fibra fue el correspondiente al 95% de riego y presión convencional. El test estadístico mostró que, si se tiene en cuenta el parámetro contenido de proteína, en los dos primeros cortes las diferencias entre tratamientos no fueron significativas, pero, por el contrario, en el tercer corte las diferencias entre tratamientos fueron estadísticamente significativas. Para el contenido de

fibra, las diferencias entre tratamientos no fueron significativas, es decir, las variables no influyeron en el contenido de fibra entre tratamientos para todos los cortes.

Las dosis de riego en 2022 fueron del 100% y del 88%, con diferentes presiones de trabajo de aspersores a 2.5 bar y 3.5 bar. Las necesidades se calcularon utilizando la herramienta de riego del Servicio de Asesoramiento al regante de INTIA y AGROasesor. Además, en este ensayo se estimó el valor del Kcb gracias a la relación lineal existente entre el índice de vegetación normalizado NDVI procedente de las imágenes de teledetección (obtenido de la plataforma AGROasesor) y el coeficiente de cultivo basal a través de la fórmula propuesta:

$$Kcb = 1,25 \cdot NDVI + 0,2 \quad \text{Cuesta et al. 2005}$$

De esta manera, la dosis de riego de la alfalfa se estimó utilizando teledetección, lo cual permitió adaptar las recomendaciones a la fenología del cultivo.

Durante todos los ensayos se realizó el seguimiento del desarrollo vegetativo y del estado fenológico además de controles de calidad.

La reducción de un 12% de la dosis de riego ha afectado a los parámetros de calidad de la alfalfa, obteniéndose los mejores valores para los tratamientos correspondientes al 100% de riego, sin embargo, esta reducción no ha afectado al rendimiento (en peso fresco), obteniéndose los valores más altos en el tratamiento de riego del 88%.

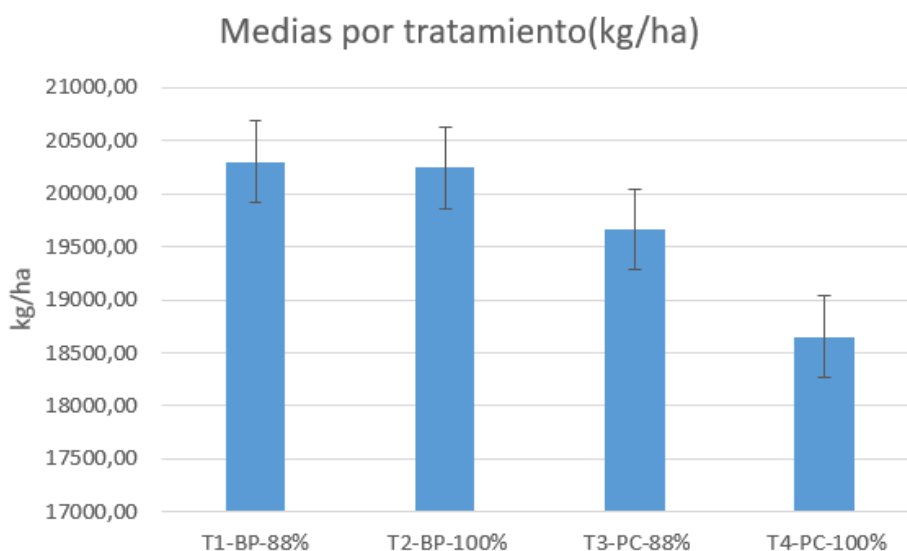


Ilustración 6- Rendimiento medio en peso fresco. Ensayo RD Alfalfa 2022

2.3 Ensayos de optimización de riego

Durante la campaña 2022, se realizó la colocación de cuatro sondas de riego en la finca Experimental de INTIA en Cadreita en el cultivo del avellano. El principal objetivo es evaluar

durante las próximas tres campañas como evoluciona el agua en el suelo observando la fluctuación de las sondas.

Para ello, se inició el estudio teniendo en cuenta la recomendación que los técnicos de INTIA de la unidad de fruticultura realizan estimando el número de horas semanales en función de la ETP y la Kc.

Las sondas se colocaron en campo el día 31 de mayo, se procedió a realizar una zanja transversal a la línea de cultivo colocando dos sondas a 30 cm de profundidad y dos a 60 cm de profundidad, dispuestas en la línea de gotero una a 30 cm y otra a 60 cm, y dos separadas 50 cm hacia la calle.

En junio se comenzó a monitorizar frutales para poder determinar el momento óptimo de riego, Para ello se han instalado dos datalogers y 4 sondas de humedad que registran la humedad del suelo cada 10 minutos.

La hoja de recomendación de riego de INTIA, se basa en el cálculo de la ETC a partir de la ETP correspondiente a la zona de cultivo y una Kc para el cultivo de avellano que se toma de bibliografía, en este caso de la recomendación del centro de investigación de Italia AGRION.

La hoja que se presenta a continuación ha sido la ruta que se ha seguido a lo largo del año en la finca. No se ha tenido en cuenta la precipitación a lo largo de la campaña.



FERTIRRIGACIÓN EN AVELLANOS

2022: F. Cadreira

CULTIVO: AVELLANO

CAUDAL (l/h): 3.250

PLANTACIÓN: 2022

RIEGO: GOTEO

CAUDAL gotero (l/h): 3,8

SUPERFICIE (has.): 0,26

MARZO 2022

SEPARACIÓN goteros (m.): 0,60

EFICIENCIA: 90 %

MARCO: 4 x 2

SEPARACIÓN líneas (m.): 4,00

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
neces. riego (mm)			4	5	9	12	17	16	6	4			
Horas/semana			1	1	2	2	3	3	2	1			m3 / ha: 747
Horas reales riego													
Pluviometría													

Ilustración 7- Hoja resumen recomendación INTIA para riego en avellano

La dotación de agua para la campaña 2022, siendo el primer año de implantación del cultivo ha sido de 747 m3/ha, para ello se ha empleado un gotero autocompensante de 3,8 l/h y 0,60 cm entre goteros. El marco de cultivo es 4 x 2 m y la plantación se realizó en febrero de 2022

A continuación, se expone la evolución de las sondas a lo largo de la campaña.



Ilustración 8- Resumen anual sondas

El período de riego comprendido entre junio y octubre se observa la evolución en la sonda colocada a 30 cm en la línea de gotero, y en ambas líneas de 60 cm. La sonda a 30 cm fuera de la línea de gotero, marca valores negativos los cuales no se tienen en cuenta por error de observación

Si se observa el mes de junio, se puede comprobar como los riegos en este caso de 2 horas semanales, se han repartido en 1 hora cada 2 días, pero hay que tener en cuenta que estos riegos han sido esta campaña independientes a los riegos de fertirrigación los cuales han sido 4 a lo largo del mes y puede que hayan sido de mayor dotación de agua, por lo que en próximas campañas se buscará ajustar las necesidades mejor.



Ilustración 9- Resumen mes de junio

Como conclusiones a la campaña 2022, se observa que en ningún momento de la campaña los frutales han estado en estrés hídrico. La humedad disponible del suelo ha estado dentro del AFA (agua fácilmente aprovechable). Se observa que cuando se producen los eventos de riego se llega a superar el límite máximo de retención de agua del suelo, superándose el valor de capacidad de campo.

Por otra parte, la humedad del suelo a 30 cm es superior que a 60 cm. El frente de humectación del riego llega a las sondas más profundas.

3. GUÍAS DE RIEGO

3.1 SERVICIO DE ASESORAMIENTO AL REGANTE (SAR)

En la gestión adaptativa al uso correcto del agua del riego INTIA, se trabaja desde el SAR (servicio de asesoramiento al regante), con todas las herramientas para avanzar sobre un buen asesoramiento.

Tras las tres primeras fases del proyecto, se ha conseguido Optimización del Servicio de Recomendaciones de Riego, y la mejora de la Herramienta de Recomendaciones de Riego y del Visor de Datos Agroclimáticos. La información completa se recoge en el **anexo AC4.2.3_3**

En la fase 3 se ha mejorado la potencia de cálculo de la aplicación de recomendación de riego para los 64 cultivos representativos de Navarra, incluyendo 124 tipos varietales, además de la adaptación de frutales en función del coeficiente de sombreado. La Herramienta está a disposición pública desde la web de INTIA, a continuación, pueden verse algunas imágenes del desarrollo.

Acceso: <https://www.intiasa.es/web/es/regadios/recomendaciones-riego>



Ilustración 10- Herramienta de Recomendaciones de Riego.

En cuanto al Visor de datos Agroclimáticos, se ha mejorado la versión finalizada en la fase 2. En la versión actual ofrece cálculos agronómicos adaptados a la estacionalidad de la campaña que ayudara a caracterizar, y tomar decisiones sobre las zonas agroclimáticas de la zona media y sur de Navarra, de especial importancia en las condiciones de cambio climático.

Acceso: <https://www.intiasa.es/web/es/regadios/agroclimatologia>



Ilustración 11- Visor de Datos Agroclimáticos.

47 zonas regables, adaptando el manejo hídrico de los cultivos a la climatología de la campaña

En la fase 2 del proyecto se consiguió la interoperabilidad entre las 2 plataformas (AGROgestor e Hydrotecna). En una primera fase, estas pruebas se hicieron en laboratorio y una vez que las comprobaciones fueron correctas, el 25 de mayo de 2022 se instaron los equipos en campo en la parcela de alfalfa descrita en la Actividad 5. Para esta subacción se ha requerido mantener operativa la plataforma AGROasesor, a fin de poder realizar las actualizaciones de componentes, necesarias para la interoperabilidad con la plataforma de Hydrotecna.

En AGROasesor se mejora la recomendación de riego, ya que el dato del déficit hídrico de la HAD riego, se corrige con los datos reales de los sensores de humedad (Hydrotecna). En Hydrotecna se mejora la recomendación de riego ya que se recibe el balance mejorado de AGROasesor, por lo que los usuarios lo pueden utilizar para programar el telecontrol de riego (Ilustración 11).

Ilustración 12- HAD riego AGROasesor

En la Ilustración 13 se muestra el esquema de conexión y en la Ilustración 14 un ejemplo donde se comprueba como el dato de déficit hídrico se corrige a través de la medida de los

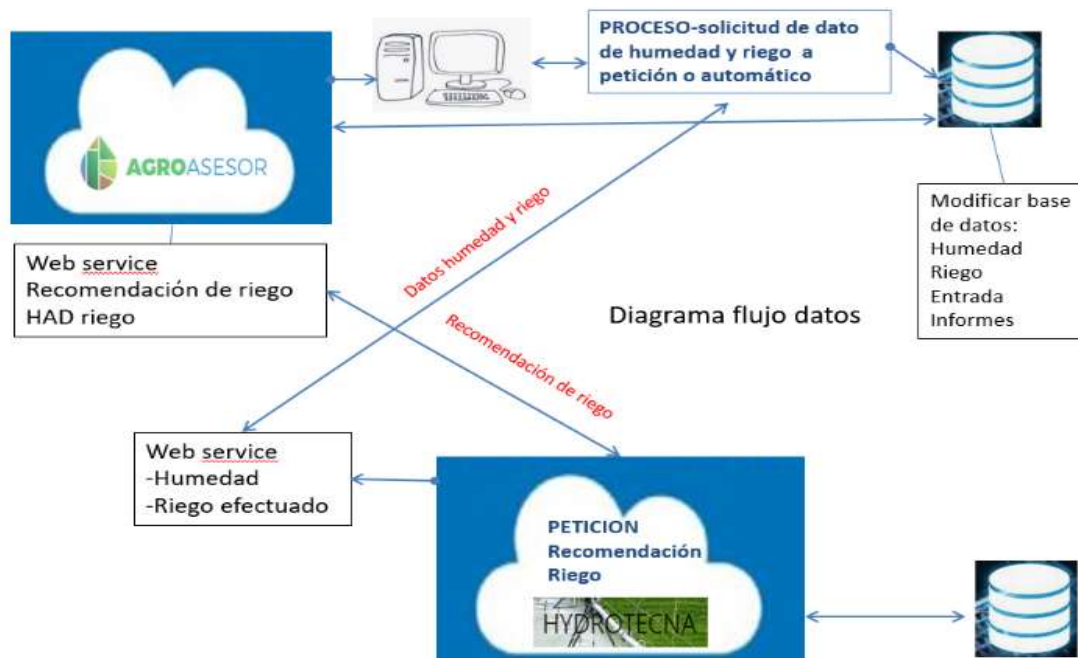


Ilustración 13- Esquema de conectividad

HAD Riego				
Deseo asignar valores distintos a cada UGC		SI	NO	
UGC	Balance	Cultivo	Estrategias	Suelo
6_54_2_SECTOR				Resultado
Seleccione el agua para riego:		Canal de Navarra		
Fecha	Lluvia efectiva (mm)	Déficit de agua en el suelo (mm)	Riego necesario (mm)	
04/07/2022	0	29,44	(=)	69,15 ▶
05/07/2022	0	31,74	(=)	68,69 ▶
06/07/2022	30,4	34,03	(=)	29,1 ▶
07/07/2022	0	36,32	(=)	58,25 ▶
08/07/2022	0	38,62	(=)	48,41 ▶
09/07/2022	0	38,57	(=)	47,97 ▶
10/07/2022	0	36,36	(=)	45,38 ▶
11/07/2022	0	34,76	(=)	42,78 ▶
12/07/2022	0	32,79	(=)	40,89 ▶
13/07/2022	0	3,08		38,58 ▶

Ilustración 14- Ejemplo HAD riego con déficit hídrico corregido con medida de sensores de humedad

Durante la fase 3 del proyecto se ha realizado además la adaptación y mejora de las infraestructuras de riego en la finca de Cadreita, con el fin de disponer de una organización del riego de forma eficiente, con el objetivo de difundir las buenas prácticas de riego entre los agricultores. En las jornadas de transferencia de Nadapta que se realizan en la Finca de Cadreita, se realiza esta difusión.

Finalmente se han evaluado los sistemas automáticos de trazabilidad, como elementos de apoyo a la toma de datos automatizada, en los que se apoyarán en un futuro todas las herramientas de ayuda a la decisión y los servicios de asesoramiento (ver anexo AC4.2.7_3)

3.2 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.

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

Los aspersores de baja presión requieren menos energía con lo cual la red de riego se diseñaría con menos requerimientos energéticos.

- 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.
- 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.

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

En los regadíos presurizados surgen dos posibilidades:

- 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.
- 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.

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.

3.3 GUÍA DE USO EN LA APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS DEFICITARIAS DE RIEGO

Para la correcta implementación de una estrategia de riego deficitario, es decir, para saber los periodos del cultivo en los que se puede reducir el agua sin afectar a la productividad y/o calidad del cultivo, es necesario conocer su ecofisiología y es aconsejable el monitoreo de su estado hídrico.

Los estudios de la respuesta del cultivo a los riegos deficitarios, se basan en el conocimiento de las variables fisiológicas y agronómicas en relación con el estrés hídrico. También hay que advertir del riesgo de salinización del suelo en la zona radicular, al reducirse la fracción de lavado. El apoyo de las Entidades de Asesoramiento es imprescindible para evitar estos riesgos. Para el establecimiento de este tipo de estrategias, tendremos que tener en cuenta toda una serie de factores que pueden condicionar de forma importante su viabilidad. Sánchez-Blanco y Torrecillas (1995) enumeran las siguientes:

Periodos críticos del cultivo

- Nivel de coincidencia entre crecimiento vegetativo y crecimiento productivo
- Características del suelo
- Sistema de riego
- Climatología
- Resistencia a la sequía del cultivo

En la tabla 4 se muestran las fases en las que se ha aplicado RDC en los ensayos de Life NADAPTA

Tabla 4. Estrategias ensayos RDC Life NADAPTA

Cultivo	Fases si RDC/RDS	Fases no RDC/RDS- Periodos críticos	Ahorro de agua en ensayos NADAPTA
Maíz	- Nascencia a 8-10 hojas - Grano pastoso y madurez.	- Siembra a nascencia -10 hojas a floración-fecundación -Fecundación hasta grano lechoso	8% (recomendación de riego basada en balance hídrico en tiempo real)
Brócoli	- Una vez que el cultivo esté implantado correctamente	- Implantación	38%
Guisante	-Nascencia, -desarrollo de hojas -vainas formadas	-Inicio floración -Inicio llenado vainas	27% (tomando como referencia la dosis calculada desde el 18 de mayo)
Tomate	-Crecimiento de frutos -Mitad fase maduración	- Implantación, -Floración - Cuajado de frutos	-7% (campana 2021) -21% (campana 2022)
Alfalfa	-Crecimiento vegetativo -Maduración	- Siembra y germinación -Botón floral -Floración	12% (no afectó al rendimiento pero sí afectó a los parámetros de calidad)